

# DEPREM KIRILGANLIĞININ ANALİZİ: ZEYTİNBURNU ÖRNEĞİ

Hilal AKÇELİK<sup>1</sup>, Melis UZAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, akcelikhilal@gmail.com  
<sup>2</sup> Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, auzar@yildiz.edu.tr

## ÖZET

İstanbul ili ve çevresi, deprem açısından incelendiğinde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara Denizi içerisinden geçen ana kollarının olumsuz etkisi altındadır. Bu sebeple, deprem tehlikesi İstanbul'u tehdit eden önemli bir konudur. İstanbul için deprem tehlikesine karşı kentsel dayanıklılığın artırılması büyük bir önem taşımaktadır. Kentsel dayanıklılık, bir kentsel alanın çok çeşitli rahatsızlık ve streslerin üstesinden gelme ve yeni koşullara uyum sağlama kapasitesi olarak tanımlanmaktadır [1-2-3]. Kentsel dayanıklılığın iyileştirilmesi, kentsel kırılabilirliğin temel nedenlerini azaltmayı amaçlayan müdahalelerin daha iyi anlaşılmasını ve tasarlanmasını gerektirir [4-5]. Bu müdahalelerin stratejik bir süreçle yönetilmesi gerekmektedir. Bu stratejik sürecin altyapısı ise kentsel kırılabilirlik nedenlerinin bütünlük olarak değerlendirilmesi ile oluşturulmalıdır. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri kullanılarak deprem kırılabilirliklerinin analizi mümkündür [6]. Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan En İyi En Kötü Yöntemi, yapılandırılmış çift yönlü karşılaştırma sistemine dayanan çok kriterli bir karar verme yöntemidir. Kriterlerin en uygun ağırlıklarını elde etmek için bir optimizasyon modeli ve girdi olarak iki çiftli karşılaştırma vektörü kullanılır [7]. İçişleri Bakanlığı AFAD Deprem Dairesi (AFAD-RED sistemi) raporunda, Marmara Denizi Adalar açıklarında 7 ve üzeri büyüklüğünde gerçekleşecek olası bir deprem senaryosunda İstanbul Avrupa kıtasının güney bölgelerinde yer alan ilçeler bu depremden yoğun olarak etkileneceği öngörülmüştür [8]. İstanbul ilinin güney kesiminde depreme karşı risk teşkil eden ilçeler arasında yer alan Zeytinburnu ilçesi çalışma bölgesi olarak ele alınmıştır. Zeytinburnu ilçesine ait yapısal (kat sayısı, inşaat türü, yapım yılı), fiziksel (fay hattına uzaklık, yola uzaklık), jeolojik (PGA, VS30) ve sosyal (nüfus, bina kullanım tipi) kriterler Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan En İyi En Kötü Yöntemi ile ağırlıklandırılarak Coğrafi Bilgi Sistemi entegrasyonu ile bina bazında deprem kırılabilirlik indeksleri ve kırılabilirlik haritası elde edilmiştir. Sonuçta, Zeytinburnu ilçesindeki %12,54 binanın çok yüksek kırılabilir, %31,44 binanın yüksek kırılabilir, %39,53 binanın orta kırılabilir, %9,63 binanın düşük kırılabilir ve %6,86 binanın çok düşük kırılabilir kategoride yer aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç haritasında; Zeytinburnu ilçesindeki depreme karşı savunmasızlığın ilçenin kuzey kesimlerinde daha düşük olduğu, güney kesimlerinde ise daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölge için hazırlanacak afet yönetim stratejilerinin, bu çalışma ile elde edilen deprem kırılabilirlik değerleri ve sonuç harita dikkate alındığında afet yönetimi için büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** En İyi En Kötü Metodu, Deprem Kırılabilirliği, CBS.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF EARTHQUAKE VULNERABILITY: ZEYTİNBURNU EXAMPLE

The city of Istanbul and its surroundings are under the negative impact of the main branches of the North Anatolian Fault Zone passing through the Marmara Sea. Therefore, earthquake hazard is an important issue threatening Istanbul. Increasing the urban resilience against an earthquake hazard is of great importance for Istanbul. Urban resilience is defined as the capacity of an urban area to overcome a wide range of inconveniences and stresses and adapt to new conditions [1-2-3]. Improving urban resilience requires a better understanding and design of interventions aimed at reducing the root causes of urban vulnerability [4-5]. These interventions need to be managed through a strategic process. The infrastructure of this strategic process should be established through an integrated assessment of the causes of urban vulnerability. It is possible to analyse earthquake vulnerabilities by using Geographic Information Systems and Multi-Criteria Decision-Making Methods [6]. The Best Worst Method, which has been widely used in recent years, is a multi-criteria decision-making method based on a structured pairwise comparison system. In this method, an optimization model and two pairwise comparison vectors are used as inputs to obtain the optimal weights of the criteria [7]. According to the report of the Ministry of Interior AFAD Earthquake Department (AFAD-RED system), it is predicted that in a possible earthquake scenario with a magnitude of 7 and above off the Marmara Sea Islands, the districts located in the southern regions of the European continent of Istanbul will be intensely affected [8]. Among the districts of Istanbul that are at risk against earthquakes, the Zeytinburnu district has been selected as the study area. Building-based earthquake vulnerability indexes and a vulnerability map was obtained for the Zeytinburnu district by weighing the structural (number of storeys, type of construction, year of construction), physical (distance to fault line, distance to road), geological (PGA, VS30) and social (population, type of building use) criteria with the Best Worst Method and the integration of Geographic Information Systems. As a result, it was determined that 12.54% of the buildings in Zeytinburnu district are very high fragile, 31.44% are high fragile, 39.53% are medium fragile, 9.63% are low fragile and 6.86% are very low fragile. In the result map obtained; it is observed that the earthquake vulnerability in Zeytinburnu district is lower in the northern parts of the district and higher in the southern parts. If the earthquake vulnerability values and the result map obtained with this study are taken into consideration, it is thought that it will make a great contribution to the disaster management strategies that are to be prepared.

**Keywords:** Best Worst Methodology, Earthquake Vulnerability, GIS

## 1. GİRİŞ

Depremler çok sayıda can kaybına ve ekonomik kayıplara sebep olan doğa olaylarının başında gelmektedir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde meydana gelen depremlerden birçok ülke önemli derece etkilenmektedir. 1990 yılından bu yana depremler sonucunda 800 binden fazla insan hayatını kaybetmiştir. Depremlerden en çok etkilenen beş ülke Çin, Endonezya, İran, Türkiye ve Japonya'dır [8].

Marmara bölgesinde 1900 yılından günümüze kadar en büyüğü 7,6 olmak üzere 262 adet  $M \geq 4,0$  deprem meydana gelmiştir. 1900 yılı öncesi için 449 adet tarihsel dönem depremi kaydı mevcuttur. Ülkemizin Bütünleşik Afet Yönetim Sistemi'ne geçiş konusunda milat sayılan 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi sonucunda 18.373 kişi hayatını kaybetmiş, 48.901 kişi yaralanmış, 505 kişi sakat kalmış, 96.796 konut ve 15.939 işyeri kullanılamaz hale gelmiştir. Fay hatları etkisinde bulunan İstanbul için deprem, beklenen bir gerçektir. Çok sayıda sismolog, 2030 yılına kadar KAF ın İstanbul'un güneyine karşı gelen Marmara Denizi içindeki bölümünde 7,0 ve üzeri büyüklükte bir deprem gerçekleşmesi olasılığının çok yüksek olduğunu belirtmektedir [9]. Ayrıca çok sayıdaki bilimsel çalışma ve geçmiş depremlerden elde edilen tecrübeler, aktif faylara yakın bölgelerde kuvvetli yer hareketinin etkisinin bu bölgelerdeki yapılar üzerinde daha olumsuz olduğunu kanıtlamıştır. Aktif faylara olan mesafe, hem deprem tehlikesi analizlerindeki sonuçları nedeniyle hem de olası '*yakın fay etkisi*' sebebi ile zarar verebilirlik açısından önemli bir kriterdir. İstanbul'un çok sayıdaki ilçesi, aktif fay hatlarına yakınlığı, yerel zemin parametreleri ve yapı stoklarının modern deprem yönetmeliklerinin gerektirdiği minimum koşulları sağlamamaları sebebiyle yüksek risk derecesine sahiptir. Bu nedenle Marmara Denizi kıyı şeridinde yer alan ve aynı zamanda bu çalışmaya konu olan Zeytinburnu ilçesi de depreme karşı yüksek risk barındıran ilçeler arasında yerini almaktadır [9].

Depremleri önlemek imkânsız olabilir, ancak doğru tahminler ve erken uyarılar hasarın ve sonuçların etkisini azaltabilir [10]. Bu bağlamda kentsel dayanıklılık kavramı üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde kentsel dayanıklılık, kentsel alanlarda bireysel yapıların veya yapı kümelerinin potansiyel tehlikelere karşı savunma kapasitesini ifade eden bütünleşik bir kavram haline gelmiştir. Bu kapasite, yapının veya yapısal bölgelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra sosyo-ekonomik özellikleri ile de ilgilidir. Bir kent in tehlikelere karşı dayanıklılığının artırılması öncelikli olarak kentsel kırılgenlik kriterleri belirlenmeli ve kırılgenlik sebeplerini ortadan kaldırmak için gerekli stratejik planlar oluşturulmalıdır. Bu çalışmalar olası tehlikelere karşı risk azaltma ve afet sonrası müdahalenin kolaylaştırılması amacı odağında bölgelere (ilçe, mahalle vb.) özel risk faktörleri gözetilerek yürütülmelidir.

Deprem etkisi altında bulunan birçok ülke veya bölge için olası deprem risklerine karşı kırılgenliğin tespit edilebilmesi amacıyla literatürde yer alan çok sayıda analiz çalışması bulunmaktadır. Literatürde yer alan ulusal ve bölgesel ölçekteki çalışmalarda deprem riskini değerlendirmek için farklı yöntemler uygulanmıştır. Arap yarımadasındaki deprem kırılgenliği çeşitli AI modelleri kullanılarak [11], Endonezya'nın Palu şehrindeki deprem kırılgenliği çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak [12], Endonezya'nın Banda Aceh şehrindeki deprem kırılgenliği yapay sinir ağı ile birlikte Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) modeli uygulanarak [10], İran'daki Sanandaj şehrindeki deprem kırılgenliği yapay sinir ağı ile birlikte Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) modeli uygulanarak [13], Hindistan'ın Assam şehrindeki deprem kırılgenliği AHP, Bulanık AHP ve Maksimum Entropi Tekniği uygulanarak [14], İran'ın Tahran şehrindeki risk değerlendirmesi CBS tabanlı üç boyutlu risk matrisi kullanılarak [15], Kanada'nın Regina şehrindeki deprem kırılgenliği En İyi En Kötü Yöntemi (EİEKY) ve Dempster-Shafer Teorisi kullanılarak tespit edilmiştir [16].

Bu çalışmada, İstanbul'un Zeytinburnu ilçesindeki deprem kırılgenliği EİEKY kullanılarak ortaya koyulmuştur. Zeytinburnu İlçesine ait coğrafi ve demografik açıklamaların yer aldığı genel bilgiler bölüm 2'de yer almaktadır. Çalışmada kullanılan yöntem, iş akış şeması, kriterlerin önem dereceleri ve ağırlıkları bölüm 3'te sunulmuştur. Deprem kırılgenlik analizinin uygulama aşamasına bölüm 4'te yer verilmiştir. Sonuç ve önerilere ise bölüm 5'te yer verilmiştir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Zeytinburnu İlçesi, 1957 yılında İstanbul ilinin 14. ilçesi olarak kurulmuştur. Yüzölçümü 11,31 km<sup>2</sup> ve ilçede 13 mahalle bulunmaktadır. İlçe, Trakya'nın Güneydoğusunda Çatalca Yarımadasının Marmara Denizine bakan yamaçlarının bu denizle birleştiği yerdedir. İlçenin toprakları 29 derece doğu boylamı, 41 derece kuzey enlemi üzerinde bulunmaktadır. İlçe topraklarının denizden ortalama yüksekliği 30-35 m'dir. Doğusunda Fatih, batısında Bakırköy ve Güngören, kuzeyinde Bayrampaşa, Eyüp, güneyinde ise Marmara Denizi bulunmaktadır. 2023 yılı TÜİK verilerine göre nüfusu 280.896 olarak belirlenmiştir [17-18-19].

Zeytinburnu, tarihi dokusu ve bölgeye özel değerleriyle günümüzde İstanbul'un kültür ve inanç turizmi merkezlerinden biridir. Bölgede, yüzyıllar öncesinde inşa edilmiş çok önemli tarihi yapılar bulunmaktadır. Zeytinburnu ilçesinin İstanbul'daki konumu ve uydu görüntüsü ilçe sınırlarıyla birlikte Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Zeytinburnu İlçesi'nin İstanbul'daki Konumu ve Uydu Görüntüsü

Çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü tarafından yenilenen bina envanter verisi temel altlık olarak kullanılmıştır. Bina verileri CBS tabanlı alan geometrisi olup, ITRF96TM30 koordinat sistemindedir. Çalışmada kullanılan kriterler kaynakları ve veri türüne ait bilgiler Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Kriterler ve Veri Bilgileri

Kriter	Veri Kaynağı	Veri Tipi
PGA	İBB DEZİM	Vektör Veri
Vs30	İBB DEZİM	Vektör Veri
Fay Hattına Uzaklık	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü İnternet Sitesi	Vektör Veri
İnşaat Türü	İBB DEZİM	Vektör Veri
Kat Adedi	İBB DEZİM	Vektör Veri
Yapım Yılı	İBB DEZİM	Vektör Veri
Gece Nüfusu	İBB DEZİM	Vektör Veri
Kullanım Tipi	İBB DEZİM	Vektör Veri
Yola Uzaklık	Open Street Map	Vektör Veri

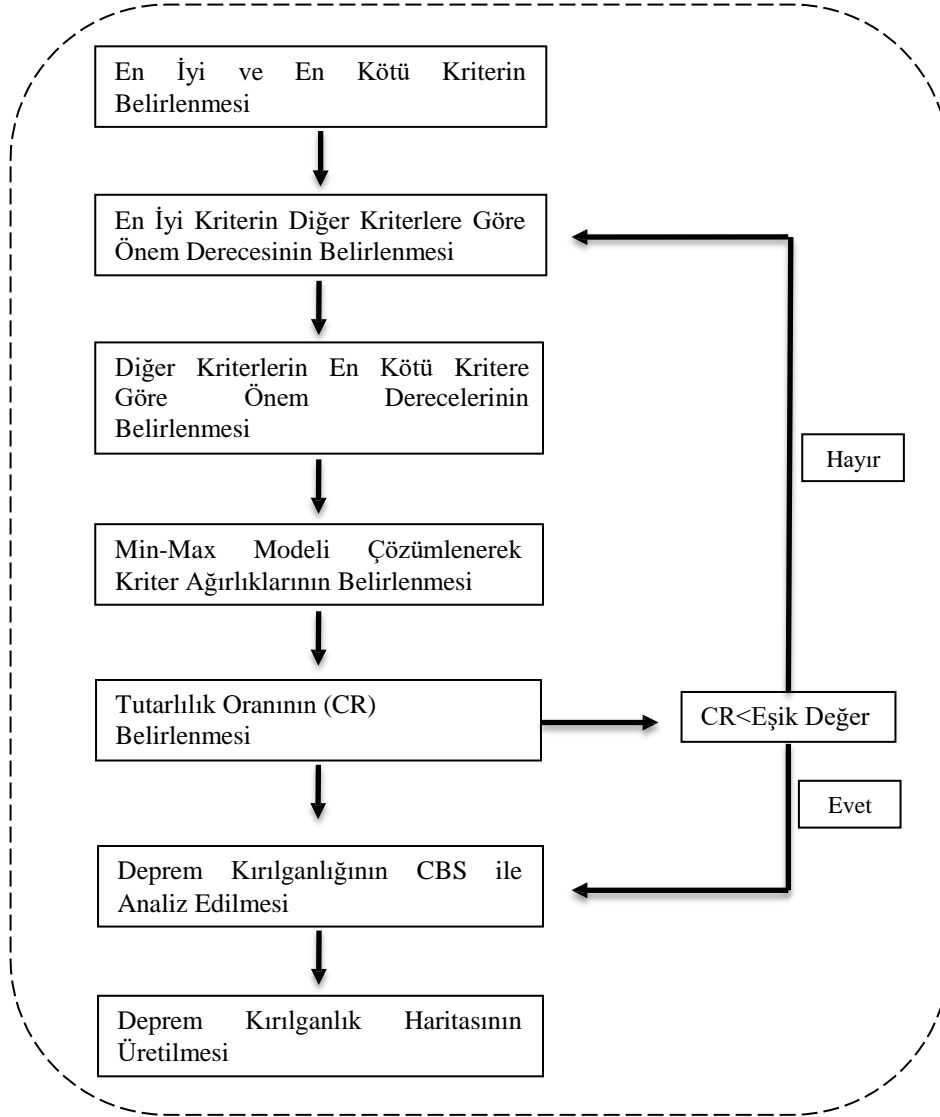
### 3. METODOLOJİ

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan “En İyi En Kötü Yöntemi” Jafar Rezaei tarafından 2015 yılında geliştirilmiştir. Diğer karar verme yöntemleri ile kıyaslandığında az sayıda ikili karşılaştırma ile çözüm yapma olanağı tanınması yöntemin öne çıkan özelliğidir. EİEKY bu çalışmada, deprem kırılgenlik kriterlerinin önem derecelerini ifade eden ağırlıkların hesabında kullanılmıştır [7].

Bu çalışmada, ilk olarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. İlk matris (vektör) en iyi kriterin diğer kriterlere göre önem derecesinin belirlenmesiyle, ikinci matris (vektör), diğer kriterlerin en kötü kriterlere göre önem derecelerinin belirlenmesiyle oluşturulmuştur. Daha sonra bu iki matris kullanılarak min-max modeli çözümlenmiş ve kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından bu ağırlıklar kullanılarak CBS ortamında bina bazlı kırılgenlik indeksleri üretilmiştir.

CBS ortamında gerçekleştirilen analizde, kullanılan her bir kriterin değer aralığına özel olacak şekilde kırılgenlik katsayıları tayin edilmiş ve katman sınıflandırması yapılmıştır (Çizelge 3). Deprem kırılgenliğinin CBS ortamında analizi,

kullanılan yazılımının ‘‘Ağırlıklı Toplam’’ aracından faydalanılarak gerçekteştirilmiştir. Yöntemin iř akış şeması şekil 2’de yer almaktadır.



şekil 2. İř Akış şeması

### 3.1. En İyi En Kötü Yöntemi

EİEKY çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan, ikili karşılaştırma mantığına dayalı hesap yapan bir yöntemdir. EİEKY dört aşamadan meydana gelmektedir. İlk olarak kullanılacak kriterler arasındaki en iyi (önemli) ve en kötü (önemsiz) kriter literatür araştırması ve uzman görüşünden faydalanılarak belirlenir. İkinci aşamada bu yöntemde belirlenen en iyi kriterin diğer kriterlerle ve diğer kriterlerin en kötü kriterlerle karşılaştırması yapılır ve önem dereceleri belirlenir. Üçüncü aşamada ikili karşılaştırmalardan yararlanılarak ağırlık vektörleri oluşturulur. Son aşamada ise bu iki vektörden yola çıkılarak kriter ağırlıkları Eşitlik (1)-(5)’te gösterilen modelin çözümüyle hesaplanır.

$$min_i, \quad (1)$$

$$\frac{a_{ij}}{a_{ji}} - ab^j \leq \{, \forall j \quad (2)$$

$$\frac{a_{ij}}{a_{ji}} - a_jw^j \leq \{, \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{\#} w_j = 1 \quad (4)$$

$$w_j \geq 0, \forall j \quad (5)$$

Eşitlik (1)-(5)'te, "a<sub>Bj</sub>" en iyi kriterin j'inci kriterine göre önem derecesini, "a<sub>jw</sub>" j'inci kriterin en kötü kriterine göre önem derecesini, "W<sub>B</sub>" en iyi kriterin ağırlığını, "W<sub>w</sub>" en kötü kriterin ağırlığını ve "W<sub>j</sub>" j'inci kriterin ağırlığını temsil eder.

Tutarlılık oranının hesaplanması için Eşitlik 6'deki formül kullanılır. Bu formülde yer alan  $\xi$  değeri, eşitlik (1)-(5)'te verilen modelin çözümüyle, CI (Tutarlılık Endeksi) değeri ise Çizelge 2'de yer alan  $\xi$ 'un en yüksek değerlerinden oluşan tablo parametrelerine göre belirlenir.

**Çizelge 2.** Tutarlılık Endeks Değerleri

abw	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CI (max $\xi$ )	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

Tutarlılık oranı,  $\xi$  değerinin tutarlılık indeksine bölünmesiyle hesaplanır (Eşitlik 6).

$$CR = \frac{5}{67} \quad (6)$$

Tutarlılık oranı 0 ile 1 arasında değerler almakta olup tutarlılık oranı ne kadar düşükse, çiftler arası karşılaştırma o kadar tutarlı ve sonuçlar o kadar güvenilirdir.

### 3.2. Kırılgenlik Kriterleri

Çalışmada, deprem kırılgenliğini etkileyen 9 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler PGA (En Büyük Yer İvmesi), V<sub>S30</sub> (30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı), kat sayısı, inşaat türü, yapım yılı, gece nüfusu, fay hattına uzaklık, yola uzaklık ve bina kullanım tipidir. PGA "En Büyük Yer İvmesi" olarak tanımlanmaktadır. Deprem potansiyeli hakkında doğrudan bilgi verir. PGA değeri azaldıkça deprem kırılgenliği düşer. V<sub>S30</sub>, yerinde yapılan sismik çalışmalar sonucunda elde edilen kayma dalga hızlarının 30 m derinliğe kadar ortalama değeri olarak tanımlanır. Yerel zemin sınıfının belirlenmesini sağlar. V<sub>S30</sub> değeri zemin profiline bağlı olarak deprem kırılgenliği hakkında bilgi verir. V<sub>S30</sub> değerinin azalması deprem kırılgenliğini arttırmaktadır [20]. İnşaat türünde; tünel kalıp ve çelik binalar çok düşük kırılgen, betonarme binalar düşük kırılgen, yığma binalar orta kırılgen, prefabrik binalar yüksek kırılgen, ahşap binalar ise çok yüksek kırılgen özelliği temsil edecek şekilde sınıflandırılmıştır. Kat sayısının artması bu çalışmada deprem kırılgenliğini düşüren bir faktör olarak ele alınmıştır. Yapım yılı kriterinde ise bina yaşı arttıkça kırılgenlik da artmaktadır. Gece nüfusu fazla olan binalar daha kırılgen kabul edilmiştir. Fay hattına uzaklık arttıkça deprensellik düşeceğinden kırılgenlik da azalmaktadır. Binaların yola uzaklıkları arttıkça, (olası bir depremde yıkılıp yolu kapatma ihtimali düşünülerek) kırılgenliğin azaldığı düşünülmektedir.

Bina kullanım tipinde ise konut fonksiyona sahip binalar için bölgedeki denetimsiz yapılaşma, binada geçirilen zamanlar ve İstanbul'un geçmişinde depremlerin çoğunlukla gece yaşanmış olduğu göz önünde bulundurularak; konut (tek veya çok aileli), kurumsal yatakhane, geçici barınma gibi fonksiyonlara sahip binalar çok yüksek kırılgen kabul edilmiştir. Hastane ve diğer sağlık kuruluşları olumsuz koşullarda sağlamlığını koruması ve hizmet devamlılığı sağlaması gerekliliği sebebiyle öncelikli binalar arasındadır ve bu nedenle yüksek kırılgen olarak kabul edilmiştir. Sanayi, ticari ve eğlence mekanları orta kırılgen kabul edilmiştir. Denetime tabii olması ve geçirilen süre bakımından resmi kurum, depo, otopark, trafo gibi binalar çok düşük kırılgen kabul edilmiştir. Bu kriterlerin kırılgenlik kat sayıları belirlenirken uzman görüşü ve literatür araştırmalarından faydalanılmıştır. Kriterlerin deprem kırılgenlik katsayıları Çizelge 3 ve Çizelge 4'te yer almaktadır.

**Çizelge 3.** Kriterlerin Deprem Kırılgenlik Katsayıları

Kriterler	Çok Yüksek Kırılgen (1)	Yüksek Kırılgen (2)	Orta Kırılgen (3)	Düşük Kırılgen (4)	Çok Düşük Kırılgen (5)
PGA	>0.291	0,277-0,291	0,265-0,277	0.251-0,265	≤0.251
VS30 (m/s)	-	≤277	≥277	-	-
Kat Sayısı	≥7	5-6	3-4	2	1
İnşaat Türü	Ahşap	Prefabrik	Yığma	Betonarme	Tünel Kalıp Çelik
Yapım Yılı	≤1980	1980-2000	-	≥2000	-
Gece Nüfusu	≥69	52-68	35-51	18-34	0-17

**Çizelge 4.** Kriterlerin Deprem Kırılgenlik Katsayıları (Devamı)

Kriterler	Çok Yüksek Kırılgen (1)	Yüksek Kırılgen (2)	Orta Kırılgen (3)	Düşük Kırılgen (4)	Çok Düşük Kırılgen (5)
Fay Hattına Uzaklık (km)	$\leq 13$	13-14	14-15	15-16	$\geq 16$
Yola Uzaklık	$\leq 100$	200	300	400	$\geq 500$
Kullanım Tipi	Konut (Çok Aile) Huzurevi Konut (Bir Aile) Kurumsal Yatakhane Geçici Barınma	Eğitim Yüksek Öğrenim Hastane Diğer Sağlık Kuruluşları	Sanayi Ticari Eğlence Mekânı	-	Resmi Kurum Depo Otopark Trafo

**3.2.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılması**

Kriterlerin ağırlıkları En İyi-En Kötü Yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem uygulanırken ilk olarak en iyi (önemli) ve en kötü (önemsiz) kriter belirlenmiştir. Ardından seçilen en iyi kriter diğer kriterlerle ve diğer kriterler en kötü kriterlerle karşılaştırılmıştır. Bu ikili karşılaştırmalar kullanılarak deprem kırılgenliği kriterlerinin ağırlık vektörleri oluşturulmuştur ve ağırlıkların hesabı için eşitsizlik denklemi (Eşitlik (1)-(5)) çözülmüştür. PGA parametresi çalışmanın en önemli kriteri, bina kullanım tipi ise en önemsiz kriteri olarak belirlenmiştir. Kriterlerin birbirlerine göre önem dereceleri uzman görüşünden faydalanılarak belirlenmiştir. En iyi kriterin diğer kriterlere göre önem derecesi Çizelge 5'te, diğer kriterlerin en kötü kritere göre önem dereceleri Çizelge 6'te ve kriterlerin ağırlık değerleri Çizelge 7'de verilmiştir.

**Çizelge 5.** En İyi Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önem Derecesi

	PGA	Fay Hattına Uzaklık	Vs30	Yapım Yılı	Gece Nüfus	Kat Adedi	Yola Uzaklık	Kullanım Tipi	İnşaat Türü
PGA	1	1	1	3	4	5	7	7	6

**Çizelge 6.** Diğer Kriterlerin En Kötü Kritere Göre Önem Dereceleri

	Kullanım Tipi
PGA	7
Fay Hattına Uzaklık	7
Vs30	7
Yapım Yılı	5
Gece Nüfus	3
Kat Adedi	5
Yola Uzaklık	4
Kullanım Tipi	1
İnşaat Türü	3

Çizelge 7. Kırılğanlık Parametrelerinin Ağırlık Değerleri

	Ağırlık Değerleri
PGA	0,22
Fay Hattına Uzaklık	0,22
V <sub>S30</sub>	0,22
Yapım Yılı	0,09
Gece Nüfus	0,07
Kat Adedi	0,06
Yola Uzaklık	0,04
Kullanım Tipi	0,02
İnşaat Türü	0,05

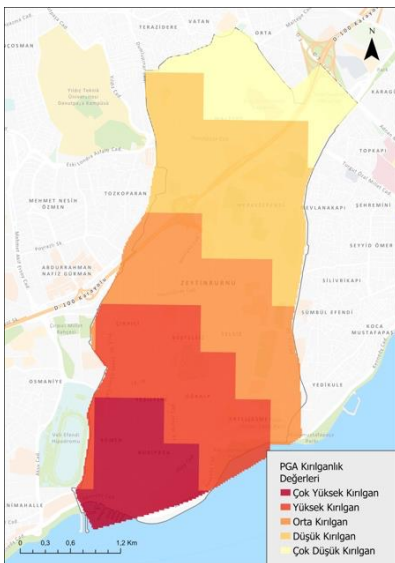
#### 4. DEPREM KIRILGANLIĞININ ANALİZLERİ

Bu çalışmada deprem kırılğanlığının analizi EİEKY yardımıyla gerçekleştirilmiş olup bu yöntem uygulanırken 9 kırılğanlık kriteri kullanılmıştır. Kriterler ağırlıkları EİEKY ile belirlenmiştir. Bu yöntemin uygulanması sonucunda PGA, fay hattına uzaklık (FHU) ve V<sub>S30</sub> kriterlerinin %22'lik değerle kendi aralarında eşit ve diğer kriterlere göre en yüksek önem derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Yapım yılı %9, gece nüfusu %7, kat adedi %6, inşaat türü %5, yola uzaklık %4, bina kullanım tipi ise %2'lik değerle en düşük ağırlığa sahip kriter olarak belirlenmiştir. Kırılğanlık kriterlerine ait parametreler kırılğanlık seviyelerine göre Çizelge 3 ve Çizelge 4'teki değer aralıklarına göre analiz edilmiştir. Daha sonra kriter ağırlıklarının da hesaba katılmasıyla CBS ortamında çok katmanlı birleştirme mantığına dayalı "Ağırlıklı Toplam" aracı kullanılarak mekansal verisi bulunan bu kriterlerin bina bazında kırılğanlık indeksleri türetilmiştir. Bu indeks değerleri eşit aralıklarla 5 kategoriye ayrılmış olup indeks değeri küçükten büyüğe doğru gittikçe kategorilere dahil olan binalar çok yüksek kırılğan, yüksek kırılğan, orta kırılğan, düşük kırılğan ve çok düşük kırılğan olarak adlandırılmıştır. İndeks değer aralığına göre kırılğanlık seviyeleri Çizelge 8'de verilmiştir.

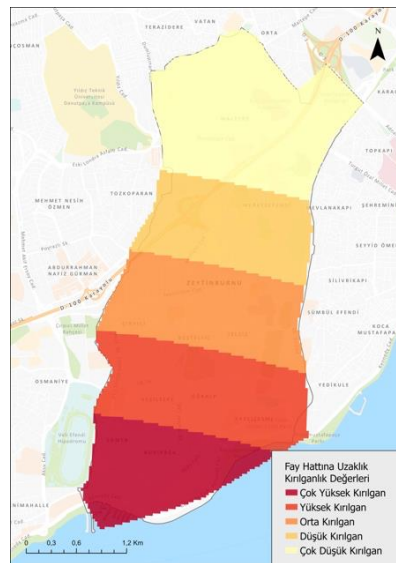
Çizelge 8. Deprem Kırılğanlık Seviyeleri ve EİEKY Değer Aralığı

Etiketi	EİEKY İndeksi Değer Aralığı	Kırılğanlık Seviyesi
1	1,55 - 2,08	Çok Yüksek Kırılğan
2	2,09 - 2,61	Yüksek Kırılğan
3	2,62 - 3,14	Orta Kırılğan
4	3,15 - 3,67	Düşük Kırılğan
5	3,68 - 4,20	Çok Düşük Kırılğan

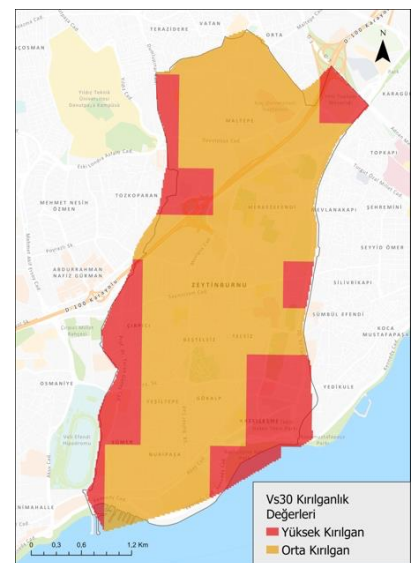
Bu çalışmada sonuç haritanın üretiminde etkili olan kriterler özelinde üretilen kırılğanlık haritaları Şekil 3'te yer almaktadır.

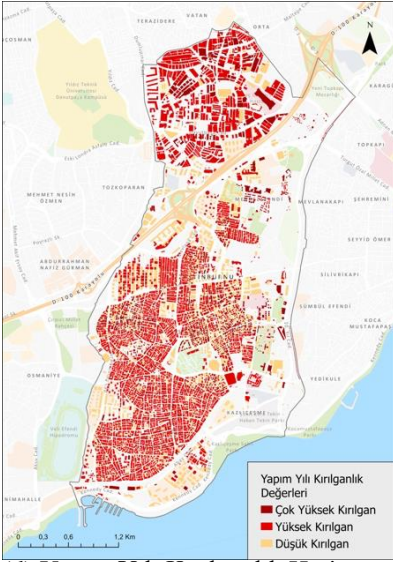


(a) PGA Kırılğanlık Haritası

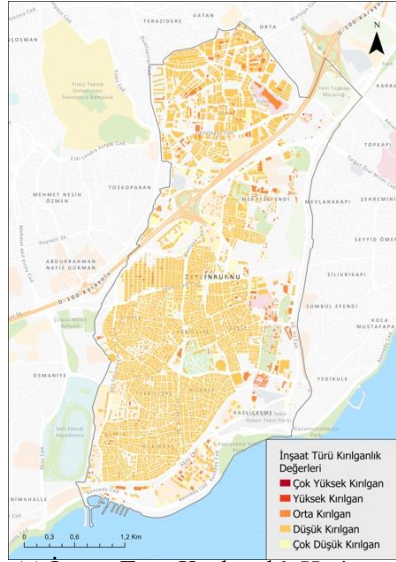


(b) FHU Kırılğanlık Haritası

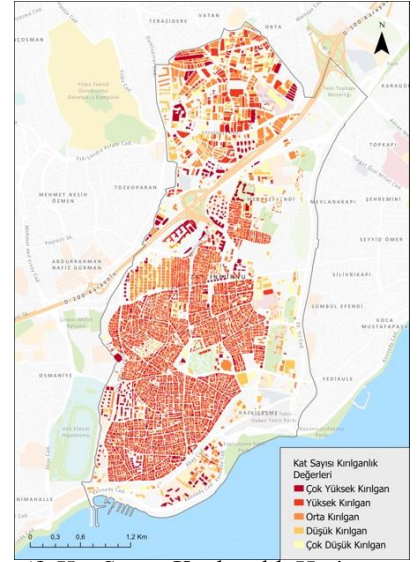
(c) Vs<sub>30</sub> Kırılğanlık Haritası



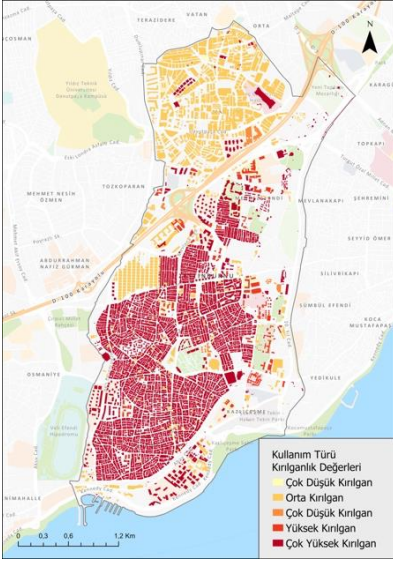
(d) Yapım Yılı Kırılğanlık Haritası



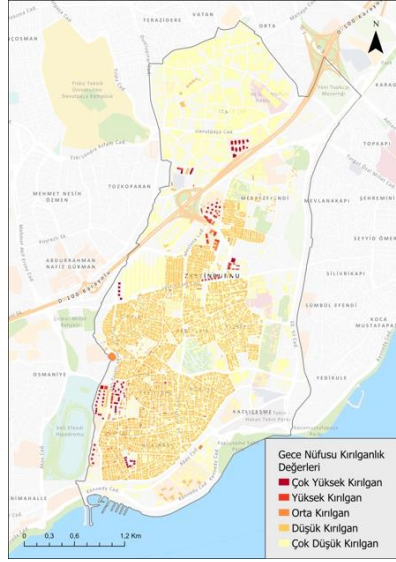
(e) İnşaat Türü Kırılğanlık Haritası



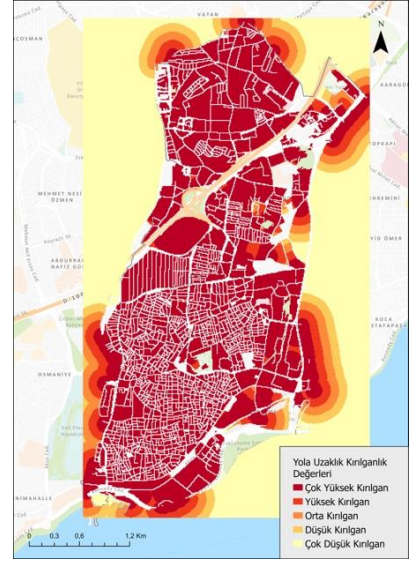
(f) Kat Sayısı Kırılğanlık Haritası



(g) Kullanım Tipi Kırılğanlık Haritası



(h) Gece Nüfusu Kırılğanlık Haritası



(i) Yola Uzaklık Kırılğanlık Haritası

**Şekil 3.** (a) PGA Kırılğanlık Haritası, (b) Fay Hattına Uzaklık Kırılğanlık Haritası, (c)  $V_{S30}$  Kırılğanlık Haritası, (d) Yapım Yılı Kırılğanlık Haritası, (e) İnşaat Türü Kırılğanlık Haritası, (f) Kat Sayısı Kırılğanlık Haritası (g) Bina Kullanım Tipi Kırılğanlık Haritası (h) Gece Nüfusu Kırılğanlık Haritası (i) Yola Uzaklık Kırılğanlık Haritası

Şekil 3(a) ve Şekil 3(b)'deki haritalar incelendiğinde fay hattından uzaklaştıkça (kuzeye doğru) kırılğanlığın her iki haritada da azaldığı ifade edilebilir. Şekil 3(c)'de ilçenin yaklaşık %30'unun yüksek kırılğan zemin parametresine ( $V_{S30}$ ) sahip olduğu, Şekil 3(d)'de ilçe genelindeki eski yapıların yoğunluğu sebebiyle bina yapım yılı konusunda çok yüksek kırılğan ve yüksek kırılğan özellikler gözlemlenmiştir. Şekil 3(e) incelendiğinde ilçedeki yapı stokunun, inşaat türü bakımından çoğunlukla orta ve düşük kırılğan özelliği yansıttığı, Şekil 3(f) incelendiğinde ilçedeki yapıların çoğunluğu kat sayısı bakımından yüksek kırılğan ve orta kırılğan kategoride yer aldığı ifade edilebilir. Şekil 3(g)'de yer alan harita incelendiğinde ilçenin kullanım tipi bakımından çok yüksek ve orta kırılğan özellikte olduğu, Şekil 3(h)'de yer alan harita incelendiğinde ise ilçenin gece nüfusu bakımından güney kesimlerinin düşük kırılğan kuzey kesimlerinin ise çok düşük kırılğan kategoride yer aldığı dikkat çekmektedir. Şekil 3(i) incelendiğinde ilçedeki yapı stokunun yola uzaklık bakımından genellikle çok yüksek kırılğan özellikte olduğu gözlemlenmiştir.

Bütün kriter katmanlarının CBS ortamında "Ağırlıklı Toplam" aracı ile birleştirilmesi sonucunda Şekil 4'teki kırılğanlık haritası elde edilmiştir. Harita verileri incelendiğinde Zeytinburnu ilçesindeki %12,54 binanın çok yüksek kırılğan, %31,44 binanın yüksek kırılğan, %39,53 binanın orta kırılğan, %9,63 binanın düşük kırılğan ve %6,86 binanın çok düşük kırılğan kategoride yer aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç haritasında; Zeytinburnu ilçesindeki depreme karşı savunmasızlığın ilçenin kuzey kesimlerinde daha düşük olduğu, güney kesimlerinde ise daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Béné, C., Mehta, L., McGranahan, G., Cannon, T., Gupte, J., & Tanner, T., 2018. Resilience as a policy narrative: Potentials and limits in the context of urban planning. *Climate and Development*, 10(2), 116-133.
- [2] Doyon, A., 2016. *An investigation into planning for urban resilience through niche interventions* (Doctoral dissertation, University of Melbourne, Faculty of Architecture, Building and Planning).
- [3] Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M., 2016. Defining urban resilience: A review. *Landscape and urban planning*, 147, 38-49.
- [4] Irajifar, Leila, Neil Sipe, and Tooran Alizadeh. "The impact of urban form on disaster resiliency: A case study of Irajifar, L., Sipe, N., & Alizadeh, T., 2016. The impact of urban form on disaster resiliency: A case study of Brisbane and Ipswich, Australia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 7(3), 259-275.
- [5] Lamond, J. E., Rose, C. B., & Booth, C. A., 2015. Evidence for improved urban flood resilience by sustainable drainage retrofit. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Urban Design and Planning*, 168(2), 101-111.
- [6] Malakar, S., & Rai, A. K., 2023. Estimating seismic vulnerability in West Bengal by AHP-WSM and AHP-VIKOR. *Natural Hazards Research*, 3(3), 464-473.
- [7] Rezaei, J., 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- [8] 2018. *Financial Management of Earthquake Risk*; Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD: Paris, France.
- [9] 2021. İl Afet Risk Azaltma Planı, AFAD.
- [10] Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Sofyan, H., & Affan, M., 2020. Integrated model for earthquake risk assessment using neural network and analytic hierarchy process: Aceh province, Indonesia. *Geoscience Frontiers*, 11(2), 613-634.
- [11] Jena, R., Shanableh, A., Al-Ruzouq, R., Pradhan, B., Gibril, M. B. A., Khalil, M. A., ... & Ghamisi, P., 2023. Earthquake spatial probability and hazard estimation using various explainable AI (XAI) models at the Arabian Peninsula. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 101004.
- [12] Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Alamri, A. M., & Sofyan, H., 2020. Earthquake hazard and risk assessment using machine learning approaches at Palu, Indonesia. *Science of the total environment*, 749, 141582.
- [13] Yariyan, P., Zabihi, H., Wolf, I. D., Karami, M., & Amiriyani, S., 2020. Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101705.
- [14] Bhadrán, A., Duarah, B. P., Girishbai, D., Achu, A. L., Lahon, S., Jesiya, N. P., ... & Gopinath, G., 2024. Multi-model seismic susceptibility assessment of the 1950 great Assam earthquake in the Eastern Himalayan front. *Geosystems and Geoenvironment*, 3(3), 100270.
- [15] Kamranzad, F., Memarian, H., & Zare, M., 2020. Earthquake risk assessment for Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 430.
- [16] Garshasbi, M., & Kabir, G., 2022. Earthquake resilience framework for a stormwater pipe infrastructure system integrating the best worst method and Dempster-Shafer theory. *Sustainability*, 14(5), 2710.
- [17] 2024. T.C. Zeytinburnu Kaymakamlığı. <http://www.zeytinburnu.gov.tr/ilcemizin-tarihi>, [Erişim: 07.08.2024].
- [18] 2024. Türkiye İstatistik Kurumu Veri Portalı. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684> [Erişim: 07.08.2024].
- [19] 2020. Zeytinburnu İlçesi Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı, DEZİM, İBB.
- [20] 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 30364 (18/03/2018),343.