



# Depremden Zarar Görebilirlik Boyutunu Etkileyen Faktörlerin Derecelendirilmesi

Veysel Çoban<sup>1\*</sup>, Süheyla Yerel Kandemir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7885-1935), [veysel.coban@bilecik.edu.tr](mailto:veysel.coban@bilecik.edu.tr)

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4056-5383), [suheyla.yerel@bilecik.edu.tr](mailto:suheyla.yerel@bilecik.edu.tr)

(1st International Conference on Trends in Advanced Research ICTAR 2023, March 4-7, 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1259757)

**ATIF/REFERENCE:** Çoban, V. & Yerel Kandemir, S. (2023). Depremden Zarar Görebilirlik Boyutunu Etkileyen Faktörlerin Derecelendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (49), 61-67.

## Öz

Afetler geniş kapsamlı sosyal, fiziksel ve ekonomik zararlara neden olan insan veya doğa kaynaklı olaylardır. Deprem büyük yıkımlara neden olan maddi ve manevi ciddi zararlar veren en önemli afetlerden biridir. Depremın neden olacağı hasarların belirlenmesi ve hasarları engellemeye yönelik gerekli önlemlerin alınması zarar boyutunun azaltılmasında önemli bir adımdır. Bu çalışmada depremden zarar görebilirliğe etki eden faktörler literatür taraması ve uzman görüşleri ile belirlenir. Ana ve alt başlıklarda belirlenen zarar görebilirliğe etki eden faktörler etki boyut ve ilişkilerine göre açıklanır. Deprem risk planlamasının yapılması ve önlemlerin alınması için faktörlerin öncelik sıralaması yapılır. Öncelik sıralaması depremden önce, deprem sırasında ve depremden sonra olası maddi ve manevi zarar boyutunu en aza indirmede yardımcı olur. Çok kriterli karar verme problemi olarak tanımlanan problemde depremden zarar görebilirliği etki eden faktörler analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile yapılandırılır ve ikili karşılaştırma matrisleri (İKM) ile değerlendirilir. Ana ve alt faktörler ikili karşılaştırılarak faktörlerin öncelik değerleri elde edilir. Yapısal, çevresel ve sosyal ana faktörlerden yapısal faktörlerin önemi ön plana çıkarken sosyal faktörlerden nüfus yoğunluğu dışındaki faktörler sıralamada son sıralarda yer alır. Çevresel faktörlerden faylara uzaklık ve jeolojik yapının önemi vurgulanır. Yapısal faktörler ile çevresel faktörlerin beraber dikkate alınması depremden zarar görme ölçüsünü önemli ölçüde azaltacağı görülür. Depremden zarar görebilirliği azalmak için tüm faktörlerin bütünsel olarak ele alınması gerekliliği dikkat çeker.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, zarar görebilirlik, ikili karşılaştırma matrisi, analitik hiyerarşi prosesi, öncelik değeri.

## Rating of Factors Affecting the Dimension of Vulnerability from Earthquake

### Abstract

Disasters are human or natural events that cause massive social, physical, and economic damage. Earthquake is the most important disaster that causes great destruction and causes serious material and moral damage. Identifying the sources of damage to be caused by the earthquake and taking the necessary precautions is an important step in reducing the size of the damage. In this study, the factors affecting vulnerability from earthquakes are determined by a literature review and expert opinions. To make earthquake risk planning and take precautions, the factors are prioritized. In the problem, which is defined as a multi-criteria decision-making problem, the factors affecting vulnerability from earthquakes are structured using the analytical hierarchy process (AHP) and evaluated with pairwise comparison matrices. While the importance of structural factors, which is one of the main structural, environmental, and social factors, comes to the fore, factors other than population density, which is one of the social factors, are at the bottom of the list. The distance from the environmental factors to the faults and the importance of the geological structure are emphasized. It is seen that considering structural and environmental factors together will significantly reduce the extent of damage from earthquakes. It has been pointed out that all factors should be considered holistically to reduce vulnerability to earthquakes.

**Keywords:** Earthquake, vulnerability, pairwise comparison matrix, analytical hierarchy process, priority value.

\* Sorumlu Yazar: [veysel.coban@bilecik.edu.tr](mailto:veysel.coban@bilecik.edu.tr)

## 1. Giriş

Deprem maddi ve manevi büyük yıkımlara neden olan önemli bir doğal afettir. Dünya'nın çeşitli bölgelerinde genellikle yer kabuğunun levha sınırlarında meydana gelen depremler gözlemlenir. Öngörülemeyen zaman ve boyutta gerçekleşen depremler büyük afetlere ve insanların savunmasız kalmasına neden olur (Duzgun vd., 2011). Diri fay hatları ile çevrili olan ve nüfusun büyük bir çoğunluğu deprem riski altında olan Türkiye yıl boyunca sismik etkiler altındadır. (AFAD, 2021). Tarihsel yıkımlarla karşılaşmış olan Türkiye'de aletsel dönemde kaydedilen en büyük deprem 1939 yılında 7,9 büyüklüğünde kaydedilen Erzincan depremidir (BDTİM, 2023a). Ayrıca 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Gaziantep-Kahramanmaraş depremleri Türkiye tarihinin en fazla can kaybına neden olan depremleridir. Dörtten büyük her yıl ortalama yaklaşık 50 deprem gerçekleşen Türkiye maddi ve manevi risk tehditleri ile karşı karşıyadır (BDTİM, 2023b). Türkiye için öncelikli bir afet olan deprem farklı kıtalarda ve farklı ülkelerde de insanların yaşamını etkilemektedir. Depremin neden olduğu hasar depremin büyüklüğünün yanı sıra insan ve insan dışı faktörlerden kaynaklı deprem şiddetinin de bir sonucudur. Depremin büyüklüğü depremin açığa çıkardığı enerjinin bir ölçüsü iken depremin şiddeti açığa çıkan bu enerjinin insanlar, çevre ve yapılar üzerindeki etkilerini tanımlar. Örneğin 7.0 ve üzeri büyüklükteki bir depremin şiddeti şu boyutlarda tanımlanır: ahşap yapılar yıkılırken taş yapıların büyük çoğunluğu yıkılır ve demiryolları eğilir (şiddet: X), birkaç yapı dışında tüm yapılar yıkılır, demiryolları bükülür (şiddet: XI) ve bütün yapılar yıkılır, ufuk çizgisi oynak bir yüzeye dönüşür ve nesnelere havada uçar (şiddet: XII) [5].

Deprem büyüklüğü ile birlikte ortaya çıkan şiddetin verdiği hasar boyutu insan başta olmak üzere birçok faktör temelinde artar. Artan nüfus yoğunluğu, plansız ve uygun olmayan yapılaşma, deprem konusunda bilinçsizlik, duyarsızlık ve ihmaller zarar boyunun artmasını tetiklemektedir. Ayrıca deprem ile birlikte ortaya çıkan heyelan, yangın, bulaşıcı hastalıklar ve yağma gibi problemlerin yol açacağı afet zinciri deprem acil durum boyutunun artmasına neden olur (Zhou vd., 2015). Deprem afetinin belirsizliği ile yüzleşerek önlemlerin alınması maddi ve manevi zararların boyutunu sınırlamaya yardımcı olacaktır.

Zarar görebilirlik, AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) tarafından "Farklı tür ve büyüklükteki tehlikeler karşısında, insanların ve yaşam çevrelerinin uğrayabileceği fiziksel, toplumsal, ekonomik veya çevresel zarar ve kayıpların ölçüsü" (AFAD, 2023) olarak tanımlanır. Deprem riski kapsamındaki bölgelerin depreme hazırlıklı hale getirilmesinde zarar görebilirlik çalışması önemli bir aşamayı oluşturur. Riskli bölgeler için zarar görebilirlik çalışmalarının yapılması depremin zincir etkilerini düşürmede ve acil durum faaliyetlerini yönlendirmede önemli bir yöntemdir. Zarar görebilirlik değerlendirmesi olası hasar ve kayıpların öngörülmesi ve azaltılmasına yönelik planlamalarda yer alır (Etemadfard & Moradi, 2021). Deprem için zarar görebilirlik çalışması yerleşimlerin mevcut koşullarını değerlendirerek hasar senaryoları oluşturulmasına yardımcı olur. Deprem afetlerinden öngörülen yapı ve insan kayıplarını en aza indirme amaçları zarar görebilirlik çalışmalarının ve bağlı programların geliştirilmesinin önemini vurgular (M. S. Shadmaan & Popy, 2022).

Bu çalışma depremden zarar görebilirlikteki temel unsurlarının ele alınmasını ve bunlar arasında öncelik sıralaması

yapılması ile ilgilidir. Literatür taramasından ve uzman görüşlerinden elde edilen zarar görebilirlik kriterlerinin derecelendirilmesi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınır. Zarar görebilirlik faktörlerin karşılaştırmalı değerlendirmesini yapmak ve faktörleri derecelendirmek için ÇKKV yöntem aracı olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılır. Doğal afetin zarar verme riskini tanımlayan hasar görebilirlik deprem özelinde nicel ve nitel kriterler dikkate alınarak belirlenir. Bölgeler için yapılan depremden zarar görebilirlik değerlendirmeleri, olası riskleri en aza indirme planlamalarında ve haritalandırmada çalışmalarında önemli bir araç olarak başvurulur.

Çalışmada yerel ve küresel boyutta maddi ve manevi ciddi zararlar veren deprem afetine karşı önlemlerin alınması için etkin faktörlerin önceliklendirilmesi amaçlanır. Literatür taraması ve uzman görüşleri ile geliştirilen ana ve alt faktörlerin depremin zarar verebilirliğine etkileri incelenir. Tanımlanan faktörlerin başlık ve sınıflandırmaları ve bunların mevcut koşullarda uzman görüşleri ile yapılan değerlendirmeleri çalışmanın literatüre özgün katkısını oluşturur. Elde edilen sonuçlar ile toplumsal ve yönetsel farkındalık oluşturularak depremin zarar verebilirlik boyutunun azaltılması amaçlanır.

Çalışma şu alt bölümlerden oluşur: Bölüm 2 depremden zarar görebilirliği değerlendirmede temel faktörler hakkında ve faktörlerin derecelendirmesinde başvuru ÇKKV yönteminden ve AHP karar verme aracından bahseder. Bölüm 3 ana ve alt faktörlerin ikili karşılaştırma ve derecelendirme çalışmalarını açıklar. Sonuç başlığı olan Bölüm 4 elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalar hakkında bilgi verir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Depremden Zarar Görebilirlik Faktörleri

Depremden zarar görebilirlik faktörlerinin belirlenmesi ve tanımlanması risk değerlendirme çalışmaları için önemli bir aşamadır. Ana ve alt başlıklarda belirlenen faktörlerin zarar görebilirlik değerlendirmesindeki etki değerlerini belirlemek için ikili karşılaştırmalar yapılır. İkili karşılaştırmaların doğru yapılabilmesi için faktörlerin tanınması ve anlamlandırılması gerekir. Bu bölümde literatür ve uzman görüşleri ile yapısal, çevresel ve sosyal ana faktörler ve her ana faktör altında dört alt faktör tanımlanır.

#### 2.1.1. Yapısal Faktörler

Farklı dönemlerde oluşan teknik/yapım bilgileri ve coğrafi özellikler kırsal ve kentsel yapıların farklılaşmasına neden olur. Yapıların oluşum özellikleri depremden zarar görebilirlikte en kritik faktörleri kapsamaktadır. Yapısal faktörler için tanımlanan alt faktörler şu şekildedir:

1. Yapı yaşı (Alizadeh, Ngah, vd., 2018; Bahadori vd., 2017; Nazmfar, 2019; M. S. Shadmaan & Popy, 2022): İnşasında kullanılan malzemeye göre yapı elemanlarının zamanla aşınması yapının yaşı ile ifade edilir. Yapının yaşının yüksek olması kullanılan malzemenin ve uygulan inşaat tekniklerin uygunsuzluğunu ve yapının zamanla yorulmuş olduğunu işaret eder. Bu durum yapının depremden zarar görebilirlik düzeyinin artmasına neden olur. Yapılar 10 yaş altı, 10-30 yaş arası ve 30 yaş üstü olmak üzere üç gruba ayrılabilir. 10 yaş altı yapılar yeni olarak adlandırılırken 10-30 yaş

arası yapılar risk belirsizliği içerirken 30 yaş üstü yapılar yaşlanma ve zamanın teknik yetersizlikleri göz önünde bulundurularak hasar görebilirliği en yüksek grubu oluşturur. Eski yapıların eski yerleşim merkezlerinde bulunması ve bu merkezlerde yoğunlaşmaları yapıların ve bu yerleşimlerdeki kalabalıkların zarar görebilirliğe daha savunmasız olmasına neden olur.

2. Yapı tipi (Armaş, 2012; Bahadori vd., 2017; M. S. Shadmaan & Popy, 2022): Yapının inşasında kullanılan malzemenin özelliği yapı tipini tanımlar. Yapı inşasında kullanılan en yaygın malzemeler beton, çelik, tuğla, demir, kerpiç ve ahşaptır. Kerpiç ve ahşap malzemelerden yapılan yapılar daha az kırılabilir özelliktedir. Dayanıklı malzemelerin kullanılması yapının hasar görebilirlik riskini azaltır. Zamanının koşullarında yüksek insan inisiyatifinde, inşaat kurallarına uyulmadan ve eksik denetimde inşa edilen eski yapılarda dayanıklı yapı malzeme ve teknik eksiklikleri görülür. Ayrıca yapı cephe tipi özelliklerinin cam, taş veya tuğla olması hasar görebilirlik riskini etkiler.
3. Kat sayısı (Alizadeh, Hashim, vd., 2018; Alizadeh, Ngah, vd., 2018; Bahadori vd., 2017; Nazmfar, 2019; Shafapourtehrany vd., 2022): Yapıların katsayısı depremden zarar görebilirliği etkileyen önemli bir faktördür. Yapılar katsayısına göre farklı sismik tepkiler gösterir. Kat sayısının artışı ile yapıların sismik kırılabilirliği de artar. Yapı teknolojilerindeki gelişmeler yapı dayanımını arttırmasına rağmen katsayısının artışı yapının savunmasızlığı engelleyemez. Ayrıca katsayısının çokluğu nüfus yoğunluğu oluşturması hasar boyutunun yükselmesine ve deprem sonrası faaliyetlerin karmaşıklaşmasına neden olur.
4. Yüzey alanı (Jena vd., 2020; S. Shadmaan & Islam, 2021): Yapının inşa edildiği zemin alanını genişliği yapının zarar görebilirliğini etkiler. Yapı zemin alanının geniş olması yapının zarar görebilirliğini azaltırken zemin alanının dar olması hasar riskini arttırır. Dar alanda yüksek katlı yapılar geniş alanda az katlı yapılardan daha fazla deprem hassasiyetine sahiptir. Yapı malzeme özellikleri zemin alanı genişliğinin etkilerini değiştirir. Örneğin geniş yüzey alanına sahip kerpiç yapılar depremden hasar görebilirliği en yüksek yapılardır.

### 2.1.2. Çevresel Faktörler

Yapının bulunduğu konum ve çevresinde yer alan özelliklerin depremden zarar görebilirliğe olan etkilerini tanımlar. Bu faktörler deprem sırasında ve deprem sonrasında olası hasarların önlenebilirliği dikkate alınarak tanımlanır. Çevresel faktörler için tanımlanan başlıklar şu şekildedir:

1. Faylara olan uzaklık (Alizadeh, Hashim, vd., 2018; Bahadori vd., 2017; Jena vd., 2020; Nazmfar, 2019): Sismik açıdan risk alanlarından kaçınmak depremden hasar görebilirlikten kaçınmada önemli prosedürler arasındadır. Yapıların faylara olan mesafesi depremden zarar görebilme risklerini etkiler. Faylara olan mesafenin azalması yapısal faktörlere bağlı olarak hassasiyetin

değişken artmasına neden olur. Yüksek hassasiyetteki bu bölgelere yakınlık mesken ve ticari yapılaşmalar için uygun görülmemektedir.

2. Jeoloji (Alizadeh, Hashim, vd., 2018; Alizadeh, Ngah, vd., 2018; Jena vd., 2020; Nazmfar, 2019): Sismik faaliyetlere sahip bölgelerin jeoteknik kırılabilirliğini belirlenmesi olası deprem risklerini derecelendirmeye yardımcı olur. Jeolojik yapı sismik dalgaların yer kabuğu üzerindeki etkileri belirleyici bir role sahiptir. Yapının yer alacağı zeminin toprak ve kaya tipini, eğimini, bileşimini ve su dokusunu içeren jeolojik oluşum türü depremden hasar görebilirliği etkileyen önemli faktördür. Depreme karşı dirençsiz jeolojik oluşumlar yapıların deprem hassasiyetini arttırır. Ayrıca jeolojik özelliklere göre deprem sonrası oluşabilecek zemin sıvılaşması, yüzey ayrışmaları ve heyelanlar depremin hasar boyutunu etkiler.
3. Ulaşım ağı (Alizadeh, Ngah, vd., 2018; Nazmfar, 2019; M. S. Shadmaan & Popy, 2022; Shafapourtehrany vd., 2022): Ulaşım sistemi altyapısı deprem hasarlarına müdahalede ve etkilerini en aza indirmede önemli bir rol oynar. Ulaşım ağları ve ana yolların genişliği deprem zarar görebilirlik yönetiminde önemli bir faktördür. Ulaşım ağının geniş ve açık olması müdahaleleri hızlandırarak depremden hasar görebilirlik boyutunu düşürür. Geniş ve etkin ulaşım ağı, kurtarma operasyonlarının, yardım malzemelerinin iletimi, yaralı nakilleri ve güvenli bölgelere yerleşimlerin hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlar.
4. Acil servislere (itfaiye, hastane, polis vb.) uzaklık (Armaş, 2012; Bahadori vd., 2017; Rashed & Weeks, 2003; M. S. Shadmaan & Popy, 2022; Shafapourtehrany vd., 2022): Deprem sonrası ortaya çıkan afet yönetiminin gerçekleştirilmesinde, ilk yardım müdahalelerin yapılmasında ve oluşan kaos ortamının kontrol altına alınmasında acil servisler öncül göreve sahiptir. Bu servislere yakınlık yardım ve kurtarma operasyonlarının hızla gerçekleşmesini sağlayarak afetzede sayısını azaltacaktır. Acil servislere yakınlık depremden hasar görebilirlik düzeyini azaltır.

### 2.1.3. Sosyal Faktörler

Depremden etkilenen toplulukların özellikleri depremden zarar görebilirliklerini etkileyen bir faktördür. Kişilerin fiziksel, zihinsel ve ruhsal özellikleri deprem öncesi, sonrası ve sonrası davranışlarını ve depreme maruz kalma boyutlarını belirler. Toplulukların depremden zarar görebilirliklerini etkileyen sosyal faktörler şu şekildedir:

1. Cinsiyet (Armaş, 2012; Rahman vd., 2015; M. S. Shadmaan & Popy, 2022): Cinsiyet farklılığı depremden zarar görebilirliği etkileyen bir faktör olarak görülür. Kadınların yapılarda kalma olasılıklarının yüksek olmasından ve duygusal ve fiziksel özelliklerinin erkeklerden farklı olmasından dolayı depremlerde erkeklerden daha fazla savunmasız oldukları kabul edilir.
2. Eğitim (Alizadeh, Ngah, vd., 2018; Armaş, 2012, 2012; Rahman vd., 2015; M. S. Shadmaan & Popy, 2022):

Eğitim düzeyinin artması deprem başta olmak üzere tüm afetlerde nasıl davranılması gerektiği konusunda bilincin artması ile ilişkilendirilir. Deprem öncesinde, sırasında ve sonrasında yapılması gerekenlerin bilinmesi depremin zarar verebilirlik düzeyini azaltır. Eğitimli insanların varlığı afetlerle başa çıkmada tedbirlerin alınmasında ve uygulanmasında öncü rol üstlenerek toplumsal savunmasızlığı azaltır. Deprem hassasiyeti konusunda toplumsal deprem eğitimi öncelikli olması gerekir. Eğitim düzeyi yalnız başına depremden hasar görebilirliği değiştirmemesine rağmen yüksek eğitimli kişilerin tehlike öngörülerine sahip olma olasılıkları daha yüksektir.

3. Yaş (<14, >65) (Bahadori vd., 2017; Rahman vd., 2015): Yaş, depremden zarar görebilirliği tanımlayan bir kriterdir. Fiziksel yetersizlikler ve bilgi eksiklikleri 14 yaş altı ve 65 yaş üstü bireylerin depremden zarar görme risklerini artırır. Bu yaş gruplarının yalnız olması zarar görme hassasiyetini arttırırken yaş ve bilgi yeterliliğine sahip bireyler ile beraber olmaları hassasiyeti azaltır.
4. Nüfus yoğunluğu (Alizadeh, Ngah, vd., 2018; Jena vd., 2020; M. S. Shadmaan & Popy, 2022; Shafapourtehrany vd., 2022): Depremden zarar görebilirlik boyutunu etkileyen ve sismik tehlike boyutu hesaplamada kullanılan en önemli faktör nüfus yoğunluğudur. Sismik faaliyetlere maruz kalan kişi sayısının artması zarar görme hassasiyetini de arttırır. Yapı yoğunlaşması ve kat sayısı ile birlikte nüfus yoğunluğunun artması savunmasızlığın artmasına da neden olur. Deprem öncesi riskli bölgelerdeki yoğunluğun yatay mimari ile seyreltilmesi risklerin azalmasını sağlar. Nüfus dağılım bilgilerinin bilinmesi ile deprem sonrası acil müdahale öncelikleri bu bölgelere yapılarak zarar görebilirlik boyutu azaltır.

Yapısal, çevresel ve sosyal ana kriterleri altında ele alınan alt faktörler ile depremden hasar görebilirlik boyutları arasında değerlendirme yapılır. AHP ile ele alınan problemde kriterler ana ve alt kriterler olarak karşılaştırmalı değerlendirilir. Karşılaştırmalı değerlendirmeler bir araya getirilerek faktörlerin öncelik değerleri elde edilir.

## 2.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Birden fazla kriteri değerlendirerek kriterler arasında önceliklendirme yapmaya amaçlayan çalışma ÇKKV problemi olarak ele alınır. Kriterleri ikili karşılaştırarak daha basit ve doğru değerlendirme imkanı verdiği için AHP yöntemi kullanılır. Bu bölümde AHP yönteminden bahsedilir.

Saaty tarafından geliştirilen AHP (T. L. Saaty, 2008) yaygın olarak soyut özelliklerin değerlendirmesinde başvurular ve ilgili başlıkları göreceli değerlendirme kolaylığı sunar (Aguarón vd., 2020). En uygun sonucu bulma amacı ile tasarlanan karar verme probleminde alternatifleri ve kriterleri değerlendirir. Çok sayıda alternatif ile çok sayıda kriterin tek boyutta karşılaştırılması zorluğu yerine karmaşık problemler alt boyutlara olmakla beraber en iyi kararın verilmesine de engel olmaktadır (Çoban, 2020). AHP karmaşık problemleri hiyerarşik olarak alt boyutlara indirgeyerek çözme imkanı veren bir yöntemdir. AHP değerlendirme elemanlarını ikili karşılaştırma matrisi (İKM) altında üstünlüklerine göre değerlendirir. Böylece karar vericiye

değerlendirme ve derecelendirme kolaylığı sağlar. Değerlendirme elemanları için tanımlanan ikili karşılaştırma matrisi, E şu şekilde tanımlanır (Brunelli, 2018);

$$E = (e_{ij})_{m \times m} = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1m} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Önem düzeyi (Tablo 1) temelinde  $e_{ij} \in [1/9, 9]$  olmak üzere alternatif i'nin ( $a_i$ ) alternatif j'ye ( $a_j$ ) üstünlük derecesini tanımlar (Franek & Kresta, 2014). Ayrıca ikili karşılaştırma değeri elemanların ağırlıkları arasındaki oran için yaklaşık değeri tahmin eder (Gass & Rapcsák, 2004):

$$e_{ij} \approx w_i/w_j, \forall i, j \quad (2)$$

$e_{ij} \approx w_i/w_j > 0$  olduğu için  $e_{ji} \approx w_j/w_i = 1/e_{ij}$  olmak üzere ikili karşılaştırma matrisi bu şekilde tanımlanabilir. Her eleman kendileri üzerinde eşit üstünlüğe sahip olduğu için  $e_{ii} = 1$  olur ve İKM'nin diagonalı 1 olarak tanımlanır.

Tablo 1. Saaty'nin tercih ölçeği

Önem	Tercih derecesi
1	Eşit derecede
3	Orta derecede
5	Fazlasıyla
7	Çok fazlasıyla
9	Aşırı derecede
2, 4, 6, 8	Ara dereceler

İkili karşılaştırma matrislerinde eleman ağırlıklarını tahmin etmede özvektör (Gass & Rapcsák, 2004; R. W. Saaty, 1987) ve geometrik ortalama yöntemleri yaygın tercih edilir. Perron-Frobenius özvektör yöntemi (Harker, 1987), ikili karşılaştırma matrisinin (E) gerçek ağırlık vektörü (w) ile çarpımının, ağırlık vektörünün (w) İKM'nin en büyük özdeğeri ( $\lambda_{mak}$ ) ile çarpımı arasındaki eşitliğe dayanır.

$$Ew = \lambda_{mak} w \quad (3)$$

İKM'de elemanların ikili ele alınması ile yapılan tüm değerlendirmelerin karar verici tarafından tutarlı bilgilerle yapılması beklenir. Karar vericinin değerlendirmelerini tutarlı yapıp yapmadığının değerlendirmesi geçişlilik koşullarının sağlanıp sağlanmadığına bakılarak yapılır (Xu vd., 2018). Tutarlılık indekslerine dayanarak geçişlilik koşullarının geçerliliği ölçülür. Saaty'nin tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı literatürde yaygın kabul gören ve başvurulan bir yöntemdir (Aguarón vd., 2020). Saaty özvektör yöntemine dayanarak İKM'nin ( $E_{m \times m}$ ) en yüksek özdeğeri ( $\lambda_{mak}$ ) İKM boyutuna (m) eşit olması durumunda değerlendirmelerin tam tutarlı olduğu sonucuna varılır. Bu kabule göre  $\lambda_{mak}$  ve m arasındaki ilişkiye dayanarak tanımlanan tutarlılık indeksi, CI şu şekildedir (Bulut vd., 2012):

$$CI(E) = \frac{\lambda_{mak} - m}{m - 1} \quad (4)$$

Tutarlılık indeksinin 0'dan farklı değer çıkması durumunda İKM'nin tutarlılığını değerlendirmek için tutarlılık oranı (CR) değerine bakılır (Csató, 2018). Tutarlılık oranı (CR(E)), İKM'nin boyutuna göre tutarlılık indeksinin ilgili boyuta karşılık gelen rassal indekse ( $RI_n$ ) oranı olarak tanımlanır. Rassal indeks ( $RI_m$ ), ikili karşılaştırma değerleri  $[1/9, 9]$  aralığında rastgele üretilen

İKM'lerin tutarlılık indekslerinin ortalamalarının alınması ile hesaplanır.

$$CR(E) = \frac{CI(E)}{RI_m} \quad (5)$$

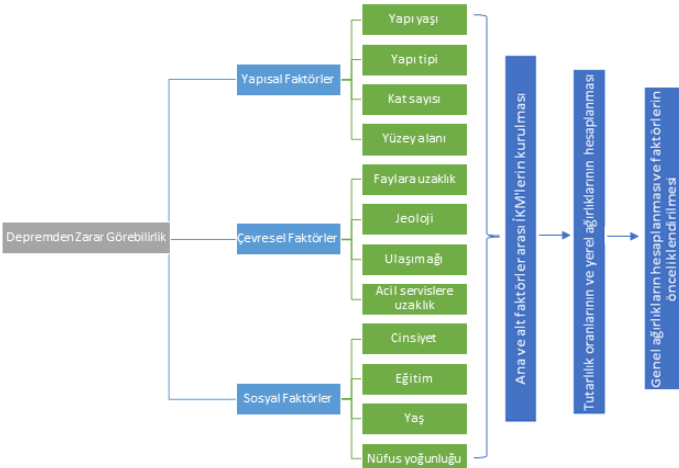
İKM'nin tutarsızlık oranının (CR) 0.1'e küçük ve eşit olması ( $CR \leq 0.1$ ) ikili karşılaştırmaların karar verici tarafından yeterince tutarlı olduğu sonucunu işaret eder. Ayrıca Saaty 3 ve 4 boyutlu İKM'lerin CR eşik değerlerini sırası 0.05 ve 0.08 olarak tanımlar (T. L. Saaty, 2008). Alonso ve Lamata tarafından geniş rassal veri seti ile üretilen  $RI_m$  değerleri Tablo 2'de gösterilir (Alonso & Lamata, 2006).

Tablo 2. Alonso ve Lamata RI değerleri

<b>m</b>	1	2	3	4	5
<b>RI<sub>m</sub></b>	0	0	0.5247	0.8816	1.1086
<b>m</b>	6	7	8	9	10
<b>RI<sub>m</sub></b>	1.2479	1.3417	1.4057	1.4499	1.4854

### 3. Faktörlerin Derecelendirilmesi

Depremden zarar görebilirliği etkileyen üç ana ve on iki alt faktör tanımlanır. Sismik riskleri etkileyen faktörlerin derecelendirilmesinde ve önceliklendirilmesinde AHP faydalı bir araç olarak ele alınır. Faktörlerin öncelik değerlerini belirleme amacı ile kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılır. AHP değerlendirmesi ile ağırlandırılacak ve önceliklendirilecek kriterler, deprem öncesi ve sonrası afet yönetiminde önem verilmesi gereken başlıkları tanımlar. Farklı fiziksel, çevresel ve sosyal özelliklere sahip bölgeler ilgili faktör yoğunluğuna göre farklı risk boyutlarında tanımlanabilir ve haritalandırılabilir. Depremden zarar görebilirlik derecelendirmesi amacı için geliştirilen AHP yapısı Şekil 1'de gösterilir.



Şekil 1. Depremden zarar görebilirlik değerlendirilmesinin AHP gösterimi.

Ana faktörler öncelikli olmak üzere her ana kriter altında tanımlanan alt faktörler için İKM'leri uzman görüşleri ve literatürden elde edilen bilgilere göre geliştirilir. Ana kriterler için tanımlanan İKM Tablo 3'de gösterilir.

Ana ve alt faktörler için yapılan ikili karşılaştırmalı değerlendirmeler İKM ile gösterilir. Bu değerlendirme yapılırken, yapısal faktörler çevresel ve sosyal faktörlere göre daha yüksek puanlanmıştır. Depremden zarar görmede yapılar temel risk potansiyellerine (binanın yaşı, kullanılan malzeme vb.) olduğu için önem düzeyi yüksek tutulmuştur.

Ana kriterlerin ikili karşılaştırmalı değerlendirmesine göre faktörler arasında önemli farklılıklar görünmez (Tablo 3). Öncelik değerlerine göre yapısal faktörler (0,525) zarar görebilirlik için en önemli faktör olarak görünürken en zayıf etkiler sosyal faktörlerden (0,141) beklenir. Yapısal ana faktörünün yüksek öncelik değeri alt faktörlerinin de genel derecelendirme ve sıralamada öne çıkmasını sağlar.

Tablo 3. Zarar görebilirlik ana kriterlerinin İKM

Faktörler	YF	ÇF	SF	Öncelik Vektörü
Yapısal Faktörler (YF)	1	2	3	0,525
Çevresel Faktörler (ÇF)	0,5	1	3	0,334
Sosyal Faktörler (SF)	0,33	0,33	1	0,141

Yapısal faktörlerin kendi içinde ikili karşılaştırmasında, yapı yaşı en önemli yapısal faktör olarak ortaya çıkar (Tablo 4). Bina yaşının artması ve özellikle 30 yıl sınırını aşması zarar görebilirlik riskini artırır. Yapı yaşı ve yapı tipi eşit düzeyde kat sayısı ve yüzey alanında önemli olarak değerlendirilir. Yüzey alanı faktörü yapının yaşı, tipi ve kat sayısından daha az önemsiz olarak görünür (0,137).

Tablo 4. Yapısal faktörler zarar görebilirlik kriterlerinin İKM

Faktörler	YY	YT	KS	YA	Öncelik Vektörü
Yapı Yaşı (YY)	1	3	2	2	0,420
Yapı Tipi (YT)	0,3	1	2	2	0,248
Kat Sayısı (KS)	0,5	0,5	1	2	0,195
Yüzey Alanı (YA)	0,5	0,5	0,5	1	0,137

Çevresel faktörlerin değerlendirmesinde faylara uzaklık en önemli faktör (0,385) olarak belirlenir (Tablo 5). Faylara uzaklık, tüm çevresel faktörler üzerinde üstün önem düzeyine sahip olup jeoloji ikinci yerel öncelik sıralamasına sahip faktördür. Tüm faktörlerden önemsiz olarak değerlendirilen acil servislere uzaklık faktörü en az öncelik değerine (0,149) sahip olup eşit önem değerine sahip olduğu ulaşım ağı faktörünün öncelik değeri 0,160'dir. Bu sonuçlar depremde zarar görebilirlikte öncül önlemlerin alınması gerekliliğine işaret eder.

Tablo 5. Çevresel faktörler zarar görebilirlik kriterlerinin İKM

Faktörler	FU	J	UA	ASU	Öncelik Vektörü
Faylara Uzaklık (FU)	1	2	2	2	0,385
Jeoloji (J)	0,5	1	2	3	0,306
Ulaşım Ağı (UA)	0,5	0,5	1	1	0,160
Acil Servislere Uzaklık (ASU)	0,5	0,3	1	1	0,149

Sosyal faktörlerin değerlendirmesinde nüfus yoğunluğu en önemli faktör (0,384) olduğu gözlenir (Tablo 6). Nüfus yoğunluğunun fazla olması zarar görebilirliğin ölçüleri olan can kaybı ve yaralanma sayılarının artmasına neden olur. En önemli üstünlük derecesi yaş faktörünün cinsiyet faktörü üzerindedir. Cinsiyet faktörü diğer faktörlerden önemsiz konumda olup en düşük öncelik değerine (0,120) sahiptir. Yaş ve eğitim eşit öneme sahip olmalarına rağmen yaş faktörünün öncelik değeri (0,275) eğitim faktörünün öncelik değerinden (0,220) yüksektir.

Tablo 6. Sosyal faktörler zarar görebilirlik kriterlerinin İKM

Faktörler	C	E	Y	NY	Öncelik Vektörü
Cinsiyet (C)	1	0,5	0,25	0,5	0,385
Eğitim (E)	2	1	1	0,5	0,306
Yaş (Y)	4	1	1	0,5	0,160
Nüfus Yoğunluğu (NY)	2	2	2	1	0,149

Alt faktörlerin ana faktör öncelik değerlerine dayanarak yapılan derecelendirme Tablo 7’de gösterilir. Derecelendirme ve sıralamaya göre yapısal faktörler ön plana çıkar. Yapı yaşı genel değerlendirmede en önemli faktör olarak belirlenir. Diğer bir yapısal faktör olan yapı tipi genel önem sıralamasında ikinci sırada yer alır. Yapı tipi zeminin özelliklerine göre değişkenlik göstermesinden dolayı önemli faktörler arasındadır. Yapısal faktörler dışında üçüncü önem sırasında yer alarak öne çıkan çevresel faktör fay hatlarına uzaklık faktörüdür. Dolayısıyla fay hatlarının belirli mesafe uzağına yapılaşmanın yapılması gerekliliği dikkat çeker. Sosyal faktörleri zarar görebilirlik önem sıralamasında son sıralarda yer alırken sırası ile cinsiyet (0,017), eğitim (0,031) ve yaş (0,039) en düşük genel önem değerlerine sahiptir. Cinsiyet, eğitim ve yaşında zarar görebilirlikte önemli olmasına rağmen nüfus yoğunluğu kadar önemli olmadığı görülmektedir.

Tablo 7. Genel öncelik değerleri ve öncelik sıralaması

Ana faktörler	Alt faktörler	Yerel öncelik		Genel öncelik	
		Değerleri	Sırası	Değerleri	Sırası
Yapısal Faktörler (w=0,525)	Yapı yaşı	0,419	1	0,220	1
	Yapı tipi	0,248	2	0,130	2
	Kat sayısı	0,195	3	0,103	4
	Yüzey alanı	0,137	4	0,072	6
Çevresel Faktörler (w=0,334)	Faylara uzaklık	0,385	1	0,129	3
	Jeoloji	0,306	2	0,102	5
	Ulaşım ağı	0,160	3	0,053	8
	Acil servislere uzaklık	0,149	4	0,050	9
Sosyal Faktörler (w=0,142)	Cinsiyet	0,120	4	0,017	12
	Eğitim	0,220	3	0,031	11
	Yaş	0,275	2	0,039	10
	Nüfus yoğunluğu	0,384	1	0,054	7

Genel olarak depremden maddi ve manevi zarar görebilirliği yapısal, çevresel ve sosyal faktörler birbirlerini tamamlayıcı bir yapıda etkiler. Bu çalışmada yapılan karşılaştırmalı değerlendirme ve önceliklendirme hesaplamalarından elde edilen sonuçlar deprem öncesi, sonrası ve sonrası maruziyeti etkileyen faktörleri tanımlayarak depremin zararlarını azaltmayı amaçlar. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak deprem afet

planlamalarının ve öncelik faaliyetlerinin tanımlanmasına yardımcı olması beklenir.

#### 4. Sonuç

Depremden zarar görebilirlik, depremin neden olduğu tehlikelerin insanlar başta olmak üzere canlı ve cansız çevrelere vereceği zararların ölçüsü olarak tanımlanır. Zarar görebilirliğe neden olan faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlere öncelikli önlemlerin alınması zarar ölçüsünün azaltılması katkı sağlayacaktır. Bu çalışma, zarar görebilirlik etkilerini azaltmak için kritik faktörlerin literatür taraması ve uzman görüşleri ile tanımlanmasını ve önceliklendirilmesini amaçlar. Zarar görebilirliği etki eden faktörler yapısal, çevresel ve sosyal ana başlıklarında tanımlanır. Yapısal faktörler yapı yaşı, yapı tipi, kat sayısı ve yüzey alanı; çevresel faktörler faylara uzaklık, jeoloji, ulaşım ağı ve acil servislere uzaklık; sosyal faktörler cinsiyet, eğitim, yaş ve nüfus yoğunluğu alt faktörlerinde tanımlanır. Ana faktörleri v ve alt faktörleri ikili karşılıklı değerlendirme imkanı veren AHP yöntemi kullanılır. AHP yöntemi ile faktörler hiyerarşik olarak tanımlanır ve öncelikli ağırlıkları elde edilir.

Ana faktörlerin ikili karşılaştırmalı değerlendirmelerine göre yapısal faktörler depremin zarar verebilirlik boyutunu etkileyen en önemli faktör olarak belirlenir. Yapısal faktörler altında yer alan yapı yaşı, yapı tipi ve kat sayısı faktörleri depremin zarar verme ölçüsünü düşürmede öncelikli faktörler olarak sıralanır. Yüzey alanı faktörü en zayıf yapısal faktör olmasına rağmen genel öncelik sıralamasında ön sıralarda yer alır. Bu sonuçlar depreme karşı yapısal önlemlerin alınmasının önemli bir kez daha vurgular. Yapısal faktörlerden sonra gelen en önemli ana faktör çevresel faktör iken en zayıf etkiye sahip ana faktör sosyal faktördür. Faylara uzaklık ve jeolojik yapı çevresel faktörlerin önem öncelik kazanmasına neden olan faktörlerdir. Yapısal özellikler önemli olmasına rağmen fay hatlarına yakın olunması ve uygun olmayan zemin yapısına inşaların yapılması zarar görebilirlik boyutunu arttırması beklenir. Özellikle deprem sonrası zarar ölçüsünü düşürmede ulaşım ağı ve acil servislere uzaklık kritik faktörler olarak öne çıkar. En zayıf ana faktör olan sosyal faktörlerde nüfus yoğunluğunun artması ölüm ve yaralanma riskini arttıracığı için en önemli sosyal risk olarak tanımlanır. Sosyal faktörler özellikle savunmasız bireylerin zarar görebilme durumunu dikkate alır. Genç ve yaşlı bireyler depremden savunma konusunda bilgilendirilmeleri ve toplumsal bilincin sağlanması için genel deprem eğitimlerinin verilmesi de zarar boyutunun azaltılmasına katkı sağlayacağı görülür.

İnsanların ve çevrenin depremden görebileceği maddi ve manevi zararların kaynakları çoklu boyutta ele alınması gereken önemli bir problemdir. Bu çalışmada ele alınan faktörler ve bu faktörler için tanımlanan öncelik sıralamaları toplumsal farkındalığın yaratılmasında ve ulusal deprem planlamasına katkıda bulunması beklenir. Gelecek çalışmalarda ele alınan ana ve alt faktörlerin ayrıntılı genişletilmesi ve başlıkların yeniden tanımlanması planlanır. Bu şekilde genişletilen çalışma ÇKKV problem olarak ele alınarak farklı karar verme araçları ile faktörlerin derecelendirilmesi ve sıralanması yapılabilir. ana sonuçları bu bölümde özetlenmelidir.

#### Kaynakça

AFAD. (2021). 1990-2020 Türkiye Deprem İstatistikleri. <https://istatistik.com.tr/1990-2020-turkiye-deprem-istatistikleri/>

- AFAD. (2023). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>
- Aguarón, J., Escobar, M. T., Moreno-Jiménez, J. M., & Turón, A. (2020). The Triads Geometric Consistency Index in AHP- Pairwise Comparison Matrices. *Mathematics*, 8(6), 926.
- Alizadeh, M., Hashim, M., Alizadeh, E., Shahabi, H., Karami, M. R., Beiranvand Pour, A., Pradhan, B., & Zabihi, H. (2018). Multi-criteria decision making (MCDM) model for seismic vulnerability assessment (SVA) of urban residential buildings. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(11), 444.
- Alizadeh, M., Ngah, I., Hashim, M., Pradhan, B., & Pour, A. B. (2018). A hybrid analytic network process and artificial neural network (ANP-ANN) model for urban earthquake vulnerability assessment. *Remote Sensing*, 10(6), 975.
- Alonso, J. A., & Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: A new approach. *International journal of uncertainty, fuzziness and knowledge-based systems*, 14(04), 445-459.
- Armaş, I. (2012). Multi-criteria vulnerability analysis to earthquake hazard of Bucharest, Romania. *Natural hazards*, 63, 1129-1156.
- Bahadori, H., Hasheminezhad, A., & Karimi, A. (2017). Development of an integrated model for seismic vulnerability assessment of residential buildings: Application to Mahabad City, Iran. *Journal of Building Engineering*, 12, 118-131.
- BDTİM. (2000). Genel Bilgiler. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/genel-bilgiler/>
- BDTİM. (2023a). Büyük Depremler. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/#>
- BDTİM. (2023b). Yıllık Deprem Harita, Grafik ve Tabloları. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-verileri/yillik-deprem-haritalari/>
- Brunelli, M. (2018). A survey of inconsistency indices for pairwise comparisons. *International Journal of General Systems*, 47(8), 751-771.
- Bulut, E., Duru, O., Keçeci, T., & Yoshida, S. (2012). Use of consistency index, expert prioritization and direct numerical inputs for generic fuzzy-AHP modeling: A process model for shipping asset management. *Expert Systems with Applications*, 39(2), 1911-1923.
- Csató, L. (2018). Characterization of an inconsistency ranking for pairwise comparison matrices. *Annals of Operations Research*, 261(1), 155-165.
- Çoban, V. (2020). Solar energy plant project selection with AHP decision-making method based on hesitant fuzzy linguistic evaluation. *Complex & Intelligent Systems*, 6(3), 507-529.
- Duzgun, H., Yucemen, M., Kalaycioglu, H., Çelik, K., Kemec, S., Ertugay, K., & Deniz, A. (2011). An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. *Natural hazards*, 59, 917-947.
- Etemadfard, H., & Moradi, M. (2021). Estimating the Damage of Earthquake Using RADIUS Model (Case Study: Tehran). 49-62.
- Franek, J., & Kresta, A. (2014). Judgment scales and consistency measure in AHP. *Procedia economics and finance*, 12, 164-173.
- Gass, S. I., & Rapcsák, T. (2004). Singular value decomposition in AHP. *European Journal of Operational Research*, 154(3), 573-584.
- Harker, P. T. (1987). Derivatives of the Perron root of a positive reciprocal matrix: With application to the analytic hierarchy process. *Applied Mathematics and Computation*, 22(2-3), 217-232.
- Jena, R., Pradhan, B., & Beydoun, G. (2020). Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International journal of disaster risk reduction*, 46, 101518.
- Nazmfar, H. (2019). An integrated approach of the analytic network process and fuzzy model mapping of evaluation of urban vulnerability against earthquake. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*.
- Rahman, N., Ansary, M. A., & Islam, I. (2015). GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city, Bangladesh. *International journal of disaster risk reduction*, 13, 291-300.
- Rashed, T., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Shadmaan, M. S., & Popy, S. (2022). An assessment of earthquake vulnerability by multi-criteria decision-making method. *Geohazard Mechanics*.
- Shadmaan, S., & Islam, A. I. (2021). Estimation of earthquake vulnerability by using analytical hierarchy process. *Natural Hazards Research*, 1(4), 153-160.
- Shafapourtehrany, M., Yariyan, P., Özener, H., Pradhan, B., & Shabani, F. (2022). Evaluating the application of K-mean clustering in Earthquake vulnerability mapping of Istanbul, Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 79, 103154.
- Xu, Y., Wang, Q., Cabrerizo, F. J., & Herrera-Viedma, E. (2018). Methods to improve the ordinal and multiplicative consistency for reciprocal preference relations. *Applied Soft Computing*, 67, 479-493.
- Zhou, H., Wang, X., & Yuan, Y. (2015). Risk assessment of disaster chain: Experience from Wenchuan earthquake-induced landslides in China. *Journal of mountain science*, 12, 1169-1180.