ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI ATATURK UNIVERSITY PUBLICATIONS

Eastern Geographical Review

Araştırma Makalesi *Research Article* DOI: 10.17295/ataunidcd.1768677

Kastamonu İli Deprem Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Tespiti

Identification of Earthquake Susceptibility in Kastamonu Province Using Geographic Information Systems (GIS) and Fuzzy Logic Techniques

Bekir TAŞTAN

Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kastamonu, Türkiye

ÖZ

Çalışmada Kastamonu ilinin deprem afetine karşı duyarlılığı çok kriterli karar verme analizleri (ÇKKV), CBS ve bulanık mantık yöntemleriyle tespit edilmiştir. Duyarlılık değerlerinin elde edilmesinde eğim, faya uzaklık, litoloji, arazi kullanımı, zemin geçirimliliği ve en büyük yer ivmesi gibi parametreler kullanılmıştır. Parametre alt gruplarının belirlenmesinde çalışma sahasının özellikleri ve literatür bilgilerinden yararlanılmıştır. Deprem duyarlılık derecelerinin elde edilmesi için bulanık GAMMA türü bindirme analizi kullanılmıştır. Elde edilen deprem duyarlılık değerlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi için araştırma alanında gerçekleşen depremlerin tarihsel kayıtları ve konumları kullanılmıştır. Receiver Operating Characteristic (ROC) eğrisi ile sonuçların doğruluk değerlendirmesi istatistiği yapılmıştır. Eğri altında bulunan alanın değeri (AUC) 0,702 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, elde edilen sonucun orta düzeyde doğruluk ve iyi ayırt etme gücünü belirtmektedir. Araştırmadan elde edilen bulgulara göre Kastamonu ilinin yüzölçümünün yarısına yakınında deprem risk maruziyeti yüksektir. İlde bulunan fay hatlarının varlığı, jeolojik olarak zayıf zeminli alanların bulunması ve alüvyonlu sahaların yaygınlığı deprem afeti duyarlılığını fazlalaştırmaktadır. Deprem duyarlılığının belirlenmesinin yanında risk maruziyetlerinin tespit edilmesi için yapılara ait öznitelik bilgileri envanterlerinin üretilmesi de deprem zarar azaltma faaliyetleri için önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Deprem duyarlılık, CBS, bulanık mantık, Kastamonu

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS), fuzzy logic techniques, and Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) analyses were employed in this study to identify earthquake susceptible areas in Kastamonu Province. Earthquake susceptibility factors, including slope, proximity to faults, lithology, land use, ground permeability, and peak ground acceleration, were used to assess susceptibility values. The characteristics of the study area and data from the literature were used to identify the subcategories of criteria. The earthquake susceptibility degrees were determined using the fuzzy GAMMA overlay method. Historical records and the locations of the earthquakes that occurred in the research area were utilised to validate the estimated earthquake susceptibility ratings. Receiver Operating Characteristics (ROC) curve analysis was used to evaluate the accuracy of the analysis. The Area Under the Curve (AUC) value was found as 0.702, which showed a reasonable degree of accuracy and discriminatory power. The results show that nearly half of the total area of Kastamonu Province is exposed to a high seismic risk. Earthquake susceptibility is increased by active fault lines, geologically weak zones, and the distribution of alluvial plains in the province. In addition to determining earthquake susceptibility, the generation of building attribute inventories is also crucial for identifying risk exposures and for supporting earthquake damage mitigation activities.

Keywords: Earthquake susceptibility, GIS, fuzzy logic, Kastamonu

Geliş Tarihi/Received 19.08.2025
Kabul Tarihi/Accepted 05.06.2026
Yayın Tarihi/Publication Date 30.06.2026

Sorumlu Yazar/Corresponding author: Bekir TAŞTAN
E-mail: bekirtastan@kastamonu.edu.tr

Cite this article:
Taştan, B. (2026). Identification of earthquake susceptibility in Kastamonu province using Geographic Information Systems (GIS) and Fuzzy Logic Techniques. *Eastern Geographical Review*, (55), 90-103.

Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.

Giriş

Afetler, gerçekleştiğinde canlı ve cansız çevreye zarar vererek can ve mal kayıplarına sebep olan doğal ve insan kaynaklı olaylara denmektedir (Şahin ve Sipahioğlu, 2002). Afet aslında bir olayın sebebini değil, sonucunu gösterir. Bir olayın afet olarak nitelendirilmesi için günlük yaşantıda kesintiler oluşturması gerekir (Ergünay, 2007). Acil yardım sistemleri, yiyecek tedarikleri, barınma hizmetleri ve sağlık yardımları gibi süreçlerin yürütülmesi afetin yoğunluğuna bağlı olarak kötüleşir (Kişi vd., 2025; Singh, 2008). Dünyada yirminci yüzyılın sonunda ve yirmi birinci yüzyılın ilk yarısında gerçekleşen afetlerden dolayı birçok insan hayatını kaybetmiş ve bu afetler çok ciddi ekonomik zararlara yol açmıştır. 1983-1985 yılları arasında Etiyopya'da ortaya çıkan kıtlık, 2004 yılında Hint Okyanusu'nda oluşan deprem ve ardından gerçekleşen tsunami, 2008'de oluşan Nargis Siklonu ve Haiti'de 2010'da meydana gelen depremle beraber 200.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir (Ritchie ve Hoser, 2020).

Türkiye'de 1927'den 2020 yılına kadar 6 Mw büyüklüğünü ve 9 şiddetini aşan 25 deprem gerçekleşmiştir (Şenol, 2020). Bu depremlerden dolayı önemli ölçüde can ve mal kaybı gerçekleşmiştir. Türkiye deprem nedeniyle can kaybı bakımından dünyada üçüncü, etkilenen kişi bakımından dünyada sekizinci sıradadır (Türk, 2022). Afetlerin yıkıcı etkilerini ortadan kaldırmak veya en aza indirebilmek için afet yönetim sistemi geliştirilmiştir. Modern afet yönetim sisteminde kayıpların ve zararların azaltılması, hazırlık, tahmin ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi gibi çalışmalara risk yönetimi adı verilirken; afet etkisinin analiz edilmesi, müdahalelerin, iyileştirmelerin ve yeniden yapılanma faaliyetlerinin yapılması çalışmalarına kriz yönetimi adı verilir (Kadıoğlu, 2008). Afet risk yönetimi periyodunda afet tehlikesi, zarar görebilirliği ve riskinin mekânsal olarak gerçekleşme durumları ortaya konulur. Literatürde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), lojistik regresyon ve frekans oranı gibi yöntemler afet riski, tehlike ve duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler karar verme süreçlerinde belirsizliklerin modellenmesinde ve karar süreçlerine entegre edilmesinde sınırlı kalmaktadır (Kainz, 2007; Zadeh, 1988). Bulanık mantık yöntemi gerçek dünyada bulunan doğrusal olmayan kontroller için kurallar, üyelikler ve sonuç elde etmeyi içermektedir (Altaş, 1999). Bu yöntem son zamanlarda çok kriterli karar verme analizlerinde de kullanılmaya başlanmıştır (Araya-Muñoz vd., 2017; Bizimana, 2016; Derinpınar, 2014; Gohil vd., 2024; Lewis vd., 2014; Nikolova ve Zlateva, 2017; Oleng vd., 2024; Prapanchan vd., 2024; Taş, 2017; Taştan ve Bozkan, 2025; Wang ve Nanehkaran, 2024; Yildirim vd., 2024). Literatürde deprem duyarlılık analizleri geleneksel veri setleri kullanılarak istatistiksel ve bulanık mantık temelli olarak gerçekleştirilse de (Yalçın ve Sabah, 2017; Yalçın ve Sabah, 2018), duyarlılık analizi verilerinin doğasında var olan belirsizliklerin yönetilebilmesi, CBS ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) ve bulanık mantık yöntemlerini içeren modellerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kastamonu ili ve çevresinde tarihsel dönemde hasarlı birçok deprem meydana gelmiştir. 1902 yılında Çankırı'da, 1919 yılında Tokat ili Almus ilçesinde, 1942 yılında Çorum'da, 1943 yılında Tosya ve Ladik'te ve 1953 yılında Çankırı ili Kurşunlu ilçesinde gerçekleşen depremler Kastamonu'da hasarlara sebep olmuştur (Çelebi, 2021). İlde gelecekte de hasar oluşturabilecek depremlerin oluşma olasılığının çok yüksek olduğu yapılan hesaplamalardan ortaya çıkmıştır (Özmen, 2011). İlin depremselliğiyle alakalı bazı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan Karamanoğlu ve Ulay (2017), Tosya ilçesinde iç mekanların deprem dayanıklığını; Çelebi (2021), 1943 depremini ve özelliklerini; Dirik (2004) ve Özmen (2011)ise Kastamonu ili depremselliğini incelemişlerdir. Kastamonu İl AFAD Müdürlüğü ise 2021 yılında il afet risk azaltma planını yayımlamıştır (AFAD, 2021). Buna karşın, belirtilen çalışmalar genel deprem tehlikesini ortaya koymakla beraber yerleşim merkezlerinin ve risk elemanlarının risk maruziyetini ortaya koymada yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla ilin deprem risk maruziyetini ele alan kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirgindir.

Çalışmanın temel amacı bulanık mantık tabanlı, CBS ve çok kriterli karar verme analizleriyle Kastamonu ilinde depreme duyarlı olan alanların belirlenmesidir. Bu yaklaşım kullanılarak, konu ile ilgili yapılan yayınlardaki benzer yaklaşımlardaki karar verme sürecindeki sübjektiflikler ve belirsizlikler, esnek kural tabanlı algoritmalar ve bulanık mantık yönteminin doğası gereği çözülmeye çalışılmıştır. Çalışma CBS yazılımında bulanık üyeliklerin belirlenmesi, çakıştırma analizinin kullanılması, yerleşim yerlerinin risk maruziyetinin belirlenmesi ve deprem duyarlılığının coğrafi dağılımının ortaya konulması gibi analizler yönüyle benzer çalışmalardan farklılaşmaktadır.

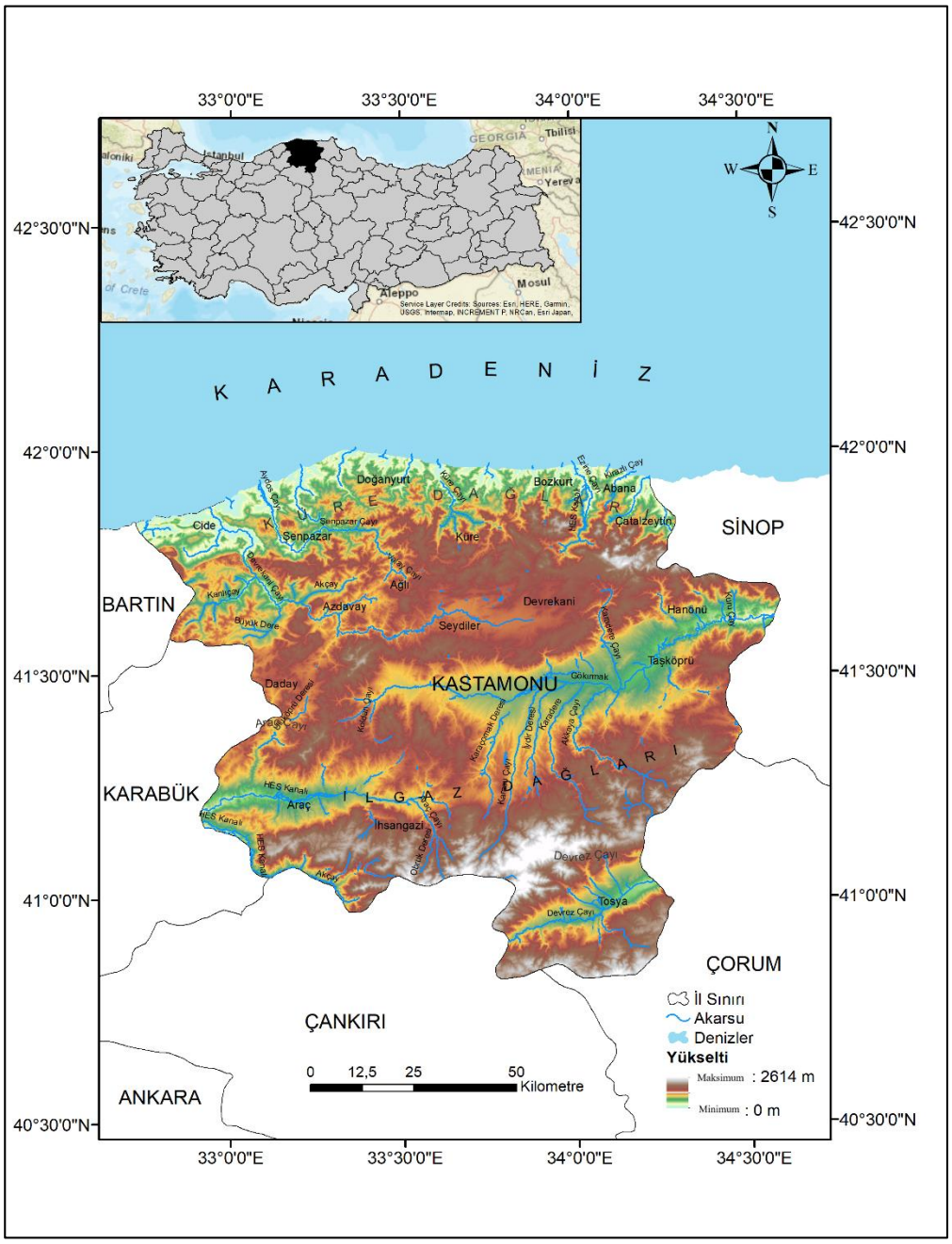
Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın (KAF) etki alanında bulunan Kastamonu ilinde deprem riskinin yönetilmesi ve hazırlık safhaları hususunda kritik önem taşıyan bu araştırmada faya uzaklık, en büyük yer ivmesi (PGA), zemin geçirimliliği, arazi kullanımı ve litoloji gibi parametrelerin deprem duyarlılığına etkisi değerlendirilmiş, parametre alt sınıfları oluşturulmuş ve bulanık mantık tabanlı bindirme analiziyle duyarlılık analizi gerçekleştirilerek mekânsal görselleştirmeler sunulmuştur.

Araştırma Sahası

Türkiye'nin en faal fay zonlarından biri olan Kuzey Anadolu Fayı, Kastamonu ili Tosya ilçesinden geçerken kent merkezinden de 35 km güneyde bulunmakta ve önemli bir tehdit unsurunu oluşturmaktadır (Özmen, 2011). Kastamonu ilindeki deprem tehdidiyle ilgili sınırlı sayıda çalışmanın bulunması (AFAD, 2021; Özmen, 2011) ve ilin deprem afetine karşı hassas bir konumda olması nedeniyle çalışma alanı olarak Kastamonu ili seçilmiştir. Kastamonu ili Batı Karadeniz Bölümü'nde bulunur (Şekil 1). İlin kuzeyinde Karadeniz, doğu kesiminde Sinop, batıda Bartın ve Karabük, güneyde ise Çankırı ve Çorum illeri bulunmaktadır. Kastamonu ili genel olarak dağlık ve engebelidir. Kuzeyde Küre Dağları silsilesi Karadeniz'in güneyinde bir kuşak halinde doğu-batı doğrultusunda uzanır. Oldukça engebeli bir görünüm arz eden Küre Dağları kütlesi kıyı ile iç kesim arasında önemli bir engel oluşturur. Ayrıca bu dağ silsilesi nedeniyle Karadeniz'den gelen nemli hava kütleleri iç kesimlere zorlukla ulaşır. Bazen yüksek nem taşıyan hava kütlelerinin etkisiyle yoğun yağışlar oluşarak önemli afet olayları (taşkın, sel ve heyelan gibi) ortaya çıkmaktadır (AFAD, 2021).

Kastamonu ilinin coğrafi konumu ve yerel şartları nedeniyle kendisine özel iklim özellikleri bulunur. Denize göre konum, dağların kıyıya göre uzanışı, yükselti farkları bu özellikleri daha da farklılaştırır. Küre Dağları'nın varlığı neticesinde kısa mesafelerde iklim nitelikleri değişir ve mikroklima iklim özellikleri ortaya çıkar (Coşkun, 2021). İklimsel ve topografik niteliklere bağlı olarak meteorolojik afetler ortaya çıkmaktadır. 2021 yılı ağustos ayında meydana gelen sel afeti bunlardan birisidir.

Şekil 1
Çalışma Alanı Konum Haritası.



Meteorolojik afetlerin yanısıra deprem afeti de ilde can ve mal varlıklarına önemli ölçüde tehdit oluşturmaktadır. Kastamonu ilinde depremsellik denilince Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın varlığı ve etkileri akla gelir (AFAD, 2021). Kuzey Anadolu Fayı Doğu Anadolu'da sıkışma ve Batı Anadolu'da genişlemeye sahip tektonik rejimli iki fay sistemi arasında gerilim aktarımını sağlayan sağ yanal doğrultulu bir kıta içi fay sistemidir (Arıkan ve Ertek, 2021). Kuzey Anadolu Fay sistemi Türkiye'nin batısında Biga Yarımadası'ndan başlayarak Gönen, Manyas, Mustafakemalpaşa, Abant Gölü, Bolu güneyi, Yeniçağ, Gerede, Ilgaz ve Tosya kuzeyinden geçerek Kargı boyunca uzanır (Ketin, 1969). Kuzey Anadolu Fay'ı üzerinde bulunan yerleşmelerden 1902 yılında Çankırı'da, 1919 yılında Almus'ta, 1943 Tosya Ladik'te, 1953 yılında Kurşunlu'da gerçekleşen depremler Kastamonu'yu da etkileyerek ağır hasarlara sebep olmuştur (Çelebi, 2021).

Yöntem

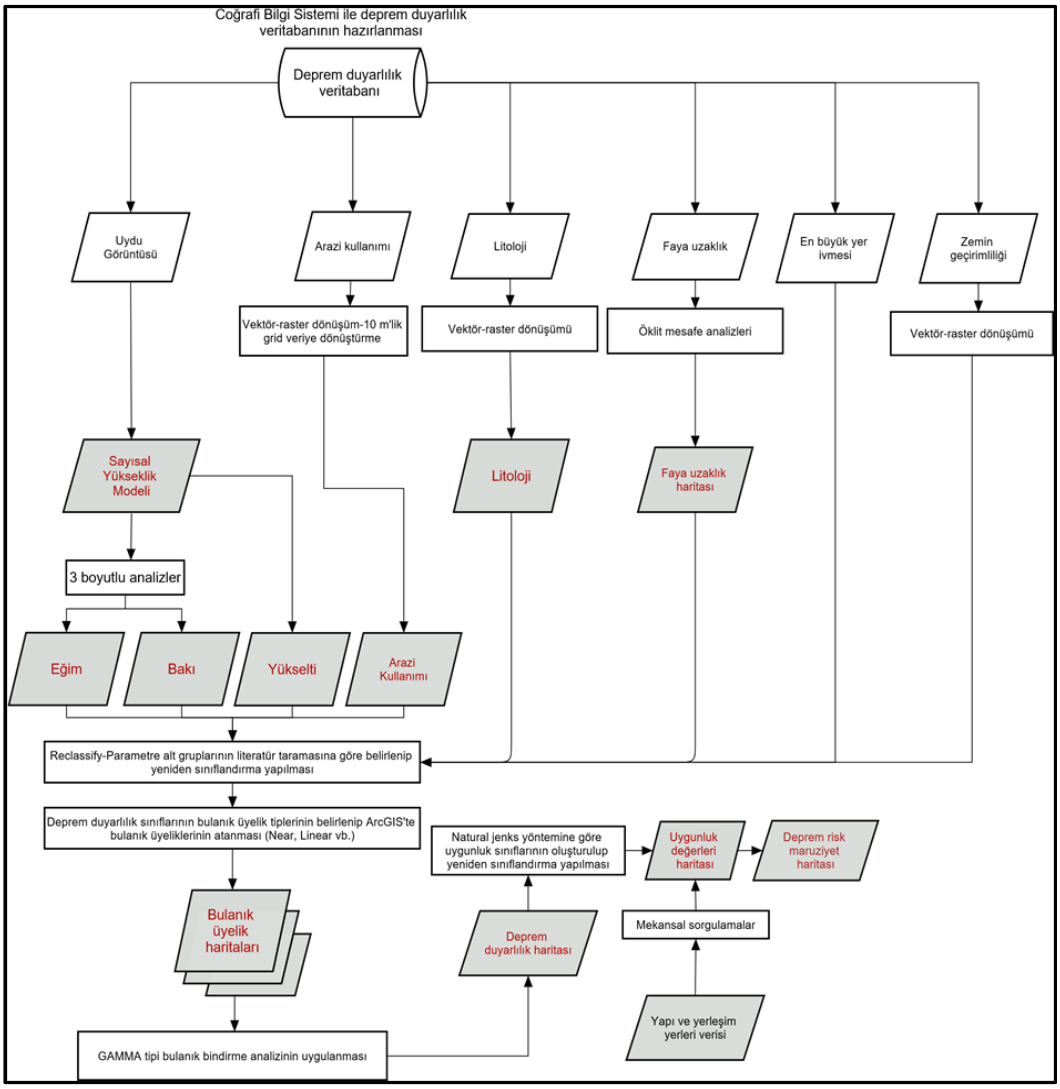
Kastamonu ilinin deprem risk maruziyetinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme analizi, Bulanık mantık ve CBS yöntemleri kullanılmıştır (Şekil 2). Duyarlılık ve risk maruziyet değerlendirmesi birkaç aşamadan oluşur. Bu aşamalardan ilki veri gereksiniminin belirlenmesidir. Sonrasında veri toplama, analiz ve değerlendirme aşamaları gerçekleştirilir. Çalışma sahasının nitelikleri ve literatür bilgilerine göre veri alt

grupları oluşturulur. CBS ve çok kriterli karar verme işlemleriyle birlikte duyarlılık analizi gerçekleştirilir. Nihayetinde risk elemanlarının afet tehlikesine ne derece maruz kaldığı çeşitli mekânsal sorgulamalarla tespit edilir.

Afet risk maruziyeti insanların, yapı unsurlarının, üretim kapasitesinin ve mal varlıklarının afet tehlikesi karşısında zarar görebilir olma durumunu belirtir (UNDRR, 2024). Risk maruziyetinin belirlenmesi için birçok veri türüne ihtiyaç duyulur. Bu veriler arasında risk elemanlarının sayısı, niteliği ve özellikleri gibi unsurlar vardır. Maruziyet analizi ise risk elemanlarının afetler karşısında ne kadar zarar görebilir durumda olduğunun belirlenmesidir (Url-1). Afet tehlikelerinin potansiyel zararlarının analizi için göz önünde bulundurulması gereken en önemli nitelik risk altındaki unsurlardır (risk elemanları). Bu unsurlar: nüfus, bina stoğu, temel tesisler ve kritik altyapı gibi bileşenlerdir (Url-2). Risk maruziyet değerlendirmesi için verilerin ortak bir veritabanında temsili ve en iyi alternatiflerin ortaya konması, alternatiflerin birbirine göre önem derecelerinin belirlenmesi için çok kriterli karar verme analizleri yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Şekil 2

Çalışmada Takip Edilen İş ve İş Akışlarının Şematik Gösterimi.



Çok kriterli karar verme analizleri birçok alanda en iyi alternatif için en iyi çözümü seçer. Çok kriterli karar verme analizlerinden en çok kullanılanlar Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP), TOPSIS, Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (FAHP), ELECTRE ve Grey Teorisi gibi yöntemlerdir (Aruldoss vd., 2013). Bulanık mantık, matematikteki küme teorisine benzer bir şekilde belirli bir gruba ya da niteliğe ait olan veya olmayan şeylerin belirtilmesine dayanan bir metottur. Küme teorisi ise bir şeyin bir kümeye ait olduğunu veya olmadığını kesin olarak belirtir. Örneğin, bir varlık bir kümenin ya içindedir ya da dışındadır. Ara değerler veya kısmi üyelikler bu teoride mümkün değildir. Bunun aksine bulanık mantıkta kısmi üyelikler bulunur (Chen ve Pam, 2001).

Bulanık mantık yöntemi Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilen bir metottur (Zadeh, 1988). Bulanık kümeler insan bilgisini kullanmakta ve temsil etmektedir. Bu yaklaşımda ilk önce üyelik fonksiyon yapısı belirlenir ve verilere bağlı olarak parametrelerin ayarlanması gerçekleştirilir (Zhang ve Liu, 2006). Herhangi bir problemin çözümü için bulanık yöntemi kullanıldığında bulanık

modeller oluşturulur. Bu esnada Üçgen, Yamuk, Gauss Eğrisi, Sinüsoid, Cauchy ve Çan gibi üyelik fonksiyonları kullanılabilir (Altaş, 1999). Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra alt kümelere dayalı olarak kural dizisi ve kural tabanları oluşturulup üyelik atama işlemleri gerçekleştirilir (Ross, 1995). Bulanık üyelikler, keskin bir setin bulanık bir sete ya da bulanık bir setin bulanık kümeye dönüşüm işlemleri olarak tanımlanabilir. Esas olarak bu işlem doğru net giriş değerini dilsel değişkene dönüştürür (Url-3).

Deprem duyarlılık analizinin yapılması için çalışmada faya uzaklık, en büyük yer ivmesi, zemin geçirimliliği, eğim, litoloji ve arazi kullanımı gibi faktörler kullanılmıştır. Bu faktörlerin deprem tehlikesine etkisi şu şekildedir: Deprem dalgalarında meydana gelen değişim topografya etkisiyle ortaya çıkmaktadır (Boore, 2004). Deprem merkezine yaklaştıkça depremin etkisi artar (Karaman ve Erden, 2014). Deprem esnasında yamaç eğiminin fazla olduğu yerlerde bulunan yapılar düşme kuvvetine uğramaktadır. Deprem sırasında eğimi az olan yerlerdeki yapılar iki kuvvet karşısında mücadele ederken, fazla eğimli yerlerdeki yapılar üç kuvvet ile mücadele eder (Ocak ve Bahadır, 2022). Deprem bakımından riskli alanların tespit edilmesinde son zamanlarda kullanılan en önemli etkenlerden birisi maksimum yer ivmesidir. Maksimum yer ivmesi herhangi bir alanda oluşabilecek depremlerde görülecek sismik dalgaların ortaya çıkarabileceği maksimum sarsıntı olarak ifade edilir (Demir ve Altaş, 2024).

Depremlerin etkilerinin azaltılması için yapılaşma sürecinde diri fayların konumları, jeoloji, zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi, binaların deprem merkezine yakınlığı, yeryüzü şekilleri, eğim, en büyük yer ivmesi, akarsuya yakınlığı ve deprem bölge derecelendirmesi gibi faktörler dikkate alınmalıdır (Ocak ve Bahadır, 2022). Bu veriler kullanılarak risk maruziyet değerlendirmesi gerçekleştirilir. Risk maruziyet değerlendirmesi birkaç iş ve işlem adımlarından oluşmaktadır. Bu işlem için öncelikle veri toplama, analiz ve değerlendirme çalışmaları yapılır. Sayısal yükseklik verisinin elde edilmesi, eğim ve bakı gibi veri sınıflarının üretimi bu aşamada yapılır. Arazi yüzeyinin doğru bir şekilde temsili için gereken sayısal yükseklik modeli ne kadar yüksek çözünürlükte elde edilir veya üretilirse, o kadar iyi sonuçlar alınır. Duyarlılık analizi için gerekli olan bir başka veri grubu fay hatları ve özellikleridir. Herhangi bir yerleşim yeri veya yapı grubu fay hatlarına ne kadar yakınsa, deprem riski o kadar artmaktadır. Arazi kullanımı ve litoloji veri grupları da deprem duyarlılığını etkileyen parametrelerdendir. En büyük yer ivmesi (PGA) depremin ortaya çıkardığı etkinin incelenmesinde ve tehlike değerlendirmesinde kullanılır (Bayrak, 2019).

Deprem risklerini etkileyen faktörlerden bir diğeri de zemin sıvılaşması riskidir. Sıvılaşma zeminin niteliğine bağlı bir faktördür. İnce tanenin dağılımı, zemin bileşimi ve su içeriği sıvılaşmada en etkili faktörlerdir (Demirtaş ve Erkmen, 2000). Zemin geçirimliliği depremlerin oluşturduğu hasarların boyutunu etkileyen faktörlerden birisidir. Yeraltı su seviyesi de zemin geçirimliliği ile ilintilidir (Ocak ve Bahadır, 2022). Tektonik hatlar ve faylar karstlaşma açısından uygun sahalarda erimenin hızlanmasını sağlayarak zayıf direnç alanları oluşturmakta ve karstlaşmanın derinlere ulaşmasını sağlamaktadır (Kıranşan, 2022). Yapısal olarak zayıflayan bu alanlardaki sismik titreşimler karstik boşluklar üzerindeki toprak kemerlerin yapısını bozarak ani zemin deformasyonlarına ve obruk çökmelerine sebep olmaktadır (Papadopoulou-Vrynioti vd., 2013; Waltham vd., 2005).

Bulgular

Deprem duyarlılık analizini gerçekleştirmek için çalışmada öncelikle sayısal yükseklik verisi ALOS PALSAR internet sitesinden (https://search.asf.alaska.edu/) 12,5 x 12,5 metre çözünürlükte olacak şekilde indirilmiştir. Bu veri seti eğim, bakı, gölgeli rölyef gibi parametrelerin ve altlıkların elde edilmesinde kullanılmıştır. Arazi kullanımı ESRI LivingAtlas isimli internet sitesinden indirilmiştir. Litoloji veri seti Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) internet sitesinden sayısallaştırma yoluyla elde edilmiştir (https://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx). Risk maruziyetinin hesap edilmesinde yapılara ve insanlara ait veriler kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler ve elde edildiği ortamlar aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1
Deprem Duyarlılık Analizinde Kullanılan Veriler ve Elde Edildiği Ortamlar

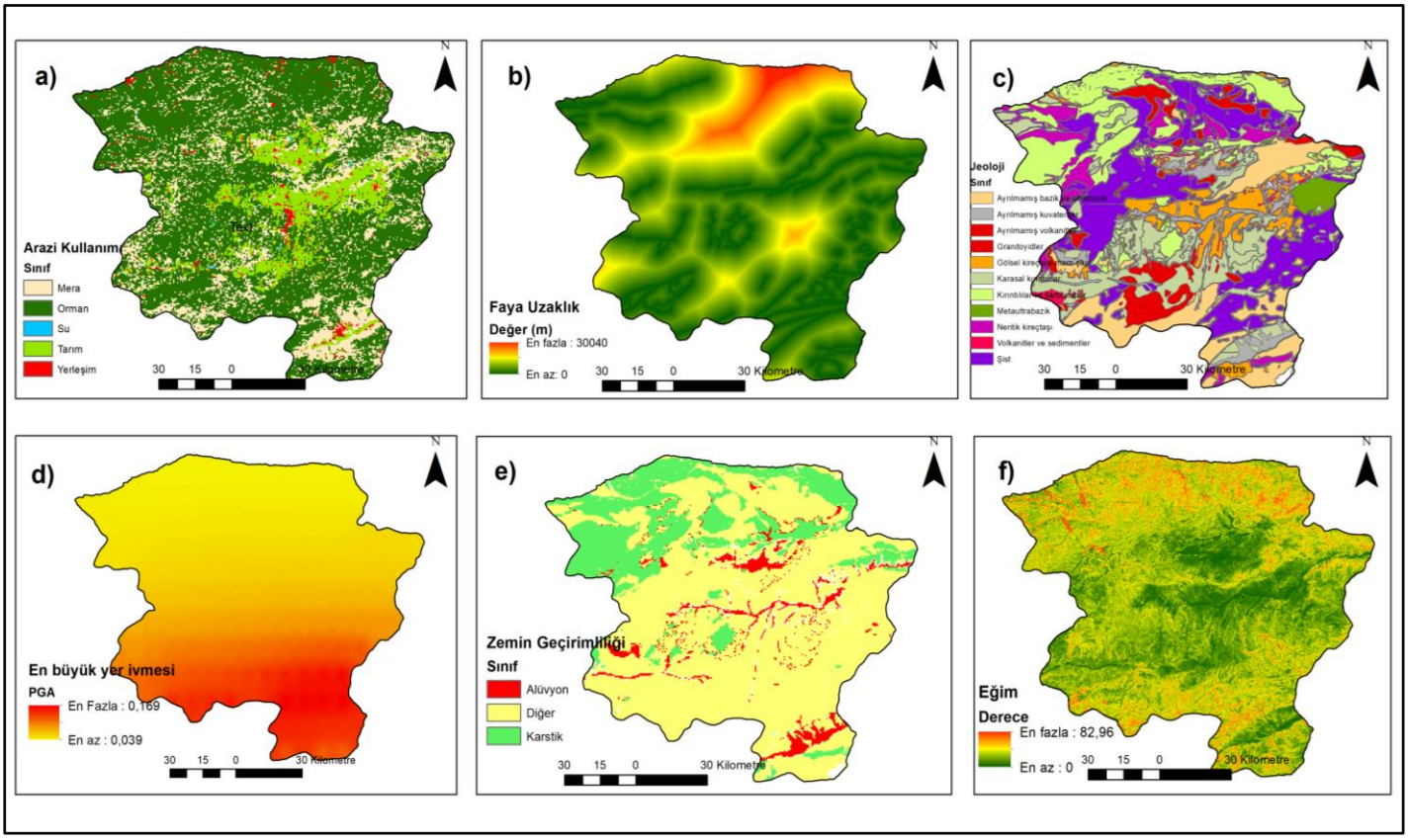
Parametre	Veri tipi	Verinin elde edildiği ortam	Kaynak
Sayısal yükseklik modeli	Raster	ALOS PALSAR	https://search.asf.alaska.edu/#/
Eğim	Raster	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	
Fay hatlarına uzaklık	Vektör	MTA	http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx
Arazi kullanımı	Raster	ESRI Land Cover	https://livingatlas.arcgis.com/landcover/
Litoloji	Vektör	MTA	https://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx
Zemin geçirimlilik	Vektör	Litoloji	
En büyük yer ivme hızı	Excel ortamında oluşturulmuş istasyon verisi (nokta koordinatları ve PGA verileri	AFAD	https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml

Çalışmada duyarlılık değerlerinin üretimi için gerekli olan eğim sınıfı sayısal yükseklik veri modelinden derece olarak üretilmiştir. Jeoloji katmanı MTA yer bilimleri görüntüleyici uygulamasından elde edilerek sayısallaştırılmıştır. Çalışma alanında zemin geçirimliliği veri sınıfının elde edilmesi için kurumlarla temasa geçilmiştir. Ancak kurumların elinde zemin geçirimliliğine dair rapor bulunmadığı için jeoloji katmanındaki sınıflar zemin geçirimliliği sınıflarının üretilmesinde kullanılmıştır. Zemin türü olarak alüvyon, karstik ve diğer olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır.

Faya uzaklık sınıfının elde edilmesi için güncel faylar MTA'nın yer bilimleri görüntüleyicisi (https://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx) internet uygulamasından çizilerek sayısallaştırılmıştır. Çalışma alanında arazi kullanım sınıfları olarak beş farklı ünite bulunmaktadır. Bunlar: Yerleşim, orman, tarım, mera ve su sınıflarıdır. En büyük yer ivmesi (PGA) değerleri AFAD'a ait Türkiye deprem haritaları etkileşimli internet uygulaması kullanılarak türetilmiştir. PGA 475 (g) değerleri ilin güneyinde Kuzey Anadolu Fayı boyunca fazlayken, kuzeye doğru gidilince değerlerde azalmalar ortaya çıkmaktadır. Deprem duyarlılık değerlendirmesi doğruluk analizi için Kastamonu ilinde meydana gelen depremler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nin internet uygulamasından (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/) 1850 yılından günümüze değin tarihsel aralıkları ve depremlerin oluştuğu yerleri konumsal olarak elde edilmiş ve veri tabanına eklenmiştir. Farklı çözünürlükte elde edilen veya üretilen raster veri katmanları duyarlılık değerlendirmesi için 12,5 x 12,5 metre çözünürlükte yeniden örneklendirme yapılarak ortak çözünürlüğe sahip olacak şekilde düzenlenerek parametre haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3).

Şekil 3

Deprem Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametre Haritaları: a) Arazi Kullanımı, b) Faya Uzaklık, c) Jeoloji, d) En Büyük Yer İvmesi, e) Zemin Geçirimliliği, f) Eğim.



Deprem duyarlılığına etki eden parametre haritalarının hazırlanmasından sonra ikili karşılaştırmaların yapılmasında gerekli olan ağırlıklandırma ve normalizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi için Bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bulanık üyeliklerinin atanabilmesi için bulanık üyelik niteliklerinin belirlenmesi gereklidir. Birbirinden farklı 7 tür bulanık üyelik fonksiyonu vardır. Bunlar: Gaussian, Lineer, MS Küçük, MS büyük, Near, Large ve Small gibi türlerdir (Taştan, 2021). Arazi şartları ve veri gruplarının niteliklerine göre faktör üyelik fonksiyonları belirlenmektedir. Faktör üyelik değerlerinin tespitinden sonra bulanık bindirme analizi yapılır. Bulanık mantık bindirme işlemi sırasında farklı matematiksel ve mantıksal operatörler kullanılır (Mitchell, 2012). Fay hatlarına uzaklık, eğim ve en büyük yer ivmesi parametre gruplarıyla deprem tehlikesi arasında doğrusal (Lineer) bir ilişki olduğu düşünülmüş ve buna bağlı olarak lineer üyelik ataması yapılmıştır. Bu veri grubunda diğer veri gruplarından farklı olarak alt sınıfların veri yapısından dolayı oluşturulmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sebeple alt kriter alanında doğrudan veri setindeki en yüksek değer yazılmıştır (Tablo 2). Doğrusal üyelik fonksiyonu yoluyla bulanıklaştırılan veri kümelerinde (faya uzaklık, en büyük yer ivmesi ve eğim) veri değerleri sürekli bir şekilde normalize edildiğinden dolayı yeniden sınıflandırma ihtiyacı duyulmazken, near fonksiyonuna atanan veri gruplarında veri alt sınıflarının birbirinden farklı niteliklere sahip olması nedeniyle (litoloji, arazi kullanımı ve zemin geçirimliliği), her bir alt sınıfa ait üyelik derecelerinin manuel olarak tanımlanması ve kullanıcı kontrollü yeniden sınıflandırma süreci zorunlu hale gelmektedir (Tablo 2).

Litoloji, arazi kullanımı, zemin geçirimliliği gibi veri gruplarının alt sınıfları birbirinden farklı özelliklere sahip olduğu için net bir

üyelik tanımlaması yapılamamaktadır. Bu nedenle literatür araştırmasına göre (Ocak ve Bahadır, 2022; Köroğlu ve Akıncı, 2023; Özşahin, 2014) "Yakın-Near" üyelik fonksiyonu atanmıştır. Her bir veri alt grubunun yeniden sınıflandırma değerleri ve veri gruplarına atanan bulanık üyelikleri belirlenmiş ve üyelik haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4).

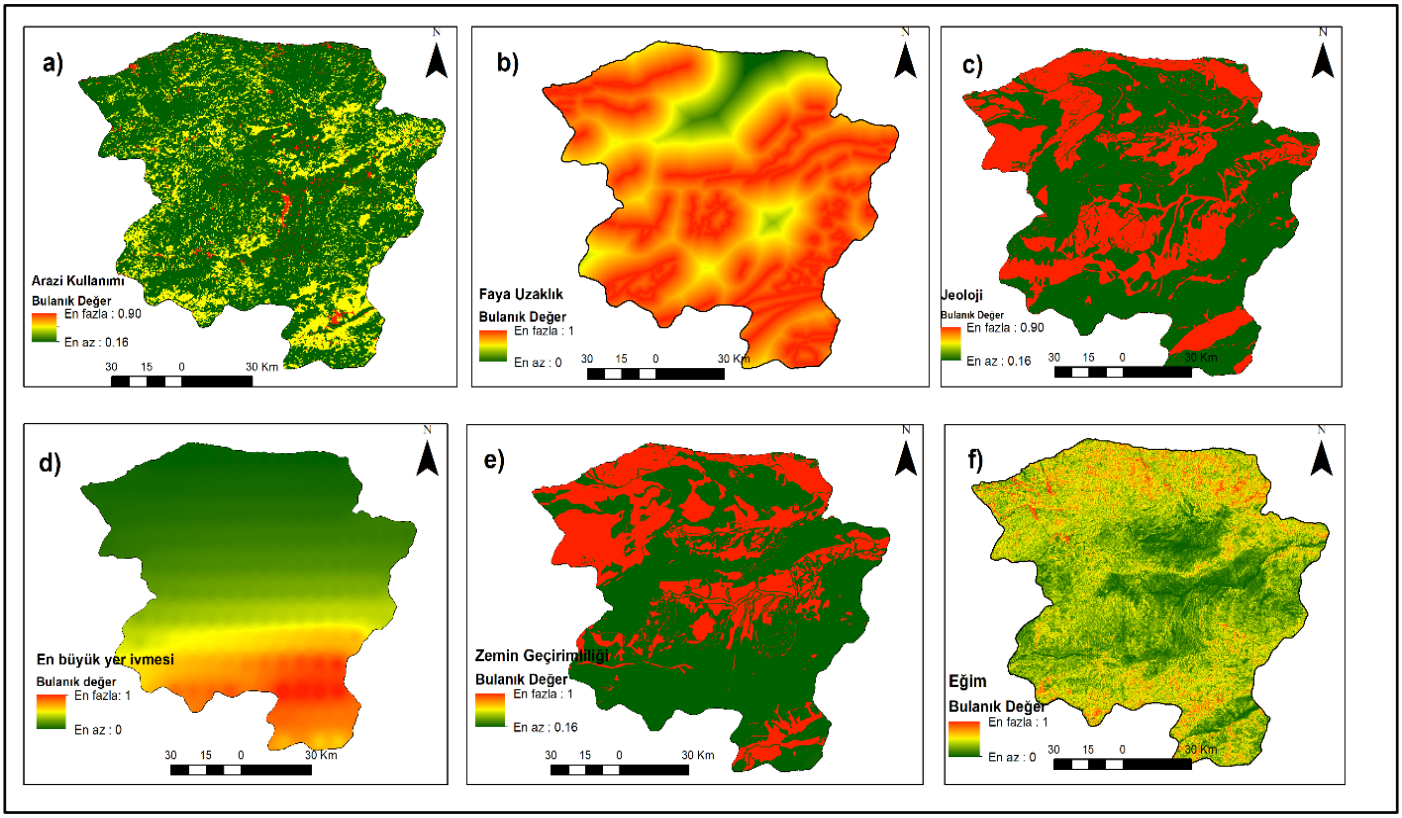
Tablo 2

Deprem Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler ve Alt Gruplarına Atanan Puanlar ve Bulanık Üyelik Tipleri.

Kriter	Alt Kriter	Puan	Kaynak	Üyelik tipleri
Arazi kullanımı	Mera	6	Aydın ve Raja, 2024; Köroğlu ve Akıncı, 2023; Ocak ve Bahadır, 2022; Özşahin, 2014;	Üyelik tipi: Near Midpoint:9 Spread: 0,1
	Yerleşim	8		
	Orman	2		
	Su	10		
	Tarım	2		
Geçirimlilik	Alüvyon	10		
	Karstiik	8		
	Diğer	2		
Litoloji	Granitoyidler	4		Üyelik tipi: Near Midpoint: 7 Spread: 0,1
	Ayrılmamış bazik ve ultrabazik	2		
	Ayrılmamış volkanitler	4		
	Kırıntılılar ve karbonatlar	8		
	Volkanitler ve sedimentler	4		
	Gölsel kireçtaşı marn şeyl	2		
	Metaultrabazik	2		
	Karasal kırıntılılar	8		
	Şist	2		
	Neritik kireçtaşı	2		
	Ayrılmamış kuvaterner	10		
Faya uzaklık	En fazla 29000 m			
En büyük yer ivmesi	En fazla 0,16 (g) En az 0,039 (g)			Üyelik tipi: Linear
Eğim	En fazla: 82 derece			

Şekil 4

Deprem Duyarlılık Analizinde Kullanılan Bulanık Üyelik Haritaları: a) Arazi Kullanımı, b) Faya Uzaklık, c) Jeoloji, d) En Büyük Yer İvmesi, e) Zemin Geçirimliliği, f) Eğim.

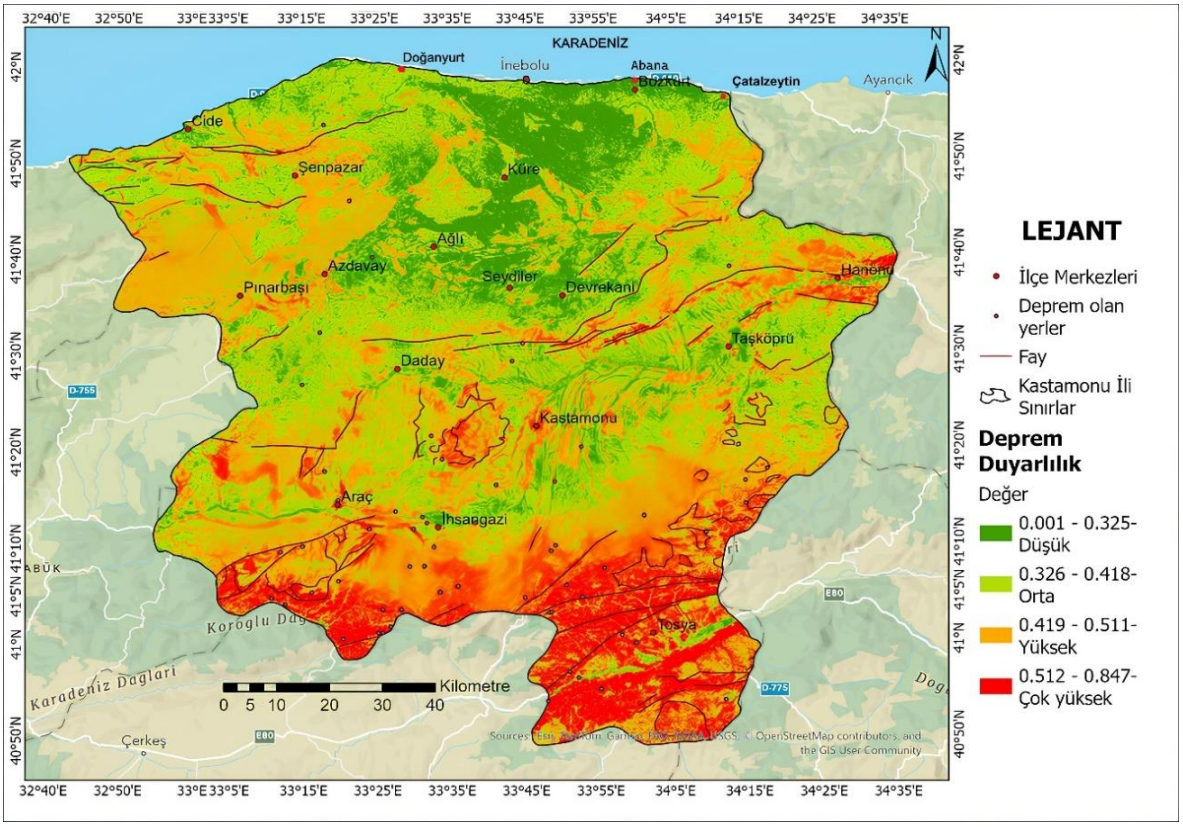


Eğim, arazi kullanımı, faya uzaklık, en büyük yer ivmesi, jeoloji ve zemin geçirimliliği gibi duyarlılık alt sınıflarının bulanık üyelik değerlerinin atanmasından sonra deprem duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi için çakıştırma analizinin yapılması gereklidir. Deprem duyarlılık sınıflarını elde etmek için bulanıklaştırılan duyarlılık parametreleri ArcGIS yazılımında "Spatial Analyst" aracında bulunan GAMMA tipi bulanık bindirme (Fuzzy Overlay) ile durulaştırılmıştır. GAMMA tipi bulanık bindirme analizi bulanık Product ve SUM'ın matematiksel bir ürünüdür.

Bulanık bindirme değeri = fuzzyGammaDeğeri = pow (1- ((1- arg1) * (1- arg2) * ...), Gamma) *pow(arg1 * arg2 * .... 1- Gamma) (1)

formülü kullanılarak hesaplanır. Bulanık GAMMA, bulanık SUM'IN artan etkisi ve PRODUCT'ın azaltıcı arasında bir uzlaşma sağlar (Url-4). En popüler bulanık durulaştırıcı operatörler AND ve OR'dur. OR operatöründe bütün değerlerin en yükseği çıktıyı belirlerken, AND operatöründe minimum değer çıktıyı belirler. Bu yüzden SUM, PRODUCT ve GAMMA operatörleri bulanık üyelik analizlerinde kullanılır (Eitvandi vd., 2022). GAMMA bütünleştirme fonksiyonu farklı niteliklere sahip göstergelerin bütünleştirilmesinde, çoklu kriterlerin birleştirilmesinde en iyi seçeneklerden birini sunar (Araya-Muñoz vd., 2017). Deprem duyarlılık sınıflarının elde edilmesi için GAMMA tipi bulanık bindirme analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı GAMMA değerlerine (0,3, 0,6 ve 0,9) bağlı olarak duyarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Bu tip bindirme analizinde GAMMA değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. GAMMA değeri 1 sonucu Fuzzy SUM ile eşdeğer olmaktadır. Eğer değer 0 ise, Fuzzy Product ile benzer olmaktadır (Url-4). Gerçekleştirilen farklı GAMMA değerlerine ait analizler sonucunda GAMMA 0,9 değerinin en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Duyarlılık analizinde elde edilen sonucun doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi veritabanından 1850 yılından günümüze kadar Kastamonu ilinde meydana gelen depremlerin koordinat bilgileri, büyüklükleri gibi bilgileri ihtiva eden veriler http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/ adresinden indirilmiştir. Bu veriler duyarlılık sonucunun doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla test verisi olarak değerlendirilmiştir. Duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi için ROC eğrisi kullanılmıştır. Bu eğri modelin duyarlılığı (gerçek pozitif oranı), y-eksenine ve 1-spesifiklik (yanlış pozitif oranı) x-eksenine yerleştirilerek oluşturulur (Achour ve Pourghasemi, 2020). ROC (Relative Operating Characteristic) eğrileri model performansının testi için birçok alanda uygulanmaktadır (Şahin, 2018). Var olan bir durumla yok olan bir durumu gösteren mantıksal (Boolean) harita ile olasılık haritasını karşılaştırmak amacıyla kullanılır. ROC değeri 1 mükemmel uyumu, 0,5 ise rastgele tesadüfi uyumu temsil eder (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Elde edilen deprem duyarlılık değer haritası aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5).

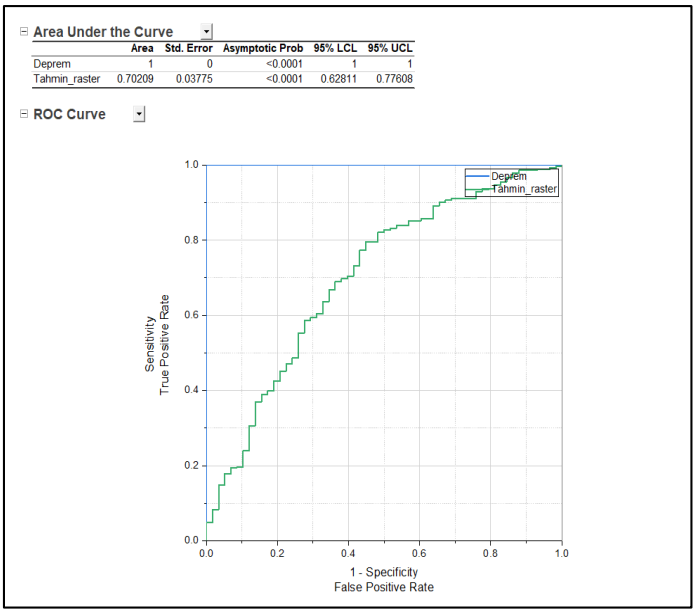
Şekil 5
Deprem Duyarlılık Haritası.



Doğruluk değerlendirmesi için üretilen deprem duyarlılık haritasında yüksek ve çok yüksek sınıflarıyla deprem envanterinin çakıştırılması sonucu test edilen 0,3, 0,6 ve 0,9 GAMMA değerleri arasından en iyi duyarlılık sonucunun 0,702 olarak GAMMA 0,9 değerinin verdiği tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizle elde edilen ROC Curve grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Elde edilen bu değer orta düzeyde doğruluk değerine karşılık gelmekte ve kabul edilebilir düzeydedir (Ceylan Demirel ve Hastaoğlu, 2022; Mandrekar, 2010). İstatistik analizinden elde edilen p değeri $p <$,01'dir. Bu değer göz önüne alındığında, bu analizin iyi bir ayrım gücüne sahip olduğunu göstermektedir (Mandrekar, 2010).

Şekil 6

Deprem Duyarlılık Analizi Doğruluk Değerlendirmesi İçin Kullanılan ROC Eğrisi ve AUC Değeri



Deprem duyarlılık değerlerinin il genelinde nasıl dağıldığının belirlenmesi amacıyla, deprem duyarlılık sınıfları doğal aralıklı sınıflandırma (Natural Jenks) yöntemiyle 4 sınıf halinde (Düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) yeniden sınıflandırılarak duyarlılık raster veri setinde hangi sınıflarda ne kadar pikselin bulunduğu belirlenmiştir. Buna göre Kastamonu ilinin yüzölçümünün %15'inin düşük, %35'inin orta, %35'inin yüksek ve %15'inin çok yüksek deprem duyarlılığına sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Bu sonuçlara göre il yüzölçümünün yarısının deprem duyarlılığının yüksek ve çok yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Daha kuzeyde yer almasına rağmen, Azdavay, Pınarbaşı, Şenpazar gibi yerleşim yerlerinde deprem duyarlılık değerleri yüksektir. Taşköprü, Hanönü gibi yerleşim merkezlerinde de benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu durum deprem duyarlılığını etkileyen başka faktörlerin varlığından kaynaklanmaktadır. İlde bulunan ilçe ve köy yerleşim merkezlerinin deprem duyarlılığının belirlenmesi amacıyla konumsal sorgulamalarla her bir yerleşim merkezinin hangi duyarlılık sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan konumsal sorgulamalara göre İlçe merkezlerinden Bozkurt, Çatalzeytin, Abana, Cide, Küre, Ağlı ve Devrekani'nin düşük derece deprem duyarlılığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Daday, Şenpazar, Pınarbaşı, Doğanyurt ve Seydiler ilçe merkezlerinin orta düzeyde; Tosya, İhsangazi, Araç, Kastamonu Merkez, Taşköprü, Hanönü ve Azdavay gibi ilçe merkezlerinin yüksek ve çok yüksek deprem duyarlılığına sahip alanda bulunduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre 7 tane ilçe yerleşim biriminin deprem duyarlılığı yüksektir. Deprem duyarlılığının coğrafi dağılımına bakıldığında; deprem bakımından duyarlı olan alanlar daha çok ilin güneyinde bulunmaktadır. Kuzeye doğru gidildikçe deprem duyarlılık değerlerinde azalmalar ortaya çıkmakta, ancak yerel coğrafi faktörlerle beraber kesintiye uğramaktadır. İl yüzölçümünün yarısı depreme karşı yüksek ve çok yüksek duyarlılık derecesine sahiptir. Bu alanlar genel olarak Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın geçtiği ve sismik ivmenin en fazla olduğu güney kesimde (Tosya, İhsangazi, Araç, Kastamonu merkez) yoğunlaşmaktadır. Orta ve düşük duyarlı sahalar ise il yüzölçümünün yarısını oluşturmaktadır.

Tablo 3

Kastamonu İli Deprem Duyarlılık Analizinin Coğrafi Dağılımı ve Nedenleri

Duyarlılık Sınıfı	Yüzölçümü Oranı (%)	İlçe Merkezleri	Jeolojik ve Tektonik nedenler
Yüksek ve Çok Yüksek	%50	Tosya, İhsangazi, Araç, Kastamonu Merkez, Taşköprü, Hanönü, Azdavay	KAF Hattına yakınlık Maksimum PGA (0.16g), gevşek Zemin, kuvaterner birimler, vadi tabanlarına sahip olunması
Orta	%35	Daday, Şenpazar, Pınarbaşı, Seydiler, Doğanyurt	Orta derecede eğim ve faya uzaklık
Düşük	%15	Bozkurt, Abana, Cide, Küre, Çatalzeytin, Ağlı, Devrekani	Masif yapıdaki arazi varlığı,metamorfik/magmatik kayaçlar, Faya uzaklık, Düşük PGA değerleri

Bulgulara bağlı olarak Kastamonu ilinde deprem duyarlılığı sadece fay hattına yakınlıkla açıklanamamaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyon zeminler ve karstik yapıya sahip kuzey kesimlerde bile yerel risk alanlarının ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Bu durum Azdavay ve Pınarbaşı gibi yerleşim alanlarında kentsel planlama yapılırken sismik aktivite yanında zemin özelliklerine de önem verilmesi gerektiğini göstermektedir. Küre ve çevresinde magmatik/metamorfik birimlerin yaygın olduğu alanlarda duyarlılık değerlerinin düşük çıkması sağlam ve sert kütleli masif kayaçların varlığına ve fay hatlarından uzaklaşmaya bağlı olarak oluşmuştur. İlde yüksek ve eğimli yamaçların bulunması sismik sarsıntıların tetikleyebileceği heyelan ve kütle hareketleri gibi ikincil afet türlerini de ortaya çıkarabileceğinden, yüksek riske sahip vadi yamaçlarında bulunan yerleşmelerde depreme dayanıklı meskenlerin yapımına önem verilmelidir.

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada; eğim, faya uzaklık, litoloji, zemin geçirimliliği, en büyük yer ivmesi (PGA) ve arazi kullanımı gibi sismik duyarlılığı etkileyen 6 temel parametre üzerinden Kastamonu ili için deprem duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerin gerçekleştirilmesinde çok kriterli karar verme analizlerinde sunduğu esneklik nedeniyle bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. GAMMA durulaştırma yöntemi ise farklı parametrelerin entegre edilmesinde sunduğu kolaylık sebebiyle çakıştırma aşamasında kullanılmıştır. GAMMA fonksiyonu farklı parametrelerin birleştirilmesinde en etkili yaklaşımlardan biri olarak kabul edilmekte (Araya-Muñoz vd., 2017), özellikle Product ve SUM yöntemlerinin avantajlarını birleştirebilen hibrit yapıda olması sayesinde heterojen veri katmanlarının bütünleştirilmesinde daha fazla doğruluk sunmaktadır (Mitchell, 2012; Url-4). Bu kapsamda çalışmada, deprem duyarlılık değerlerinin belirlenmesi için farklı GAMMA değerleri 0,3, 0,6 ve 0,9 test edilmiştir. Analiz sonucuna duyarlılık kestirim gücünün en fazla GAMMA 0,9 değerine ait olduğu tespit edilmiştir. Bu değerin yüksek duyarlılık sınıflarını daha iyi şekilde belirtme, bulanık mantık durulaştırma ve belirsizliklerin azaltılması kapsamında literatürdeki benzer çalışmalarla (Anbalagan vd., 2015; Lee, 2007; Ray vd., 2026; Surtani vd., 2024) paralellik göstermekte ve GAMMA 0,9 değeri düşük değerlere kıyasla parametrelerin birleşik etkisini daha iyi yansıtmaktadır.

Analiz sonucunda elde edilen deprem duyarlılık değerleri doğal kırılmalar (Natural Jenks) yöntemiyle dört farklı sınıfa ayrılarak raster veri seti üzerinde piksel temelli konumsal sorgulamalar vasıtasıyla her bir duyarlılık sınıfının alansal dağılımı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuca göre Kastamonu ilinin yüzölçümünün %15'i düşük, %35'i orta, %35'i yüksek ve %15'i çok yüksek deprem duyarlılığına sahiptir. İl topraklarının yarısında deprem duyarlılığının fazla olması dikkat çekici bir bulgudur. Duyarlılık değerlerinin gösterdiği bu dağılış bölgedeki tektonik aktivitenin bir göstergesi, Kuzey Anadolu Fayı'nın ildeki etkisi ve ürettiği yüksek yer ivmesi değerleriyle ilişkilidir (AFAD, 2021; Özmen, 2011).

Deprem duyarlılığının coğrafi dağılımına bakıldığında, deprem duyarlılığı yüksek olan alanlar ilin güneyinde yoğunlaşmaktadır. Bu durumun oluşmasında daha çok Kuzey Anadolu Fayı'nın varlığı etkilidir. Kuzey kesimde ve doğuda fay hatlarının ve jeolojinin etkisiyle duyarlılık değerleri yükselmektedir. İlçe merkezlerinin ne derece deprem duyarlılığına sahip olduğunun belirlenmesi amacıyla "Extract Values to Points" aracıyla yeniden sınıflandırılan deprem duyarlılık değerleri haritasında her bir yerleşim merkezinin hangi duyarlılık sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre Bozkurt, Çatalzeytin, Abana, Cide, Küre, Ağlı ve Devrekani gibi ilçe merkezleri düşük düzeyde deprem duyarlılığına sahipken; Daday, Pınarbaşı, Doğanyurt, Seydiler ve Şenpazar ilçe merkezleri orta düzeyde; Tosya, İhsangazi, Araç, Kastamonu, Taşköprü, Hanönü ve Azdavay gibi ilçe merkezleri yüksek ve çok yüksek deprem duyarlılığına sahiptir. Elde edilen bu sonuçlar AFAD tarafından üretilen Türkiye Deprem Tehlike Haritası verileriyle, literatür bulgularıyla ve ildeki tarihi deprem kayıtlarıyla benzerlik göstermektedir (AFAD, 2018; AFAD, 2021; Bayrak vd., 2011; Çelebi, 2021; Özmen, 2011; Öztürk, 2017).

Deprem duyarlılık analizi sonucunun doğruluğunun değerlendirilmesi için Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nden elde edilen uzun yıllara dayanan deprem kayıtları kullanılmıştır. 1850 yılından günümüze değin ilde gerçekleşen 59 adet depremin koordinat ve büyüklük bilgileri veritabanına aktarılarak istatistiksel analiz için veri sağlanmıştır. Yapılan çalışmada ROC analizi istatistik tekniği kullanılmıştır. Elde edilen sonuca göre eğri altındaki değer 0,702 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen AUC değeri ve $p < ,01$ anlamlılık düzeyi, modelin deprem alanlarını ayırt etme hususunda iyi bir ayrım gücü olduğunu ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunduğunu göstermektedir (Mandrekar, 2010; Yesilnacar ve Topal, 2005). Birbirinden farklı 6 faktör kullanılarak gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçlarının deprem kayıtlarıyla uyuştuğu ve analiz modelinin karmaşık topografyada başarıyla çalıştığı ROC ve AUC değerlerinden anlaşılmaktadır. Çalışma bulanık mantık yönteminin karmaşık sismolojik verileri anlamlandırmadaki pratik gücünü ortaya çıkarmış ve esnek ve güvenilir bir modelleme sunduğunu göstermiştir. Analiz bulgularına göre Tosya, İhsangazi, Araç, Kastamonu, Taşköprü, Hanönü ve Azdavay ilçelerinde deprem duyarlılık değerleri yüksektir. Yüksek duyarlılık değerleri yerleşim yerlerinin sadece fay hatlarına yakın olma gibi durumlarıyla değil, aynı zamanda zemin-yapı arasındaki etkileşimi doğrudan etkileyen jeolojik birimlerle de alakalıdır (Eroğlu ve İpek, 2023).

Alüvyon tabanlı alanlarda kurulmuş yerleşim merkezlerinde deprem sarsıntısı sırasında zeminin taşıma kapasitesinin ortadan kalkması şeklinde tanımlanan zemin sıvılaşması kritik bir boyutta bulunmaktadır. Kil içeriği düşük kum, silt ve çakıl ağırlıklı zeminlerin sıvılaşma potansiyeli yüksektir (Alpaslan, 2013). Bu kapsamda deprem duyarlılığı yüksek olan yerlerdeki yapılaşma baskısı, gerçekleşebilecek deprem zararlarının daha fazla artmasına neden olabilecektir (Gücek vd., 2023). Sonuçta, Kuzey Anadolu Fay Hattı boyunca konumlandırılmış Tosya ve İhsangazi gibi yerleşim merkezlerinden başlayarak ilde bulunan yapı stokları zemin sıvılaşma potansiyeline göre risk durumları bakımından sınıflandırılarak kentsel gelişim ve imar planları mikro bölgeleme çalışmaları kapsamında yenilenmelidir.

Kastamonu ili geneli için gerçekleştirilen deprem duyarlılık analizi risk maruziyetinin belirlenmesi için yapı risk envanterinin yeterli olmadığı belirlenmiştir. Risk envanteri için yerleşim merkezlerinde bulunan yapılara ait öz nitelik verilerinin (yapım yılı, kat sayısı, kullanım durumu, yapı türü) entegrasyonu gereklidir. Kastamonu iline ait henüz risk envanteri dijital altyapısının oluşturulmaması, kapsamlı risk maruziyet analizinin yapılmasını sınırlamış ve çalışmanın en önemli kısıtlamalarından birini oluşturmuştur. Literatürde binaların yapısal yetersizliklerinin 2000 öncesi yapılarda daha fazla olduğu ve işçilik kalitesiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Yakut ve Binici, 2023). Buna karşın, yerel olarak bu verilerin elde edilememesi afet risk azaltma ve planlama süreçlerinde önemli bir eksiklik göstermektedir. Bu kapsamda deprem risk azaltma faaliyetleriyle ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının deprem yapı risk envanterlerine ait detaylı bilgileri ivedi olarak oluşturması, etkili afet yönetimi ve zarar azaltma çalışmaları için kritik önem taşımaktadır.

Altı farklı duyarlılık faktörünün çakıştırılmasıyla elde edilen analiz sonuçları, Kastamonu ilinin deprem afetine karşı yüksek maruziyet oranına sahip olduğunu göstermektedir. İlde sismik açıdan hassas alanlar temelde güney kesimlerde fazlalaşmaktadır. Bu durumun temel gerekçesi KAF'a yakınlıktır. Bununla beraber KAF'tan uzaklaşmaya rağmen kuzeyde bulunan bazı yerleşim birimlerinde de diri fayların varlığı sebebiyle deprem duyarlılıkları ve risk maruziyetleri fazlalaşmaktadır. Mikro bölgeleme, öncelikle deprem olmak üzere doğal afetlerin etkilerinin belirlenip zararlarının azaltılmasına dayanak olan çalışmaları kapsar. Yerel zemindeki tepki, yamaçtaki duraylılık ve sıvılaşma gibi konular hesap edilir (Şahin, 2019). Bu doğrultuda ana fay hatlarına uzak olup, zemin niteliği bakımından gevşek malzemeye sahip olan alanlarda deprem riskinin düşük çıkabileceği varsayımının yanıltıcı olabileceği bilinmelidir. Dolayısıyla kentsel alanlarda zemin büyütmesi ve sıvılaşması gibi mikro etmenleri kapsayan kentsel mikro bölgeleme çalışmaları hayati öneme sahiptir. KAF gibi büyük sismik kaynaklardan uzak yerleşimlerde dahi alüvyal zeminlerde ve eğimli yamaçlar üzerinde yapılacak imar planlarında, arazi kullanım çalışmalarında ve kentsel dönüşüm modellerinde yerel mikro bölgeleme verileri zorunlu olarak çalışmalara entegre edilmeli ve sürdürülebilir afet zarar azaltma çalışmalarının temelini oluşturmalıdır.

Bulanık mantık yöntemiyle; fay hatlarına uzaklık, eğim, litoloji ve en büyük yer ivmesi gibi parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar hem metodolojik açıdan hem de sonuçların mekânsal dağılımı bakımından literatürdeki benzer çalışmalarla büyük oranda uyum sergilemektedir (AFAD, 2021; Bayrak vd., 2011; Özmen, 2011). Çalışmada Tosya ve Kastamonu merkezleri gibi vadi tabanlarında kurulu zayıf zeminli yerlerde deprem duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Lâdik Gölü Havzası'nda Ocak ve Bahadır (2022), Elâzığ kentinde Palutoğlu ve Tanyolu (2006), Erzincan çevresinde Özşahin ve Eroğlu (2019) ve Pektezel'in (2015) Gelibolu Yarımadası'nda gerçekleştirdikleri çalışmalarla örtüşmekte, özellikle kuvaterner yaşlı alüvyal dolgu alanlarının deprem sırasında zemin hasarını doğrudan artırabileceğini vurgulamaları bakımından benzerlik taşımaktadır.

Çalışma CBS, çok kriterli karar verme ve bulanık mantık yöntemlerinin deprem duyarlılık analizinin yapılmasında ve yüksek doğruluk oranı verebilmesi bakımından başka çalışmalarda kullanılabileceğini göstermektedir. Kastamonu ilinde gelecekte hasar oluşturabilecek depremlerin Kuzey Anadolu Fay Hattı'na bağlı olarak oluşma olasılığının yüksek olduğu birtakım çalışmalarda belirtilmiştir (AFAD, 2021; Dirik, 2004; Özmen, 2011). Buna karşın, bu çalışmalarda depremin oluşumunu etkileyen farklı parametreler ele alınarak duyarlılık analizi yapılmamış ve deprem duyarlılığının mekânsal dağılışı ortaya konmamıştır. Literatürdeki önceki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada bulanık mantık ve çok kriterli karar verme analizlerinin kullanılması keskin sınırlara sahip sınıflar arasındaki geçişlerin daha kolay yapılabilmesine olanak sağlayarak belirsizliklerin minimize edilmesini sağlamıştır. Böylelikle çalışma sismik aktiviteler yanında topografik ve litolojik faktörlerin ele alınması bakımından bölge özelinde gerçekleştirilen kapsamlı mekânsal analiz özelliğini taşımaktadır.

Deprem afeti Türkiye'de en çok can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. 2023 yılında Kahramanmaraş'ta meydana gelen depremler yerleşim yerlerinin zemin özelliklerinin yapı güvenliği üzerindeki rolünü net bir şekilde ortaya koymuştur. Bu bağlamda yapılaşmaların sağlam zeminli yerlerde kurulması çok büyük öneme sahiptir. Yapı stokları bu kapsamda güçlendirilmeli veya yeniden inşa edilmelidir (Özşahin ve Eroğlu, 2019).

Depremlerin ortaya çıkardığı hasarlar, deprem sırası veya sonrasında gelişen ikincil veya tetikleyici tehlikeler nedeniyle artmaktadır (Daniell vd., 2017; Marano vd., 2010). İl genelinde yapılacak deprem çalışmalarında depremin tetikleyebileceği ikincil tehlike türevlerine de ağırlık verilmeli ve bütünleşik zarar görebilirlik indeksleri üretilmelidir.

Halkın deprem karşısındaki bilinç düzeyi deprem dolayısıyla ortaya çıkan zararları etkileyebilmektedir (Barua vd., 2020; Seyitoğlu, 2024). Bu kapsamda toplumun deprem afetine karşı koyabilmesi için deprem tatbikatları ve kırılgan gruplara özel destek planları sağlanmalıdır. Taşköprü, Merkez ilçesi ve Tosya gibi vadi tabanlarında kurulu ve alüvyal dolgu zeminine sahip alanlarda zemin büyütmesi ve sıvılaşma potansiyeli yüksek olduğu için zemin sıvılaşma etütleri zorunlu hale getirilmelidir. KAF'a yakın olan Tosya, İhsangazi ve Araç ilçelerinde fay sakınım bölgeleri oluşturularak imar planlarına işlenmeli, riskli yapılar tespit edilmeli ve kritik tesisler bu alanlardan uzaklaştırılmalıdır. Altyapı unsurları, ulaşım ağları ve doğal gaz boruları da sıvılaşma kaynaklı oluşabilecek deformasyonlar kapsamında incelenmelidir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Yapay Zekâ Kullanımı: Yazar, bu çalışmada yapay zekâ destekli herhangi bir uygulama kullanılmadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The author have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The author declared that this study has received no financial support.

Use of Artificial Intelligence: The author state that no artificial intelligence-powered applications were used in this study.

Kaynaklar

Achour, Y., & Pourghasemi, H. R. (2020). How do machine learning techniques help in increasing accuracy of landslide susceptibility maps? *Geoscience Frontiers*, *11*(3), 871-883. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.10.001.

AFAD. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif web uygulaması (TDTH), T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara, 29 Nisan 2026 tarihinde https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml adresinden erişildi.

AFAD. (2021). İl afet risk azaltma planı. https://kastamonu.afad.gov.tr/kurumlar/kastamonu.afad/irap/IRAP-KASTAMONU-2021.pdf. Erişim tarihi: 06.06.2025

Alpaslan, N. (2013). Zemin sıvılaşması ve mekanizması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, *3*(2), 67-89. https://izlik.org/JA84MM33FM

Altaş, İ.H. (1999). Bulanık mantık: Bulanıklılık kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik*-3e. *62*, 80-85.

Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S., & Neethu, S. (2015). Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, *2*(1), 6. (pp. 1-17). DOI 10.1186/s40677-014-0009-y

Araya-Muñoz, D., Metzger, M. J., Stuart, N., Wilson, A.M.W., Carjaval, D. (2017). A spatial fuzzy logic approach to urban multi-hazard impact assessment in Concepcion, Chile. *Science of the Total Environment.* Volume 576. (pp. 508-519). https: // doi.org / 10.1016 / j.scitotenv.2016.10.077

Arıkan, M., & Ertek, T. (2021). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Tosya-Kargı-Kâmil arasındaki kesiminde akarsu havzalarının rölatif tektonik aktivite düzeylerinin jeomorfometrik yöntemlerle belirlenmesi. *Journal of Geography* (42), 211-228. https://doi.org/10.26650/JGEOG2021-854016

Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., & Venkatesan, V. P. (2013). A survey on multi-criteria decision-making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, *1*(1), 31-43. DOI:10.12691/ajis-1-1-5

Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, *65*(1-2), 15-31. 10.1016/j.geomorph.2004.06.010

Aydın, O., & Raja, N. (2024). Bulanık Mantık Yöntemiyle Sera Gölü Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. *Afet ve Risk Dergisi*, *7*(2), 441-456. https://doi.org/10.35341/afet.1439973

Barua, U., Mannan, S., Islam, I., Akther, M. S., Islam, M. A., Akter, T., ... & Ansary, M. A. (2020). People's awareness, knowledge and perception influencing earthquake vulnerability of a community: A study on Ward no. 14, Mymensingh Municipality, Bangladesh. *Natural Hazards*, *103*(1), 1121-1181. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04028-2

Bayrak, Y., Çınar, H., & Bayrak, E. (2011). *The North Anatolian Fault Zone: an evaluation of earthquake hazard parameters*. In: Schattner U (ed) New frontiers in tectonic research. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, pp 269–288

Bayrak, E. (2019). Doğu Anadolu Bölgesi için en büyük yer ivmesi tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (17), 676-681. https://doi.org/10.31590/ejosat.637938.https://doi.org/10.31590/ejosat.637938

Bizimana, H. (2016). *Taşkın risk bölgelerinin ağırlık fonksiyonu ve bulanık mantık tabanlı coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak elde edilmesi*. [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Boore, D.M. (2004). Can site response be predicted? *Journal of Earthquake Engineering* 8 (Special Issue 1): 1–41. https://doi.org/10.1142/S1363246904001651

Ceylan Demirel, Ş., & Hastaoğlu, K. Ö. (2022). CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak oluşturulan Sivas Koyulhisar heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğinin araştırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 5 (2), 715–730. DOI 10.35341/afet.1071728

Chen, G., Pham, T. (2001). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. Boca Raton: CRC Press.

Coşkun, S. (2021). Küre Dağları'nın Kastamonu iklimi üzerindeki etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (77), 37-52. https://doi.org/10.17211/tcd.833701

Çelebi, E. (2021). Büyük hareket: 26 Kasım 1943 tarihli Tosya-Lâdik Depremi'nin Kastamonu merkez ve Tosya ilçesindeki etkileri üzerine bir değerlendirme. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Karatekin Edebiyat Fakültesi Dergisi*, *9*(1), 42-64. https://izlik.org/JA38WT82ER

Daniell, J. E., Schaefer, A. M., & Wenzel, F. (2017). Losses associated with secondary effects in earthquakes. *Frontiers in Built Environment*, *3*, 30. DOI: 10.3389/fbuil.2017.00030

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

Demirtaş, R. ve Erkmen, C. (2000). *Deprem ve jeoloji*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.

Derinpınar, M. A. (2014). *Bulanık mantık ile coğrafi bilgi teknolojilerini kullanarak taşınmaz değerlemesi: Sarıyer-İstanbul örneği* (Tez No: 392918). [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü]. YÖK Tez Merkezi.

Ergünay, O. (2007). *Türkiye'nin afet profili*. TMMOB Afet Sempozyumu (s. 1-14). TMMOB.

Dirik, K. (2004). Kastamonu ili ve civarının depremselliği. *KASYÖDER Kültür Dergisi,* 2, 17, 19-21.

Eitvandi, N., Sarikhani, R., & Derikvand, S. (2022). Landslide susceptibility mapping by integrating analytical hierarchy process, frequency ratio, and fuzzy gamma operator models, case study: North of Lorestan Province, Iran. *Environmental monitoring and assessment,* 194(9), 600. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10206-5

Eroğlu, İ., & İpek, C. (2023). Deprem yükleri altında yapı ve zemin etkileşimi. *International Journal of New Horizons in the Sciences*, 18-27. https://doi.org/10.5281/zenodo.8200563

Gohil, M., Mehta, D., & Shaikh, M. (2024). An integration of geospatial and fuzzy-logic techniques for multi-hazard mapping. *Results in Engineering,* 21, 101758. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101758

Gücek, S., Afacan, K. B., & Zorluer, İ. (2023). 6 Şubat 2023 depremleri sonrası zemin büyütmesi ve sıvılaşma gerçeği: Antakya, Gölbaşı, Türkoğlu örnekleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *23*(3), 740-752. https://doi.org/10.35414/akufemubid.1298648

Kadıoğlu, M. (2008). Modern bütünleşik afet yönetiminin temel ilkeleri. (Ed.: E. M. Kadıoğlu ve E. Özdamar) içinde, Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri. Ankara: JICA Türkiye Ofisi Yay.

Kainz, W. (2007). *Fuzzy logic and GIS*. Vienna: University of Vienna.

Karaman, H., & Erden, T. (2014). Net earthquake hazard and elements at risk (NEaR) map creation for city of Istanbul via spatial multi-criteria decision analysis. *Natural Hazards*, 1-25. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1099-2

Karamanoğlu, M., & Ulay, G. (2017). Deprem Riski Yüksek Bölgelerde İç Mekân Düzenlemelerinin İncelenmesi (Tosya Örneği). *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17*(1), 186-193. Doi: 10.17475/kastorman. 297200

Ketin, İ. (1969). Kuzey Anadolu fayi hakkinda. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 72*(72), 1-27.

Kıranşan, K. (2022). Doğu Anadolu karstik alanı içerisinde oluşum ve gelişiminde tektonizmanın yön verdiği bir saha: Pervari (Siirt) Karstik Platosu. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *10*(3), 1399-1422. https://doi.org/10.18506/anemon.1130651

Kişi, M., Akdemir, E., & Metin, A. (2025). Depremzedelerin perspektifinden sağlık hizmetlerine erişim: 6 Şubat Kahramanmaraş depremi örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, *8*(2), 496-512. https://doi.org/10.35341/afet.1526155

Köroğlu, B., & Akıncı, H. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çok kriterli karar analizi ile Giresun ili Dereli ilçesinin taşkın duyarlılık analizi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, *1*(2), 62-81. https://izlik.org/JA84UY49US

Lee, S. (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, *52*(4), 615-623. DOI 10.1007/s00254-006-0491-y

Lewis, S. M., Fitts, G., Kelly, M. & Dale, L. (2014). Fuzzy logic-based spatial suitability model for drought-tolerant switchgrass in the United States. *Computers and Electronics in Agriculture 103*, 39-47. DOI: 10.1016/j.compag.2014.02.006

Mandrekar, J. N. (2010). Receiver operating characteristic curve in diagnostic test assessment. *Journal of Thoracic Oncology, 5*(9), 1315-1316. https: // doi.org / 10.1097 / JTO.0b013e3181ec173d

Marano, K. D., Wald, D. J., & Allen, T. I. (2010). Global earthquake casualties due to secondary effects: a quantitative analysis for improving rapid loss analyses. *Natural hazards*, *52*(2), 319-328. DOI 10.1007/s11069-009-9372-5

Mitchell, A. (2012). *The Esri guide to GIS analysis volume 3 modeling suitability, movement, and ınteraction*. Redlands, California: Esri Press.

Nikolova, V., & Zlateva, P. (2017). *Assessment of flood vulnerability using fuzzy logic and geographical information systems* (Vol. 501). Springer New York LLC.

Ocak, F., & Bahadır, M. (2022). CBS teknikleri kullanılarak deprem duyarlılık analizi için Analitik Hiyerarşi Prosesi: Samsun Lâdik gölü havzası örneği, Türkiye. *Kesit Akademi Dergisi*, *8*(33), 322-348. DOI: 10.29228/kesit. 64705

Oleng, M., Ozdemir, Z., & Pilakoutas, K. (2024). Co-seismic and rainfall-triggered landslide hazard susceptibility assessment for Uganda derived using fuzzy logic and geospatial modelling techniques. *Natural Hazards*, 1-34. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06744-5

Özmen, B. (2011). Kastamonu ve yakın çevresi için deprem olasılığı tahminleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, *54*(3), 109-122. https://izlik.org/JA65SE53TN

Özşahin, E. (2014). Tekirdağ ilinde coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi süreci kullanarak heyelan duyarlılık analizi. H*UMANITAS-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 2*(03), 167-186.

Özşahin, E., & Eroğlu, İ. (2019). Erzincan kentinde yerel zemin özelliklerinin deprem duyarlılığına etkisi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *5*(1), 41-57. https://doi.org/10.21324/dacd.428012

Öztürk, S. (2017). Kuzey Anadolu Fay Zonu ve civarındaki güncel deprem aktivitesinin bölgesel ve zamana bağlı analizleri. *Yerbilimleri, 38*(2), 193-228. https://izlik.org/JA33YJ68UX.

Palutoğlu, M., & Tanyolu, E. (2006). Elazığ il merkezi yerleşim alanının depremselliği. *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, *18*(4), 577-588.

Papadopoulou-Vrynioti, K., Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Kaviris, G., & Makropoulos, K. (2013). Karst collapse susceptibility mapping considering peak ground acceleration in a rapidly growing urban area. *Engineering Geology*, *158*, 77-88. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.02.009.

Pektezel, H. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Sistemi (AHS) kullanılarak Gelibolu Yarımadası'nda deprem duyarlılık analizi. *The Journal of Academic Social Science Studies*, *6*(36), 179-201. DOI : http: // dx.doi.org / 10.9761 / JASSS2911

Prapanchan, V. N., Indhiya Selvan, V. N., Vignesh, K. S., & Kumar, E. (2024). Geospatial multi-criteria assessment with fuzzy-AHP for landslide susceptibility mapping in almora district, India. In *landslides in the himalayan region: risk assessment and mitigation strategy for sustainable management* (pp. 335-366). Springer Nature Singapore.

Ray, S., Singh, J. S. P., Kumar, R., Sharma, S., & Sarif, M. O. (2026). Remote sensing-based multi-criteria astronomical site suitability mapping in the north west himalayas. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-19. https://doi.org/10.1007/s12524-026-02461-7

Ritchie, H., & Roser, M. (2020). Natural Disasters. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https: //ourworldindata.org/ natural-disasters' [Online Resource]>, 04.011.2024. Erişim tarihi.

Ross, T. J. (1995). *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill. Singapore, 592p.

Seyitoğlu, M. (2024). *Ev hanımlarında deprem farkındalığı algısı.* [Yüksek lisans tezi, Üsküdar Üniversitesi].

Singh, K. B. (2008). *Handbook of disaster management techniques and guidelines*. New Delhi, India: Rajat Publications.

Surtani, S., Nur, H., Tahsya, A., & Prisma, D. R. E. (2024). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio-based fuzzy logic approach in Lima Puluh Kota Regency. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, *8*(2), 31-40.

Şahin, C., & Sipahioğlu, Ş. (2002). *Doğal afetler ve Türkiye*. Gündüz.

Şahin, E. K. (2018). Heyelan duyarlılık haritası için adımsal regresyona dayalı faktör seçme yönteminin etkinliğinin araştırılması. *Harita Dergisi*, *159*, 1-15.

Şahin, Ş. (2019). Microzonation studies and urban transformation in earthquake damage reduction. In İ. Keskin (Ed.), *the proceedings of International Science and Engineering Applications Symposium on Hazards 2019* (pp. 360–368). Karabük University.

Şenol, C. (2020). Türkiye'de depremlerin yerleşme ve demografik yapı üzerindeki etkileri (1927-2020). *USBAD Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi, 2*(4), 620-644. https://doi.org/10.47994/usbad.808881

Taş, İ. (2017). *CBS tabanlı bulanık mantık yöntemi kullanılarak fırtına zararı risk haritasının geliştirilmesi*. [Yüksek lisans tezi]. Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa.

Taştan, B. (2021). *Bütünleşik afet risk maruziyetine yönelik coğrafi veri modelinin belirlenmesi* (Tez No: 478633). [Yayımlanmamış doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü]. YÖK Tez Merkezi.

Taştan, B. & Bozkan, E. Z. (2025). Rüzgâr enerji santrallerinin kuruluş yeri seçiminde cbs, çok kriterli karar verme analizi ve bulanık mantık yönteminin kullanılması: Kastamonu ili örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *30*(1), 172-190. https://doi.org/10.53433/yyufbed.1563665

Türk, A. (2022). Deprem özelinde engelli bireylere duyarlı afet yönetimi modeli. *Afet ve Risk Dergisi*, *5*(1), 61-77. https://doi.org/10.35341/afet.1078869

UNDRR [United Nations Office for Disaster Risk Reduction] (2024). *Sendai Framework terminology on disaster risk reduction*. https://www.undrr.org/terminology/hazard. Erişim tarihi: 08.11.2024.

Url-1. *Exposure*. https://www.preventionweb.net/understanding-disaster-risk/component-risk/exposure. Erişim tarihi: 24.06.2025.

Url-2. *Introduction to exposure, vulnerability and risk assessment*. https://www.cdema.org/virtuallibrary/index.php/charim-hbook/methodology/5-risk-assessment/5-1-introduction. Erişim tarihi: 24.06.2025.

Url-3. *How Fuzzy Membership Works*. https://desktop.arcgis.com/en/ArcMap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm. Erişim tarihi: 24.06.2025.

Url-4. *How fuzzy overlay works*. https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-overlay-works.htm. Erişim tarihi: 24.06.2025.

Wang, Y., & Nanehkaran, Y. A. (2024). GIS-based fuzzy logic technique for mapping landslide susceptibility analyzing in a coastal soft rock zone. *Natural Hazards,* 1-33. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06649-3

Waltham, T., Bell, F. G., & Culshaw, M. G. (2005). *Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction*. Springer Berlin Heidelberg.

Yakut, A., & Binici, B. (2023). Ülkemizde riskli yapıların genel özellikleri ve deprem performansı. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi, 2*(4), 220-237. https://izlik.org/JA95HD35BX

Yalçın, C., & Sabah, L. (2017). CBS tabanlı bulanık mantık ve ahp yöntemleri kullanılarak Çanakkale sanayi işletmelerinin deprem tehlike analizinin oluşturulması. *Anahtar*, 28-34.

Yalçın, C., & Sabah, L. (2018). CBS tabanlı bulanık mantık ve AHP yöntemleri kullanılarak Adıyaman ilçelerinin deprem tehlike analizinin oluşturulması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5*(8), 101-113.

Yesilnacar, E., & Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium-scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, *79*(3-4), 251-266. DOI 10.1016/j.enggeo.2005.02.002

Yildirim, A. K., Kavus, B. Y., Karaca, T. K., Bozbey, İ., & Taskin, A. (2024). A novel seismic vulnerability assessment for the urban roadway by using interval valued fermatean fuzzy analytical hierarchy process. *Natural Hazards, 120,* 13811–13834. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06748-1

Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, *21*(4), 83-93.

Zhang, H., & Liu, D. (2006). *Fuzzy modelling and fuzzy control*. Springer Science & Business Media.