

Determination of Effective Criteria in Earthquake Damage Using the AHP Method

Defne Sanli Sayan ¹ , Mustafa Nuri Dolmaz ¹ , Serpil Gerdan ²

¹ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geophysical Engineering,
32260 Isparta, Türkiye

² Kocaeli University, İzmit Vocational School of Higher Education, Department of Property Protection and Security, 41285
Kocaeli, Türkiye

Keywords

Analytic Hierarchy Process, Criteria, Disaster, Earthquake, Peak Ground Acceleration

Highlights

- * Disaster Management
- * Geostructural and social criteria
- * Important criteria in earthquake disaster risk

Aim

The aim of this study is to evaluate the criteria influencing earthquake damages using the Analytical Hierarchy Process (AHP) and to analyse the most effective criteria as peak ground acceleration (PGA) in Hatay

Location

This study has implemented in Hatay area

Methods

This study utilized the Analytical Hierarchy Process (AHP), a method commonly used in Multi-Criteria Decision-Making (MCDM). The calculations were carried out with the help of Expert Choice software. Afterward, peak ground acceleration (PGA) data were collected and presented as Matlab outputs.

Results

The results show that peak ground acceleration (PGA) and proximity to the fault are two critical parameters contributing to the destruction caused by earthquakes. In Hatay, the combination of high PGA values and close distance to the fault line played a significant role in the city's devastation

Supporting Institutions

The authors declared that this study utilized support data provided by AFAD (Disaster and Emergency Management Authority)

Financial Disclosure:

The authors declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest:

The authors have no conflicts of interest to declare

How to cite:

Sayan D.S., Dolmaz M.N., Gerdan S., 2025. Determination of Effective Criteria in Earthquake Damage Using the AHP Method, Turk Deprem Arastirma Dergisi 7(2), 244-252, DOI:10.46464/tdad.1626422.

Manuscript

Research Article

Received: 24.01.2025

Revised: 28.04.2025

Accepted: 18.05.2025

Printed: 30.08.2025

DOI

10.46464/tdad.1626422



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Defne Sanli Sayan

Email: defnesanlisayan@gmail.com

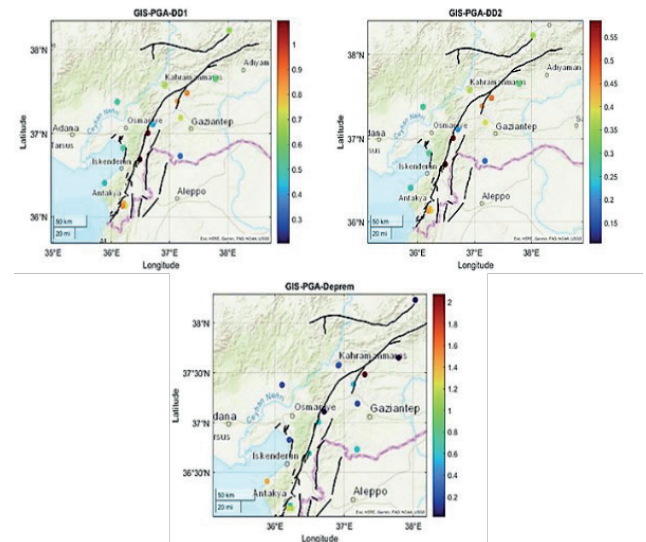


Figure
Matlab outputs. a) Predicted PGA values for DD-1, b) Predicted PGA values for DD-2, c) PGA values during the earthquake

Deprem Hasarında Etkili Olan Kriterlerin AHP Yöntemiyle Belirlenmesi

Defne Sanlı Sayan ¹, Mustafa Nuri Dolmaz ¹, Serpil Gerdan ²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

² Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 41285 Kocaeli, Türkiye

ÖZET

Büyük ölçekli depremler yerleşim alanlarında hasara neden olurlar. Deprem üreten aktif faylara yakın yerleşim alanları, birçok kritere bağlı olarak hasar görmekte ve depremler afete dönüşmektedir. Faya yakınlık ve zemin özellikleri gibi kriterler, depremleri afete dönüştüren unsurlardır. Bu çalışma, bu kriterleri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle değerlendirilerek risk yönetimine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Hasara neden olan bu kriterler, 17 alt kriter şeklinde, jeo yapısal ve sosyal olarak iki ana kriter altında ele alınmıştır. Bu alt kriterler kendi içlerinde AHP yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Jeo yapısal ana kriterde depremin tahribatında anahtar alt kriterler olarak, en yüksek yer ivmesi ve hızı, zemin cinsi ve faya yakınlık olarak belirlenmiştir. Sosyal ana kriterde ise en önemli nüfus yoğunluğudur. Elde edilen en etkili kriterler koordinatlar ve riskli noktalar şeklinde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Afet, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Deprem, En Büyük Yer İvmesi, Kriter

Öne Çıkanlar

- * Afet yönetimi
- * Deprem afet riskinde önemli kriterler
- * Jeo yapısal ve sosyal kriterler

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 24.01.2025

Düzeltilme: 28.04.2025

Kabul: 18.05.2025

Basım: 30.08.2025

DOI

10.46464/tdad.1626422

Sorumlu yazar

Defne Sanlı Sayan

E-posta:

defnesanlisayan@gmail.com

Determination of Effective Criteria in Earthquake Damage Using the AHP Method

Defne Sanli Sayan ¹, Mustafa Nuri Dolmaz ¹, Serpil Gerdan ²

¹ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geophysical Engineering, 32260 Isparta, Türkiye

² Kocaeli University, İzmit Vocational School of Higher Education, Department of Property Protection and Security, 41285 Kocaeli, Türkiye

ABSTRACT

Large-scale earthquakes cause damage in residential areas close to active faults and can turn into disasters depending on many criteria. Criteria such as proximity to the fault and ground properties are the elements that turn earthquakes into disasters. This study aims to contribute to risk management by evaluating these criteria with the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. These criteria that cause damage are addressed under two main criteria as geostructural and social in the form of 17 sub criteria. These sub-criteria are compared among themselves with the AHP method. In the geostructural main criterion, the key sub criteria in the damage of the earthquake are determined as the highest ground acceleration and speed, ground type and proximity to the fault. In the social main criterion, the most important is population density. The most effective criteria obtained are determined as coordinates and risky points.

Keywords

Analytic Hierarchy Process, Criteria, Disaster, Earthquake, Peak Ground Acceleration.

Highlights

- * Disaster Management
- * Geostructural and social criteria
- * Important criteria in earthquake disaster risk

Manuscript

Research Article

Received: 24.01.2025

Revised: 28.04.2025

Accepted: 18.05.2025

Printed: 30.08.2025

DOI

10.46464/tdad.1626422

Corresponding Author

Defne Sanli Sayan

Email:

defnesanlisayan@gmail.com

1. GİRİŞ

Fay hatlarına yakınlık depremin şiddetini artırır. İzoseist hatları fay hatlarını izleyen çıkıntılar meydana getirir (Erinç 2002). Ancak fay hatlarına yakınlığın depremin meydana getirdiği yıkım üzerinde etkisi açısından farklı görüşler mevcuttur. Bazı araştırmacılar fay hatlarına yakın yerlerde yıkımın ve sarsıntının daha fazla olduğunu belirtirken bazı yazarlar faylara yakın bölgelerde depremin çok şiddetli olacağına dair kesin bir kural olmadığını iddia etmektedirler. 1999 depremlerinde bu iddiaları destekleyecek sonuçların olduğu bilinmektedir (Demirtaş ve Erkmen 2000).

Yerel zemin koşulları, depremin etki ve zararlarının dağılımında en önemli etkenlerdendir. Deprem kaynağından aynı uzaklıkta bir bölge, iki farklı zemin yer hareketine, farklı tepkiler gösterebilmektedir (Zor ve diğ. 2007). Bir yerleşim alanındaki bu tepki farklılığı, kısa mesafelerde farklı miktarlarda yıkımın meydana gelmesinde önemli derecede etkilidir. Çünkü depremin sarsıntısı, jeoloji ve zeminle ilişkili çok sayıda kritere bağlıdır. Örneğin faylardaki atım sonucu ortaya çıkan enerjinin yayıldığı her türlü malzeme, elastisite, azalım vb. özelliklere göre farklı tepkiler vermektedir. Süreksizlik yüzeylerinde deprem dalgalarının farklı kırılma, yansıma ve dağılma özellikleri zeminin farklı şekilde sarsılmasına neden olabilmektedir (Demirtaş ve Erkmen 2000). Zeminin dayanıklı ve sert olması, yıkımın azalmasına etki etmektedir. Yıkıcı depremlerle ilgili yapılan gözlemlerde depremin merkez üssünden aynı uzaklıkta yer almasına rağmen yumuşak zeminlerde yıkım sağlam zeminlere göre daha fazla olmuştur (Kienzle ve diğ. 2006). İki farklı görüş olmasına rağmen, kabul gören genel düşünce, deprem şiddetinin fay hatlarının çevresinde fazla olduğu şeklindedir. Fay hatlarından uzaklaştıkça depreme bağlı sarsıntı şiddetinin, azaldığı düşünülmektedir.

Afet sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi veya en aza indirgenmesi için bütünlük olarak tüm afet yönetimi evrelerinin yürütülmesi gerekmektedir. Afet yönetimi planının toplumun bütün kesimlerini içerecek şekilde planlanması, desteklenmesi ve organize edilmesi gerekmektedir. Burada etkili ve verimli uygulamalar yapılabilmesi adına, gerekli mevzuatların düzenlenmesi ve kurumsal yapıların oluşturulması veya revize edilmesi gerekmektedir. Özetle “Afet Yönetimi” afet riskinin en aza indirilmesi, zararlarının azaltılması, oluşturacağı olumsuz sonuçların önlenmesi veya azaltılması, olası hasarın tahmin edilmesi ve ihtiyaç durumunun tespit edilmesidir. Ayrıca acil durum müdahale planının oluşturulması ve buna yönelik eğitim ve tatbikatların gerçekleştirilmesi gibi faaliyetlerin tümü afet yönetiminin kapsamındadır (Şahin 2019).

Deprem yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesinde, Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri arasında son derece etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Shadkam ve Cheraghchi (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, İran'da farklı göstergelerin dikkate alınarak optimal çözüme ulaşılması amacıyla ÇKKV yöntemleri ilki aşamada kullanılmış, ilki aşamada AHP yöntemi uygulanmıştır. Burada karmaşık kararları yapılandırarak, birden fazla kriterin değerlendirilmesine ve etkilenen bölgelerin önceliklendirilmesine olanak tanıyarak deprem odaklı afet yönetiminde karar alma süreçlerini geliştirmişlerdir.

Bouramdane (2024a,b) araştırmasında Fas'ın Al Haouz bölgesinde bu yaklaşımı kullanarak risk azaltma çalışması yürütmüştür. Burada, maliyet etkinliği ve sosyal adalet gibi kapsamlı bir kriter setine göre çeşitli stratejilerin değerlendirilmesi için yapılandırılmış bir çerçeve sunulmuştur. Bu çalışma, afet yönetiminde hazırlık, müdahale stratejileri ve azaltma önlemlerini güçlendirmek için veri odaklı karar almanın önemini vurgulamıştır. Bu çalışmada, bulguları analiz etmek için ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. ÇKKV yöntemleri, maksimum önemli kriterleri bulmaya olanak tanıyıp çeşitli ve çok boyutlu kriterlere dayalı olarak alternatifler hakkındaki tüm mevcut bilgilerin analiz edilmesi ve sunulmasını sağlamaktadır. Bu tür değerlendirme yöntemleri, hedef başarı matrisi yöntemi gibi tamamen nicel; sistem analizi yöntemi gibi tamamen nitel; çevresel etki analizi yöntemleri veya AHP gibi nitel ve nicel bilgilerin bir kombinasyonu şeklinde olabilmektedir. Bu çalışmada, ikinci yöntem olan AHP kullanılmıştır.

Shadman (2021) makale araştırmasının temel hedeflerinden birini uygun risk kriterlerini belirlemek olarak ele almıştır. Öncelikle literatür taraması ve uzman görüşleri ışığında kapsamlı bir veri toplama çalışması gerçekleştirmiştir, ardından en uygun kriterlerin seçimini yapmıştır. Deprem risk yönetimi, çok kriterli bir karar verme süreci olduğundan, elde edilen kriterler uzman paneli ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu yöntem, akademi camiasında ve afet yönetimi karar verme başlangıcı aşamasında en uygulanabilir süreçlerden biridir. Burada her alt kriterin ağırlığı, daha önceki analizlerde belirlenen ana kriterlerin önem ağırlıklarının birleştirilmesiyle belirlenmektedir. Almasi ve diğ. (2019) tarafından yapılan hesaplamalarda, Expert choice yazılımı yardımıyla tedarikçi kriterleri için nihai puanları üretilmiştir.

Depremler hem gerçekleştiği anda, hem de sonrasında yerleşim yerleri ve şehirlerde önemli hasarlara yol açabilmektedir. Kentsel alanlarda risk yönetimi büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda sismik açıdan, tehlike oluşturan kriterlerin kapsamlı bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, AHP yöntemi ile depremin yıkıcılığını etkileyen alt kriterlerin ikili karşılaştırması yapılarak önem seviyeleri belirlenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV) biri olan AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile depremin yıkıcılığını etkileyen çeşitli kriterlerin tanımlanması ile veri odaklı bir çerçeve sunulması hedeflenmiştir. AHP yöntemi, özellikle birden fazla etkin kriteri içeren risk değerlendirmeleri için uygun bir yöntemdir. Bu analiz, hiyerarşik yapılandırılmış bir model kullanılarak yürütülmektedir. Bu hiyerarşiyi oluşturmak için ana hedef AHP'de hiyerarşinin en üstüne yerleştirilir. Bu nedenle, çalışma amacı doğru bir şekilde belirlenmelidir. Hedef seçildikten sonra, seçilen kriterler ve alt kriterler amacı daha düşük bir seviyede etkilemektedir. Daha sonra bir çift karşılaştırma matrisi (ikili karşılaştırma) kullanılmaktadır. İkili karşılaştırma matrisinde, i sıra elemanının j sütun elemanına göre ne kadar önemli olduğunu gösteren değerler yer almaktadır. Şekil 1'deki a_{ij} i. kriterinin j kriterinden ne kadar önemli olduğunu ifade etmektedir. Aşağıda çiftler halinde karşılaştırma matrisi verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Şekil 1: AHP matrisi
Figure 1: AHP Matrix

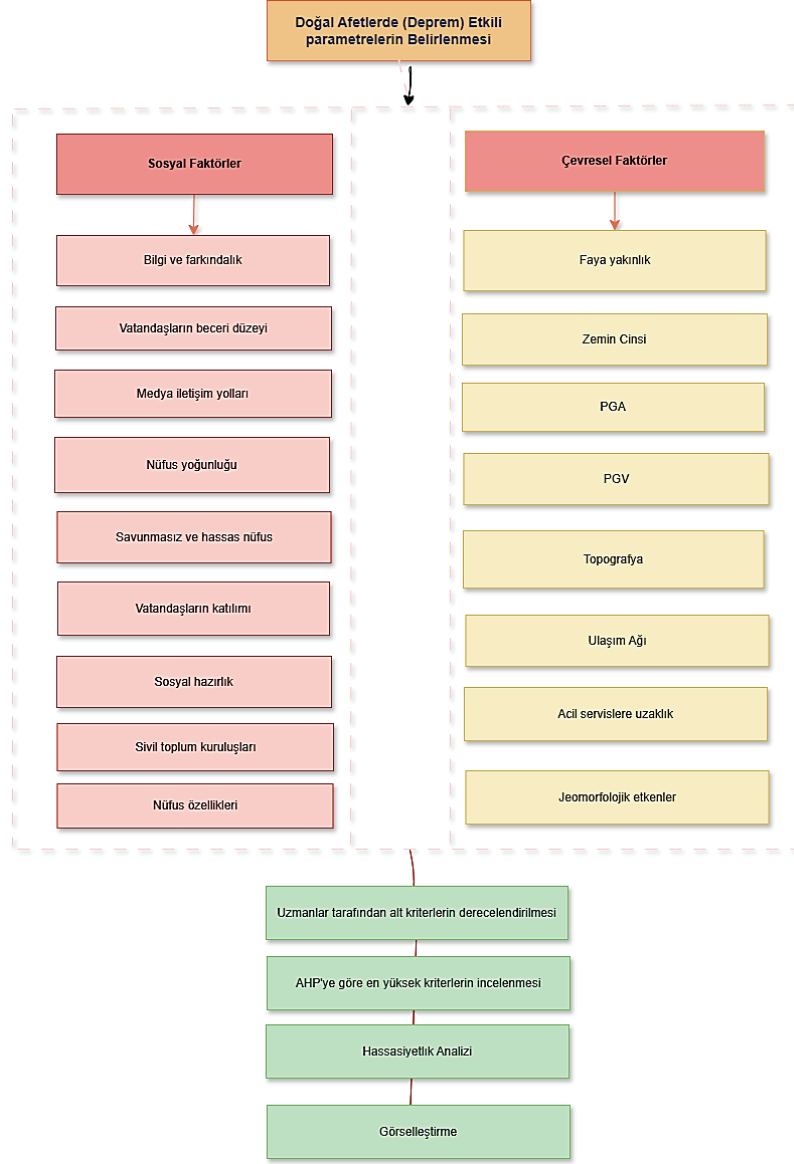
Çift kriterler arası karşılaştırmalar karar vericinin kararlarına bağlıdır. Karar verici uzman kişi, çiftler arası karşılaştırma yaparken, bağıl önem ölçeğini kullanır. İkili karşılaştırma matrislerindeki değerler Saaty (1980; 1986) ölçeği olarak bilinen ölçek temel alınarak değerlendirilmiştir. Saaty (1986) ölçeğine göre 1, 3, 5, 7, 9 puanları ana değerlendirme seviyeleri olarak kabul edilmekte olup, 2, 4, 6, 8 puanları karşılaştırmayı daha kesin bir şekilde ifade etmek için kullanılır. Her iki kriter de eşit öneme sahip olduğunda, o zaman kıyaslama 1 değerini alır. Bir kriter diğerine göre en yüksek öneme sahipse, oradaki değeri 9'dur. Tüm kriterler genellikle 1 ile 9 arasındaki olası değerlere göre düzenlenir. Ölçeğe ait önem dereceleri ve açıklamalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Göreceli Önem Ölçeği (Saaty Ölçeği) (Arslan 2010)
Table 1: Relative Importance Scale (Saaty Scale) (Arslan 2010)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Amaç için iki faaliyet (seçenek) de eşit öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Bir seçenek diğerine nazaran biraz önemlidir.
5	Yüksek Derecede Önemli	Bir seçenek diğerine nazaran oldukça önemlidir.
7	Çok Yüksek Derecede Önemli	Bir seçenek diğerine nazaran çok yüksek biçimde önemlidir.
9	Son Derece önemli	Bir seçeneğin diğerine nazaran oldukça yüksek biçimde önemi vardır.
2,4,6,8	Ara Değerler	İki seçenek arasında orta bir değer vermek gerektiğinde kullanılır.

AHP yönteminin uygulanması, bu kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılmasını ve her bir alt kriterin ağırlıklarının belirlenmesini sağlayarak, Pazarcık (Kahramanmaraş) depremindeki hasara en fazla etki eden kriterlerin önceliklendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, deprem risk analizinde daha etkili stratejilerin geliştirilmesi için kritik kriterlerin doğru bir şekilde tanımlanmasına yardımcı olmaktadır. Deprem risk ve etkilerini tahmin etmek amacıyla, mevcut alt kriterler iki ana kriterde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, depreme karşı duyarlılığı belirlemek için gerekli olan en önemli kriterlerin daha etkili bir şekilde analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Belirlenen iki ana kriter için 17 alt kriter belirlenmiştir. Ana kriterler ve alt kriterlerin şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. AHP

yönteminin en önemli aşamalarından bir tanesi de kriterlerin uzman görüşüne sunulmasıdır. Çalışma kapsamında depremin etki derecesini kapsamlı bir şekilde temsil eden 17 alt kriter, uzman görüşü almak amacıyla alanında uzman yedi kişiye sunulmuştur. Her bir uzman belirlenen alt kriterleri yukarıda açıklanan AHP ölçeğine bağlı olarak birbiri ile karşılaştırmıştır. Farklı uzmanlardan gelen karşılaştırma matris değerlerinin aritmetiksel ortalaması o değişkenin ağırlık değeri olarak Expert choice programına girilmiştir. Expert choice yazılımı çok kriterli karar verme esasına dayanan bir karar verme yazılımıdır. Yazılım ile AHP'nin ikinci aşaması olan Normalizasyon hesaplaması da yapılabilmektedir. Normalizasyon A matrisinin tüm elemanlarının sütun toplamına bölünmesiyle bulunur.



Şekil 2: Çalışmanın akış şeması
Figure 2: The flowchart of the study

AHP'nin avantajlarından bir diğeri de, alt kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde yapılan kararların tutarlılığını değerlendirme yeteneğidir. Bir sonraki aşamada tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. A matrisinin tutarlılık oranının hesaplanmasında Eşitlik 1, 2 ve 3 kullanılmıştır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (1)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \leq 0.1 \quad (3)$$

Burada:

CR= tutarlılık oranını,

CI= tutarlılık indeksini,

RI= rastgele tutarlılık indeksini,

λ (Lamda) Normalize edilmemiş A karşılaştırma matrisi ile öncelik vektörünün matris çarpımından elde edilen sütun vektörü ile hesaplanır.

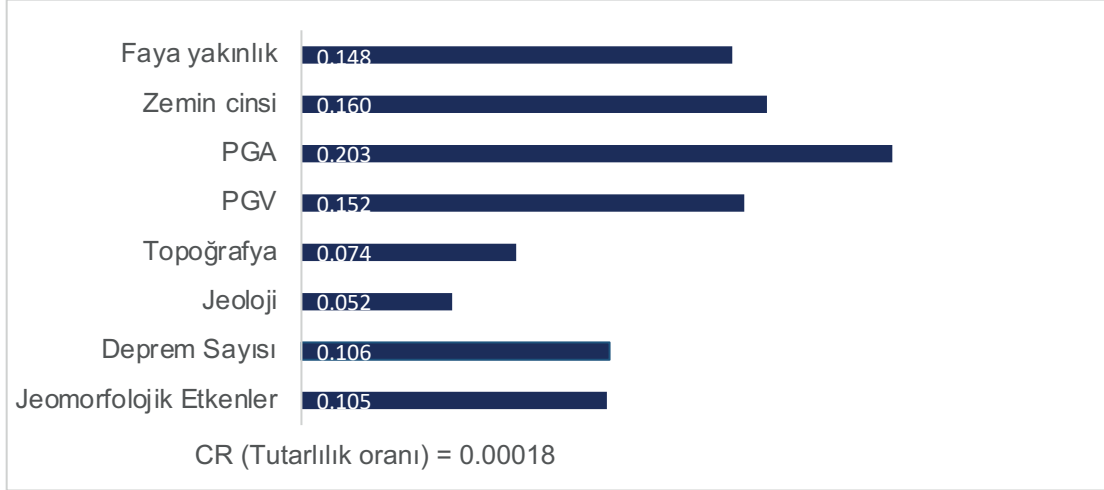
Eğer CR değeri 0.1'den büyükse, sonuçlar güvenilir (tutarlı olmayan) kabul edilir ve yeniden incelenmesi gerekmektedir (Mansourkhaki ve diğ. 2003). Bu çalışmada, Jeoyapısal Ana Kriterler ve Sosyal Ana Kriterleri için Expert choice programı ile CR değerleri hesaplanmış ve 0.1'den küçük bulunmuştur. Hesaplanan CR (tutarlılık oranı) sırası ile Şekil 3 ve Şekil 5'te verilmiştir.

Farklı bölgelere ve metodolojilere odaklanan çeşitli çalışmalarla kanıtlandığı üzere, en büyük yer ivmesinin (PGA) yapılar üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Bu nedenle AHP'de belirlenen Jeoyapısal Ana Kriterler arasında PGA da yer almaktadır. PGA haritaları, CBS tabanlı Matlab programı kullanılarak görselleştirilmiştir. PGA değerlerine AFAD'ın internet adresinden e-devlet aracılığı ile ulaşılabilir (AFAD 2018).

3. BULGULAR

3.1) Jeoyapısal Kriterler

Bu çalışmada bölgenin deprem hasarına ilişkin sonuçları ortaya koymak amacıyla belirlenen 1'inci ana kriter olan Jeoyapısal Kriter için 8 alt kriter belirlenmiştir. Bu alt kriterlerin karşılaştırılması ile elde edilen ağırlık değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Jeoyapısal kriterlerin ağırlıklarının Expert choice programı çıktısı

Figure 3: Weighed output of Expert choice software for geotechnical criteria

AHP yöntemi ile elde edilen alt kriter puanlarına göre PGA en yüksek ağırlıklı (en öncelikli) jeoyapısal kriter olarak (PGA=0.203) görülmektedir. Zemin cinsi, PGV ve faya yakınlık ise sırasıyla 0.160, 0.152 ve 0.148 bölgedeki deprem riskinin artmasında önemli rol oynamaktadır.

3.1.1) Pazarcık depremi sırasında ölçülen PGA değerlerinin görselleştirilmesi

PGA değeri, sismik yoğunluğu ve yapılar üzerindeki etkisini değerlendirmede önemli bir kriterdir ve bu durum farklı bölgelere ve metodolojilere odaklanan çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Zemin hareket seviyeleri DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4, sismik tehlike analizlerinde kullanılan standart tanımları ifade etmektedir. Bu seviyeler, 50 yıllık bir süre içindeki gerçekleşme olasılıklarına göre belirlenir ve deprem mühendisliği tasarımı ile yapı güvenlik standartlarıyla doğrudan ilişkilidir.

Zemin hareket seviyelerinin tanımları:

DD-1 (Çok Yüksek Tehlike Seviyesi): 50 yılda bir gerçekleşme olasılığı: %2,

DD-2 (Yüksek Tehlike Seviyesi): 50 yılda bir gerçekleşme olasılığı: %10,

DD-3 (Orta Tehlike Seviyesi): 50 yılda bir gerçekleşme olasılığı: %50,

DD-4 (Düşük Tehlike Seviyesi): 50 yılda bir gerçekleşme olasılığı: %68 olarak belirlenmiştir.

Türkiye bina deprem yönetmeliği TBDY (2018) ile ilişkisi

DD-1: Kritik yapılar için tasarım seviyesi,

DD-2: Standart yapılar için tasarım seviyesi,

DD-3 ve DD-4: Performans analizleri ve hafif hasar değerlendirmeleri için kullanılmaktadır.

Bu seviyeler, mühendislerin ve araştırmacıların bölgesel sismik tehlike düzeyine göre yapı tasarımını optimize etmelerine olanak tanır. Hesaplamalar, olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA) ve interaktif yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilir.

06.02.2023, Türkiye saati ile 04:17'de ve 13:24'de merkez üssü Pazarcık, (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. 7.7 büyüklüğündeki deprem yerin 8.6 km derinliğinde meydana gelirken 7.6 büyüklüğündeki deprem yerin 7 km derinliğinde meydana gelmiştir.

1939 yılında meydana gelen Erzincan Depremi ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra, 2023 Kahramanmaraş depremleri can ve mal kaybı açısından son yüzyılda ülkemizin yaşadığı en büyük depremlerdir. Birinci depremin Pazarcık (Kahramanmaraş) dışmerkez koordinatı 37.236 K - 37.057 D, odak derinliği 8.6 km; ikinci depremin Elbistan (Kahramanmaraş) dışmerkez koordinatı 37.239 K - 38.089 D, odak derinliği 7.0 km olarak hesaplanmıştır. Her iki deprem Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elazığ'da çok şiddetli hissedilmiş, can kaybı ve ağır hasara neden olmuştur.

Bu depremler, Türkiye’de afet yönetimi alanında önemli değişikliklerin yapılması için öncü olmuştur. Bu süreçte, afet ve acil durumlar konusunda başta deprem olmak üzere, yol haritalarının hazırlanması ve geleceği planlamaya yönelik strateji planlarının yapılması gündeme gelmiştir. Beklenen

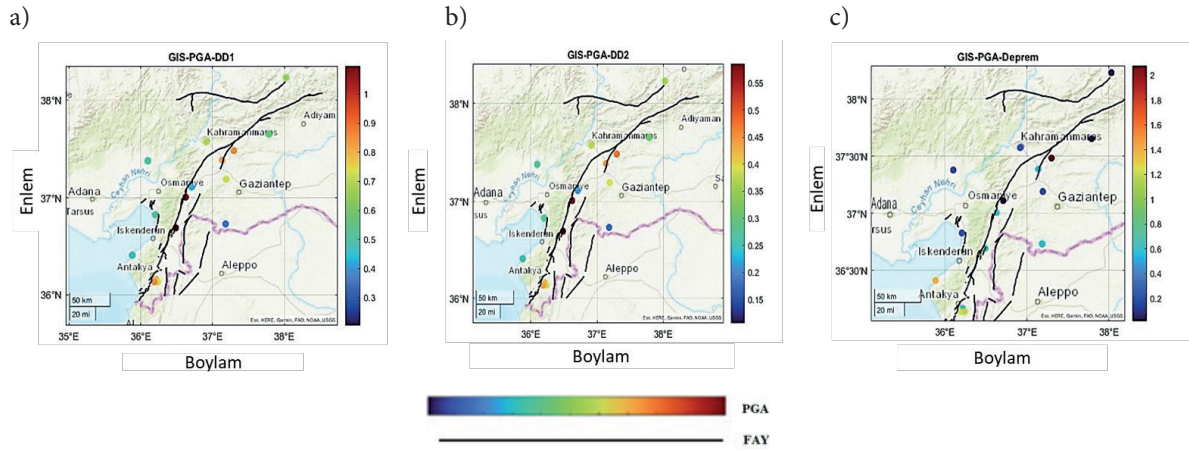
PGA değeri DD-1’de 1.2 g’dir. Fakat Kahramanmaraş’ta gerçekleşen depremde, bu değer 2’nin üzerindeydi. Mw 7.7 büyüklüğündeki Pazarcık (Kahramanmaraş) depreminin Hatay’da konumlanan istasyonlar aracılığıyla bu depreme ilişkin gerçek zamanlı ölçülen PGA değerleri g birimi ile tablo olarak listelenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2: Mw 7.7 Pazarcık (Kahramanmaraş) depremi sırasında AFAD ivmeölçer istasyonları tarafından ölçülen PGA değerleri
Table 2: Values of Mw 7.7 Pazarcık (Kahramanmaraş) earthquake from AFAD acceleration stations

İstasyon	Bölge	Enlem	Boylam	DD-1 PGA	DD-2 PGA	PGA	Litoloji Sınıfı
0208	Gölbaşı	37.653	37.787	0.579	0.309	0.014276	Tüf
0214	Çelikhan	38.226	38.028	0.656	0.358	0.055452	Alüvyon
2712	Nurdağı	36.732	37.184	0.350	0.177	0.604029	Yamaç Molozu
2718	İslahiye	37.008	36.627	1.061	0.563	0.642737	-
3123	Hatay	36.160	36.214	0.805	0.424	0.60565	Ayrılmamış Kuvaterner
3125	Hatay	36.133	36.238	0.735	0.398	1.144071	Karasal Kırıntılılar
3129	Defne	36.134	36.191	0.857	0.443	1.222375	Karasal Kırıntılılar
3134	Dört Yol	36.828	36.205	0.522	0.289	0.20793	Ayrılmamış Kuvaterner
3135	Arsuz	36.409	35.883	0.468	0.256	1.399122	Karasal Kırıntılılar
3137	Hatay	36.693	36.489	1.097	0.586	0.683383	Bazalt
4614	Kahramanmaraş	37.485	37.298	0.853	0.470	2.079405	Ayrılmamış Kuvaterner
4615	Kahramanmaraş	37.387	37.138	0.840	0.449	0.567625	Ayrılmamış Kuvaterner
4626	Onikişubat	37.575	36.915	0.688	0.374	0.227488	Ayrılmamış Kuvaterner
4702	Midyat	37.417	41.357	0.204	0.106	0.021751	-
7901	Kilis	37.112	36.709	0.427	0.210	0.016876	Ayrılmamış Kuvaterner
8002	Osmaniye	37.192	37.192	0.718	0.390	0.20689	-
8004	Kadirli	37.380	36.100	0.528	0.283	0.185446	Ayrılmamış Kuvaterner

Pazarcık (Kahramanmaraş) depreminin Mw 7.7 sarsıntısına ilişkin 381 ivmeölçerle yapılan ön değerlendirmede, 4614 kodlu ivmeölçer istasyonunun Doğu-Batı bileşeninde PGA 2.12 g olarak kaydedilmiştir.

Sismik verileri etkili bir şekilde analiz edip görselleştirme yapmak amacıyla Matlab (Sürüm R2023) yazılımı kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Matlab çıktıları. a) DD-1’ öngörülen PGA değerleri, b) DD-2’ öngörülen PGA değerleri, c) Deprem sırasında ölçülen PGA değerler

Figüre 4: Matlab outputs. a) Predicted PGA values for DD-1, b) Predicted PGA values for DD-2, c) PGA values during the earthquake

Bu depremde bazı yerlerdeki ivmelenmenin DD-1’in beklenen değerinden çok daha büyük olduğu görülmektedir. Örneğin 3125 numaralı istasyonda beklenen değer yaklaşık 1.5 katı, 3129 numaralı istasyonda yaklaşık 1.4 katı, 3137 numaralı istasyonda yaklaşık 3 katı ve 4614 numaralı istasyonda ise yaklaşık 2.4 katı daha yüksektir. Bu durum oluşan hasarın tahmin edilebilirliğini zorlaştırmaktadır.

Türkiye’nin Hatay kentindeki 6 Şubat 2023, Mw 7.7 büyüklüğündeki depremde tipik yer ivmelenmeleri oldukça yüksektir; özellikle fay hatlarına yakın bazı bölgelerde PGA 2.04 g’yi aşmaktadır. Bu PGA değerlerinin, büyük ölçekli küresel sismik aktivitelerle karşılaştırıldığında, önemli olduğu görülmektedir. Örneğin, Şubat 2023 depreminin ilk ana şoku sırasında gözlemlenen yaklaşık 2.04 g’ye tekabül eden PGA değeri, yüksek ve yoğun sarsıntıyı gösteriyordu (Aspiotis ve diğ. 2023, Duan ve diğ. 2023).

Karşılaştırma yapmak gerekirse, büyük depremler için küresel PGA değerleri genellikle 0.1 g ile 1.0 g arasında değişmektedir; 1.0 g'ın üzerindeki değerler nispeten nadir ve aşırı sismik olayların göstergesidir (Baltzopoulos ve diğ. 2023).

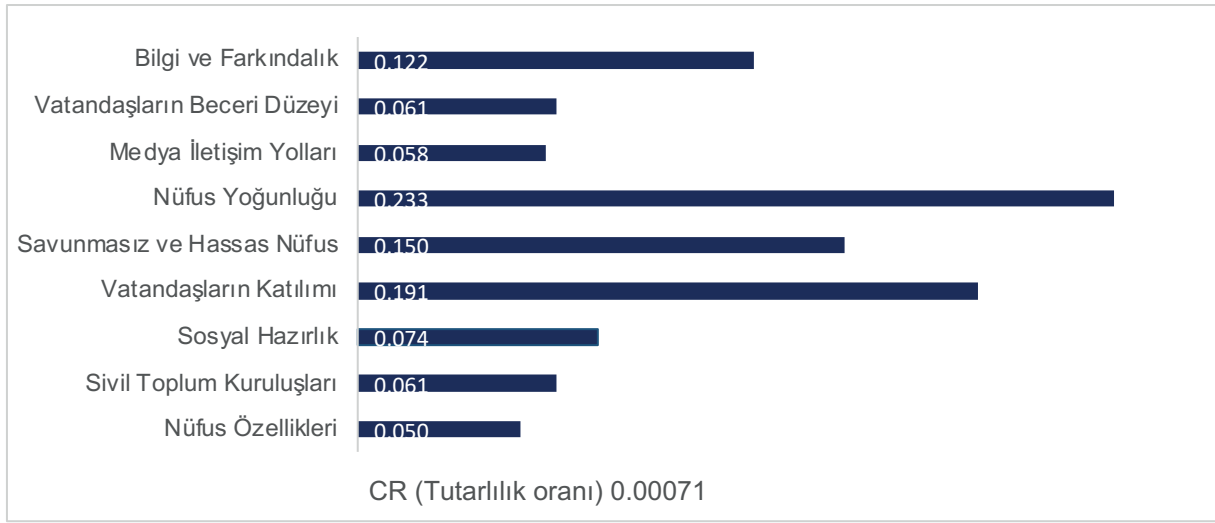
Hatay'daki yüksek PGA değerleri yer hareketini artıran etkiler ve yerel saha koşulları gibi faktörlerin birleşimine atfedilmiştir (Aspiotis ve diğ. 2023, Kazaz ve diğ. 2024). Ayrıca Hatay'da gözlenen PGA değerleri, mevcut yer hareketi modelleri ve sismik tehlike haritalarıyla öngörülen değerleri aşarak, bölgenin sismik aktivitelere karşı zarar görebilirliğini ortaya koymuştur (Çetin ve diğ. 2025).

Bu tutarsızlık, Türkiye'deki sismik tehlikenin, özellikle Doğu Anadolu fayı boyunca, Hatay ve benzeri bölgelerde, depremler

sırasında yüksek sismik tehlikenin, mevcut modellerde olduğundan daha düşük tahmin edilmiş olduğunu ve yerel jeolojik ve fay özelliklerini daha iyi kapsayacak şekilde revizyonların gerektiğini göstermektedir. Genel olarak, 2023 depremi sırasında Hatay'da yaşanan yer ivmeleri küresel olarak kaydedilen en yüksek seviyeler arasındadır. Hatay'daki yüksek PGA değerleri ayrıca önemli yapısal hasarlara yol açarak binaların ciddi bir şekilde hasar gördüğünü ve çöktüğünü göstermekte, bölgede inşaat uygulamalarının iyileştirilmesine yönelik sismik tasarım ve hazırlık ihtiyacının altını çizmektedir.

3.2) Sosyal Kriterler

AHP yöntemi ile değerlendirilecek olan 2'nci ana kriter, Sosyal Kriter olup bu kriter için 9 alt kriter belirlenmiştir. Alt kriterlerin karşılaştırılması ile elde edilen ağırlık değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Sosyal kriterlerin Expert choice programının ağırlık çıktısı
Figure 5: Weighed output of Expert choice software for social criteria

Sosyal Kriterler arasında nüfus yoğunluğu 0.233 puan ile en önemli alt kriter olarak görülmektedir. Bu sonuç, nüfus yoğunluğunun deprem anında can ve mal kaybını artıran önemli bir etken olduğunu göstermektedir. Freire ve Aubrecht (2012) tarafından yapılan araştırma nüfus dinamiklerinin, deprem riski değerlendirmesine entegre edilmesinin önemini vurgulayarak, kırılganlık ve nüfus maruziyetlerini dikkate almadan yapılan afet riski değerlendirmelerinin eksik olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca mevcut sismik tehlike haritalarını geliştirmek için kentsel alanlardaki nüfus dağılımının daha ayrıntılı bir mekânsal ve zamansal analiz ile ele alınmasını savunmaktadır.

Karakale ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada, Hatay'da özellikle 1999'dan önce inşa edilen eski binaların hasar nedeni, mevcut sismik kodlarına uymayan yetersiz tasarım ve inşaat uygulamaları olarak belirtilmiştir. Kazaz ve diğ. (2024) ise bu konuda Hatay ilindeki nüfus yoğunluğunun, bölge tarihindeki en yıkıcı depremler arasında yer alan 6 Şubat 2023 depreminde önemli bir kriter olduğunu vurgulamaktadır. Yaklaşık 400.000

nüfusa sahip olan Hatay Merkez'de ciddi hasarlar yaşanmış, bina yoğunluğunun 33%'ü önemli ölçüde hasar görmüş veya yıkılmıştır.

4. SONUÇLAR

Mw 7.7 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremi Türkiye'de ciddi can ve ekonomik kayıplara yol açmıştır. Bu deprem faya yakın bir alanda PGA 2.04 g değerini aşmıştır. Burada 3 ayrı bölgede deprem sırasında ölçülen PGA değerleri, öngörülen değerlerden kat kat daha yüksektir. Dolayısıyla bu depremde oluşan hasar ne yazık ki tahmin edilemeyecek boyuttadır.

Deprem hasarında etkili olan kriterlerin AHP yöntemiyle belirlendiği bu çalışmada Jeoyapısal Ana Kriter için PGA değeri, Sosyal Ana Kriter için ise nüfus yoğunluğu hasarı belirleyen en önemli kriterler olarak ön plana çıkmaktadır.

Çalışma bulgularına göre, Pazarcık depremi için beklenen PGA değerlerinin, deprem sırasında ölçülen PGA değerlerinden daha düşük kaldığı görülmektedir. Ayrıca yumuşak zemin

koşullarında zemin sıvılaşması, aşırı oturma, bitişik düzenin neden olduğu çekiçleme etkisi, malzeme kalitesindeki yetersizlik, eksik denetim ve özen eksikliği, bu büyük hasarların temel nedenlerindendir. Söz konusu depremler sonrasında bazı yerleşim bölgelerinde, ciddi yüzey bozulmaları tespit edilmiştir. Bu bozulmalar yumuşak zeminlerde daha da fazla ortaya çıkmıştır. Bu bölgelerde yapıları etkileyen ivmeler, kaya zeminlere göre daha fazla olduğundan yapılar beklenenden çok daha fazla etkiyle zorlanmıştır.

Nüfus yoğunluğunun can kaybı ve hasarı belirleyen en önemli kriter olduğu düşünüldüğünde Hatay ili için parsel bazlı zemin etütleri yapılmadan yeni yerleşim alanlarının açılmasının sakıncalı olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Özellikle mevcut yerleşim bölgelerinin imara yeni açılacak kesimleri ve yeni yerleşim bölgelerinin belirlenmesinde bu hususa dikkat edilmelidir. Bunun için gerçekleştirilecek olan

yerleşim alanı seçiminin planlanması bölgesel etütler, bölgenin aktif faylarının konumu, uzanımı ve sismik özellikler, jeoloji haritası ve kesitleri ve topoğrafik koşullar dikkate alınarak yapılmalı ve bunlara ilişkin yönetmeliğe uygun jeolojik ve jeofizik çalışmaları yapılmalıdır.

Depremlerdeki PGA değerleri, fay hattına yakın sismik etkinin şiddetini göstermektedir. Geçmiş depremlerden edinilen tecrübelerle, yerel zemin koşullarının dikkate alınarak tasarlanmış yapılar ve etkin mühendislik süreçlerinin uygulanması, gelecekteki depremlerde can ve mal kaybını en aza indirecek temel kriterler olarak öne çıkmaktadır. Koşulların bölgeden bölgeye farklılık göstermesi nedeniyle deprem riski taşıyan tüm bölgelerin çevresel ve sosyal kriterleri hakkında doğru bilgiye ihtiyaç vardır. Bu amaçla mühendislik hesaplamalarının AHP gibi yöntemlerle desteklenmesinde yarar vardır. İyi bir afet yönetimi için risk yönetimi odaklı çok disiplinli uygulamaların bir arada yürütülmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar olarak, makalenin kalitesini ve okunabilirliğini önemli ölçüde artıran yapıcı yorumları için anonim değerlendirecilere teşekkür etmeyi borç biliyoruz.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (TDTH), T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Ankara. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>.
- Almasi M., Khoshfetrat S., Galankashi M.R., 2019. Sustainable supplier selection and order allocation under risk and inflation condition, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(3), 823-837.
- Arslan E.T., 2010. Election Strategy with Analytic Hierarchy Process: A Study at Süleyman Demirel University Faculty of Economics and Administrative Sciences, Süleyman Demirel University, *The Journal of Faculty of Economics and Administrative Science*, 15(2), 455-477.
- Aspiotis T., Aquib T.A., Castro-Cruz D., Li B., Li X., Liu J., Matrau R., Palgunadi K.H., Parisi L., Suhendi C., Tang Y., Klinger Y., Jonsson S., Mai P.M., 2023. Strong ground motions due to directivity and site effects inflicted by the February 6 2023 earthquake doublet, along the East Anatolian Fault, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria EGU23-17620, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-17620>.
- Baltzopoulos G., Baraschino R., Chioccarelli E., Cito P., Vitale A., Iervolino I., 2023. Near-source ground motion in the M7. 8 Gaziantep (Turkey) earthquak., *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 52(12), 3903-3912.
- Bouramdane A.A., 2024a. A rigorous evaluation of earthquake management strategies in Morocco's Al Haouz province: a Multi-Criteria Decision-Making methodology, *Emergency Management Science and Technology* 4: e012, <https://doi.org/10.48130/emst-0024-0012>.
- Bouramdane A.A., 2024b. Morocco's Earthquake Risk Management: A Multi-Criteria Decision-Making Approach and Implications for the Recent Japan Earthquake, EGU General Assembly 14-19 April, Vienna, Austria, EGU24-6158, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-6158>.
- Çetin K.Ö., Elsaid A., Ozacar A., 2025. Intensity Characteristics of Seismograms Recorded During the February 6, 2023, M7.8 Türkiye Kahramanmaraş Pazarcik Earthquake, *Turkish Journal of Civil Engineering*, 36(2), <https://doi.org/10.18400/tjce.1348206>.
- Demirtaş R., Erkmen C., 2000. Deprem ve Jeoloji, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 52, Ankara.
- Duan Y., Bo J., Peng D., Li Q., Wan W., Qi W., 2023. Analysis of peak ground acceleration and seismogenic fault characteristics of the Mw7.8 earthquake in Turkey, *Applied Sciences*, 13(19), 10896.
- Erinç S., 2002. Jeomorfoloji-I. DER Yayınları, İstanbul.
- Freire S., Aubrecht C., 2012. Integrating population dynamics into mapping human exposure to seismic hazard, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(11), 3533-3543.

Karakale V., Özgür E., Ataoğlu Ş., 2023. Site observations on buildings' performance in Hatay Province after Kahramanmaraş earthquakes, *El-Cezeri*, 10(3), 506-516.

Kazaz İ., Bilge İ.H., Gürbüz M., 2024. Near-fault ground motion characteristics and its effects on a collapsed reinforced concrete structure in Hatay during the February 6, 2023 Mw7.8 Kahramanmaraş earthquake, *Engineering Structures*, 298, 117067.

Kienzle A., Hannich D., Wirth W., Ehret D., Rohn J., Ciugudean V., Czurda K., 2006. A GIS-Based Study of Earthquake Hazard as a Tool For The Microzonation of Bucharest, *Engineering Geology*, 87, 13-32.

Mansourkhaki A., Hosseini M., Shariatmohaymani A., 2003. Evaluationg the performance of urban transportation networks in the aftermath of an earthquake in large populated cities, *International journal of engineering science (English)*, 14(4), 181-199.

Saaty T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

Saaty T.L., 1986. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*. 32(7), 841-855.

Sahin S., 2019. The Disaster Management in Turkey and Goals of 2023, *Turk. J. Earthq. Res.* 1 (2), 180-196.

Shadkam E., Cheraghchi M., 2022. Prioritization of earthquake relief using a hybrid two-phase approach, *Journal of applied research on industrial engineering*, 9(4), 493-506.

Shadman S., Islam A.I., 2021. Estimation of earthquake vulnerability by using analytical hierarchy process, *Natural Hazards Research*, 1(4), 153-160.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>.

Zor E., Cevher M., Mengüç G., Soydabaş M., Bilgiç A., Ayan E., Özalaybey S., 2007. Kocaeli İlinde Zemin Sınıflaması ve Sismik Tehlike Değerlendirme Çalışmaları, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim, İstanbul, 2007.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında kullanılan veriler AFAD, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif web uygulamasından alınmıştır (AFAD 2018).

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)

Araştırma kapsamında yer alan bilgiler; herhangi bir kişiye, kuruma, ekipmana çıkar sağlamayı veya kişisel/kurumsal menfaat kazandırmayı amaçlamamalıdır. Aynı şekilde çalışmada yer alan hususlar objektif değerlendirme sınırları dışına çıkarak herhangi bir şekilde kişi, kurum, kuruluş nezdinde zarara, kastı aşan kötü niyetli yoruma ya da itibar kaybına yol açmamalıdır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)

- Çalışmanın tasarlanması (Designing of the study): M.N.D., D.S.S.
- Literatür araştırması (Literature research): D.S.S., M.N.D.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (Fieldwork, collection/ compilation of data): D.S.S., M.N.D.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (Processing/analysis of data): D.S.S., S.G., M.N.D.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (Preparation of figures/ tables/software): D.S.S., S.G.
- Bulguların yorumlanması (Interpretation of findings): D.S.S., S.G.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (Writing, editing and checking of manuscript): S.G.