

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM KIRILGANLIĞININ ANALİZİ:
ZEYTİNBURNU ÖRNEĞİ

Hilal AKÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Danışman

Doç. Dr. Anime Melis UZAR

Şubat, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM KIRILGANLIĞININ ANALİZİ: ZEYTİNBURNU
ÖRNEĞİ**

Hilal AKÇELİK tarafından hazırlanan tez çalışması 28.02.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Anime Melis UZAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Anime Melis UZAR, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nursu TUNALIOĞLU ÖCALAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Saygın ABDİKAN, Üye
Hacettepe Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Anime Melis UZAR sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Deprem Kırılganlığının Analizi: Zeytinburnu Örneği” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hilal AKÇELİK

İmza



Canım Aileme,

TEŐEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca eğitime katkı sunan tüm değerli hocalarıma ve tez sürecimde bana danışmanlık eden kıymetli hocam Doç. Dr. Anime Melis UZAR'a, veri kaynağı sağladığı için İBB Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü'ne ve araştırmamda uzman görüşleri ile çalışmama katkı sunan tüm iş arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hilal AKÇELİK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	14
1.3 Hipotez	14
2 TEMEL KAVRAMLAR VE DEPREM KIRILGANLIĞI	16
2.1 Risk Bileşenleri ve Afet Yönetimi	16
2.1.1 Tehlike, Maruziyet, Savunmasızlık	16
2.1.2 Risk	17
2.1.3 Afet Yönetimi	18
2.2 Türkiye’de ve Dünyada Deprem Odağında Afet Yönetimi	19
2.3 Deprem Kırılğanlığı	22
2.3.1 Deprem Kırılğanlığını Etkileyen Faktörler	23
2.3.2 Deprem Kırılğanlığını Değerlendirme Yöntemleri	23
3 METODOLOJİ	27
3.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler	27
3.2 İşlem Adımları	28
3.3 En İyi En Kötü Yöntemi	31
4 DEPREM KIRILGANLIĞININ ANALİZİ	33
4.1 Kırılğanlık Kriterleri	33
4.2 EİEK Yöntemi Kullanılarak Kriterlerin Ağırlıklandırılması	34
4.2.1 Kırılğanlık Kriterlerinin Ağırlık Değerleri	35
4.3 Kriterlerin Kırılğanlık Seviyelerine Göre Sınıflandırılması	36
4.3.1 PGA	36
4.3.2 Ortalama Kayma Dalgası Hızı (V_{s30})	38
4.3.3 Kat Sayısı	40

4.3.4 İnşaat Tipi	42
4.3.5 Yapım Yılı	44
4.3.6 Gece Nüfusu	46
4.3.7 Fay Hattına Uzaklık	48
4.3.8 Yola Uzaklık	50
4.3.9 Bina Kullanım Türü	52
4.4 Bina Bazında Deprem Kırılğanlığının Belirlenmesi.....	54
5 TARTIŞMA	58
6 SONUÇ	61
KAYNAKÇA	64
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	69



SİMGE LİSTESİ

W_B	En İyi Kriterin Ağırlığı
a_{Bj}	En İyi Kriterin Önem Derecesi
W_W	En Kötü Kriterin Ağırlığı
a_{jw}	En Kötü Kriterin Önem Derecesi
W_j	j'inci Kriterin Ağırlığı
km	Kilometre
a_{BW}	Kriter Sayısı
m	Metre
sn	Saniye
CI	Tutarlılık İndeksi
CR	Tutarlılık oranı

KISALTMA LİSTESİ

AFAD	Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
BAHS	Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEZİM	Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü
PGA	En Büyük Yer İvmesi
PGV	En Büyük Yer Hızı
EİEK	En İyi En Köyü
EİEKY	En İyi En Kötü Yöntemi
FHU	Fay Hattına Uzaklık
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KAFH	Kuzey Anadolu Fay Hatı
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Afet riski, tehlike, maruziyet ve savunmasızlığın şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.2 Küresel sismik tehlike haritası	20
Şekil 2.3 Türkiye deprem tehlike haritası.....	21
Şekil 3.1 Zeytinburnu ilçesi'nin istanbul'daki konumu ve uydu görüntüsü.....	27
Şekil 3.2 İş akış şeması.....	30
Şekil 4.1 PGA kırılgenlik haritası.....	38
Şekil 4.2 V_{s30} kırılgenlik haritası	40
Şekil 4.3 Kat sayısı kırılgenlik haritası.....	42
Şekil 4.4 İnşaat türü kırılgenlik haritası.....	44
Şekil 4.5 Yapım yılı kırılgenlik haritası.....	46
Şekil 4.6 Gece nüfusu kırılgenlik haritası	48
Şekil 4.7 Fay hattına uzaklık kırılgenlik haritası	50
Şekil 4.8 Yola uzaklık kırılgenlik haritası	52
Şekil 4.9 Kullanım türü kırılgenlik haritası	54
Şekil 4.10 Zeytinburnu bölgesine ait deprem kırılgenlik haritası	56
Şekil 5.1 Hasar riski haritası.....	59
Şekil 5.2 İstanbul geneli risk haritası.....	59
Şekil 5.3 Dirençlilik haritası (Zeytinburnu).....	60

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 EİEKY Kullanılarak Gerçekleştirilen Analiz Çalışmaları.....	9
Tablo 1.2 Depremi Konu Alan ve Diğer Yöntemlerle Gerçekleştirilen Analiz Çalışmaları	11
Tablo 2.1 Afet Yönetimi Temel Aşamaları.....	18
Tablo 2.2 Türkiye’de Yıllar İtibariyle Yaşanan Büyük Çaplı Depremler	22
Tablo 3.1 Kriterlere ilişkin veri türleri ve kaynakları	28
Tablo 3.2 Tutarlılık Endeks Değerleri	32
Tablo 4.1 En İyi Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önem Derecesi	35
Tablo 4.2 Diğer Kriterlerin En Kötü Kritere Göre Önem Dereceleri	35
Tablo 4.3 Kırılma Parametrelerinin Ağırlık Değerleri.....	36
Tablo 4.4 PGA Kriterinin Değer Aralıklarına Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	37
Tablo 4.5 Vs30 Kriterinin Değer Aralıklarına Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	39
Tablo 4.6 Kat Sayısı Kriterinin Değer Aralıklarına Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	41
Tablo 4.7 İnşaat Türü Kriter Değişkenlerine Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	43
Tablo 4.8 Yapım Yılı Kriterinin Değer Aralıklarına Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	45
Tablo 4.9 Gece Nüfusu Kriterinin Değer Aralıklarına Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	47
Tablo 4.10 Fay Hattına Uzaklık Kriterinin Değer Aralıklarına Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri.....	49
Tablo 4.11 Yola Uzaklık Kriterinin Değer Aralıklarına Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	51
Tablo 4.12 Bina Kullanım Türü Kriter Değişkenlerine Karşılık Gelen Kırılma Seviyeleri	53
Tablo 4.13 Deprem Kırılma Seviyeleri ve EİEKY Değer Aralığı	55

DEPREM KIRILGANLIĞININ ANALİZİ: ZEYTİNBURNU ÖRNEĞİ

Hilal AKÇELİK

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Uzaktan Algılama ve CBS Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. A. Melis UZAR

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 birçok etkinin üstesinden gelme ve yeni koşullara uyum sağlama kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Kentsel dayanıklılığın iyileştirilmesi, kentsel kırılmanın temel nedenlerini azaltmayı amaçlayan müdahalelerin analizi ve tasarımı gerektirir. Bu müdahalelerin stratejik bir süreçle yönetilmesi gerekmektedir. Bu stratejik sürecin altyapısı ise kentsel kırılma nedenlerinin bütünleşik olarak değerlendirilmesi ile tasarlanmalıdır. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri kullanılarak deprem kırılma nedenlerinin analizi mümkündür. Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan En İyi En Kötü Yöntemi, yapılandırılmış çift yönlü karşılaştırma sistemine dayanan çok kriterli bir karar verme yöntemidir.

Bu çalışmada, 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, V_{S30}) ve sosyal (nüfus, bina kullanım tipi) kriterler Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan En İyi En Kötü (EİEK) Yöntemi ile ağırlıklandırılarak Coğrafi Bilgi Sistemi entegrasyonu ile bina bazında deprem kırılma indeksleri ve kırılma haritası elde edilmiştir. Sonuçta, Zeytinburnu ilçesindeki %12,54 binanın çok yüksek kırılma, %31,44 binanın yüksek kırılma, %39,53 binanın orta kırılma, %9,63 binanın düşük kırılma ve %6,86 binanın çok düşük kırılma 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 çalışma ile elde edilen deprem kırılma değerleri ve sonuç haritaları dikkate alınarak hazırlanacak afet yönetim stratejilerinin, bu bölgenin afet yönetimine büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: En İyi En Kötü Metodu, Deprem Kırılma, CBS.

ANALYSIS OF EARTHQUAKE VULNERABILITY: THE CASE OF ZEYTİNBURNU

Hilal AKÇELİK

Department of Geomatics Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. A. Melis UZAR

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 multiple factors and adapt to new conditions. Improving urban resilience requires the analysis and design of interventions aimed at reducing the root causes of urban vulnerability. These interventions need to be managed through a strategic process. The infrastructure of this strategic process should be designed through an integrated assessment of the causes of urban vulnerability. It is possible to analyze earthquake vulnerabilities by using Geographic Information Systems and Multi-Criteria Decision Making Methods. The Best Worst Method (BWM), which has been widely used in recent years, is a multi-criteria decision-making method based on a structured pairwise comparison system.

In this study, the Zeytinburnu district, which is among the earthquake prone districts in the southern part of Istanbul was chosen 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, V_{s30}) 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. It is thought that disaster management strategies prepared by considering the earthquake vulnerability values and result maps obtained from this study will make a great contribution to the disaster management of this region.

Keywords: Best Worst Method, Earthquake Vulnerability, GIS.

1 GİRİŞ

Depremler, büyük can ve ekonomik kayıplara yol açarak, en yıkıcı doğa olayları arasında yerini almaktadır. Dünyanın çeşitli bölgelerinde meydana gelen depremler, birçok ülkeyi derinden etkilemiş ve büyük felaketlere yol açmıştır. 1990 yılından bu yana, dünya genelinde depremler nedeniyle 800 binden fazla insan hayatını kaybetmiştir [1]. 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 ilçelerin bu depremden yoğun olarak etkileneceği öngörülmüştür [2]. Avrupa Akdeniz Sismik Tehlike Modeli (ESHM-2020) PGA haritasına göre, Türkiye, deprem tehlikesinin en yüksek olduğu ülkeler arasında öne çıkmaktadır. Türkiye'nin yanı sıra, Romanya, Yunanistan, İtalya ve Arnavutluk da Avrupa'daki yüksek deprem riski taşıyan ülkeler arasında yer almaktadır [3].

Marmara Bölgesi'nde 1900 yılından günümüze kadar büyüklüğü 4 ve üzerinde 262 deprem meydana gelmiş olup, en büyüğü 7,6 şiddetindedir. 1900 yılı öncesinde ise 449 tarihsel dönem deprem kaydı bulunmaktadır [2]. Ülkemizin Bütünleşik Afet Yönetim Sistemi'ne geçişte milat kabul edilen 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi, büyük bir felakete yol açmış; 18.373 kişi hayatını kaybetmiş, 48.901 kişi yaralanmış, 505 kişi ise sakat kalmıştır. Ayrıca 96.796 konut ve 15.939 işyeri kullanılamaz hale gelmiştir [2]. İstanbul, aktif fay hatları üzerinde yer alması nedeniyle deprem riski yüksek bir bölgedir [2]. Bilimsel çalışmalar ve geçmiş depremlerden elde edilen veriler, aktif faylara yakın bölgelerdeki yapılar üzerinde yer hareketinin daha olumsuz etkiler yaratacağını ortaya koymuştur. Fay hatlarına mesafe, deprem tehlikesi analizlerinde olduğu kadar, olası “yakın fay etkisi” nedeniyle de zarar verebilirlik açısından önemli bir faktördür. İstanbul'un birçok ilçesi, aktif fay hatlarına yakınlığı, zemin özellikleri ve yapı stoklarının mevcut deprem yönetmeliklerine uygun olmaması nedeniyle yüksek risk taşımaktadır. Bu

bağlamda, Marmara Denizi kıyısında yer alan ve bu çalışmaya dahil olan Zeytinburnu ilçesi de deprem riski yüksek olan ilçeler arasında yer almaktadır.

Depremleri önlemek imkansız olabilir, ancak doğru tahminler ve erken uyarılar, hasarın boyutunu ve etkilerini önemli ölçüde azaltabilir. Bu doğrultuda, kentsel dayanıklılık kavramı üzerine yapılan araştırmalar giderek artmaktadır. Bugün, kentsel dayanıklılık, bir kentin veya belirli yapı kümelerinin potansiyel tehlikelere karşı gösterdiği savunma kapasitesini ifade eden, bütünsel bir kavram haline gelmiştir. Bu kapasite, yalnızca yapının mekanik ve fiziksel özellikleriyle değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik yapısıyla da doğrudan ilişkilidir. Bir kentin tehlikelere karşı dayanıklılığını artırmak için ilk adım, kentsel kırılganlık kriterlerinin belirlenmesi ve bu kırılganlıkları ortadan kaldırmaya yönelik stratejik planların geliştirilmesidir. Bu çalışmalar, potansiyel tehlikelere karşı risk azaltma ve afet sonrası müdahaleyi kolaylaştırmaya odaklanarak, her bölgenin (ilçe, mahalle vb.) özel risk faktörleri dikkate alınarak yürütülmelidir.

1.1 Literatür Özeti

Deprem etkisi altında bulunan birçok ülke veya bölge için olası deprem risklerine karşı kırılganlığın 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.

Sümeyye Yanılmaz ve diğerleri Türkiye'nin Tunceli şehrindeki öncelikli afet tehlikesini belirlemek amacıyla bir analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada afet tehlikelerini değerlendirebilmek için SMUG (Seriousness Manageability Urgency Growth), FEMA (Federal Emergency Management Agency) modelleri, Bayesian EİEK yöntemi çerçevesinde uygulanmıştır. Sonuçlara göre, her iki model de Tunceli için en önemli tehlikenin deprem olduğu ve sel, kitle hareketi, terörizm, salgın hastalık tehlikelerinin de dikkate alınması gereken tehlikeler olduğu kanısına varılmıştır [4].

Mihrimah Özmen Kayseri'deki deprem kırılganlığını değerlendirmek amacıyla bir analiz çalışması gerçekleştirmiştir. Bu analiz çalışmasında kriter ağırlıklarını belirleme için BWM, ilçelerin risk durumlarını karşılaştırmak için ise ABAC (Alternatifler Arası Karşılaştırma) yöntemi kullanılmıştır. Gerçekleştirilen

çalışmayla ilçe bazında kırılabilirlik endeksleri üretilmiştir. Bulgular Kocasinan ilçesinin depreme karşı en savunmasız ilçe olduğunu göstermektedir [5].

Penjani Hopkins Nyimbili ve Turan Erdem İstanbul'daki yeni acil durum tesisleri ve itfaiye istasyonları için bir uygunluk analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu analiz çalışmasında çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan BWM, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu ile ele alınmıştır. Önerilen model, acil durum planlaması ve afet yönetimi faaliyetlerinde deneyime sahip akademik unvanlı profesyoneller ve itfaiyecilerden oluşan iki grup karar vericinin görüşlerine dayanmaktadır. Acil durum tesislerinin ve itfaiye istasyonlarının uygun konumlarının tespit edilebilmesi için nüfus yoğunluğu, itfaiye istasyonları arasındaki mesafe, ahşap bina yoğunluğu, ana yollara yakınlık, tehlikeli madde yoğunluğu, deprem riski olmak üzere altı adet kritere ilişkin parametreler hesaba katılmıştır ve kriterler karar verici grupların görüşleri doğrultusunda BWM kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklar doğrultusunda elde edilen sonuçlar CBS kullanılarak görselleştirilmiştir ve raster formatta uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) uygulanarak BWM modeli ile kıyaslanmıştır ve BWM ile elde edilen ağırlıkların ve sıralamaların AHP sonuçları ile tutarlı olduğu tespitine varılmıştır. Araştırmada, dokuz karşılaştırma gerektiren BWM'un, 15 karşılaştırma gerektiren AHP'ye kıyasla daha basit ve hızlı bir yaklaşım olduğu açıklamasına yer verilmiştir [6].

Saiful Arif Khan ve diğerleri köprü altyapılarının deprem tehlikesine karşı esnekliğini değerlendirerek sismik tehlikeye karşı dayanıklılık faktörlerini belirlemek ve önceliklendirmek amacıyla bir analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada güvenilirlik ve geri kazanım ana kategorilerinde yer alan 15 esneklik kriteri hesaba katılmıştır. Sismik esneklik faktörlerinin ağırlığı BWM kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, yüksek öncelikli belirlenen kriterlerin, politika yapıcılara gelecekteki sismik tehlikeye karşı esnek köprü altyapıları için doğru kararı verme konusunda rehberlik edeceği açıklamasında bulunulmuştur [7].

Javad Hosseini ve diğerleri, Tahran'daki metropol mahallelerin direncini değerlendirmek amacıyla mahalle bazında bir analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kriter ağırlıklandırması için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi olarak AHP ve BWM modelleri kullanılmıştır. Şehrin direncini temsil etmek için bina yaşı, nüfus yoğunluğu, fay hattına uzaklık, yaş

dağılımı, cinsiyet oranı, mekân sentaksı, itfaiye istasyonlarına uzaklık, bina tipi, bina fiyatları, sağlık kurumlarına uzaklık, kişi başına düşen yeşil alan, hane halkı yoğunluğu, eğitim merkezlerinin yoğunluğu ve arazi kullanımı olmak üzere on dört adet kriter belirlenmiştir ve iki modelin uygulanmasıyla hesaplanan ağırlıklar doğrultusunda CBS ortamında kırılma haritaları elde edilmiştir. Sonuçlar, bina yaşının her iki yöntemde de en önemli kriter olduğunu, kişi başına düşen yeşil alanın ise en az önemli kriter olduğunu ve Tahran'ın kuzey kesimlerinin güney kesimlerinden, doğu kesimlerinin ise batı kesiminden daha dirençli olduğunu göstermiştir. Ayrıca araştırmalarda birden fazla modelin eşzamanlı kullanımının doğal belirsizliklerin çözümüne yardımcı olabileceği ve model kombinasyonlarının çalışma sonuçlarını iyileştirebileceği belirtilmiştir [8].

Shaharier Alam ve Shamim Mahabubul Haque Bangladeş'in Mymensingh şehrindeki deprem kırılma haritasını değerlendirmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kırılma haritasının değerlendirilebilmesi için AHP, Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon ve CBS tabanlı mekânsal analizler kullanılmış olup jeolojik, sosyo-ekonomik, yapısal ve sistematik ana başlıkları altında toplanan yirmi üç kritere ilişkin parametreler (PGA (En Büyük Yer İvmesi), kat adedi, bina yoğunluğu, hastaneye uzaklık, itfaiyeye uzaklık, acil durum merkezlerine uzaklık, tahliye rotasına uzaklık, kötü bina yoğunluğu, esnek çatılı binaların yoğunluğu, yol genişliği, bina yoğunluğu, çocuk nüfusu, yaşlı nüfusu, kadın nüfusu, okuryazarlık oranı, ortalama hane halkı geliri, nüfus yoğunluğu, ortalama hane halkı büyüklüğü, ekonomik bağımlı nüfus) analizlere dahil edilmiştir. Sonuç olarak konut ve mahalle düzeyinde kırılma haritası endeksleri üretilmiştir. Bu endekslere göre Mymensingh şehrindeki 241 yerleşim bölgesinden 51'inin son derece savunmasız, 123'ünün orta düzeyde savunmasız ve 67'sinin düşük düzeyde savunmasız olduğunu tespit edilmiştir. Analize göre, Mymensingh şehrinde depreme karşı son derece savunmasız kılan en önemli faktörler toprak türü, itfaiye istasyonuna yakınlık, yaşlı nüfus seviyeleri, PGA, çocuk nüfus seviyesi ve sağlık tesislerine uzaklıktır. Araştırmacılar tarafından çalışma bulgularının, düşük gelirli ülkelerdeki afet yönetim politikalarının belirlenmesinde yardımcı olacağı belirtilmiş olup kriterlere eğitim, yumuşak kat varlığı, kısa kolon varlığı, bina yaşı gibi parametrelerin dahil edilerek çalışmanın geliştirilebileceği açıklanmıştır [9].

Ratiranjan Jena ve diğeri Arap yarımadasındaki mekânsal deprem olasılığını çeşitli yapay zeka (AI) ve açıklanabilir yapay zeka (XAI) modelleri kullanarak analiz etmişlerdir. Gerçekleştirilen çalışmada sismolojik faktörlerden jeofiziksel faktörlere kadar değişen toplam on iki adet kriter kullanılmıştır. Analiz aşamasında Akıllı Tahminci Akıllı Açıklayıcı ve Yerel yorumlanabilir Model-Agnostik Açıklama Modeli olmak üzere üç açıklanabilir yapay zeka yaklaşımı ile Işık Gradyan Arttırıcı Makinesi ve Tekrarlayan Derin Sinir Ağları Modeli olmak üzere iki makine öğrenim modeli kullanılmıştır. Işık Gradyan Arttırıcı Makinesinde ve Tekrarlayan Derin Sinir Ağları Modelinde %89 ve %87 oranında doğruluk elde edilerek diğer AI modellerine göre daha iyi mekânsal çıktılar sağlanmıştır. Mekânsal olasılık değerlendirmesinin sonucunda Aden Körfezi, Kızıldeniz, İran, Türkiye, Körfez bölgeleri, Kızıldeniz'e yakın alanlar, Zagros fayı ve Anadolu fay bölgesindeki alanların deprem açısından çok yüksek tehlike taşıdığı ortaya koyulmuştur. Araştırmada daha iyi doğruluk için eğitim veri kümesinin genişletilmesi önerisinde bulunulmuştur [10].

Ratiranjan Jena ve diğeri Endonezya'nın Palu şehrindeki deprem olasılığını değerlendirmek, sismik amplifikasyona duyarlılığı ve deprem güvenlik açığını tespit etmek için çeşitli algoritmalar kullanarak bir analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada temel amaç, depreme eğilimli alanları tanımlamak için kümeleme analizi yapmak, olasılık tahmini için bir konvolüsyonel sinir ağı modeli geliştirmek ve iki hesaplama denklemi (Risk A ve B) kullanarak riski tahmin etmek ve karşılaştırmaktır. Çalışmada deprem tehlikesi taşıyan alanları tespit etmek için Silhouette kümeleme (SC), hiyerarşik kümeleme (HCA) dayalı saf konumsal kümeleme (PLC) kullanılmış, olasılık tahmini için ise konvolüsyonel sinir ağı (CNN) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada, eğim, yükseklik, jeolojik parametreler, bina yoğunluğu gibi çok sayıda kriter hesaba katılmıştır. Yüksek tahmin kabiliyeti nedeniyle konvolüsyonel sinir ağı modeli deprem olasılığını değerlendirirken, Silhouette kümeleme ve dayalı saf konumsal kümeleme mekansal kümelemeyi, kümeler arasındaki Öklid mesafesini, tahmini deprem kuvveti ve PGA arasındaki mekansal ilişkiyi ve çapraz korelasyon ile yoğunluğu anlamak için kullanılmıştır. AHP ise kırılabilirliği değerlendirmek için uygulanmıştır. A ve B olmak üzere iki farklı kırılabilirlik endeksi oluşturulmuştur. Sonuç olarak sırasıyla A ve B risk haritalarına dayanarak şehirde 68, 85 km² ve 16,

75, 20, 55 km² alanlarında çok yüksek ve yüksek riskli alanlar gözlemlenmiştir. “B” riskindeki sonuç bilimsel sağlamlık açısından A’dan daha sağlıklı olduğu açıklanmış olup genişletilmiş envanter, sismik göstergeler, aktif tektonik ve jeo-uzamsal veriler kullanılarak ayrıntılı bir risk değerlendirmesi yapılabileceği belirtilmiştir [11].

Ratiranjan Jena ve diğerleri Endonezya’nın Banda Aceh şehrindeki deprem kırılgenliğini tespit etmek için yapay sinir ağı ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) modeli uygulayarak bir analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın temel amacı, yaklaşan depremlerin tehdit oluşturduğu risk altındaki nüfusu belirlemektir. Yapay sinir ağı olasılık haritalama için kullanılırken, AHS ise tematik katmanlama yardımıyla tehlike haritası oluşturulduktan sonra kentsel kırılgenliği değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmada kırılgenlik faktörü olarak eğim, yükseklik, bakı, merkez üssü mesafesi, PGA, bina yoğunluğu, eğitim durumu, altyapı, nüfus ve ulaşım düğümleri de dahil olmak üzere yirmi beş adet kriter hesaba katılmıştır. Doğrulama süreci, önerilen modelin tarihsel olaylara dayalı deprem olasılığını %84'lük bir doğrulukla haritalayabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar şehrin orta ve güneydoğu bölgelerinin orta ila çok yüksek risk sınıflandırmalarına sahip olduğunu, şehrin diğer kısımlarının ise düşük ila çok düşük deprem riski sınıflandırmalarında bulunduğunu göstermektedir [12].

Peyman Yariyan ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada İran'ın Sanandaj şehrindeki deprem kırılgenliği ile ilgili demografik, çevresel ve fiziksel kriterler çerçevesinde yapay sinir ağı ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Çalışmada kırılgenlik kriteri olarak nüfus yoğunluğu, hane halkı büyüklüğü, merkezden uzaklık, fay hattına uzaklık, eğim, yükseklik, jeoloji, bina yoğunluğu, bina tipi, yol ağına uzaklık, bina alanı, kat sayısı, arazi kullanımı olmak üzere on üç parametre hesaba katılmıştır. Model, yıkıcı depremlerden sık sık etkilenen sismik olarak aktif Sanandaj-Sirjan bölgesinde bulunan İran'ın Sanandaj Şehri için uygulanmıştır. Çalışma sonucunda bölgedeki binaların %25,39'unun çok yüksek kırılgen, %28,28'inin yüksek kırılgen, %22'sinin orta kırılgen, %12,88 düşük kırılgen, %11,45'inin çok düşük kırılgen kategoride yer aldığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar tarafından, BAHS ve yapay sinir ağı entegrasyonunun hidrolojik ve meteorolojik olayların peyzaj, insan ve çevre üzerindeki yıkıcı etkilerinin tahmin edilebilmesi amacıyla diğer afet türleri

bağlamında da uygulanabileceği önerisinde bulunulmuş olup daha gelişmiş yapay zekâ teknikleri (geri yayımlı sinir ağları, denetimli ilişkilendirme ağları, çok katmanlı sinir ağları, genetik algoritmalar, destek vektörü makinesi vb.) kullanılarak çalışmanın geliştirilebileceği belirtilmiştir [13].

Arun Bhadran ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, Hindistan'ın Assam şehrindeki deprem kırılgenliğini AHP, Bulanık AHP ve Maksimum Entropi Tekniği uygulanarak analiz edilmiştir. Kırılgenlik kriteri olarak PGA, jeoloji, yer altı suyu, arazi kullanımı, sismik gürültü, amplifikasyon, güvenlik açığı indeksi, V_{s30} , sıvılaşma potansiyeli olmak üzere dokuz adet parametre kullanılmıştır. AHP kullanılarak üretilen sismik duyarlılık haritası, çok yüksek (%10,71), yüksek (%41,07), orta (%23,88) ve düşük (%24,34) olmak üzere çalışma alanını dört duyarlılık sınıfına ayırmıştır. Ölçülen jeofizik parametreleri, çalışma alanının AHP aracılığıyla elde edilen sismik duyarlılık sonuçlarını desteklemektedir. Bulanık AHP kullanılarak üretilen sismik duyarlılık haritası, çalışma alanını çok yüksek (%18,93), yüksek (%30,59), orta (%35,3) ve düşük (%15,18) olmak üzere dört duyarlılık sınıfına ayırmıştır. Maksimum Entropi Tekniği kullanılarak üretilen sismik duyarlılık haritası ise çalışma alanını çok yüksek (%29,5), yüksek (%27,53) orta (%25,2) ve düşük (%17,77) olmak üzere dört duyarlılık sınıfına ayırmıştır. Bahse konu olan sonuçlar ile gerçekleştirilen model doğrulama analizinde (eğri yöntemleri) kullanılan üç modelin de yüksek doğruluk sağladığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, gerçekleştirdikleri sismik duyarlılık çalışmasının acil müdahale planlarına ve bina güçlendirme çalışmalarına konu olan öncelikli alanların belirlenmesinde fayda sağlayacağını belirtmişlerdir [14].

Farnaz Kamranzad ve diğerleri İran'ın Tahran şehrindeki deprem riskini CBS tabanlı üç boyutlu risk matrisi kullanılarak değerlendirmişlerdir. Bu matris tehlike, maruz kalma ve güvenlik açığı olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Deprem risk bileşenleri CBS tabanlı veri kümelerine (sismik durum, jeoloji, aktif faylar, nüfus dağılımı, arazi kullanımı, kentsel doku, bina yüksekliği, bina yoğunluğu, yapı tipi, nüfus yaşı, kritik altyapıların yakınlığı) göre değerlendirilmiştir. Deprem tehlike haritası PGA parametresine göre hazırlanmıştır. Maruz kalma ve güvenlik açığı haritaları ise sırasıyla nüfus yoğunluğu ve hibrit fiziksel kırılgenlik parametrelerine göre hazırlanmıştır. Son olarak, tüm bu bileşenler mekânsal bir çerçevede birleştirilmiş olup Tahran için bir deprem riski haritası elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda tehlike, maruz kalma ve güvenlik açığı haritalarının birleşiminin bir sonucu olarak gösterilen genel risk haritası yorumlanmış ve genel olarak şehrin güney yarısının kuzey yarısından daha yüksek bir riske sahip olduğu açıklanmıştır. Ayrıca, Kuzey Tahran fayına ev sahipliği yapan ve hızlı kentsel genişleme ve gelişme altında olan kuzeybatı bölgesinde de deprem riskinin hafife alınmaması gerektiği belirtilmiştir [15].

Maryam Garshasbi ve Golam Kabir, Kanada'nın Regina şehrindeki yağmur suyu borularından oluşan altyapı sistemlerinin deprem tehlikesine karşı dayanıklılığı değerlendirmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada En İyi En Kötü Yöntemi (EİEKY) ve Dempster-Shafer Teorisi kullanılmıştır. Yağmur suyu borularının esneklik kriterlerinin ağırlıklandırılması için EİEKY yöntemi uygulanmış olup esnekliğin modellenmesi ve esneklik endeksinin oluşturulması için Dempster-Shafer Teorisi kullanılmıştır. Boruların esnekliğini değerlendirmek için yaşı, malzemesi, çapı, uzunluğu, arazi kullanımı, deprem büyüklüğü, onarılma durumu, ulaşılabilirlik, finansal kaynak, kontrol edilme sıklığı, hasar derecesi olmak üzere on bir kritere ilişkin parametreler hesaba katılmıştır. Çalışmanın sonucunda oluşturulan modelin karar vericilere yağmur suyu borusu altyapısı esnekliğini etkili bir şekilde hesaplamada yardımcı olacağı ve elde edilen bulguların potansiyel deprem tehlikelerine karşı direnci arttırmaya katkıda bulunacağı açıklanmıştır. Ayrıca gelecek çalışmalarda esnek yağmur suyu borusu altyapı çerçevesinin kuraklık, iklim değişiklikleri, seller, toprak kaymaları ve tsunami gibi diğer tehlike türlerine göre genişletilebileceği belirtilmiştir [16].

Bu çalışmada, Zeytinburnu bölgesindeki deprem kırılgenliğini tespit etmek amacıyla kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde, çok kriterli karar verme yöntemlerinden "En İyi En Kötü" yöntemi kullanılarak bölgedeki farklı faktörlerin kırılgenlikleri belirli ağırlıklarla değerlendirilmiştir. Bu yöntem, kriterlerin kırılgenliğe etki derecelerini etkin bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır. Kırılgenliklerin daha net bir şekilde görselleştirilebilmesi ve birleştirilmiş deprem kırılgenlik indeksinin hesaplanabilmesi amacıyla analizler CBS ortamında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1.1 – Tablo 1.2 de açıklanan literatür kaynakları hakkında tarih, yazar, konu ve kapsam, kriterler ve kullanılan yöntemlere ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Tablo 1.1 EİEKY kullanılarak gerçekleştirilen analiz çalışmaları

Yazar/Tarih	Çalışma Alanı	Konu ve Kapsam	Kullanılan Veriler	Yöntem
Sümeyye Yanılmaz Dilber Başkak Melih Yücesan Muhammed Gül (2021) [4]	Tunceli (Türkiye)	Tunceli Şehrindeki Öncelikli Afet Tehlikesinin Analiz Edilmesi	Afet Etki Derecesi, Afet Yönetilebilirliği, Afetin Müdahale Önceliği, Afetin Büyüme Kapasitesi, Olasılık, Geçmiş Afetler, Afet Kırılabilirliği, Maksimum Tehdit	SMUG FEMA Bayesian EİEKY
Mihrimah Özmen (2023) [5]	Kayseri (Türkiye)	Kayseri'deki Deprem Kırılabilirliğinin İlçe Bazında Analiz Edilmesi	Coğrafi Lokasyonlar (Göl, baraj vb.), Kat Sayısı, İnşaat Tipi, Yaşlarına Göre, Nüfus Yoğunluğu, Sağlık Kurumları, Güvenlik, Ulaşım	EİEKY ABAC
Penjani Hopkins Nyimbili Turan Erden (2021) [6]	İstanbul (Türkiye)	Yeni Acil Durumu Tesisleri ve İtfaiye İstasyonları için Yer Uygunluk Analizi	Nüfus Yoğunluğu, İtfaiye İstasyonları Arasındaki Mesafe, Ahşap Bina Yoğunluğu, Ana Yollara Yakınlık, Tehlikeli Madde Yoğunluğu, Deprem Riski	EİEKY
Saiful Arif Khan Golam Kabir Muntasir Bilah Subhrajit Dutta (2021) [7]	-	Köprülerin Deprem Tehlikesine Karşı Esnekliğini Değerlendirilmesi ve Dayanıklılık Faktörlerinin Analiz Edilmesi	Temel, Dayanak, Taşıyıcı Sistem, İskele Özelliği, Kiriş Yapısı, Kiriş Açıklık Bağlantısı, Yaş, Tasarım Dönemi, Geometrik Özellikler, Yapısal İzleme, Bakım Durumu, Hasar Derecesi, Yapının Önem Derecesi, Kaynak Kullanılabilirliği, Ulaşılabilirlik	EİEKY

Tablo 2.1 EİEKY kullanılarak gerçekleştirilen analiz çalışmaları (Devamı)

Yazar/Tarih	Çalışma Alanı	Konu ve Kapsam	Kullanılan Veriler	Yöntem
Javad Hosseini Mojtaba Shakeryari Amir Nazari Nejad Hamed Mastalizadeh Mohammad Maleki Junye Wang Rabee Rustum Mahdis Rahmati Fereshteh Doostvandi Mir Abolfazl Mostafavi (2021) [8]	Tahran (İran)	Tahran'daki Kentsel Direncin Mahalle Bazında Analiz Edilmesi	Bina Yaşı, Nüfus Yoğunluğu, Fay Hattına Uzaklık, Yaş Dağılımı, Cinsiyet Oranı, Mekân Sentaksı, İtfaiye İstasyonlarına Uzaklık, Bina Tipi, Bina Fiyatları, Sağlık Kurumlarına Uzaklık, Kişi Başına Düşen Yeşil Alan, Hane Halkı Yoğunluğu, Eğitim Merkezlerinin Yoğunluğu, Arazi Kullanımı	AHP EİEKY
Maryam Garshasbi Golam Kabir (2021) [16]	Regina (Kanada)	Kanada'nın Regina Şehrindeki Yağmur Suyu Borularından Oluşan Altyapı Sistemlerinin Deprem Tehlikesine Karşı Dayanıklılığın Analiz Edilmesi	Yaşı, Malzemesi, Çapı, Uzunluğu, Arazi Kullanımı, Deprem Büyüklüğü, Onarılma Durumu, Ulaşılabilirlik, Finansal Kaynak, Kontrol Edilme Sıklığı, Hasar Derecesi	EİEKY Dempster- Shafer Teorisi

Tablo 1.2 Depremi konu alan ve diğer yöntemlerle gerçekleştirilen analiz çalışmaları

Yazar	Çalışma Alanı	Konu ve Kapsam	Kullanılan Veriler	Yöntem
Shaharier Alam Shamim Mahabubul Haque (2022) [9]	Mymensingh (Bagladeş)	Bangladeş'in Mymensingh Şehrindeki Deprem Kırılğanlığının Analiz Edilmesi	PGA, Kat Adedi, Bina Yoğunluğu, Hastaneye Uzaklık, İtfaiyeye Uzaklık, Acil Durum Merkezlerine Uzaklık, Tahliye Rotasına Uzaklık, Kötü Bina Yoğunluğu, Esnek Çatılı Binalarının Yoğunluğu, Yol Genişliği, Bina Yoğunluğu, Çocuk Nüfusu, Yaşlı Nüfusu, Kadın Nüfusu, Okuryazarlık Oranı, Ortalama Hane Halkı Geliri, Nüfus Yoğunluğu, Ortalama Hane Halkı Büyüklüğü, Ekonomik Bağımlı Nüfus	AHP
Ratiranjan Jena Biswajeet Pradhan Ghassan Beydoun Nizamuddin Ardiansyah Hizir Sofyan Muzailin Affan (2020) [12]	Banda Aceh (Endonezya)	Endonezya'nın Banda Aceh Şehrindeki Deprem Kırılğanlığının Analiz Edilmesi	PGA, Eğim, Eğrilik, Yükseklik, Bakı, Merkez Üssü Yoğunluğu, Merkez Üssü Mesafesi, Derinlik Yoğunluğu, Büyüklük Dağılımı, Litoloji, Amplifikasyon Faktörü, Arıza Yoğunluğu, Hatadan Uzaklık, Deprem Yoğunluğu, Bina Yoğunluğu, Bölgedeki Ofis Durumu, Eğitim Durumu, Altyapı, Stadyum, Üniversite, Yönetimsel Parametreler, Servis Merkezleri, Nüfus, Ulaşım Düzümleri	Yapay Sınır Ağı AHP

Tablo 1.2 Depremi konu alan ve diğer yöntemlerle gerçekleştirilen analiz çalışmaları (Devamı)

Yazar	Çalışma Alanı	Konu ve Kapsam	Kullanılan Veriler	Yöntem
Ratiranjan Jena Abdallah Shanableh Rami Al-Ruzouq Biswajeet Pradhan Mohamed Barakat A. Gibril Mohamad Ali Khalil Omid Ghorbanzadeh Pedram Ghamisi (2023) [10]	Arap Yarımadası	Arap Yarımadasındaki Mekânsal Deprem Olasılığını Çeşitli AI (XAI) Modelleri Kullanılarak Analiz Edilmesi	PGA, Geçmiş Deprem Büyüklükleri, Eğim, Yükseklik, Eğrilik, Büyüklük Değişimi, Derinlik Değişimi, Merkez Üssü Yoğunluğu, Sismik Boşluk, Deprem Sıklığı, Jeoloji Durumu, İtme Hatalarına Yakınlık, Adım Hatalarına Yakınlık, Tektonik Temas Yoğunluğu	Akıllı Tahminci Akıllı Açıklayıcı Modeli Yerel yorumlanabilir Modeli Agnostik Açıklama Modeli Işık Gradyan Arttırıcı Makinesi Tekrarlayan Derin Sinir Ağları Modeli
Ratiranjan Jena Biswajeet Pradhan Ghassan Beydoun Abdullah M. Alamri Ardiansyah Nizamuddin Hizir Sofyan (2020) [11]	Palu (Endonezya)	Endonezya'nın Palu Şehrindeki Deprem Olasılığının Analiz Edilmesi	Eğim, Yükseklik, Deprem Büyüklükleri, Deprem Derinlikleri, Merkez Üssü Yoğunluğu, Fay Hattına Uzaklık, Amplifikasyon, PGA, Eğrilik, Yoğunluk Varyasyonu, Bina Yoğunluğu, Yol Yoğunluğu, Yola Uzaklık, Akarsu Yoğunluğu, Resmi Kurumlar, Ziyaret Yerleri	Silhouette Kümeleme Yöntemi Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi Dayalı Saf Konumsal Kümeleme Konvolüsyonel Sinir Ağı AHP

Tablo 1.2 Depremi konu alan ve diğer yöntemlerle gerçekleştirilen analiz çalışmaları (Devamı)

Yazar	Çalışma Alanı	Konu ve Kapsam	Kullanılan Veriler	Yöntem
Peyman Yariyan Hasan Zabihi Isabelle D. Wolf Mohammadreza Karami Sohrab Amiriyani (2020) [13]	Sanandaj (İran)	İran'ın Sanandaj Şehrindeki Deprem Kırılabilirliğinin Analiz Edilmesi	Nüfus Yoğunluğu, Hane Halkı Büyüklüğü Merkezden Uzaklık, Fay Hattına Uzaklık, Eğitim, Yükseklik, Jeoloji, Bina Yoğunluğu, Bina Tipi, Yol Ağına Uzaklık, Bina Alanı, Kat Sayısı, Arazi Kullanımı	Yapay Sinir Ağı Bulanık AHP
Arun Bhadrani B.P. Duarah Drishya Girishbai A.L. Achu Sandeep Lahori N.P. Jesiya V.K. Vijesh Girish Gopinath (2024) [14]	Assam (Hindistan)	Hindistan'ın Assam Şehrindeki Deprem Kırılabilirliğinin Analiz Edilmesi	PGA, Jeoloji, Yer Altı Suyu, Arazi Kullanımı, Sismik Gürültü, Amplifikasyon, Güvenlik Açığı İndeksi, V_{s30} , Sıvılaşma Potansiyeli	AHP Bulanık AHP Maksimum Entropi Tekniği
Farnaz Kamranzad Hossein Memarian Mehdi Zare (2020) [15]	Tahran (İran)	İran'ın Tahran Şehrindeki Deprem Riskinin Analiz Edilmesi	Sismik Durum, Jeoloji, Aktif Faylar, Nüfus Dağılımı, Arazi Kullanımı, Kentsel Doku, Bina Yüksekliği, Bina Yoğunluğu, Yapı Tipi, Nüfus Yaşı, Kritik Altyapıların Yakınlığı	CBS Tabanlı Üç Boyutlu Risk Matrisi (Tehlike-Maruz Kalma-Güvenlik Açığı)

1.2 Tezin Amacı

İstanbul, deprem riski taşıyan bir şehir olduğundan, sismik olayların etkilerinin nicelleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, şehrin risk unsurları ve sistematik envanteri dikkate alınarak yapılan deprem kırılganlık analizleri, Harita Mühendisliği'nin önemli çalışma alanlarından biridir. Bu çalışmada, Zeytinburnu ilçesindeki binaların deprem kırılganlığının, EİEKY kullanılarak CBS ortamında belirlenmesi amaçlanmıştır. Analizde, deprem kırılganlığının hesaplanmasında; En Büyük Yer İvmesi anlamına gelen PGA parametresi, zeminin otuz metredeki ortalama kayma dalgası hızını ifade eden V_{s30} parametresi, bina kat sayısı, inşaat tipi, yapım yılı, gece nüfusu, fay hattına uzaklık, yola mesafe ve bina kullanım türü gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen verilerle, Zeytinburnu ilçesindeki deprem kırılganlığı belirlenerek, bu verilerin CBS ortamında görselleştirilmesi hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Zeytinburnu ilçesinde, sismik, yapısal ve sosyal parametrelerin (En Büyük Yer İvmesi - PGA, 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı - V_{s30} , bina kat sayısı, inşaat tipi, yapım yılı, gece nüfusu, fay hattına uzaklık, yola mesafe ve bina kullanım türü) EİEK yöntemiyle değerlendirilmesi, deprem kırılganlığını etkin bir şekilde tespit etmeye olanak sağlayacak ve bu parametrelerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında görselleştirilmesi, ilçe genelindeki kırılganlık düzeyinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, bu analiz çalışması risk yönetimi ve planlama süreçlerinde daha verimli sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyacaktır. Bu çalışmada, 5 madde altında araştırma soruları analiz edilmiştir.

- Kırılganlık analizlerinin afet yönetim planlaması açısından önemi nedir?
- Zeytinburnu ilçesindeki deprem kırılganlık seviyesi nedir ve bu seviyeyi etkileyen faktörler nelerdir?
- Zeytinburnu'ndaki deprem kırılganlığını tespit etmek için hangi yöntemler kullanılabilir?
- Zeytinburnu ilçesindeki deprem kırılganlığına karşı dayanıklılığın artırılması için hangi yöntemler daha etkili olabilir?

- Sismik ve sosyal ve yapısal kriterler deprem kırılganlığını ne ölçüde etkiler?

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde, risk kavramı ve bileşenleri tanımlanmış olup afet yönetimi açıklanmıştır. Daha sonra deprem kırılganlığı tanımlanmış ve deprem kırılganlığını etkileyen faktörler ile birlikte deprem kırılganlığı değerlendirme yöntemlerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde; çalışma alanı ve kullanılan veriler hakkında bilgiler verilmiş olup metodoloji işlem adımları ve en iyi en kötü yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde; deprem kırılganlığının analiz aşamasından bahsedilmiş olup bu aşamalar kırılganlık kriterleri, kriterlerin ağırlıklandırılması, sınıflandırılması, bina bazında deprem kırılganlığının belirlenmesi başlıkları altında açıklanmıştır. Beşinci bölümde; tartışma kısmı verilmiştir. Altıncı ve son bölümde ise, sonuçlar ve öneriler ile çalışma sonlandırılmıştır.

TEMEL KAVRAMLAR VE DEPREM KIRILGANLIĞI

2.1 Risk Bileşenleri ve Afet Yönetimi

2.1.1 Tehlike, Maruziyet, Savunmasızlık

Tehlike kavramı toplumun düzenine, çevreye, tarihi ve kültürel kaynaklara zarar verme potansiyeli bulunan teknoloji, doğa ve insan kaynaklı olay veya olaylar zinciri olarak tanımlanmaktadır. Matematiksel olarak ifade edecek olursak; tehlike, belirli büyüklükteki bir olayın, belirli bir yörede ve belirli bir zaman aralığında gerçekleşme olasılığı olarak da tanımlanmaktadır. Afet tehlikesi ise insanlar için sosyal, ekonomik ve fiziksel açıdan olumsuz etkilere sebep olan, insan faaliyetlerini ve normal yaşamı sekteye uğratarak veya durdurarak toplumu etkileyen olaylar bütünü olarak tanımlanabilir [17]. Afet tehlikelerini meydana gelme nedenlerine göre; doğal, teknolojik ve insan kaynaklı tehlikeler olarak kategorilere ayırmak mümkündür. Deprem, heyelan, kuraklık, volkan patlaması, sel gibi tehlikeler doğal, nükleer, endüstriyel ve büyük taşımacılık kazaları gibi tehlikeler teknolojik, terör olayları, savaş, iç çatışmalar ise insan kaynaklı tehlikelere örnek olarak gösterilebilir. Bunun yanında gelişim sürecine bağlı olarak sel, deprem, fırtına, volkan patlamaları, tayfun gibi tehlikeleri ani gelişen; küresel iklim değişiklikleri, erozyon, kuraklık gibi tehlikeleri ise yavaş gelişen tehlikeler olarak sınıflandırmak mümkündür. Afet tehlikelerinin etkileri, büyüklüğü ve tekrar etme sıklığı, o afetin türüne ve meydana geldiği yerin coğrafi, sosyo-ekonomik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilir. Örneğin, bir bölgedeki zemin yapısı, yerleşim alanlarının yoğunluğu, altyapı durumu ve bölgenin afetlere karşı aldığı hazırlık önlemleri, o bölgedeki afetin etkisini doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Maruziyet kavramı, tehlikelerden etkilenen veya tehlikelerin etkisi altında bulunan canlı ve cansız unsurları ifade etmektedir. Bu kavram afet odağından incelenirse, afet bölgelerinde ve riskli üretim alanlarında yer alan insanların, yapıların veya

sistemlerin, potansiyel kayıp tehdidi altında bulunması olarak tanımlanmaktadır. Afete maruz bölge ise gerçekleşmiş veya gerçekleşmesi muhtemel afetlerden etkilendiği veya etkilenebileceği belirtilen, iyileştirme çalışmaları ile teknik ya da ekonomik olarak ıslah edilmesi mümkün olmayan bölgeler olarak ifade edilmektedir [18].

Savunmasızlık, tehlikeye maruz kalan bir unsurun veya unsurların (insan, yapı, yerleşme birimi, kent, çevre gibi) tehlikenin meydana gelmesi halinde, görebileceği, sosyal, fiziksel, çevresel ve ekonomik kayıpların derecesidir [19]. Ayrıca savunmasızlık kavramı bir toplumun afetlere karşı göstereceği direncin ölçüsü olarak da ifade edilebilir. Bu kavram; fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel savunmasızlık olarak tasnif edilebilir.

2.1.2 Risk

Risk, belirli bir zaman ve mekânda bir tehlikenin mevcut olması ve bu tehlike ile karşı karşıya kalan unsurların hasar görme veya kayıp yaşama olasılığıdır. Kısacası risk, bir tehlikenin veya tehlikelerin olası sonuçları olarak tanımlanabilir. Bu sonuçlara ölüm, yaralanma, hastalık, yangın, patlama, heyelan, salgın hastalıklar, biyolojik, kimyasal ve nükleer kirlilik, kitlesel göç, altyapı hasarları, hizmet kesintileri, tarım ve sanayi üretiminin durması gibi çeşitli durumlar örnek gösterilebilir.

Afet yönetimi açısından büyük önem taşıyan tehlike, maruziyet ve savunmasızlık kavramları göz önünde bulundurulduğunda, riskin aslında bu üç unsurun bir birleşimi olduğu sonucuna varılmaktadır (Şekil 2.1). Afetin etkilerini azaltmak için tehlikeler tamamen bertaraf edilemeyeceğine göre, toplumun maruziyetini azaltmak ve savunma unsurlarını güçlendirmek gerekmektedir [20].



Şekil 2.1 Afet riski, tehlike, maruziyet ve savunmasızlığın şematik gösterimi [20].

2.1.3 Afet Yönetimi

Afet yönetimi, doğal ve insan kaynaklı afetlerin etkilerini en aza indirmek, afetlere hazırlıklı olmak, anında müdahale etmek ve sonrasında iyileşme sürecini hızlandırmak amacıyla yapılan planlama, organizasyon, uygulama ve değerlendirme süreçlerinin tamamıdır. Etkili bir afet yönetimi, risk ve zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme olmak üzere dört temel aşamadan oluşur. Risk ve zarar azaltma ile hazırlık aşaması risk yönetimi olarak, müdahale ve iyileştirme aşamaları kriz yönetimi olarak adlandırılır. Tablo 2.1’de afet yönetim aşamaları ve kapsamı açıklanmıştır.

Tablo 2.1 Afet yönetimi temel aşamaları

Risk Yönetimi	Risk ve Zarar Azaltma	<ul style="list-style-type: none">○ Tehlike ve Risklerin Belirlenmesi○ Toplumun Bilinçlendirilmesi ve Eğitilmesi○ Risk altındaki kritik altyapı ve tesislerin güçlendirilmesi○ Mevzuat ve kurumsal yapılanmanın geliştirilmesi○ Politika ve stratejilerin belirlenmesi○ Araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılması
	Hazırlık	<ul style="list-style-type: none">○ Müdahale personelinin eğitilmesi○ Gerekli kaynakların oluşturulması.○ Tatbikatların yapılması○ Gönüllülük sisteminin oluşturulması○ Kurtarma, tahliye ve acil yardım planları
Kriz Yönetimi	Müdahale	<ul style="list-style-type: none">○ Kurtarma çalışmaları○ İlk yardım○ Tıbbi müdahale○ Geçici barınma○ İaşe○ Hasar Tespiti ve enkaz kaldırma○ İkincil afetlerin kontrol altına alınması (yangın, bulaşıcı hastalık vs.)
	İyileştirme	<ul style="list-style-type: none">○ Enkaz yönetimi○ Yeniden yapılanma○ Tamir ve güçlendirme○ Sağlık ve tıbbi servisler○ Ekonomik kalkınma planlaması

Kaynak: Afet Yönetimi Temel Aşamaları [21]

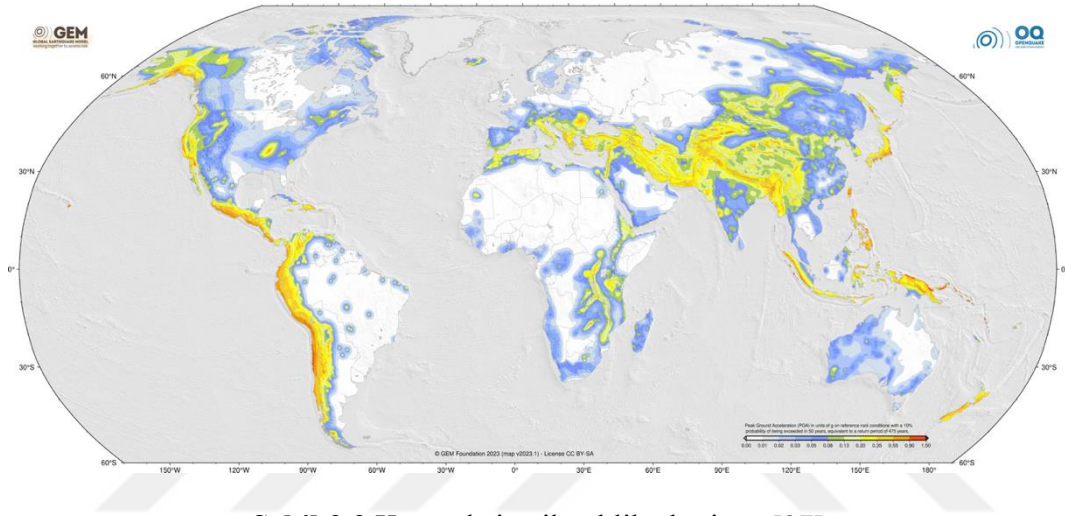
2.2 Türkiye’de ve Dünyada Deprem Odağında Afet Yönetimi

Dünyada afet yönetimi, tarihsel olarak insanlığın karşılaştığı büyük felaketlerle şekillenmiştir. İlk çağlarda, afetlere yönelik bir yönetim anlayışı bulunmamakta, felaketlere genellikle doğa olayları olarak bakılmaktaydı ve toplumlar, bu olaylara dini ya da mitolojik bir açıklama getirmekteydi. Ancak, sanayi devrimiyle birlikte hızla artan nüfus, kentleşme ve altyapı gelişmeleri, afetlere daha sistematik bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymuştur. 20. yüzyılın başlarında, özellikle 1910'larda ilk modern afet yönetimi uygulamaları ortaya çıkmaya başlamıştır. 1950'lerde, Birleşmiş Milletler ve diğer uluslararası kuruluşların afet yardımı ve yeniden yapılanma konularında daha fazla rol üstlenmeye başlaması, afet yönetiminin küresel bir mesele haline gelmesine yol açmıştır [22-24]. 1970'lerde, afetlere hazırlık ve risk azaltma stratejileri önem kazanırken, 1990'larda Kyoto ve Yokohama gibi uluslararası konferanslarla afetlerin yönetimi daha kapsamlı bir boyuta taşınmıştır [25]. 2000'li yıllarda ise afet yönetimi, sadece yardım ve müdahale değil, aynı zamanda toplumsal dayanıklılığın artırılması, erken uyarı sistemleri ve afet öncesi hazırlık stratejileriyle birleştirilen bir yaklaşım haline gelmiştir [25]. Günümüzde afet yönetimi, bütünleşik bir sistem olarak, devletler, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve uluslararası iş birlikleri tarafından geniş bir koordinasyon içerisinde yürütülmektedir.

Dünya genelinde meydana gelen depremler ve depremler sebebiyle yaşanan kayıplar etkili afet yönetim stratejilerinin araştırılmasını mecbur kılmıştır. Bu araştırmalar daha çok dünya genelindeki sismik tehlikeye sahip alanlar ve bu alanlardaki savunmasız bölgeler özelinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda küresel ölçekte sismik tehlikeye sahip bölgelerin genellikle yer kabuğunu oluşturan levhaların sınırlarında bulunduğu ifade edilmektedir. Depremler yoğun olarak, Pasifik Deprem Kuşağı, Alpine (Alp-Himalaya) ve Atlantik olmak üzere yeryüzünde üç ana deprem kuşağı etkisinde bulunan bölgelerde gözlemlenmektedir. Pasifik Deprem Kuşağı Şili’den kuzeye doğru Güney Amerika kıyıları, Orta Amerika, Meksika, ABD’nin batı kıyıları ve Alaska’nın güneyinden Aleutian Adaları, Japonya, Filipinler, Yeni Gine, Güney Pasifik Adaları ve Yeni Zelanda’yı içine alan en büyük deprem kuşağıdır. Yeryüzündeki büyük depremlerin %81’i bu kuşak üzerinde gerçekleşir. Alpine (Alp-Himalaya) Deprem Kuşağı Endonezya’dan (Java-Sumatra) başlayıp Himalayalar ve Akdeniz üzerinden

Atlantik Okyanusu'na ulaşan kuşaktır. Yeryüzündeki büyük depremlerin %17'si bu kuşakta oluşur. Atlantik Deprem Kuşağı ise Atlantik Okyanusu ortasında yer alır ve levha sınırı (Atlantik Okyanus Sırtı) boyunca uzanır [26].

Referans alınan zemin parametresi (V_{s30} , 760-800 m/s) koşullarında hesaplanan 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan PGA (En Büyük Yer İvmesi) parametresinin coğrafi dağılımı Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Bu haritaya bakıldığında deprem kuşakları etkisinde bulunan bölgelerin yüksek sismik tehlikeye sahip olduğu gözlemlenmektedir.

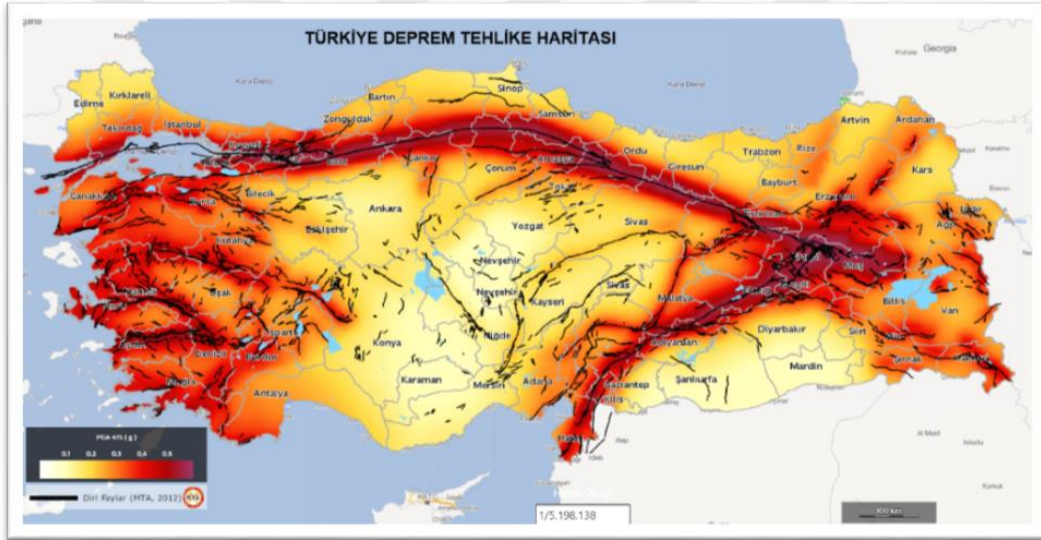


Şekil 2.2 Küresel sismik tehlike haritası [27]

Türkiye'de afet yönetimi, tarihsel olarak sıkça karşılaşılan doğal afetler nedeniyle önemli bir kamu yönetimi konusu haline gelmiştir. 1999 İzmit Depremi sonrası, afet yönetiminde daha sistematik ve profesyonel bir yaklaşım benimsenmeye başlanmış, bu da ulusal afet planları ve altyapı çalışmalarının gelişmesini sağlamıştır. 2000'li yıllarda, özellikle 2004'te çıkarılan 4778 sayılı "Afet ve Acil Durum Yönetimi Hizmetleri Kanunu" ve 2009'da kurulan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), afet yönetiminin merkezi bir yapı haline gelmesini sağlamıştır. AFAD, afetlere yönelik risk azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme süreçlerinde koordinasyonu sağlamaktadır. Türkiye'de afet yönetimi, aynı zamanda yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve özel sektör ile iş birliği içinde yürütülmektedir [28-30]. Türkiye'deki afet yönetimi, 2003'te çıkarılan Deprem Master Planı, 2014'te yürürlüğe giren Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), 2021'de çıkarılan Afet Risk Azaltma Planı gibi belgelerle yerel ve merkezi yönetim

tarafından desteklenmektedir. Bu planlar, gelecekteki afetlere karşı daha dayanıklı bir toplum oluşturmayı hedeflemektedir.

Türkiye oldukça aktif olan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır ve Türkiye'nin depremsellik açısından yüksek risk barındırmasının başlıca nedeni, bulunduğu deprem kuşağında yer alan ana tektonik plakaların (Avrasya, Arap, Afrika) hareketleridir. Bu nedenle ülkemiz geçmişten günümüze ciddi derecelerde sismik tehlikelere maruz kalmış ve kalmaya devam etmektedir. Ülkemizde, Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAFH), Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı olmak üzere üç aktif fay hattı bulunmaktadır. Bu fay hatlarının bulunduğu bölgelerin depremselliği yüksektir (Şekil 2.3). Bu nedenle fay hatlarında meydana gelen depremler yakın çevresinde bulunan bölgeleri ciddi derecede etkilemektedir. Tablo 2.2'de Türkiye'de meydana gelen önemli depremler yer almaktadır.



Şekil 2.3 Türkiye deprem tehlike haritası [31]

Tablo 2.2 Türkiye’de yıllar itibariyle yaşanan büyük çaplı depremler

Yıl	Yer	Can Kaybı (kişi)	Yaralı (kişi)
1966	Muş-Varto Depremi	2.394	1.489
1970	Kütahya-Gediz Depremi	1.086	1.260
1975	Lice Depremi	2.385	3.339
1976	Çaldıran/Muradiye Depremi	3.840	497
1983	Erzurum/Kars Depremi	1.155	1.142
1992	Erzincan Depremi	653	3.850
1999	İzmit Depremi	17.480	43.953
1999	Düzce Depremi	763	4.948
2011	Van Depremi	644	1.966
2020	Elazığ Depremi	44	1.607
2020	Ege Denizi Depremi	117	1.034
2023	Kahramanmaraş Depremi	~60.000	~107.204

Kaynak: Büyük Çaplı Depremler [32]

2.3 Deprem Kırılmalı

Deprem kırılmalı, bir bireyin veya toplumun bir kesiminin deprem tehlikesinin ve risklerinin etkileri ile baş edebilme, afete karşı direnebilme ve afet sonrasında normal hayata dönebilme kapasitesine etki eden olgular ve durumlar olarak tanımlamak mümkündür [33]. Bu kavram hasar görülebilirlik veya zarara açık olma olarak da ifade edilebilir. Kavram ayrıca AFAD’ın Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğünde; “Değişik türdeki yapıların farklı büyüklüklerdeki afetler

karşısında hasar görebilme eğilimi veya bir yapının var olan bir tehlikeden görebileceği hasarına ilişkin ölçüsü” olarak tanımlanmıştır [18]. Deprem kırılgenlik/hasar görebilirlik analizi ise, risk altındaki insan ve yerleşim alanlarının farklı deprem senaryolarına karşı savunma kapasitesinin değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır [34].

2.3.1 Deprem Kırılgenliğini Etkileyen Faktörler

Deprem kırılgenliğini etkileyen faktörler, geçmişten günümüze farklı disiplinler tarafından çeşitli araştırmaların konusu olmuştur. Deprem kırılgenliği hem doğal hem de yapay unsurlardan etkilenmektedir, dolayısıyla çok sayıda faktöre bağılı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu faktörler zemin ve toprak yapısı, yapı özellikleri, bölgesel ve coğrafi özellikler, toplum ve sosyoekonomik özellikler, iklim ve çevresel koşullar, afet yönetimi ve politikaları gibi farklı kategorilerde sınıflandırılabilir. Zemin ve toprak yapısında zemin hareketleri, zemin sınıfı, toprağın sıvılaşma düzeyi gibi kriterler, yapı özelliklerinde ise yapı yaşı, kullanılan malzemeler, inşaat yapım türü (betonarme, yığma, kagir vb.), kat sayısı gibi unsurlar etkili olmaktadır. Bölgesel ve coğrafi özelliklerde fay hattına uzaklık, yükseklik, eğim gibi faktörler, toplum ve sosyoekonomik özelliklerde ise gelir seviyesi, eğitim düzeyi, altyapı durumu, sosyal dayanışma vb. faktörler incelenmektedir. İklim ve çevresel koşullarda toprak nem oranı, sıcaklık değişimi, sel ve toprak kayması gibi faktörler ele alınmakta, afet yönetimi ve politikalar başlığında ise toplumun afete hazırlık düzeyi, yapılaşma standartları, yönetmelikler ve imar planları, risk ve zarar azaltma planlaması deprem kırılgenliğini etkileyen faktörler olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak deprem kırılgenliği, çok sayıda faktörün etkileşimiyle şekillenmektedir. Bu faktörlerin her biri, yerel özelliklere göre değişkenlik göstermekte ve afetlerin olası etkilerini belirlemektedir. Etkin bir afet yönetimi için bu faktörleri doğru bir şekilde analiz etmek ve bölgesel ihtiyaçlara uygun stratejiler geliştirmek çok önemlidir.

2.3.2 Deprem Kırılgenliğini Değerlendirme Yöntemleri

Günümüzde deprem kırılgenliğinin değerlendirilmesinde çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlere, detaylı yapısal değerlendirme yöntemleri, harmonik ve sayısal modelleme yöntemleri, deneysel yöntemler, bulanık mantık ve yapay zeka (AI) yöntemleri, CBS ve uzaktan algılama yöntemleri ve çok kriterli

karar verme yöntemleri örnek olarak gösterilebilir. Detaylı yapısal değerlendirme yöntemleri ve harmonik-sayısal modelleme yöntemlerinde daha çok yapı özelindeki kırılma tespiti yapılırken, deneysel yöntemler, bulanık mantık ve yapay zeka (AI) yöntemleri, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ve CBS ve uzaktan algılama yöntemleri bölgesel ölçekte kırılma tespiti yapılabilmesine olanak tanımaktadır.

Detaylı yapısal değerlendirme yöntemlerinde binaların ve altyapı unsurlarının deprem esnasında nasıl davranışlar göstereceği, ayrıntılı yapısal analizler ile belirlenmektedir. Bu yapısal analizlere lineer, lineer olmayan statik analizler, dinamik yöntemler (spektral analiz, modal analiz) ve zayıf nokta analizleri örnek gösterilebilir. Lineer, non-lineer statik analizler ile bina yapısının statik yüklere nasıl tepki verdiği hesaplanmaktadır. Dinamik yöntemler deprem dalgalarının yapılar üzerindeki etkilerini modellemek ve yapının doğal frekansları ve titreşim modlarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Zayıf nokta analizlerinde ise yapının tüm bileşenleri incelenerek deprem esnasında daha zayıf kalan bileşen tespit edilir. Bu yöntemler kullanılarak bir bölge için deprem kırılma gücünün belirlenmesi uzun zaman ve maddi kaynak gerektirmektedir. Bu nedenle bu yöntem daha çok bina özelinde deprem performansının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Harmonik ve sayısal modelleme yöntemleri deprem kırılma gücünün tespiti ve yapıların sismik performansının analizi için faydalı çözümler sunmaktadır. Bu yöntemlerde, yapının deprem esnasında göstereceği davranış tahmin etmek amacıyla farklı bakış açıları ve hesaplama teknikleri kullanarak yapısal analizler gerçekleştirilir. Harmonik modelleme, genellikle yapının belirli bir frekans üzerindeki tepkilerini değerlendirmek için kullanılırken sayısal modelleme, yapı zemin etkileşimlerini modelleyerek yapıların sismik davranışlarını simüle etmek ve analiz etmek için kullanılmaktadır. Zaman gerektiren bir yöntem olduğundan il veya ilçe ölçeğinde kullanılması güçtür.

Deneysel yöntemlerde, geçmişteki büyük depremlerden elde edilen hasar istatistikleri analiz edilerek hasar alan bölgelerle benzer özellikler taşıyan yapılar ve benzer zemin tipolojisine sahip olan yerler incelenerek çalışma bölgesindeki deprem kırılma gücü tahmin edilmektedir.

Bulanık mantık yöntemi, belirli kurallar doğrultusunda keskin sınıflandırmalar yapmadan verileri işlemekte ve faktörler arasında kesin bir şekilde tanımlanamayan ilişkileri yumuşatarak deprem kırılgenliğini modelleyebilmektedir. Bu yöntemde her bir parametreye ait belirsiz (bulanık) tanımlar yapılır ve bu tanımlamalar doğrultusunda bulanık mantık motoru parametreler arasındaki ilişkileri çözümleyerek kırılgenlik seviyesi tahmini üretmektedir. Yapay zeka yöntemlerinde ise özellikle makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır. Bu algoritmalar sayesinde büyük veri setlerinde örüntüler oluşturularak doğruluğu yüksek ve hızlı analizler gerçekleştirilebilir. Makine öğrenimi yöntemi denetimli ve denetimsiz olmak üzere iki şekilde uygulanabilir. Denetimli öğrenmede kırılgenlik parametreleri ve geçmiş depremlerin hasar verileri kullanılarak depremin binalar üzerindeki etkilerini öğrenen bir model oluşturulur. Eğitilen bu model gelecekteki deprem senaryoları hakkında tahminler üretebilir. Denetimsiz öğrenmede ise geçmiş hasar verileri kullanılmadan sadece yapıların özelliklerine dayalı olarak örüntüler ve gruplar oluşturulur. Derin öğrenme yöntemleriyle deprem kırılgenliğinin değerlendirilmesinde ise daha karmaşık ve büyük veri setlerini işlemek için çok katmanlı sinir ağları kullanılmaktadır. Bu sinir ağları hızlı ve etkili öğrenme sağlayarak deprem kırılgenliği hakkında tahmin modeli geliştirebilir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri, deprem kırılgenliğinin tespitinde, yapıların ve bölgelerin çeşitli parametreleri üzerinden etkili bir analiz yaparak doğru sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. AHS, TOPSIS, VIKOR, Bulanık AHP ve En İyi En Kötü Yöntemi gibi yöntemler, birbirini tamamlayıcı özelliklere sahip olup, çeşitli veri setleriyle çalışarak deprem riski ve kırılgenlik analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. AHS, ÇKKV yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanıdır ve kriterlerin karşılaştırılması ile ağırlıklı bir sıralama oluşturur. Bu karşılaştırmalar uzman görüşüne bağlı olarak yapılmaktadır [35]. Dolayısıyla kriter ağırlıkları uzmanların görece önem derecelerine göre belirlenir. TOPSIS, ideal çözümle ve anti-ideal çözümle karşılaştırma yaparak alternatiflerin sıralanmasını sağlar [36]. VIKOR, alternatifler arasındaki uzlaşmayı (kompromi) sağlayarak karar vermeyi hedefler. Deprem kırılgenliği tespiti için VIKOR, çok sayıda kriterin en iyi uzlaşma noktasında birleşmesini sağlar [37]. Bulanık AHP, klasik AHP yönteminin bulanık mantıkla birleştirilmiş versiyonudur. Bu yöntem, özellikle belirsizlik ve karmaşıklık içeren durumlar için uygundur. Deprem

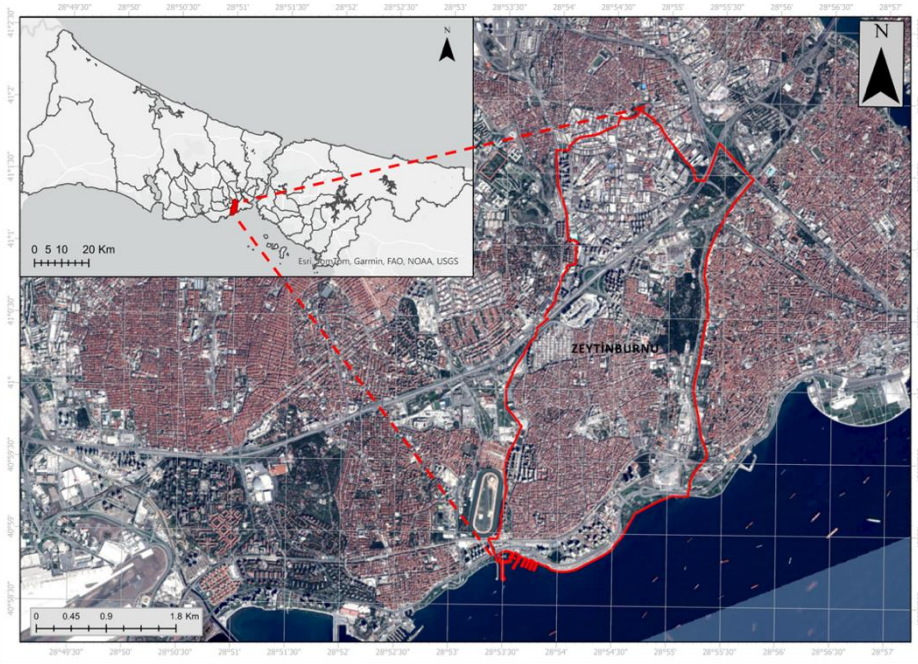
kırılmalığı tespitinde, kesin verilerle alışılamayan durumlarda Bulanık AHP kullanılmaktadır [38]. EİEKY, alternatiflerin en iyi (en çok önemli) kriterle ve en kötü (en az önemli) kriterle karşılaştırıldığı basit ama etkili bir yöntemdir [39].

CBS ve uzaktan algılama yöntemleri deprem kırılmalığını değerlendirmek ve görselleştirmek için kullanılan modern ve etkili yöntemlerdir. Bu yöntemler büyük veri setlerini yönetmek, analiz etmek ve görselleştirmek için faydalı araçlar sağlamaktadır. CBS, konum bilgilerini analiz etmek ve görselleştirmek için kullanılan bir yazılım ve veri yönetim platformudur. CBS, farklı kaynaklardan gelen verileri bütünleştirerek, depremle ilgili kırılmalığ haritaları oluşturmak ve deprem riski değerlendirmeleri yapmak için kullanılmaktadır [40]. Uzaktan algılama ise, yer yüzeyinin ve yapılarının uzaydan, hava araçlarından veya insansız hava araçlarından (İHA) elde edilen görüntülerle incelenmesini sağlayan bir teknolojidir. Uzaktan algılama verileri, deprem öncesinde, deprem esnasında ve sonrasında bölgelerdeki değişikliklerin tespit edilmesine yardımcı olmaktadır [41].

3.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Zeytinburnu İlçesi, 1957 yılında İstanbul'un 14. ilçesi olarak kurulmuştur. Yüzölçümü 11,31 km² olan ilçede 13 mahalle bulunmaktadır. İlçe, Trakya'nın güneydoğusunda, Çatalca Yarımadası'nın Marmara Denizi'ne bakan yamaçlarının denizle birleştiği noktada yer almaktadır. Zeytinburnu'nun coğrafi konumu, 29 derece doğu boylamı ve 41 derece kuzey enlemi üzerindedir. İlçe topraklarının denizden ortalama yüksekliği 30-35 metre civarındadır. Doğusunda Fatih, batısında Bakırköy ve Güngören, kuzeyinde Bayrampaşa ve Eyüp, güneyinde ise Marmara Denizi ile sınır komşusudur. 2023 yılı TÜİK verilerine göre ilçenin nüfusu 280.896 olarak kaydedilmiştir [42-44].

Zeytinburnu, tarihi yapıları ve bölgeye özgü kültürel değerleriyle günümüzde İstanbul'un kültür ve inanç turizmi açısından önemli merkezlerinden biri haline gelmiştir. İlçede, yüzyıllar önce inşa edilmiş pek çok tarihi yapı bulunmaktadır. Zeytinburnu'nun İstanbul içindeki konumu ve uydu görüntüsü, ilçe sınırlarıyla birlikte Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Zeytinburnu İlçesi'nin İstanbul'daki konumu ve uydu görüntüsü

Bu çalışmada kullanılan deprem kırılgnlık kriterlerine ilişkin veri kaynakları ve veri tipleri ile ilgili açıklamalar Tablo 3.1’de yer almaktadır.

Tablo 3.1 Kriterlere ilişkin veri türleri ve kaynakları

Kriter	Veri Kaynağı	Veri Tipi
PGA	İBB DEZİM	Vektör Veri
V_{s30}	İBB DEZİM	Vektör Veri
Fay Hattına Uzaklık	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü İnternet Sitesi	Vektör Veri
İnşaat Tipi	İBB DEZİM	Vektör Veri
Kat Adedi	İBB DEZİM	Vektör Veri
Yapım Yılı	İBB DEZİM	Vektör Veri
Gece Nüfusu	İBB DEZİM	Vektör Veri
Kullanım Türü	İBB DEZİM	Vektör Veri
Yola Uzaklık	Open Street Map	Vektör Veri

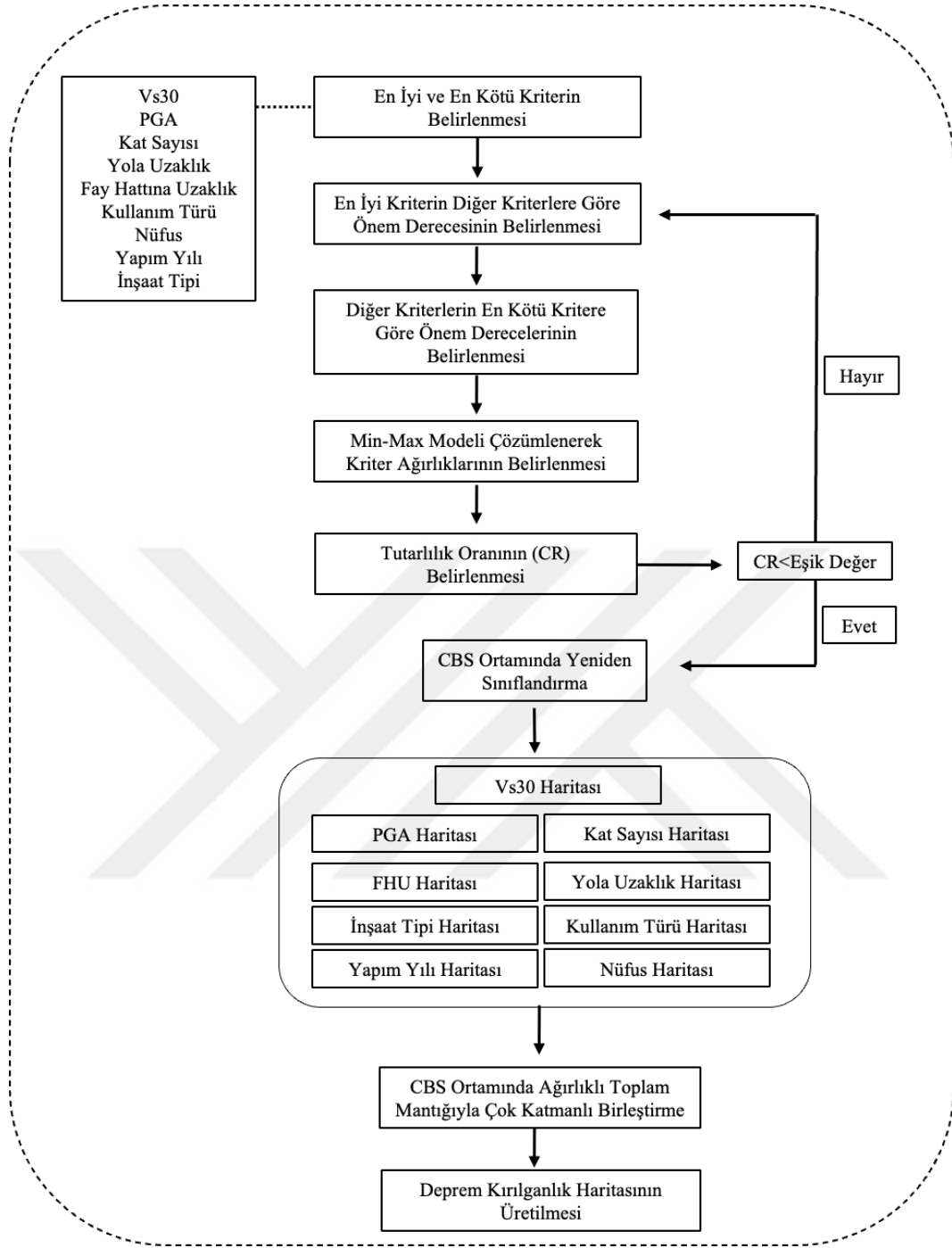
3.2 İşlem Adımları

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan "En İyi En Kötü Yöntemi" (EİEKY), 2015 yılında Jafar Rezaei tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, diğer karar verme tekniklerine kıyasla daha az sayıda ikili karşılaştırma ile çözüm üretme imkânı sunduğundan öne çıkmaktadır [39]. EİEKY, bu çalışmada deprem kırılgnlık kriterlerinin önem derecelerini belirlemek için kullanılmıştır.

Çalışmanın başında, PGA, V_{s30} , fay hattına uzaklık, kat sayısı, yapım yılı, inşaat tipi, gece nüfusu, kullanım türü ve yola uzaklık olmak üzere dokuz adet kriterler arasından en önemli ve en az önemli olan kriter uzman görüşünden ve literatür araştırmasından faydalanılarak belirlenmiştir. Bu aşamada kırılgnlığa etki eden en önemli kriter PGA, en az önemli kriter ise kullanım türü olarak kararlaştırılmıştır. Ardından bu kriterlerin deprem kırılgnlığına etki derecesini belirlemek amacıyla karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. İlk karşılaştırma matrisi, en önemli kriterin

diğer kriterlere kıyasla önem derecesine göre tasarlanmıştır. İkinci karşılaştırma matrisi ise, diğer kriterlerin en az önemli kritere göre önem dereceleri belirlenerek oluşturulmuştur. Bu iki matris kullanarak, min-max modeli çözümlenmiş ve böylece her bir kriterin kırılmalığa etki derecesini ifade eden ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen ağırlıklar, sonrasında CBS ortamında bina bazlı kırılmalılık indekslerinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

CBS ortamında yapılan analizde, her bir kriterin değer aralığına göre kırılmalılık katsayıları belirlenmiş ve katman sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırma aşamasında kriterlerin değer aralıklarına veya özniteliklerine göre kategoriler oluşturulmuştur. Bu kategoriler çok yüksek kırılmalı, yüksek kırılmalı, orta kırılmalı, düşük kırılmalı ve çok düşük kırılmalı olarak adlandırılmıştır. Daha sonra sınıflandırılmış katmanlardan faydalanılarak her kritere özgü kırılmalılık haritaları hazırlanmıştır. Ardından sınıflandırılmış katmanların ağırlıkları doğrultusunda birleştirilmesini ve kırılmalılık endeksi oluşturulmasını sağlayan ağırlıklı toplam mantığına dayalı çok katmanlı birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda ilçe genelini kapsayan kırılmalılık endeksleri üretilmiştir ve bu endeks değerleri beş kategoriye ayrılarak analiz sonucunda elde edilmesi amaçlanan kırılmalılık haritası oluşturulmuştur. Yöntemin iş akış şeması ise Şekil 3.2’de yer almaktadır.



Şekil 3.2 İş akış şeması

3.3 En İyi En Kötü Yöntemi

EİEKY, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olup, ikili karşılaştırma mantığına dayanarak hesaplama yapan bir tekniktir. Bu yöntem dört aşamadan oluşur. İlk aşamada, kullanılacak kriterler arasında en iyi (çok önemli) ve en kötü (az önemli) kriterler, literatür araştırması ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenir. İkinci aşamada, en iyi kriterin diğer kriterlerle ve diğer kriterlerin en kötü kriterlerle karşılaştırması yapılır, böylece her bir kriterin önem derecesi saptanır. Üçüncü aşamada, ikili karşılaştırmalar kullanılarak ağırlık vektörleri oluşturulur. Son aşamada ise, bu iki vektör üzerinden hareketle, kriter ağırlıkları Eşitlik (1)-(5)'te belirtilen model ile hesaplanır.

$$\min \xi, \quad (1)$$

$$\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \forall j \quad (2)$$

$$\left| \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right| \leq \xi, \forall j \quad (3)$$

$$\sum_j W_j = 1 \quad (4)$$

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

Eşitlik (1)-(5)'te, "a_{Bj}" en iyi kriterin j'inci kriterine göre önem derecesini, "a_{jW}" j'inci kriterin en kötü kriterine göre önem derecesini, "W_B" en iyi kriterin ağırlığını, "W_W" en kötü kriterin ağırlığını ve "W_j" j'inci kriterin ağırlığını temsil eder.

Tutarlılık oranı, ξ değerinin tutarlılık indeksine bölünmesiyle hesaplanır (Eşitlik 6).

$$CR = \frac{\xi}{CI} \quad (6)$$

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.

Tutarlılık oranının hesaplanması için Eşitlik 6'deki formül kullanılır. Bu formülde yer alan ξ değeri, Eşitlik (1)-(5)'te verilen modelin çözümüyle, CI (Tutarlılık Endeksi) değeri ise Tablo 3.2'de yer alan ξ'un en yüksek değerlerinden oluşan tablo parametrelerine göre belirlenir.

Tablo 3.2 Tutarlılık endeks değeri

abw	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CI (max ξ)	0	0,44	1	1,63	2,3	3	3,73	4,47	5,23



4.1 Kırılgnalık Kriterleri

Deprem kırılgnalığının analiz edilebilmesi amacıyla kırılgnalığı etkileyen dokuz farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterler PGA (En Büyük Yer İvmesi), V_{s30} (30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı), kat sayısı, inşaat tipi, yapım yılı, gece nüfusu, fay hattına uzaklık, yola uzaklık ve bina kullanım türünden meydana gelmektedir. Belirlenen bu kriterler, bir yapının veya bölgenin deprem anında nasıl bir performans sergileyeceğini, dayanıklılığını, depreme karşı savunma kapasitesini ve olası hasar seviyelerini etkileyen kritik faktörlerdir. Her bir kriter, deprem kırılgnalığına farklı derecelerde etki ederek binanın veya bölgenin genel kırılgnalık profilini oluşturmaktadır. Bu kriterlerin belirlenmesinde, güncel bilimsel araştırmalar ve yerel deneyimler doğrultusunda yapılan kapsamlı bir literatür taraması önemli rol oynamıştır. Ayrıca, uzmanların görüşlerine başvurularak, deprem riskini daha iyi yansıtan bir değerlendirme yapabilmek için kriterlerin ağırlıkları ve göreceli önem dereceleri EİEK yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Bunun yanında kriterlerin her birinin değer aralıklarına veya kriter özneliliklerine karşılık gelen kırılgnalık seviyeleri hem uzman görüşleri hem de mevcut literatür araştırmalarına dayalı olarak tespit edilmiştir. Ardından mevcut yapı stoku ve çalışma bölgesi, CBS ortamında kırılgnalık seviyelerine göre yeniden sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma ile her bir kriter için ayrı ayrı kırılgnalık haritaları hazırlanmıştır. Hazırlanan haritalar sayesinde, her bir kriterin kırılgnalık düzeyleri görsel olarak sunulmuştur ve kırılgn özelliklerin bölgelere göre değişimi daha kolay yorumlanabilir hale gelmiştir.

PGA, deprem esnasında bir bölgede ivmeölçer ile kaydedilen en büyük yer ivmesi olarak tanımlanmaktadır. Zemin hareketini ifade etmek için kullanılan bir parametredir [45]. V_{s30} , yerinde yapılan sismik çalışmalar sonucunda elde edilen kayma dalga hızlarının 30 m derinliğe kadar ortalama değeri olarak

tanımlanmaktadır. Yerel zemin sınıfının belirlenmesini sağlamaktadır [46]. Kat sayısı, binanın yüksekliği ile ilişkilidir, yüksek binalar genellikle daha büyük sismik etkilere maruz kalır ve deprem esnasında daha fazla zarar görme riski taşımaktadır. Gece nüfusu, yapının kullanım yoğunluğunu göstermektedir, daha fazla nüfus, daha fazla can kaybı ve daha fazla zarara yol açabilir. İnşaat türü veya inşaat yapım tipi, bir yapının nasıl inşa edildiğini ifade etmektedir. Yapıların fonksiyonelliği, estetiği, dayanıklılığı ve maliyet etkinliği gibi faktörler göz önünde bulundurularak inşaat tipi belirlenmektedir. Yapım yılı çalışma bölgesindeki yapı stokunun bina yaşını temsil etmektedir. Yıllar içerisinde yapım tekniklerinin geliştirilmesi, yönetmeliklerin değişmesi ve denetimin sıkılaşması sebepleriyle eski binaların deprem karşısında daha savunmasız davranması olasıdır. Fay hattına uzaklık, yapının deprem kaynağına ne kadar yakın olduğunu belirler ve fay hattına yakın bölgelerdeki yapılar, daha güçlü sismik etkilere maruz kalmaktadır. Yola uzaklık, binaların en yakın yol aksına olan uzaklıklarını ifade etmektedir, binalar yola ne kadar yakın ise deprem esnasında yolun kapanma ihtimali de o derece yüksek olmaktadır. Bina kullanım türü ise, yapının ne amaçla kullanıldığını yani fonksiyonunu ifade etmektedir. Bina fonksiyonları değiştikçe deprem etkilerine maruz kalan kitle ve nüfus yoğunluğu da değişkenlik göstereceğinden kırılabilirliğe etki eden bir faktör olarak ele alınmıştır.

4.2 EİEK Yöntemi Kullanılarak Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriterlerin ağırlıkları, En İyi-En Kötü Yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu süreçte, ilk olarak en iyi (çok önemli) ve en kötü (az önemli) kriterler belirlenmiştir. Sonrasında, seçilen en iyi kriter, diğer kriterlerle, diğer kriterler ise en kötü kriterle karşılaştırılarak ikili değerlendirmeler yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, deprem kırılabilirliği kriterlerinin ağırlık vektörleri oluşturulmuş ve ağırlıkların hesaplanabilmesi için eşitsizlik denklemi (Eşitlik (1)-(5)) çözülmüştür. Çalışmada, PGA parametresi en önemli kriter olarak, bina kullanım türü ise en az önemli kriter olarak belirlenmiştir. Kriterlerin birbirlerine göre önem dereceleri, uzman görüşlerinden faydalanarak saptanmıştır. En iyi kriterin diğer kriterlere göre önem dereceleri Tablo 4.1'de, diğer kriterlerin en kötü kritere göre önem dereceleri ise Tablo 4.2'de yer almaktadır. Kriterlerin ağırlık değerleri ise Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.1 En iyi kriterin diğer kriterlere göre önem derecesi

	PGA (m/s ²)	FHU (km)	V _{s30} (m/s)	Yapım Yılı	Gece Nüfus	Kat Adedi	İnşaat Tipi	Yola Uzaklık (m)	Kullanım Türü
PGA	1	1	1	3	4	5	6	7	7

Tablo 4.2 Diğer kriterlerin en kötü kritere göre önem dereceleri

	Kullanım Türü
PGA (m/s²)	7
Fay Hattına Uzaklık (km)	7
V_{s30} (m/s)	7
Yapım Yılı	5
Gece Nüfus	3
Kat Adedi	5
Yola Uzaklık (m)	4
Kullanım Türü	1
İnşaat Tipi	3

4.2.1 Kırılma Kriterlerinin Ağırlık Değerleri

EİEK yönteminin uygulanması sonucunda PGA, fay hattına uzaklık (FHU) ve V_{s30} 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 tipi %5, yola uzaklık %4, bina kullanım türü ise %2'lik değerle en düşük ağırlığa sahip kriter olarak belirlenmiştir. Kriterlere ilişkin ağırlık değerleri Tablo 4.3'de yer almaktadır.

Tablo 4.3 Kırılgnlık parametrelerinin ağırlık değerleri

	Ağırlık Değerleri
PGA (m/s²)	0,22
Fay Hattına Uzaklık (km)	0,22
V_{s30} (m/s)	0,22
Yapım Yılı	0,09
Gece Nüfus	0,07
Kat Adedi	0,06
Yola Uzaklık (m)	0,04
Kullanım Türü	0,02
İnşaat Tipi	0,05

4.3 Kriterlerin Kırılgnlık Seviyelerine Göre Sınıflandırılması

Kırılgnlık kriterlerine ait parametreler değer aralıklarına göre bir kırılgnlık seviyesinde sınıflandırılmıştır.

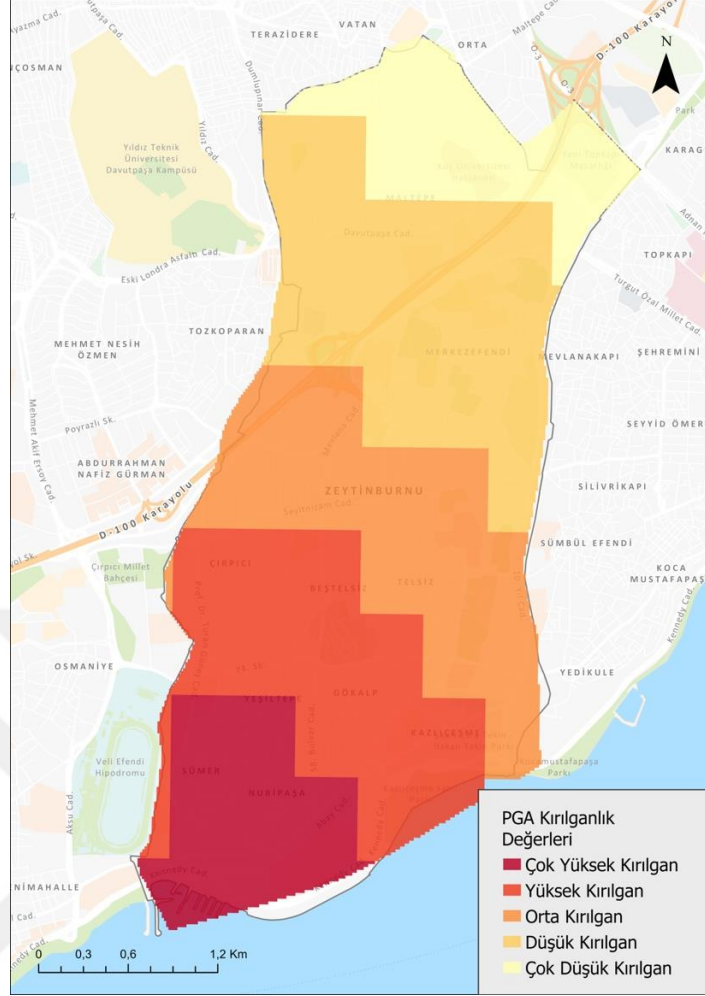
4.3.1 PGA

PGA, fay kırılması yani deprem etkisi altındaki bir bölgede oluşan "En Büyük Yer İvmesi" olarak tanımlanmakta olup yapılarda oluşabilecek hasara doğrudan etkisi bulunmaktadır. Çalışma kapsamında, 2003 yılında hazırlan Deprem Master Plan'da gerçekleşmesi beklenen 7,5 büyüklüğündeki senaryo depremi için hesaplanan PGA değerleri kullanılmıştır [47]. PGA değeri arttıkça deprem kırılgnlığı da artmaktadır. Bu bağlamda PGA değerleri kırılgnlık seviyesine göre Tablo 4.4'te gösterildiği şekilde 5 sınıfa ayrılmıştır.

Tablo 4.4 PGA kriterinin değer aralıklarına karşılık gelen kırılğanlık seviyeleri

Kırılğanlık Seviyesi	PGA (m/s²) Kriteri Değer Aralıkları
Çok Yüksek Kırılğan (1)	> 0,291
Yüksek Kırılğan (2)	0,277- 0,291
Orta Kırılğan (3)	0,265 - 0,277
Düşük Kırılğan (4)	0,251 - 0,265
Çok Düşük Kırılğan (5)	≤ 0,251

Tablo 4.4'te yer alan sınıflandırmaya göre CBS ortamında hazırlanan kırılğanlık haritası (Şekil 4.1) incelendiğinde fay hattına yakın olan bölgelerde sismik kırılğanlığın daha yüksek olduğu fay hattından uzaklaştıkça ise kırılğanlığın kademeli olarak azaldığı gözlemlenmektedir. Dolayısıyla ilçenin güney kesiminin kuzey kesimlerine göre PGA açısından daha kırılğan özellikler taşıdığı ifade edilebilir.



Şekil 4.1 PGA kırılganlık haritası

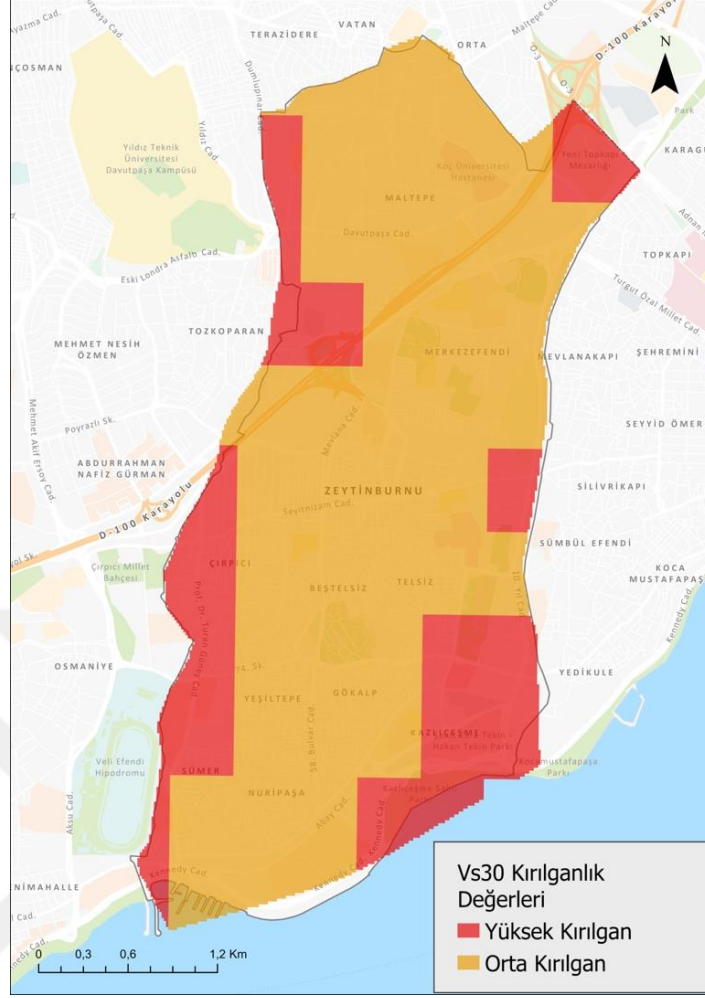
4.3.2 Ortalama Kayma Dalgası Hızı (V_{s30})

V_{s30} , yerinde yapılan sismik çalışmalar sonucunda elde edilen kayma dalga hızlarının 30 m derinliğe kadar olan ortalama değeri olarak tanımlanmaktadır. Bu parametre, yerel zemin sınıfının belirlenmesinde önemli bir rol oynamakta ve deprem hareketinin, yapı ile etkileşimini değerlendirme açısından kritik bir gösterge olarak değerlendirilmektedir [46]. V_{s30} değeri zemin profiline bağlı olarak deprem kırılganlığı hakkında bilgi vermektedir. Zeminin sertlik derecesi arttıkça, V_{s30} değeri yükselmektedir, dolayısıyla V_{s30} değeri arttıkça deprem kırılganlığının azalacağı yorumunu yapmak mümkündür. Kaya tipi zeminlerde V_{s30} değeri genellikle yüksekken, daha yumuşak yapıdaki killi zeminlerde bu değer daha düşüktür. Bu nedenle, V_{s30} , deprem mühendisliğinde, zemin ve yapı etkileşimi analizleri ile sismik risk değerlendirmeleri için önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir.

Tablo 4.5 V_{s30} kriterinin değer aralıklarına karşılık gelen kırılgenlık seviyeleri

Kırılgenlık Seviyesi	V_{s30} (m/s) Kriteri Değer Aralıkları
Yüksek Kırılgen (2)	≤ 277
Orta Kırılgen (3)	≥ 277

V_{s30} kriteri ilęe genelinde fazla değişken değerler yansıtmadığından değer aralıkları iki kategoride değerlendirilmiştir. Tablo 4.5’de yer alan kırılgenlık seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılgenlık haritası incelendiğinde (şekil 4.2) ilęenin yaklaşık olarak yüzde 30’a yakın bir kısmının V_{s30} açısından yüksek kırılgen özellikler taşıdığı ifade edilebilir. Bunun yanında V_{s30} bakımından yüksek kırılgen özellikler yansıtan alanların daha çok ilęe çeperinde yer alması da dikkat çekmektedir.



Şekil 4.2 V_{s30} kırılğanlık haritası

4.3.3 Kat Sayısı

Depremler üst yapıları temelleriyle birlikte etkilemektedir ve özellikle bu durum yüksek binalar genelinde düşünüldüğünde, deprem ve periyot ilişkisi açısından büyük sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda deprem şiddeti ile bina kütlesi etkileşimi bakımından yüksek binalar büyük riskler taşımaktadır [48]. Bu nedenle çalışma bölgesindeki yapı stokuna ait kat sayısı, kırılğanlığı etkileyen bir faktör olarak ele alınmış olup binalardaki kat sayısının artması bina açısından deprem kırılğanlığını arttıran bir kriter olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.6 Kat sayısı kriterinin değer aralıklarına karşılık gelen kırılmalık seviyeleri

Kırılmalık Seviyesi	Kat Sayısı Kriteri Değer Aralıkları
Çok Yüksek Kırılma (1)	≥ 7
Yüksek Kırılma (2)	5-6
Orta Kırılma (3)	3 - 4
Düşük Kırılma (4)	2
Çok Düşük Kırılma (5)	1

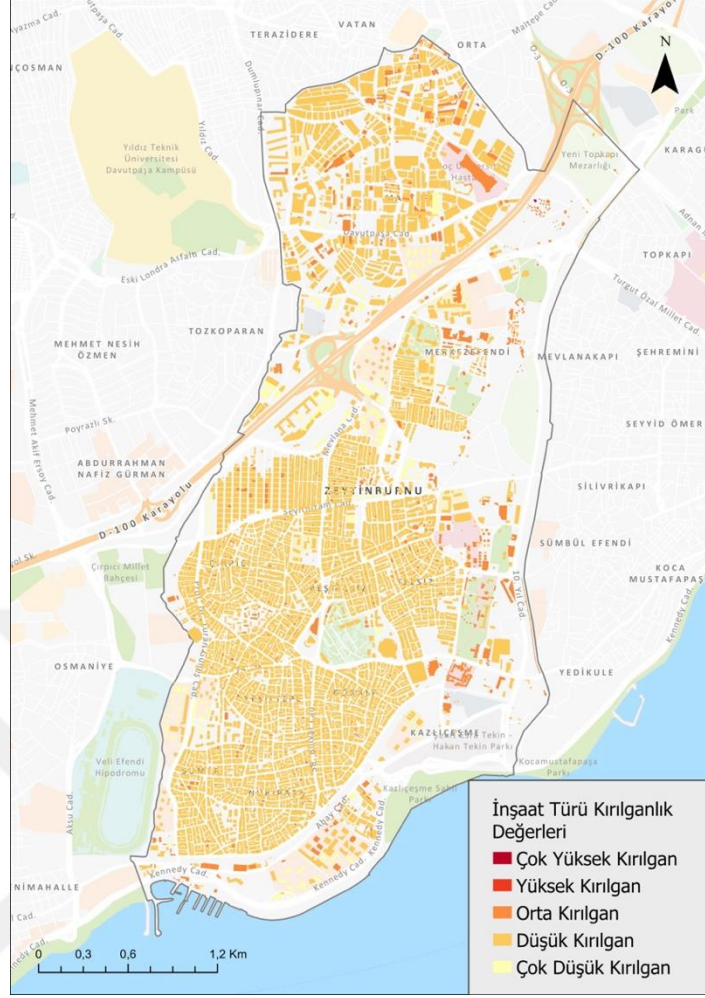
Tablo 4.6'da yer alan kırılmalık seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılmalık haritası (Şekil 4.3) incelendiğinde ilçedeki yapı stokunun çoğunluğunun kat sayısı bakımından yüksek kırılma ve orta kırılma özellikler yansıttığı ifade edilebilir.

sayesinde ve diğer yapım türlerine kıyasla genellikle daha yüksek enerji emme kapasitesine sahip olmaları sebebiyle çok düşük kırılğan özellikleri temsil edecek şekilde tasnif edilmiştir.

Tablo 4.7 İnaaat türü kriter değişkenlerine karşılık gelen kırılğanlık seviyeleri

Kırılğanlık Seviyesi	İnaaat Tipi Kriter Değişkenleri
Çok Yüksek Kırılğan (1)	Ahşap
Yüksek Kırılğan (2)	Prefabrik
Orta Kırılğan (3)	Yığma
Düşük Kırılğan (4)	Betonarme
Çok Düşük Kırılğan (5)	Tünel Kalıp / elik

Tablo 4.7’de yer alan kırılğanlık seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılğanlık haritası (şekil 4.4) incelendiğinde ilçenin inşaat tipi bakımından genellikle düşük kırılğan ve çok düşük kırılğan özelliklere sahip olduğu ifade edilebilir.



Şekil 4.4 İnşaat türü kırılmalık haritası

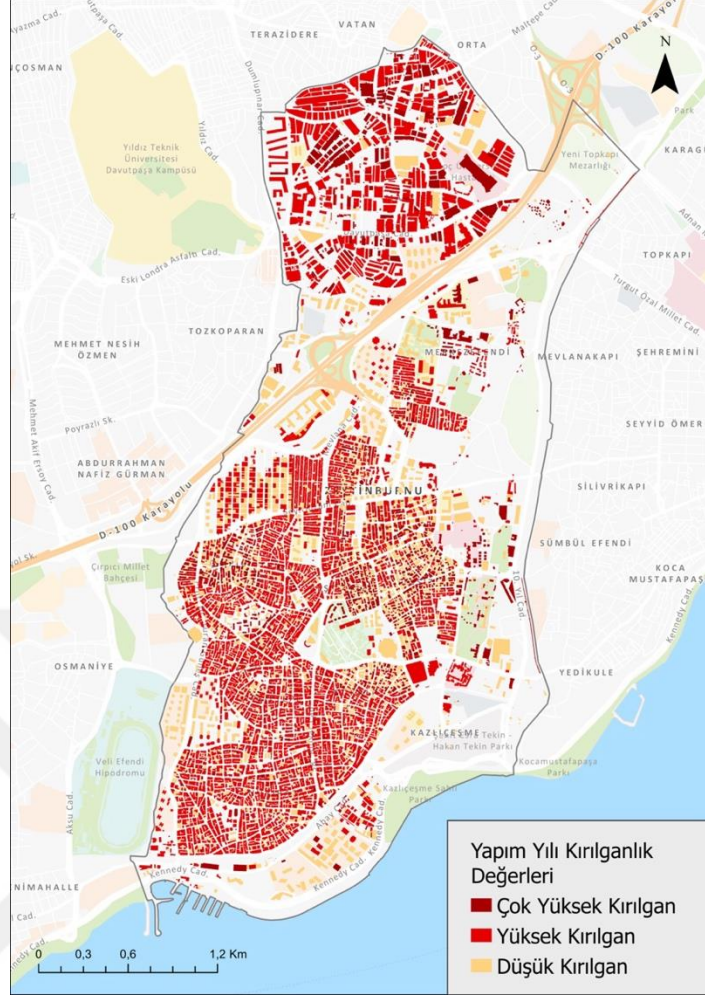
4.3.5 Yapım Yılı

Binaların hizmet ömürleri, zamanla zayıflayan yapısal özellikleri, geçmişte yapı denetim uygulamalarının günümüze kıyasla yeterince etkin bir şekilde yürütülmemesi ve özellikle yeni bina yapım yönetmeliklerinin yayımlanması dikkate alındığında, binanın yapım yılı arttıkça deprem kırılmalığının arttığı söylenebilir.

Tablo 4.8 Yapım yılı kriterinin değer aralıklarına karşılık gelen kırılmalık seviyeleri

Kırılmalık Seviyesi	Yapım Yılı Kriteri Değer Aralıkları
Çok Yüksek Kırılma (1)	≤ 1980
Yüksek Kırılma (2)	1980 - 2000
Düşük Kırılma (4)	≥ 2000

Tablo 4.8’de yer alan kırılmalık seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılmalık haritası (Şekil 4.5) incelendiğinde ilçedeki yapı stokunun büyük çoğunluğunun ilçe genelindeki eski yapıların yoğunluğu sebebiyle çok yüksek kırılma ve yüksek kırılma kategoride yer aldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.5 Yapım yılı kırılgnlık haritası

4.3.6 Gece Nüfusu

Deprem senaryolarında, kayıpları arttıran en önemli unsur insanların bulunduğu yapıların depreme karşı dayanıksız olmasıdır. Gece vakti, gündüz vaktine kıyasla nüfus genelinin binaların içinde bulunması ve hazırlıksız olmaları sebebiyle gece nüfusunun yüksek olması deprem kırılgnlığını arttıran bir kriter olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 4.9 Gece nüfusu kriterinin değer aralıklarına karşılık gelen kırılmalık seviyeleri

Kırılmalık Seviyesi	Gece Nüfusu Kriteri Değer Aralıkları
Çok Yüksek Kırılma (1)	≥ 69
Yüksek Kırılma (2)	52 - 68
Orta Kırılma (3)	35 - 51
Düşük Kırılma (4)	18 - 34
Çok Düşük Kırılma (5)	0 - 17

Tablo 4.9’da yer alan kırılmalık seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılmalık haritası (Şekil 4.6) incelendiğinde ilçenin gece nüfusu bakımından güney kesimlerinin düşük kırılma kuzey kesimlerinin ise çok düşük kırılma kategoride yer aldığı dikkat çekmektedir.

Tablo 4.10 Fay hattına uzaklık kriterinin değer aralıklarına karşılık gelen kırılmalık seviyeleri

Kırılmalık Seviyesi	Fay Hattına Uzaklık Kriteri Değer Aralıkları (km)
Çok Yüksek Kırılmalık (1)	≤ 13
Yüksek Kırılmalık (2)	13 - 14
Orta Kırılmalık (3)	14 - 15
Düşük Kırılmalık (4)	15 - 16
Çok Düşük Kırılmalık (5)	≥ 16

Tablo 4.10'da yer alan kırılmalık seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılmalık haritası (Şekil 4.7) incelendiğinde fay hattından uzaklaşıkça kırılmalığın düştüğü ifade edilebilir. Bu bağlamda Marmara denizine kıyısı olan yapılar fay hattına fazlasıyla yakın olmaları sebebiyle çok yüksek kırılmalık kategoride yer almaktadır.

Tablo 4.11 Yola uzaklık kriterinin değer aralıklarına karşılık gelen kırılğanlık seviyeleri

Kırılğanlık Seviyesi	Yola Uzaklık Kriteri Değer Aralıkları (m)
Çok Yüksek Kırılğan (1)	≤ 100
Yüksek Kırılğan (2)	200
Orta Kırılğan (3)	300
Düşük Kırılğan (4)	400
Çok Düşük Kırılğan (5)	≥ 500

Tablo 4.11’de yer alan kırılğanlık seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılğanlık haritası (Şekil 4.8) incelendiğinde ilçedeki yapı stokunun yola uzaklık bakımından genellikle çok yüksek kırılğan özellikte olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.12 Bina kullanım türü kriter değişkenlerine karşılık gelen kırılma seviyeleri

Kırılma Seviyesi	Kullanım Türü Kriter Değişkenleri
Çok Yüksek Kırılma (1)	Konut (Çok Aile) Huzurevi Konut (Bir Aile) Kurumsal Yatakhane Geçici Barınma"
Yüksek Kırılma (2)	Eğitim Yüksek Öğrenim Hastane Diğer Sağlık Kuruluşları
Orta Kırılma (3)	Sanayi Ticari Eğlence Mekanı
Çok Düşük Kırılma (5)	Resmi Kurum Depo Otopark Trafo

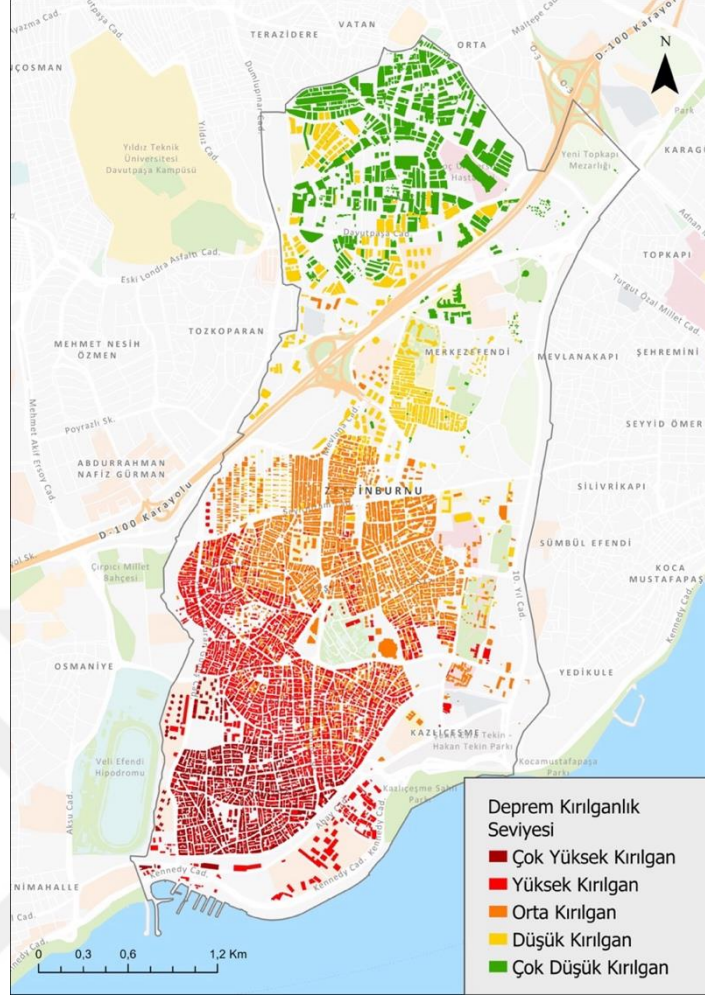
Tablo 4.12’de yer alan kırılma seviyelerine göre CBS ortamında hazırlanan kırılma haritası (Şekil 4.9) incelendiğinde ilçedeki yapı stokunun büyük bir kısmının çok yüksek kırılma ve yüksek kırılma kategoride yer aldığı ifade edilebilir.

indeksleri türetilmiştir. Elde edilen bu indeksler, eşit aralıklarla 5 kategoriye ayrılmıştır. İndeks değeri arttıkça, binalar sırasıyla "çok yüksek kırılğan", "yüksek kırılğan", "orta kırılğan", "düşük kırılğan" ve "çok düşük kırılğan" olarak sınıflandırılmıştır. Kırılğanlık seviyeleri ve bu seviyelere karşılık gelen indeks değeri aralıkları Tablo 4.13'te sunulmuştur.

Tablo 4.13 Deprem kırılğanlık seviyeleri ve EİEKY değeri aralığı

Etiketi	EİEKY İndeksi Değeri 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

Bütün kriter katmanlarının CBS ortamında "Ağırlıklı Toplam" yöntemi ile analiz edilmesi sonucu, Şekil 4.10'da Zeytinburnu ilçesine ait deprem kırılğanlık haritası elde edilmiştir. Harita verileri incelendiğinde, Zeytinburnu'ndaki binaların %12,54'ünün "çok yüksek kırılğan", %31,44'ünün "yüksek kırılğan", %39,53'ünün "orta kırılğan", %9,63'ünün "düşük kırılğan" ve %6,86'sının ise "çok düşük kırılğan" kategorilerinde yer aldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.10 Zeytinburnu bölgesine ait deprem kırılğanlık haritası

Bu sonuçlar, ilçedeki yapı stokunun büyük bir kısmının deprem riskine karşı önemli derecede savunmasız olduğunu gözler önüne sermektedir. Özellikle çok yüksek ve yüksek kırılğan kategorilerde yer alan binaların yaklaşık olarak ilçedeki yapı stokunun yarısını oluşturması, savunmasızlık derecesini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Haritada dikkat çeken bir diğer önemli nokta ise Zeytinburnu ilçesindeki deprem kırılğanlığının, ilçenin kuzey kesimlerinde daha düşük, güney kesimlerinde ise daha yüksek olduğudur. Bunun başlıca sebebi, PGA, fay hattına uzaklık, V_{s30} gibi ağırlığı (etki derecesi) yüksek olan kriterlerin bu bölgede etkisini daha fazla göstermesidir. İstanbul'daki deprem tehlikesinin temel sebebi olan fay hattının, Marmara Denizi'nde yer alması fay hattına yakın bölgelerde PGA parametresinin yükselmesine sebep olmakta ve dolaylı olarak güney bölgelerde kırılğanlığın daha fazla gözlemlenmesine sebep olmaktadır. Ayrıca kullanım türü kriteri de ilçenin

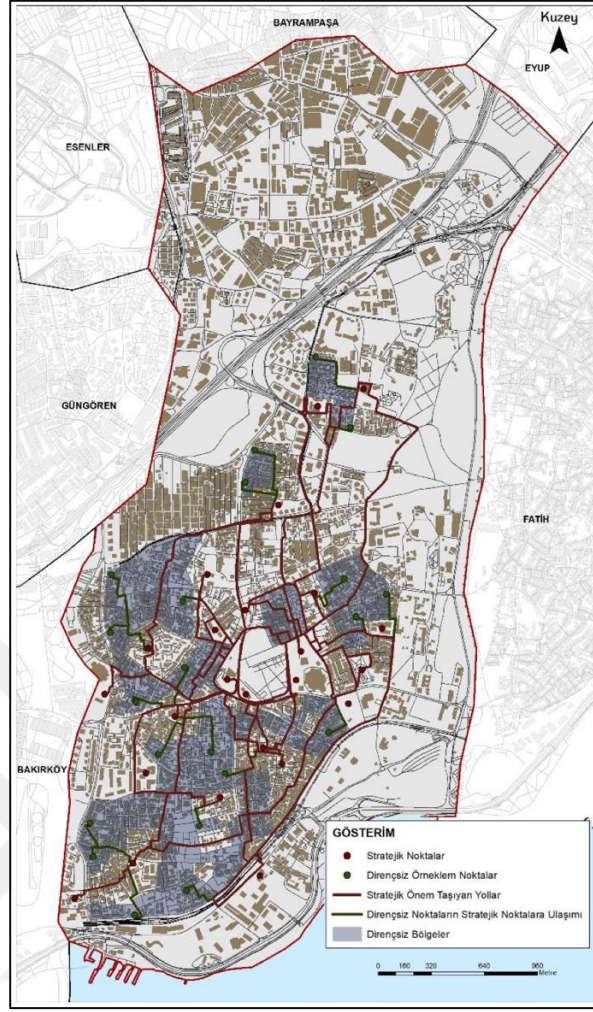
güney kesimlerinde daha yüksek kırılma özellikleri yansıtmaktadır. İlçenin güney bölgelerinde tespit edilen yüksek kırılma, olası bir depremde bu bölgelerdeki binaların ve insanların karşılaşacağı risk seviyesi hakkında fikir oluşturmaktadır. Bu nedenle, güneydeki yapılar için güçlendirme ve iyileştirme çalışmalarına öncelikli olarak başlanması önem arz etmektedir. Diğer yandan ilçe geneline kıyasla düşük kırılma özellikleri yansıtan kuzey kesimdeki yüksek kırılma binaların da öncelikli olarak incelenmesi afet yönetim stratejilerinin verimliliğine katkı sağlayacaktır.



5 TARTIŞMA

Bu çalışma, Zeytinburnu bölgesinin deprem kırılgenliğini EİEK yönteminden faydalanarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında analiz etmeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, Zeytinburnu'nun çeşitli mahallelerinin farklı seviyelerde deprem riskine sahip olduğunu ve bu riskin, yapılaşma, zemin yapısı, nüfus yoğunluğu ve sismik etkenler gibi bir dizi faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bölümde, bulguların anlamı, literatürle karşılaştırılması, araştırmanın sınırlamaları ve gelecekteki araştırmalar için öneriler tartışılacaktır.

Zeytinburnu bölgesinde yapılan analiz, özellikle fay hattına yakın olan binalarda yüksek kırılgenlik seviyeleri ortaya koymuştur. Bunun yanında fay hattına oldukça uzak ve düşük PGA değerlerine sahip olmasından dolayı genellikle düşük kırılgen özellikler yansıtan ilçenin kuzey ve orta kesiminde de farklı faktörlere bağlı olarak orta ve yüksek kırılgen özellikler taşıyan binalar da dikkat çekmektedir. Bu durumun, bölgedeki binaların kat sayısı, yapım yılı, kullanım türü, yola uzaklık veya V_{s30} kriteri bakımında kırılgen özellikler taşımasından kaynaklı olduğu ifade edilebilir. Bu bulgular, İstanbul genelindeki pek çok çalışmayla paralellik göstermektedir. Örneğin Sönmez'in "Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı deprem hasar riski analizi: Zeytinburnu (İstanbul) örneği." adlı çalışmanın bulguları (Şekil 5.1) incelendiğinde fay hattına yakın olan bölgelerde (güney kesim) binaların daha savunmasız özellikler taşıdığı ortaya koyulmuştur [49]. Mazlum ve Erçoşkun'un "İstanbul'un Depreme Dirençliliği Artırmak İçin Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı" adlı çalışmada üretilen sentez haritası (Şekil 5.2) incelendiğinde İstanbul'un genellikle güney kesimlerinin özellikle de Zeytinburnu bölgesinde deprem açısından daha fazla risk taşıdığı gözlemlenmektedir [50]. Bunun yanında Koca, Kaya ve Kuru'nun "Kentsel Dokunun Depreme Karşı



Şekil 5.3 Dirençlilik haritası (Zeytinburnu) [51]

Bu çalışmada çeşitli faktörlere bağlı olarak bazı sınırlamalarla karşılaşmıştır. Bu sınırlamalar verilerin erişim gücüne bağlı olarak veri çeşitliliğinin kısıtlı olmasından ve dinamik (güncelliğini koruyan) verilerle çalışma imkanı bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Veri çeşitliliğinin artırılması ve dinamik verilerle çalışılması hem analizin daha sağlıklı gerçekleştirilmesi hem de analiz sonuçlarının güncelliğini korumasını açısından fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada kullanılan verilerin çeşitlendirilmesi için kullanılan kriterlerin yanında en büyük yer hızı anlamına gelen PGV (Peak Ground Velocity), acil ulaşım yollarına uzaklık, spektral ivme katsayısı, sağlık kurumlarına uzaklık, itfaiye istasyonlarına uzaklık, okur yazar oranı, eğim, yükseklik, arazi kullanımı gibi kriterler hesaba katılabilir. Ayrıca yapay zeka destekli yöntemler tercih edilebilir ve farklı bölgeler çalışma konusu olarak ele alınarak daha büyük ölçekli kırılma endeksleri üretilebilir.

6 SONUÇ

Ülkemizde deprem riski taşıyan şehirlerde, sismik olayların etkilerinin doğru bir şekilde nicelleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tür analizler, hem can ve mal güvenliğini sağlamada hem de afet yönetim stratejilerinin etkin bir şekilde uygulanmasında temel bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, şehirlerin deprem risklerini değerlendirirken, yerel koşullar ve risk unsurlarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Şehrin mevcut sistematik envanteri ve risk unsurları kullanılarak gerçekleştirilen deprem kırılgenlik analizleri, Harita Mühendisliği gibi disiplinlerin çalışma alanlarından biridir ve bu analizlerin titizlikle yapılması, bölgesel planlamada etkili kararlar alınmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, İstanbul'un Zeytinburnu ilçesindeki bölgesel deprem kırılgenliğinin tespit edilebilmesi amacıyla, EİEKY yöntemi kullanılmıştır. EİEKY (En İyi-En Kötü Yöntemi), karar verme süreçlerinde, karar vericilerin her bir alternatifin en iyi ve en kötü yönlerini belirleyerek, en uygun çözümü bulmalarına yardımcı olmaktadır. Bu yöntem, karar vericilerin en iyi (önemli) ve en kötü (az önemli) özelliklere sahip kriterleri belirlemelerini sağlamakta ve bunları kullanarak alternatifleri ağırlıklı olarak sıralanmasına yardımcı olmaktadır. Bu süreç, özellikle çok sayıda kriterin olduğu ve karar vericinin hangi kriterin daha önemli olduğunu net bir şekilde belirleyebilmesi gereken durumlarda faydalıdır.

Zeytinburnu ilçesinin deprem kırılgenliğinin hesaplanmasında, çeşitli sismik ve yapısal parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Bu parametreler arasında PGA (En Büyük Yer İvmesi), Vs30 (30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı), kat sayısı, inşaat tipi, yapım yılı, gece nüfusu, fay hattına uzaklık, yola uzaklık ve bina kullanım türü gibi faktörler yer almaktadır. Bu parametreler, her biri farklı bir deprem etkisi oluşturan ve kırılgenliği artıran unsurlar olarak kabul edilmektedir. Deprem kırılgenlik analizleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında

gerçekleştirilmiş olup, bu ortamda veriler sınıflandırılmış ve ağırlık toplam aracıyla binalara özel kırılma indeksleri üretilmiştir. Ayrıca CBS ortamında kırılma seviyeleri mekansal olarak görselleştirilmiştir. Bu sayede, Zeytinburnu ilçesindeki farklı bölgelerin deprem riski ve kırılma seviyeleri daha net bir şekilde ortaya konmuştur.

Çalışmanın sonunda üretilen harita ve analiz sonuçlarına göre, Zeytinburnu ilçesindeki binaların %12,54'ü çok yüksek kırılma, %31,44'ü yüksek kırılma, %39,53'ü orta kırılma, %9,63'ü düşük kırılma ve %6,86'sı çok düşük kırılma kategorilerinde yer almaktadır. Bu sonuçlar, ilçedeki farklı bölgelerdeki yapıların depreme karşı savunma kapasitelerinin ne kadar farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Zeytinburnu ilçesinin kuzey kesimlerinde, depreme karşı savunmasızlığın daha düşük olduğu, güney kesimlerinde ise daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak Zeytinburnu ilçesindeki deprem kırılmasını arttıran kentsel unsurların ortadan kaldırılması ve toplumun savunma kapasitesini artırılması amacıyla iyileştirme ve geliştirme faaliyetlerine önem verilmelidir. Bu kapsamda eskiyen binaların ve altyapıların risk durumları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği esaslarına uygun olarak belirlenmelidir. Eğer uygun koşullar sağlanıyorsa bu yapılar yeterli deprem güvenlik seviyesine gelecek şekilde güçlendirilmeli ve ekonomik ömrünü tamamlamış binaların yıkımı gerçekleştirilmelidir. Yeni inşa edilecek binalarda ise binanın oturacağı zeminin özellikleri kapsamlı zemin etüdü çalışmalarıyla analiz edilmeli ve yumuşak veya sıvılaşma riski taşıyan zeminler için zemin iyileştirme teknikleri uygulanmalıdır. Ayrıca yapıdaki tüm yüklerin zeminle güvenli bir şekilde paylaşılmasını sağlayan uygun temel tasarımları tercih edilmelidir. Binada kullanılacak malzemelerin ise deprem esnasında dayanıklılığını koruyacak özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Deprem dayanıklılığının artırılması kapsamında yürütülecek iyileştirme ve geliştirme girişimlerinin, bu çalışma sonucunda elde edilen kırılma bölgeler öncelikli olmak üzere uygulanmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bunun yanında çalışmada belirlenen kırılma seviyelerine göre ilçe genelinin bölgelere ayrılması ve her bir bölgenin özgün gereksinimlerin belirlenmesi afet yönetim stratejilerine katkı sağlayarak ve etkinliğini arttıracaktır. Deprem kırılma verilerinin ve elde edilen sonuç haritasının yerel ve merkezi yönetim tarafından

geliştirilecek kentsel planlama ve risk azaltma politikalarında etkin bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu tür çalışmalar, afet öncesi hazırlıkların güçlendirilmesi ve deprem sonrasında daha etkili müdahalelerde bulunulabilmesi için hayati öneme sahiptir. Ayrıca bu tür çalışmaların, toplumda farkındalık yaratarak bilinçli bir afete hazırlık süreci gerçekleştirilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Financial Management of Earthquake Risk; Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD: Paris, France, 2018.
- [2] Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, AFAD, Afet Risk Azaltma Planı. AFAD Resmi Web Sitesi, 2021
- [3] Sesetyan K., Bard PY., Cotton F., Wiemer S., Giardini D., Avrupa Sismik Tehlike Modeli'nin 2020 güncellemesi: Model Genel Bakışı, , EFEHR Teknik Raporu 001, 2021, <https://doi.org/10.12686/a15>
- [4] YANILMAZ, Sumeyye, et al. Extension of FEMA and SMUG models with Bayesian best-worst method for disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2021, 66: 102631
- [5] ÖZMEN, Mihrimah. Evaluating earthquake vulnerability of 2023 Kayseri, Türkiye via BWM-ABAC method. *Sādhanā*, 2023, 48.3: 179.
- [6] NYIMBILI, Penjani Hopkins; ERDEN, Turan. Comparative evaluation of GIS-based best–worst method (BWM) for emergency facility planning: perspectives from two decision-maker groups. *Natural Hazards*, 2021, 105: 1031-1067.
- [7] BEST-WORST, Against Seismic Hazard Using. *Bridge Infrastructure Resilience Analysis Against Seismic Hazard Using Best-Worst Methods*. In: *Advances in Best-Worst Method: Proceedings of the Second International Workshop on Best-Worst Method (BWM2021)*. Springer Nature, 2021. p. 95.
- [8] HOSSEINI, Javad, et al. Comparison of the Analytic Network Process and the Best–Worst Method in Ranking Urban Resilience and Regeneration Prioritization by Applying Geographic Information Systems. *Land*, 2024, 13.7: 1008.
- [9] ALAM, Md Shaharier; HAQUE, Shamim Mahabubul. Multi-dimensional earthquake vulnerability assessment of residential neighborhoods of Mymensingh City, Bangladesh: A spatial multi-criteria analysis based approach. *Journal of Urban Management*, 2022, 11.1: 37-58.

- [10] JENA, Ratiranjan, et al. Earthquake spatial probability and hazard estimation using various explainable AI (XAI) models at the Arabian Peninsula. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2023, 31: 101004.
- [11] JENA, Ratiranjan, et al. Earthquake hazard and risk assessment using machine learning approaches at Palu, Indonesia. *Science of the total environment*, 2020, 749: 141582.
- [12] JENA, Ratiranjan, et al. Integrated model for earthquake risk assessment using neural network and analytic hierarchy process: Aceh province, Indonesia. *Geoscience Frontiers*, 2020, 11.2: 613-634.
- [13] YARIYAN, Peyman, et al. 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*, 2020, 50: 101705.
- [14] BHADRAN, Arun, et al. Multi-model seismic susceptibility assessment of the 1950 great Assam earthquake in the Eastern Himalayan front. *Geosystems and Geoenvironment*, 2024, 3.3: 100270.
- [15] KAMRANZAD, Farnaz; MEMARIAN, Hossein; ZARE, Mehdi. Earthquake risk assessment for Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020, 9.7: 430.
- [16] GARSHASBI, Maryam; KABIR, Golam. Earthquake resilience framework for a stormwater pipe infrastructure system integrating the best worst method and Dempster–Shafer theory. *Sustainability*, 2022, 14.5: 2710.
- [17] Ergünay O., “Afet Yönetimi Nedir? Nasıl Olmalıdır?”, TÜBİTAK Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.26, 1996.
- [18] AFAD, Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü (<https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>), Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara , 2014.
- [19] Ergünay O, Afet Yönetimi: Genel İlkeler, Tanımlar, Kavramlar, DSİ, Ankara, ss.49., 2009.
- [20] Kadioğlu, M., Afet Yönetimi: Beklenmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek, Marmara Belediyeler Birliği Yayınları, İstanbul., 2017.

- [21] İnternet: <https://www.medak.org.tr/faydali-bilgiler/faydali-bilgiler/>
[Erişim:12.01.2025]
- [22] BLAIKIE, Piers, et al. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. Routledge, 2004.
- [23] Dynes, R. R., The Dialogue between Disaster Research and Public Policy: A Historical Perspective. International Journal of Mass Emergencies and Disasters., 2000.
- [24] McEntire, D. A., Disaster Response and Recovery: Strategies and Tactics for Resilience. Wiley., 2004.
- [25] International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World: Guidelines for Natural Disaster Prevention, Preparedness, and Mitigation. United Nations. <https://www.unisdr.org/>, 1994.
- [26] İnternet:<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/genel-bilgiler/>
[Erişim:01.09.2024]
- [27] K. Johnson, M. Villani, K. Bayliss, C. Brooks, S. Chandrasekhar, T. Chartier, Y. Chen, J. Garcia-Pelaez, R. Tanrı, R. Styron, A. Rood, M. Simionato, M. Paganı, Küresel Deprem Modeli (GEM) Sismik Tehlike Haritası (sürüm 2023.1 - Haziran 2023), DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8409647>, 2023.
- [28] Türkiye Cumhuriyeti Resmı Gazete, 4778 Sayılı Afet ve Acil Durum Yönetimi Hizmetleri Kanunu, 2004.
- [29] Karakaya, M.. Türkiye'de Afet Yönetimi: Hukuksal Yapı ve Uygulamalar. Yeditepe Üniversitesi Yayınları, 2013.
- [30] İzmit Depremi Sonrası Afet Yönetiminde Gelişmeler. Türkiye Afet ve Acil Durum Müdahale Dergisi, 2010.
- [31] AFAD, Türkiye Tehlike Haritası, İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018
- [32] İnternet: <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu> [Erişim: 12.10.2024]

- [33] Wisner, B., Changes in capitalism and global shifts in the distribution of hazard and vulnerability. In *Natural disaster and development in a globalizing world* (pp. 43-56). Routledge, 2003.
- [34] Genç, F. N., Afet yönetimi. Nobel Akademik Yayıncılık, 2021.
- [35] Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill., 1980.
- [36] Hwang, C. L., Yoon, K., Hwang, C. L., & Yoon, K., Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191, 1981.
- [37] Opricovic, S., *Multi-Criteria Optimization of Civil Engineering Systems*. Springer, 1998.
- [38] Buckley, J. J., Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233-247, 1985.
- [39] Rezaei, J., En iyi-en kötü çok kriterli karar verme yöntemi, *Omega*, 53, s. 49-57, 2015.
- [40] Wei, G., Han, G. S., & Lang, X., Using RS and GIS for risk management of natural disasters consequences: The case of cultural heritage in Jinan city, China. *Heliyon*, 10(19), 2024.
- [41] Zhu, M., Chen, F., Fu, B., Chen, W., Qiao, Y., Shi, P., ... & Gao, S., Earthquake-induced risk assessment of cultural heritage based on InSAR and seismic intensity: A case study of Zhalang temple affected by the 2021 Mw 7.4 Maduo (China) earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 84, 103482, 2023.
- [42] İnternet: 2024. T.C. Zeytinburnu Kaymakamlığı. <http://www.zeytinburnu.gov.tr/ilcemizin-tarihi>, [Erişim: 07.08.2024].
- [43] İnternet: 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].
- [44] Zeytinburnu İlçesi Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı, DEZİM, İBB, 2020.

- [45] Douglas, J., Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. *Earth-Science Reviews*, 61(1-2), 43-104, 2003.
- [46] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 30364 (18/03/20218),343, 2018.
- [47] İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Daire Başkanlığı Geoteknik ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, İstanbul için Deprem Master Planı, Teknik Rapor, İstanbul, 2003.
- [48] Yaman, M., & İlerisoy, Z. Y., Yüksek Binaların Depreme Yönelik Tasarım Kriterleri: İstanbul Metropolü Örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 9(Special Issue), 84-105, 2024.
- [49] Sönmez, Mehmet. "Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı deprem hasar riski analizi: Zeytinburnu (İstanbul) örneği." *Türk Coğrafya Dergisi* 56: 11-22, 2011.
- [50] Özel Mazlum, Z., Yalçın Ercoşkun, Ö., İstanbul'un Depreme Dirençliliği Artırmak İçin Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı.. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 4(2), 148 – 179, 2023.
- [51] Koca, K., Kaya, V. N., & Kuru, A., Kentsel Dokunun Depreme Karşı Dirençliliğinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Tespiti: Zeytinburnu Örneği. *Kent Akademisi*, 17(2), 472-493, 2024.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Sempozyum Bildirileri

1. Akçelik, H., & Uzar, M. “Deprem Kırılmalığının Analizi: Zeytinburnu Örneği”, IX. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, Aksaray, 17-19 Ekim 2024.

