BİNGÖL İLİNDEKİ KONUT TÜRÜ YAPILAR İÇİN HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Sadık VAROLGÜNEŞ

OCAK 2023

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNGÖL İLİNDEKİ KONUT TÜRÜ YAPILAR İÇİN HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Sadık VAROLGÜNEŞ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
DOKTORA TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

OCAK 2023

DİYARBAKIR

BİNGÖL İLİNDEKİ KONUT TÜRÜ YAPILAR İÇİN HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Sadık VAROLGÜNEŞ tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ _____
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN _____
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ (*) _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN (**) _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir TURAN _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Mehrzad MOHABBİ _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 30/01/2023

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Anneme…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Sadık VAROLGÜNEŞ

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN'e teşvik edici tartışmaları ve çalışmanın kavramsal olarak şekillendirilmesindeki çabaları için minnettarım. Bana basit düşünme yeteneğini öğrettiği için de kendisine ayrıca teşekkür ederim.

Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ ve Prof. Dr. Kadir TURAN'a tez izleme komitesinde verdikleri değerli katkılar ve çalışma hakkındaki değerli tartışmaları için çok teşekkür ederim. Yine çalışmam sırasındaki yardımları ve motive edici destekleri için Dr. Öğr. Üyesi Kenan AKBAYRAM'a çok teşekkür ederim.

Benim bugünlerime gelmemde tabii ki en büyük pay sahibi olan ve 2022 Ocak ayı sonunda kaybettiğim kıymetli anneme ve her zaman arkamda durup beni destekleyen sevgili babama minnettarım. İyi ki anne ve babam olarak sizi buldum karşımda. Ve nur içinde yat sevgili annem…Rabbim Cennet'te buluştursun bizi.

Oğlum Yunus Emre bana hayatın yeni renklerle ve neşeyle dolu olduğunu gösterdi. Hayatın farklı renklerini görmeme yardım ettiği için ona ne kadar teşekkür etsem az...

Kızım Elif Ece'ye hayatıma apayrı bir anlam kattığı, dünyamı daha güzel kıldığı için minnettarım.

Son olarak eşim Fatma KÜRÜM VAROLGÜNEŞ'e yaşadığımız onca şeye rağmen hep yanımda olduğu ve desteğini hiç esirgemediği için teşekkür ediyorum. En zor zamanlarımda benimle oldu. Benim için "çoğu insanın bir ömür boyu arayıp da bulamadığı bir hayat arkadaşı" oldu.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xii
1. GİRİŞ 1
1.1 Amaç ve Kapsam 6
1.2 Hızlı Görsel Tarama (HGT) 6
1.3 Hızlı Görsel Taramanın Parametreleri 8
1.3.1 Görünen Kalite 9
1.3.2 Yumuşak Kat 10
1.3.3 Düşeyde Düzensizlik 11
1.3.4 Ağır Çıkma 11
1.3.5 Planda Düzensizlik 12
1.3.6 Kısa Kolon 13
1.3.7 Yapı Nizamı 15
1.3.8 Tabii Zemin Eğimi 17
1.4 Temel Kavramlar 17
1.4.1 Tehlike: 17
1.4.2 Risk 18
1.4.3 Hasar Görebilirlik (Savunmasızlık) 18
1.4.4 Risk Altındaki Değer 18
1.4.5 Yönetme Kapasitesi 18
1.5 Deprem Kayıp Modellemesi İhtiyacı 19
1.6 Fiziksel Hasar Görebilirliğin Tespitinin Önemi 22

1.7 Türkiye'de Deprem Yönetmeliklerinin Gelişimi 23
1.8 Türkiye'nin Depremselliği 25
1.9 Bingöl'ün Sismik Tehlike Potansiyeli 25
1.10 Afet Yönetimi ve Risk Azaltma 33
1.11 Deprem Tehlike Seviyeleri 34
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 37
2.1 Hasar Görebilirlik Üzerine Çalışmalar 38
2.2 İnşaat Mühendisliği Alanında Yapay Zekâ ile ilgili Çalışmalar 45
3. MALZEME VE YÖNTEM 48
3.1 Hızlı Görsel Tarama Prosedürleri (HGT, FEMA, IITK) 48
3.1.1 RBTY Yönteminin Kapsamı ve Etkinliği 51
3.2 FEMA-P154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi 51
3.2.1 Bina Bilgileri 53
3.2.2 Yapının Karakteristik Özellikleri 53
3.2.2.1 Toplam Kat Sayısı 54
3.2.2.2 Yapım yılı ve yönetmelik yılı 54
3.2.2.3 Toplam Kat Alanı 54
3.2.2.4 Eklentiler 54
3.2.2.5 Yapının Kullanım Durumu 55
3.2.3 Jeolojik tehlikeler 55
3.2.4 Bitişik Düzendeki Yapılar 56
3.2.5 Düzensizlikler 58
3.2.5.1 Zayıf kat ve Yumuşak Kat Düzensizliği 59
3.2.5.2 Kısa Kolon Oluşumu 61
3.2.6 Planda düzensizlikler 62
3.2.6.1 Burulma Düzensizliği 62

3.2.6.2 Eğimli arazi düzensizliği 63
3.3 Hint Yöntemi (IITK-GSDMA) 64
3.4 Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler 68
3.5 Yapay Sinir Ağları 69
3.6 Nöron Nasıl Öğrenir? 72
3.6.1 Gradyan İndirgeme (Gradient Descent) Yöntemi 72
3.6.2 Veri Seti 76
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 79
4.1 Çalışmanın Bulguları 79
4.1.1 RBTY-2019'e göre elde edilen bulgular 81
4.1.2 FEMA-P154'e göre elde edilen bulgular 84
4.1.3 IITK-GSDMA' ya göre elde edilen bulgular 86
4.1.4 YSA'ya göre yapılan değerlendirmeden elde edilen bulgular 88
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 95
5.1 Sonuçlar 95
5.2 Öneriler 97
KAYNAKLAR 99
EKLER 109
ÖZGEÇMİŞ 109

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Dünya tarihinin en büyük 10 depremi [4] 1
Şekil 1.2 1894 İstanbul Depremi [9] 2
Şekil 1.3 Depremler ve GSYH [12] 3
Şekil 1.4 Doğal afetlerin gelişmişlik düzeylerine göre ülkelere maliyeti [13] 3
Şekil 1.5 Bingöl'den bina görsel kalitesine bir örnek 9
Şekil 1.6 Yumuşak kat görselleri 10
Şekil 1.7 Düşey düzensizliğe dair görseller [5] 11
Şekil 1.8 Ağır çıkma, yumuşak ve zayıf kat örnekleri 12
Şekil 1.9 A1 Burulma düzensizliği [5, 7] 12
Şekil 1.10 Döşeme süreksizliği [7] 13
Şekil 1.11 Kulenin plan ve kesit görüntüsü [23] 14
Şekil 1.12 Kısa kolon oluşumu ve görseli [23] 15
Şekil 1.13 Bitişik nizam yapı örneği 16
Şekil 1.14 Muhtemelen çekiçleme etkisi görülecek olan yapılaşma örneği 16
Şekil 1.15 Yamaçta bina 17
Şekil 1.16 Afetlerin ekonomik etkileri [28] 19
Şekil 1.17 2001-2020 yılları arasında afet tipine göre yıllık ortalama ölüm sayıları [41] 20
Şekil 1.18 1939 Erzincan depremi genel görünüm ve bir konut hasarı 24
Şekil 1.19 Genç ilçesi için zemine bağlı olarak hasar görebilirlik haritası [66] 27
Şekil 1.20 1985 Meksika Depremi ve uzaklıkla değişen ivme kayıtları [63] 28
Şekil 1.21 Bingöl fay lokasyonları [66] 30
Şekil 1.22 DAFZ'nun Karlıova (Bingöl) ile Kahramanmaraş, Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) 32
Şekil 1.23 Deprem bölgeleri haritası [3] 34
Şekil 1.24 Türkiye deprem tehlike haritası [3] 34
Şekil 3.1 Deprem afet risk yönetiminin aşamaları [56] 50
Şekil 3.2 Yatayda ve düşeyde eklentiler 55
Şekil 3.3 Binanın kayma riski olan yamaçlara olan uzaklığı ve yamaç yüksekliği ... 56
Şekil 3.4 Çekiçleme etkisi 57
Şekil 3.5 Farklı yükseklikteki binalarda çekiçleme 58

Şekil 3.6 Bitişik bina dizisi 58
Şekil 3.7 2003 Bingöl depreminde zayıf kat nedeniyle ağır hasar gören bir bina 59
Şekil 3.8 Zayıf kat, yumuşak kat, döşemelerde seviye farklılığı 60
Şekil 3.9 a) Kapalı çıkma b) Kapalı çıkma+zayıf/yumuşak [8, 14] 60
Şekil 3.10 Şematik kısa kolon gösterimi [14] 61
Şekil 3.11 Kısa kolon, yumuşak/zayıf kat, kapalı çıkma 61
Şekil 3.12 Katlar arası seviye uyuşmazlığı şematik gösterimi [124] 62
Şekil 3.13 Burulma düzensizliği şematik gösterim [14] 63
Şekil 3.14 Eğimli arazi düzensizliği [14] 63
Şekil 3.15 Yamaç etkisinde bir bina [14] 64
Şekil 3.17 Beyindeki ve Yapay Nöron [149] 71
Şekil 3.18 Gradyen Fonksiyonunu anlatmak için örnek bir denklem 73
Şekil 3.19 Çıkış Fonksiyonunun Matematiksel ifadesi 75
Şekil 4.1 HGT yöntemleri binaların hasar tahmin dağılımları (EK 5) 81
Şekil 4.2 RBTY-2019 PP skorları ve ÖLÇ sınıflandırması (EK 6) 83
Şekil 4.3 RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU sonuçlarının karşılaştırılması (EK 7) 84
Şekil 4.4 FEMA-P154 ile SERU sonuçlarının karşılaştırılması (EK 8) 85
Şekil 4.5 IITK-GSDMA ile SERU sonuçlarının karşılaştırılması (EK 9) 87
Şekil 4.6 HGT Yöntemlerinin Tutarlılıkları 87
Şekil 4.7 YSA ile yapılan eğitimin regresyon sonuçları 88
Şekil 4.8 YSA ile yapılan tahmin sonucu 89
Şekil 4.9 YSA tahminleri ile SERU karşılaştırması 89
Şekil 4.10 RBTY ile SERU karşılaştırması 90
Şekil 4.11 FEMA tahminleri ile SERU karşılaştırması 91
Şekil 4.12 IITK tahminleri ile SERU karşılaştırması 92
Şekil 4.13 TBDY-2018 ile SERU karşılaştırması 93
Şekil 4.14 YSA, HGT ve TBDY-2018 ile SERU tahmin tutarlılıkları 93

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Taban ve yapısal sistem puanı tablosu [8] 7
Tablo 1.2 Deprem tehlike bölgeleri 8
Tablo 1.3 Olumsuzluk parametre değerleri (O_i) [8] 8
Tablo 1.4 Şekil 1.19'da merkez üsleri gösterilen ve numaralandırılmış olan M≥5.3 depremlerine ait parametreler ve şiddet-hasar verileri 31
Tablo 3.1 Bina ile ilgili genel bilgiler. 53
Tablo 3.2 Binanın karakteristik özellikleri 54
Tablo 3.3 Yapı kullanım durumu 55
Tablo 3.4 Jeolojik tehlikeler 56
Tablo 3.5 Bitişik nizam yapılar 56
Tablo 3.6 Minimum dilatasyon boşluğu 57
Tablo 3.7 Düzensizlikler 59
Tablo 3.8 Deprem bölge sınıflandırması [143] 65
Tablo 3.9 Farklı yapısal tipler için sismik güvenlik açığı sınıflandırması [144] 66
Tablo 3.10 Bina hasar sınıflandırması [144] 68
Tablo 3.11 Bina veri seti özellikler tablosu 77
Tablo 3.12 Olumsuzluk parametreleri tablosu 78
Tablo 4.1 SERU hasar sınıflandırması 79
Tablo 4.2 HGT sonuçları 80
Tablo 4.3 RBTY-2019 PP sonuçları ve ÖLÇ sınıflandırması 82
Tablo 4.4 RBTY-2019 Ölçeklendirme Fonksiyonu 82
Tablo 4.5 RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU referans sonuçlarının karşılaştırılması 83
Tablo 4.6 FEMA-P154 sonuçları ve SERU 2003 Kıyaslaması 85
Tablo 4.7 IITK sonuçları ve SERU 2003 kıyaslaması 86
Tablo 4.8 HGT yöntemlerinin tutarlılık oranları 87
Tablo 4.9 YSA sonuçları ve SERU karşılaştırması 89
Tablo 4.10 RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU karşılaştırması 90
Tablo 4.11 FEMA tahminleri ile SERU karşılaştırması 91
Tablo 4.12 IITK tahminleri ile SERU karşılaştırması 91
Tablo 4.13 TBDY-2018 ve SERU karşılaştırması 92
Tablo 4.14 YSA, HGT ve TBDY-2018 ile SERU tahmin tutarlılıkları 93

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
μ	Adım Katsayısı
O_i	Olumsuzluk parametresi
O_iP	Olumsuzluk Puanı
ZC	C grubu zemin
θ	Kontak Açısı
P	Basınç
n	Örnek Sayısı
DD2	Deprem Düzeyi 2

Kısaltma	Açıklama
GSYH	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
BAÇ	Betonarme Çerçeveli Sistem
BAÇP	Betonarme Çerçeveli Perdeli Sistem
FFA	Ateşböceği Algoritması (Firefly Algorithm)
JICA	Japan International Coop. Agency
ANN	Artificial Neural Network
GRNN	Genel Regresyon Sinir Ağı
BNN	Geribeslemeli Sinir Ağları (Backpropagation Neural Network)
RBFNN	Radyal Temel Fonksiyonlu Sinir Ağları
ANFIS	Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi
YSA	Yapay Sinir Ağları
YZ	Yapay Zekâ
IITK	Indian Institute of Technology Kanpur
GSDMA	Gujarat State Disaster Management Authority

RBTY	Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar
RBTY	Riskli Bina Tespit Yönetmeliği
FEMA	Federal Emergency Management Agency
PP	Performans Puanı
PGA	Peak Ground Acceleration
PGV	Peak Ground Velocity
UNISDR	Afet Risklerinin Azaltılmasına Dair Küresel Değerlendirme Raporu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu
BZABK	Bitlis Zagros Aktif Bindirme Kuşağı
DASK	Doğal Afet Sigortaları Kanunu
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
ÖDFZ	Ölü Deniz Fay Zonu

ÖZET

BİNGÖL İLİNDEKİ KONUT TÜRÜ YAPILAR İÇİN HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Varolgüneş, Sadık
Doktora, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Danışman: Prof. Dr. Abdulhalim Karaşin
Ocak 2023, 137 sayfa

Dünya nüfusu, 1987 Temmuz'unda Zagreb'de 5 milyarıncı bebeği olarak dünyaya gelen bebekten bugüne dek 3 milyar kişi daha arttı. 8 milyarıncı bebeğin doğumu ise Birleşmiş Milletler tarafından 2022 yılında ilan edildi. Dünya nüfusundaki bu artış hızı, belki de kaçınılmaz olarak, depremler de dâhil olmak üzere, genellikle doğal afetlerin sıkça yaşandığı yerleşim alanlarının artmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, doğal afet modelleme ve risk azaltma alanındaki önemli ilerlemelere rağmen, afetler nedeniyle vuku bulan can ve mal kayıpları artmaya devam etmektedir.

1994 yılında gerçekleştirilen Yokohama Konferansı ile belirlenen yeni politikanın getirmiş olduğu en önemli fark "Afet Riskinin Belirlenmesi ve Riskin Azaltılması için Ulusal Eylem Planları Hazırlanması" ilkesinin benimsenmiş olmasıdır. Sismik risk değerlendirmesi, depremlerden kaynaklanan can ve mal kayıplarının azaltılmasında kritik bir bağlantıdır. Bu ilişkinin belirlenmesine dair ihtiyaç, kullanışlı, güvenilir ve esnek sayısal araçlara ve yazılımlara olan talebin hızla artmasına neden olmuştur.

Bu çalışmada Bingöl ili için sismik tehlike ve risk değerlendirmesinde kullanılmak üzere yapay zekâ tabanlı bir tahmin aracı geliştirilmiştir. Bu yazılım, deterministik bir deprem senaryosu için kayıp ve hasar dağılımını hesaplama yeteneğine sahiptir.

Sismik riskin tahmini esas olarak üç bileşene bağlıdır: sismik tehlike, maruz kalma ve kırılganlık. İkinci bileşen, uygun güçlendirme çözümleri ile müdahale edilerek sismik riski doğrudan azaltmak mümkün olabileceğinden özel bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 2003 Bingöl Depremini yaşamış gerçek binalardan toplanan istatistiksel bilgiler kullanılarak Bingöl'deki betonarme yapı stoku için yeni bir hasar görebilirlik tahmin aracı geliştirilmiştir. Yapay Sinir Ağlarına dayalı makine öğrenmesi yaklaşımı benimsenmiş ve hasar durumu ölçütleri için daha önceki deprem tecrübeleri ışığında hasarın oluşumuna neden olduğu belirlenmiş bazı olumsuzluk parametrelerine istinaden olası depremlerin riski araştırılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde eğitilen modelin yüksek doğrulukla tahmin yaptığı anlaşılmıştır. Bu da eldeki çok yüksek miktardaki yapı stokunun, daha deprem olmadan, en azından tasnif edilebilmesi adına, ümit verici bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sismik Tehlike, Sismik Risk, Yapay Sinir Ağları, Bingöl, Deprem

ABSTRACT

COMPARISON OF RAPID EVALUATION METHODS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS in BİNGÖL PROVINCE by USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Varolgüneş, Sadık
PhD in Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Abdulhalim Karaşin
January 2023, 137 pages

The world population has increased by 3 billion people since the baby born as the 5 billionth baby in Zagreb in July 1987. The birth of the 8 billionth baby was announced by United Nations in 2022. The incredible rate of increase in the population of the world, inevitably, causes an increase in residential areas that are often prone to natural disasters, including earthquakes. As a result, despite the significant advances in natural disaster modelling and risk mitigation, the loss of life and property in disasters continues to increase.

The most important difference brought by the new policy determined with the Yokohama Conference held in 1994 is "Preparing National Action Plans for Risk Identification and Risk Mitigation". Seismic risk assessment is a critical link in reducing the loss of life and property from earthquakes. The need to determine this relationship has led to a rapid increase in demand for useful, reliable, and flexible digital tools and software.

In this study, an artificial intelligence-based and open-source estimation tool developed for seismic hazard and risk assessment for Bingöl province of Turkey. This software can calculate loss and damage distribution for a deterministic earthquake scenario.

Estimation of seismic risk mainly depends on three components: seismic hazard, exposure, and vulnerability. The second component is of particular importance as it may be possible to directly reduce the seismic risk by intervening with appropriate reinforcement solutions. In this study, a new vulnerability estimation tool was developed for the reinforced concrete building stock in Bingöl by using statistical information collected from real buildings that experienced the 2003 Bingöl Earthquake. A machine learning approach based on Artificial Neural Networks has been adopted, and the risk of possible earthquakes has been investigated based on some negativity parameters that have been determined to cause damage in the light of previous earthquake experiences for damage status criteria.

When the results were examined, it was understood that the trained model made predictions with high accuracy. This was found promising, at least for the classification of the existing building stock, which is very high, before the earthquake.

Keywords: Seismic Hazard, Seismic Risk, Artificial Neural Networks, Bingöl, Earthquake

1. GİRİŞ

1987 yılında 5 milyarıncı vatandaşının doğumunu kutlayan dünyamız, 1999 yılında 6 milyarıncı vatandaşını, daha sonra 2011 yılında ise 7 milyarıncı vatandaşının doğumunu kutladı [1]. En nihayet 2022 yılında 8 milyarıncı vatandaşının doğumunu kutlayan dünyamızın [2] bu logaritmik nüfus artış hızı doğal olarak barınma ihtiyacını öne çıkarmaktadır. Çeşitli ekonomik gelişmelerin kırsal bölgelerdeki ekonomik fırsatları kısıtlaması da insanların kırsal yerleşimlerden kentsel alanlara göçmesine ve kentsel alanlarda yoğunlaşmasına yol açmaktadır. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da doğal afetlerin sıklıkla yaşandığı alanlarda yaşayan yani afete maruz kalma ihtimali yüksek olan nüfusun oranı her geçen gün artmaktadır.

Afet risklerinin belirlenmesine ve azaltılmasına yönelik ilerleme ve gelişmelere rağmen bu afete maruz alanlardaki maddi kayıpların yanı sıra can kayıpları da hala yaşanmaktadır [3]. Dünya üzerinde yaşanan bu afetlerin en korkunç olanı hiç şüphesiz depremlerdir. Şekil 1.1 de dünya üzerindeki en büyük 10 deprem, Şekil 1.2 de ise 1894 İstanbul depreminden bir kesit görülmektedir.



Şekil 1.1 Dünya tarihinin en büyük 10 depremi [4]

Ülkemizde, son yıllarda yeni binaların depreme dayanıklı tasarımı ile ilgili pek çok önemli gelişme yaşanmıştır [5-7]. Özellikle 1999 depremi sonrasında konu ile ilgili mevzuat iyileştirilmiş, yerel ve merkezi otoritenin bu konularda karar alırken elini rahatlatacak tarzda değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Bunların en önemlisi 6306 sayılı *"Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun"* dur. Halk arasında "Kentsel Dönüşüm Yasası" olarak da bilinen bu yasa sayesinde, herhangi binada yaşayan sakinlerden sadece birinin bile müracaatı ile bu bina, eğer risk taşıyorsa kanun kapsamına alınabilmektedir [8].



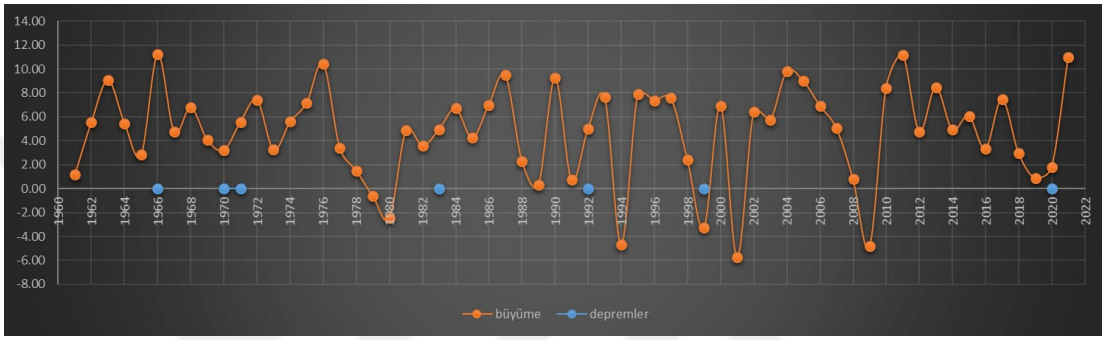
Şekil 1.2 1894 İstanbul Depremi [9]

Ancak tüm bu güzel gelişmelere rağmen, mevcut yapı stokunun çok büyük kısmının bu yönetmeliklere uygun şekilde inşa edilmediğini hatırlamakta fayda vardır. Bu da "yönetmelik öncesi", yani deprem yüklerine dayanacak şekilde tasarlanmamış belli miktarda yapının varlığı anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, gelecekteki olası bir deprem sonucu bu yapı stokunda, yüksek miktarda insani ve ekonomik kayıplar meydana gelebileceği çeşitli uzmanların söylemlerine yansımıştır [6, 10, 11]. Bu nedenle, yeni binaların sismik tasarımına gösterilen ilginin aynısı hatta belki de daha fazlası mevcut yapıların hasar görebilirliğine de yöneltilmelidir.

Dünyanın farklı yerlerinde, deprem yönetmelikleri henüz yürürlüğe girmeden inşa edilmiş yapıların sayısı azımsanmayacak derecede fazladır ve bu yapılarda yaşanan depremler sonrası önemli hasarlar gözlemlenmiştir. 17 Ağustos 1999-Kocaeli, 1 Mayıs 2003-Bingöl, 12 Ocak 2010-Haiti, 24 Ocak 2020-Sivrice/Elâzığ depremleri bunun en güzel örnekleridir. Bu depremler sonucunda milyar dolarlarla ifade edilen miktarda ekonomik kayıplar meydana gelmiştir. Bu, özellikle Türkiye gibi afet sonrasında

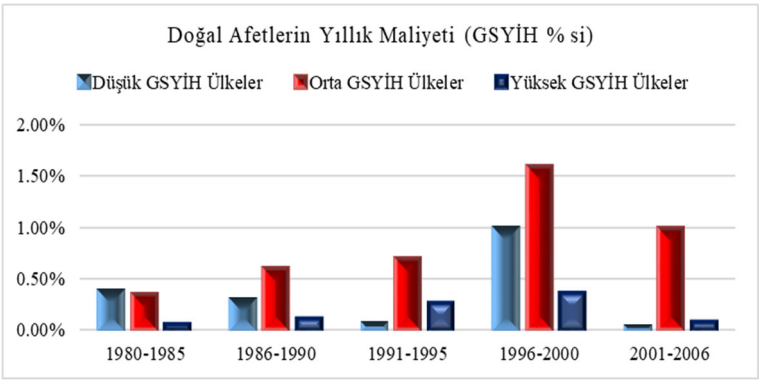
vatandaşlarının her türlü yarasını sarmakta hiçbir fedakârlıktan çekinmeyen bir ülke için ekonomik açıdan oldukça yıpratıcı olabilmektedir.

17 Ağustos 1999 depreminin sonrasında Türkiye Cumhuriyet Devletinin GSYH kritik şekilde aşağı düşmesi ve aynı dönemdeki ekonomik sıkıntılar, ülkenin bu afeti yönetme kapasitesini oldukça olumsuz etkilemiştir. Şekil 1.3 de Türkiye'nin GSYH sinde özellikle 1999 depremi sonrasında meydana gelen kritik düşüş görülmektedir.



Şekil 1.3 Depremler ve GSYH [12]

Depremler sonrasında ülkemiz vatandaşlarının yaralarını sarmada oldukça hızlı davranmakta ve özellikle enkaz kaldırma ve kurtarma çalışmaları konusunda büyük mesafe kat etmiştir. Öte yandan deprem sonrası bunca harcama yapmak yerine deprem/afet öncesinde yeterince harcama yapabilmek, ülkelerin afetlerden etkilenme ve zarar görme oranlarını büyük oranda düşürmektedir [13]. Şekil 1.4'te çeşitli gelişmişlik düzeyindeki ülkelerin afetlerden gördükleri zararın GSYH oranları görülmektedir [13].



Şekil 1.4 Doğal afetlerin gelişmişlik düzeylerine göre ülkelere maliyeti [13]

Deprem kayıpları tahmin modellemesi, diğer birçok sismik risk azaltma eyleminin de temelini teşkil eder. Bu modelleme eylem planları, bir ülke içindeki bina stokunun yapısal sismik hasar görebilirliğinin iyileştirilmesi için önce tespit edilmesini, daha sonra ise kentsel yenileme/dönüşüm çalışmaları açısından önceliklendirilmesini ve son olarak da afet öncesi acil durum eylem planlanmasını veya depreme dayanıklı inşaat uygulamalarını dayatacak yasal düzenlemeleri kapsar [3]. Ancak daha az gelişmiş ülkelerde, sismik riskin kapsamlı şekilde değerlendirmesini yapmak için gerekli kaynaklar, veri kümeleri ve araçlar maalesef yeterince mevcut değildir.

Aslında, düşük/orta gelirli ülkeler ile yüksek gelire sahip ülkeler son yıllardaki doğal afetlerin yıllık ortalama maliyetleri açısından kıyaslandığında, felaket modellemelerini oluşturmuş ve tedbirlerini hazırlamış olan zengin ülkelerde bu maliyetlerin önemli ölçüde daha düşük olduğu göze çarpmaktadır [13].

Depremlerde hasar gören binalar incelendiğinde genellikle hasarlara neden olan durumların bazı parametrelerde yoğunlaştığı ve bu parametrelerin yıkılmış yapılarda yaygın şekilde ortak özellikler olduğu görülmektedir [14]. Bu özellikler genellikle, kötü kalite malzeme ve işçilik, hatalı tasarım ve uygulamalar, standart dışı malzemelerin kullanımı, kötü işçilik, yetersiz kesitler, yetersiz dayanım, yetersiz koruma, fonksiyon değişikliği, yumuşak kat, zayıf kat, kısa kolon, çekiçleme etkisi, ilave kat gibi faktörlerdir.

Betonarme çerçeveli yapılarda ister perdeli ister perdesiz olsun çerçeve aralarında dolgu duvarlar kullanılmaktadır. Bu duvarlar taşıyıcı olarak değil mekânları birbirinden ayırmak için yapılırlar. Sıklıkla hasar görülen durumlardan biri de dolgu duvarlar ile çerçeve arasında esnek derz uygulanmamış olmasından kaynaklanan çatlaklardır. Aynı zamanda dolgu duvar varlığının yapının toplam yer değiştirmesi üzerinde olumlu etkide bulunduğuna dair çalışmalar da yapılmıştır [15]. Bazen de bu dolgu duvarların planda simetrik olarak yerleştirilmemiş olması halinde duvarların sismik yükler etkisinde burulmaya sebep oldukları gözlenmektedir [16].

Klasik bakış açısı ile değerlendirme yapılırsa bir yapının depreme karşı dayanıklı olması demek yürüklükteki yönetmeliklere uygun olması şeklinde düşünülebilir. Ancak hâlihazırdaki yapı stokunun büyük kısmı bu yönetmeliklerin hükümlerini karşılayamamaktadır. Gerçekte ise depremlerde yıkılan veya ağır hasar durumuna geçen yapı sayısı yönetmeliğe uymayanlara kıyasla oldukça düşüktür. Türkiye'de yönetmeliklere uygun olmayan yapıların oranı ile ilgili olarak net bir çalışma yoktur ancak bu oranın özellikle deprem tehlikesi yüksek bölgelerimizde yüzde 90 civarında olduğu tahmin edilmektedir [6]. Geçmiş deprem tecrübelerimiz bize göstermiştir ki depremlerde yıkılan veya ağır hasar gören binaların oranı depreme maruz kalan bütün binaların %20 si civarında olmuştur [17]. İstanbul Deprem Master Planı ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında Japan International Cooperation Agency (JICA) tarafından düzenlenen raporda, olası 7.5 büyüklüğündeki bir İstanbul depreminde yıkılacak binaların oranı %7 olarak tahmin edilmiştir [17]. Yönetmeliklere uyumsuz bina sayısı ile gerçek depremler sonrasında yıkılan veya ağır hasar gören binalar arasındaki bu uçurum bize depremde hasar görme riski yüksek yapıları daha hızlı ama aynı zamanda tutarlı ve uygulanabilir başka yöntemleri aramaya itmektedir.

Yukarıda anlatılan nedenlerin yanı sıra mevcut yapı stoku için ileri düzey performans araştırmaları yapılmak istendiği takdirde önümüze çıkacak faturayı bugün için dünyanın en gelişmiş ve en müreffeh ülkelerinin dahi karşılaması mümkün gözükmemektedir. Zira mevcut yapı stokunu oluşturan binaların her biri ile ilgili yapılması gerekenlerin maddi açıdan külfetli olması yanı sıra gereken emek yoğun mesai için yeterli miktarda uzman teknik personel ve dolayısıyla yeterli zaman da yoktur. Zira bunlarla ilgili veri toplamak, bu işlerde çalışacak teknik ve eğitimli personelin masrafları, binalardan alınacak numuneler ve bunların laboratuvar giderleri gibi hususların hepsi bir arada düşünüldüğünde, depreme hazır olmak adına yapılması gereken bütün bu işlerin hem maddi açıdan hem de zaman yetersizliği açısından imkânsız oluşu ile karşı karşıya kalmaktayız. İşte tam da bu nedenle bütün dünyadaki araştırmacılar bunun pratikte daha kolay, daha uygulanabilir bir yolu olabilir mi sorusuna cevap arayışına girmişlerdir [18-20]. Bu arayışların sonucu olarak Hızlı Görsel Tarama (HGT) ilk defa Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yürürlüğe konmuş, sonrasında ise teknik ve teknolojik gelişmeler ışığında yapılan güncellemelerle daha efektif hale getirilmiştir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu tez kapsamında herhangi bir mühendise veya kamu kurumuna, kayıp modellemesini kolaylaştırmak amacıyla, bina ölçeğinde sismik riski hesaplayabilen bir tahmin aracı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu tezde geliştirilen faaliyetler, deprem sonrası saha keşifleri kullanılarak binaların deprem karşısında gösterdiği gerçek performans ile yürürlükteki hızlı görsel tarama yönteminin etkinliğini kıyaslamak ve risk tahmin aracının puanlamasını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmanın başlıca amacı; Bingöl ili için olası bir depremde meydana gelecek hasar ve kayıp olasılıklarını tahmin etmeye yarayan bir hasar tahmin aracı geliştirmektir. Çalışma kapsamında 2003 yılında meydana gelen Bingöl Depreminde yapılan saha gözlemlerine dair veri tabanı kullanılmıştır [21]. Bu tez çalışmasının en önemli yanı, 1 Mayıs 2003 depremi sonrasında görselleriyle birlikte tespitleri yapılmış gerçek binalara ait veriler ile HGT prosedürünü doğrulama imkânı sunuyor olmasıdır. Ayrıca Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak, Makine Öğrenmesi (MÖ) yolu ile hasar durum verisi öğretilerek, bu öğrenme ile geliştirilen şebekenin geleceğe yönelik olarak da bir tahmin aracı olarak kullanılabilecek olması önemli görülmektedir.

Çalışma toplam beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışma konusuna yönelik tartışmalar yapılmış ve çalışmanın amacı ortaya konmuştur. Bu bölümde temel kavramlar, hasar görebilirlik ve hızlı değerlendirme yöntemleri irdelenmiştir. Bunun için çeşitli ülkelerdeki kanun ve yönetmeliklerden kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Yerli ve yabancı kaynaklardan bilgiler toplanmıştır. İkinci bölümde önceki çalışmalar detaylı olarak tartışılmıştır. Üçüncü bölüm, çalışmanın materyal ve metot kısmını oluşturmaktadır. Bu bölümde çalışma kapsamında uygulanan FEMA-P154, IITK-GSMDA ve RBTY yöntemleri, uygulanan yapay zekâ tekniği, nasıl uygulandığı, verilerin regresyon modelleri, yararlanılan istatistik yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde araştırma bulguları verilmiş ve son bölümünde, yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve öneriler geliştirilmiştir.

1.2. Hızlı Görsel Tarama (HGT)

Mevcut betonarme çerçeve binaların sismik hasar görebilirlik riski açısından değerlendirilmesi, gelecekteki olası depremlerde risk azaltma stratejilerini planlamak için önemlidir. Bu da Hızlı Görsel Tarama (HGT) olarak bilinen, hızlı, güvenilir ve

hesaplama açısından kolay bir sismik güvenlik açığı değerlendirmesi yönteminin gerekliliğini gösterir. Olası bir deprem bölgesinde, mevcut bina stokunun hızlı, basit, güvenilir, mantıklı ve uzman görüş tabanlı model ve yazılımlara göre farklı kategorilere ayrılması gerekmektedir. Bu çalışma, mevcut yapı stoku içindeki hangi binaların ayrıntılı değerlendirmeye tabi tutulması gerektiğini belirlemek ve bu konudaki belirsizlikleri gidermek ve değerlendirme sırasında bu belirsizliklerin etkilerini en aza indirmek için YSA sistemine dayalı yeni bir HGT tahmin aracı önermektedir.

$$PP = TP + \sum_{i=1}^{n}(O_i \times OP_i) + YSP \qquad (1.1)$$

Burada *"PP"* nihai performans puanı; *"TP"* taban puanı; *"n"* örnek sayısı; *"O_i"* i'nci olumsuzluk parametresinin varlık durumu; *"OP_i"* i'nci olumsuzluk parametresinin birim puanı ve *"YSP"* ise yapısal sistem puanıdır. Yöntemde DD-2 deprem yer hareketi düzeyi kullanılacak ve parametre değeri (S_{DS}) yürürlükte olan Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınacaktır. Parametre değeri ile Bölüm 2'de tanımlanan zemin sınıfları arasındaki ilişki kullanılarak Tablo 1.2'de verilen deprem tehlike bölgeleri belirlenecektir [8]. Tablo 111'deki BAÇ, taşıyıcı sistemi "Betonarme Çerçeveli" olan ve BAÇP ise taşıyıcı sistemi "Betonarme Çerçeveli ve Perdeli" olan yapıları temsil etmektedir.

Tablo 1.1 Taban ve yapısal sistem puanı tablosu [8]

Toplam kat sayısı	**Taban puanı (TP)**				**Yapısal sistem puanı (YSP)**	
					Yapısal sistem	
	Tehlike bölgesi				**BAÇ**	**BAÇP**
	I	**II**	**III**	**IV**		
1 ve 2	90	120	160	195	0	100
3	80	100	140	170	0	85
4	70	90	130	160	0	75
5	60	80	110	135	0	65
6 ve 7	50	65	90	110	0	55

Tablo 1.2 Deprem tehlike bölgeleri

Tehlike bölgesi	S_{DS}	Zemin sınıfı
I	$S_{DS} \geq 1.0$	ZC/ZD/ZE
II	$S_{DS} \geq 1.0$	ZA/ZB
	$1.0 \geq S_{DS} \geq 0.75$	ZC/ZD/ZE
III	$1.0 \geq S_{DS} \geq 0.75$	ZA/ZB
	$0.75 \geq S_{DS} \geq 0.50$	ZC/ZD/ZE
IV	$0.75 \geq S_{DS} \geq 0.50$	ZA/ZB
	$0.50 \geq S_{DS}$	Tüm zeminler

Tablo 1.3 Olumsuzluk parametre değerleri (O_i) [8]

Olumsuzluk parametre no	Olumsuzluk parametresi	Durum 1		Durum 2	
		Parametre tespiti	Parametre değeri	Parametre tespiti	Parametre değeri
1	Görünen kalite	İyi	0	Orta (Kötü)	1 (2)
2	Yumuşak kat	Yok	0	Var	1
3	Düşeyde düzensizlik	Yok	0	Var	1
4	Ağır çıkma	Yok	0	Var	1
5	Planda düzensizlik	Yok	0	Var	1
6	Kısa kolon	Yok	0	Var	1
7	Yapı Nizamı	Ayrık	0	Bitişik / Köşede bitişik	1
8	Tabii zemin eğimi	Yok	0	Var	1

1.3. Hızlı Görsel Taramanın Parametreleri

HGT uygulanırken kullanılan her bir parametre, değişken ölçekteki deprem etkisi altında, yapı sisteminin olumsuz bir özelliğini yansıtır. Yöntem geliştirilirken Düzce'de 1999 yılında meydana gelen deprem sonrası saha verilerine dayanılarak bu parametrelerin her biri için istatistik yöntemlerle bir ağırlıklandırma yapılmıştır [17, 22]. Amaç bu olumsuzluk durumlarının kombinasyonu halinde binanın göstereceği performansı tahmin etmektir [8]. Böyle bir birleşim kuralı geliştirildiği takdirde, Türkiye'deki betonarme bina türü yapıların sismik performansını belki de basit bir yüzey araştırması prosedürü kullanarak değerlendirmek mümkün olacaktır.

Türkiye için kullanılan yöntem (RBTY-2019), FEMA-154'te (1988) geliştirilen sismik değerlendirme prosedürü ile bazı benzerlikler taşımaktadır [8, 14]. Ancak bu

yöntemin, Türkiye'deki modern sismik tasarım ve inşaat yönetmeliklerinin gerekliliklerine uymayan çok katlı betonarme binalar için sismik riski daha iyi tarif ettiği düşünülmektedir. Değerlendirme kapsamında bir hasar ölçeği sunulmaktadır. Ölçek, binaları düşük, orta ve yüksek riskli olarak sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Münferit bir bina, ölçeğin alt (yüksek riskli) kısmına düşüyorsa, daha ayrıntılı bir değerlendirme gerekli görülecektir. Performans ölçeği skoruna göre, düşük riskli binalar daha fazla değerlendirme gerektirmeyebilir, ancak orta ve yüksek riskli binalar güçlendirme veya yıkım ile ilgili nihai kararlar alınmadan önce ayrıntılı performans değerlendirmesine tabi tutulabilir.

1.3.1 Görünen kalite

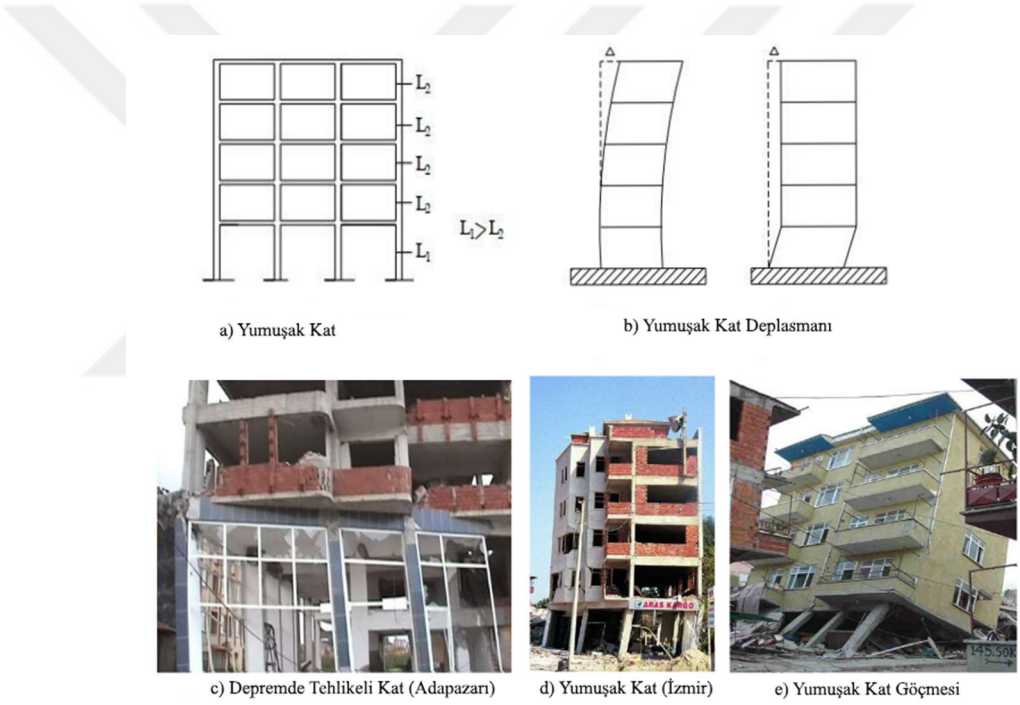
Yapının görünen kalitesi yapının gereken bakımı, onarımı görüp görmediğini, zaman içerisinde çevresel koşullardan dolayı olumsuz etkilenip etkilenmediğini tarif eden bir parametre olup yapının görsel kalitesi fiziksel koşulların yapıya verdiği zararı hesaba katmak için kullanılır. Yapılar hiç deprem olmasa bile eğer kendi kaderine terk edilirse yeterince zaman geçmişse toprağa dönüşebilir. Bu aslında entropinin bir tezahürüdür. Şekil 1.5 de Bingöl ili Karşıyaka Mah. Metruk bir binanın son durumunu görülmektedir. Fotoğraf tezin yazarı tarafından çekilmiştir.



Şekil 1.5 Bingöl'den bina görsel kalitesine bir örnek

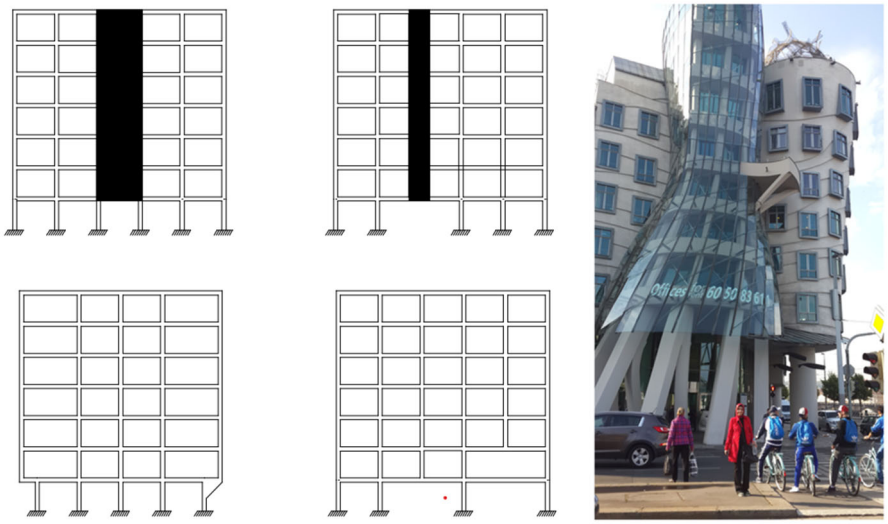
1.3.2 Yumuşak kat

Bazı binaların zemin katlarında bir üst katındaki kat yüksekliği ile farklı yükseklikte bir kat teşkil edildiği ve bu nedenle hasarlar oluştuğu geçmiş deprem tecrübelerinde görülmüş idi. Betonarme binalarda meydana gelen deprem hasarlarının en önemli mimari tasarım hatası belki de yumuşak kat oluşturmaktır. Bir kat, hemen üstündeki katın yanal rijitliğinin 70% inden az bir rijitliğe sahipse bu kat yumuşak kat olarak tanımlanır. Ya da kendinden üstteki üç katın toplam rijitliklerinin 40% ından az bir rijitlikte olması lazımdır. Aşağıda yumuşak katın yönetmeliklerimizdeki tarifi ve yumuşak kat içeren çeşitli binaların deprem sonrası gördüğü hasar görülmektedir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 Yumuşak kat görselleri

1.3.3 Düşeyde düzensizlik



Şekil 1.7 Düşey düzensizliğe dair görseller [5]

Düşey taşıyıcılardaki süreksizlikler maalesef ülkemizde sıklıkla rastlanan durumlardandır. Şekil 1.7 düşey düzensizliğin mimari bir tasarım öğesi olarak kullanıldığı özel bir örneği içermektedir. Bingöl'deki binalar incelendiğinde ise, sevindirici bir durum olarak, Bingöl'de düşey taşıyıcı elemanlarda süreksizlik olan herhangi bir bina karşımıza çıkmamıştır. Yapılan saha gözlemlerinde de genellikle düşey düzensizlik içeren binalarla karşılaşılmamıştır.

1.3.4 Ağır çıkma

Yapıların zemin katının bir üst katından plan olarak eksik olduğu olumsuzluk tipidir. Genellikle imar düzenlemelerinden kaynaklı olup aslında mahalli idarelerin kolaylıkla giderebileceği olumsuzluklardandır. Kapalı veya ağır çıkmanın tarifini gösteren bir örnek olan aşağıdaki görsel, tezin yazarı tarafından, Bingöl ili Karşıyaka mahallesinde çekilmiştir (Şekil 1.8)



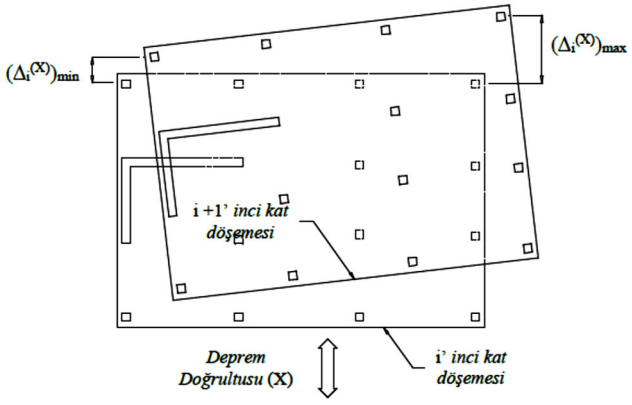
Şekil 1.8 Ağır çıkma, yumuşak ve zayıf kat örnekleri

1.3.5 Planda düzensizlik

A1 – Burulma düzensizliği

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu [5].

Binanın tasarım aşamasında kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılmaması sonucu oluşan düzensizlik türüdür. Bu düzensizliğin olduğu binalarda, deprem rijitlik merkezinden etki ederken bina kütle merkezinden dayanım sağlamaya çalışır. Bu da eksantrisiteye neden olur ve burulma meydana gelir (Şekil 1.9) [5].



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda
$(\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1/2\ [(\Delta_i^{(X)})_{max} + (\Delta_i^{(X)})_{min}]$
Burulma düzensizliği katsayısı: $\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort}$
Burulma düzensizliği durumu: $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 1.9 A1 Burulma düzensizliği [5, 7]

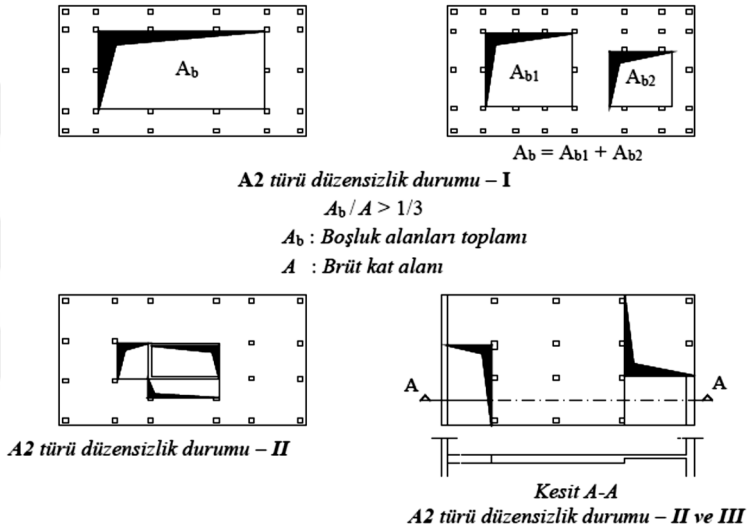
A2 - Döşeme süreksizliği

"Herhangi bir kattaki döşemede

I – Merdiven ve asansör boşlukları dâhil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu" [5],

II – "Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu" [5],

III – "Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu" [5]



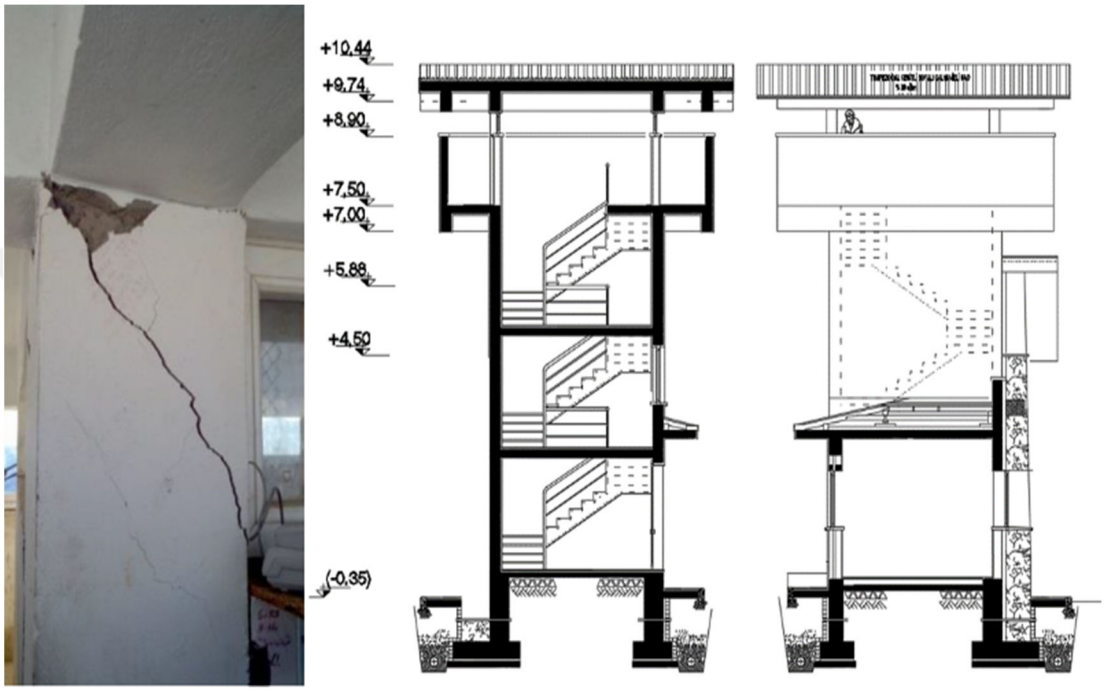
Şekil 1.10 Döşeme süreksizliği [7]

Yukarıda döşeme süreksizliğinin çeşitli görülmektedir (Şekil 1.10).

1.3.6 Kısa kolon

Betonarme projesinde belli kıstaslara göre tasarlanan kolonların uygulamada kullanım amacına bağlı olarak, estetik veya mimari kaygılarla rijitliğinin değiştirilmesinden kaynaklanan hasar durumudur. Ülkemizde genellikle bodrum katlarda açılan bant pencereler vasıtasıyla oluşturulur. Bazen zemin katlarda da oluştuğu görülen kısa kolondan kaçınmak aslında çok kolaydır. Dolgu duvar ile kolon arasında 5 cm kadar bir derz boşluğu bırakılmalı ve bu bölge extrüde polistren köpük gibi veya XPS levha gibi ezilebilir bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Böylece kolon boyunun muhafazası sağlanmış olur ve oluşacak kesme kuvvetlerinin artmasının önüne geçilmiş olur.

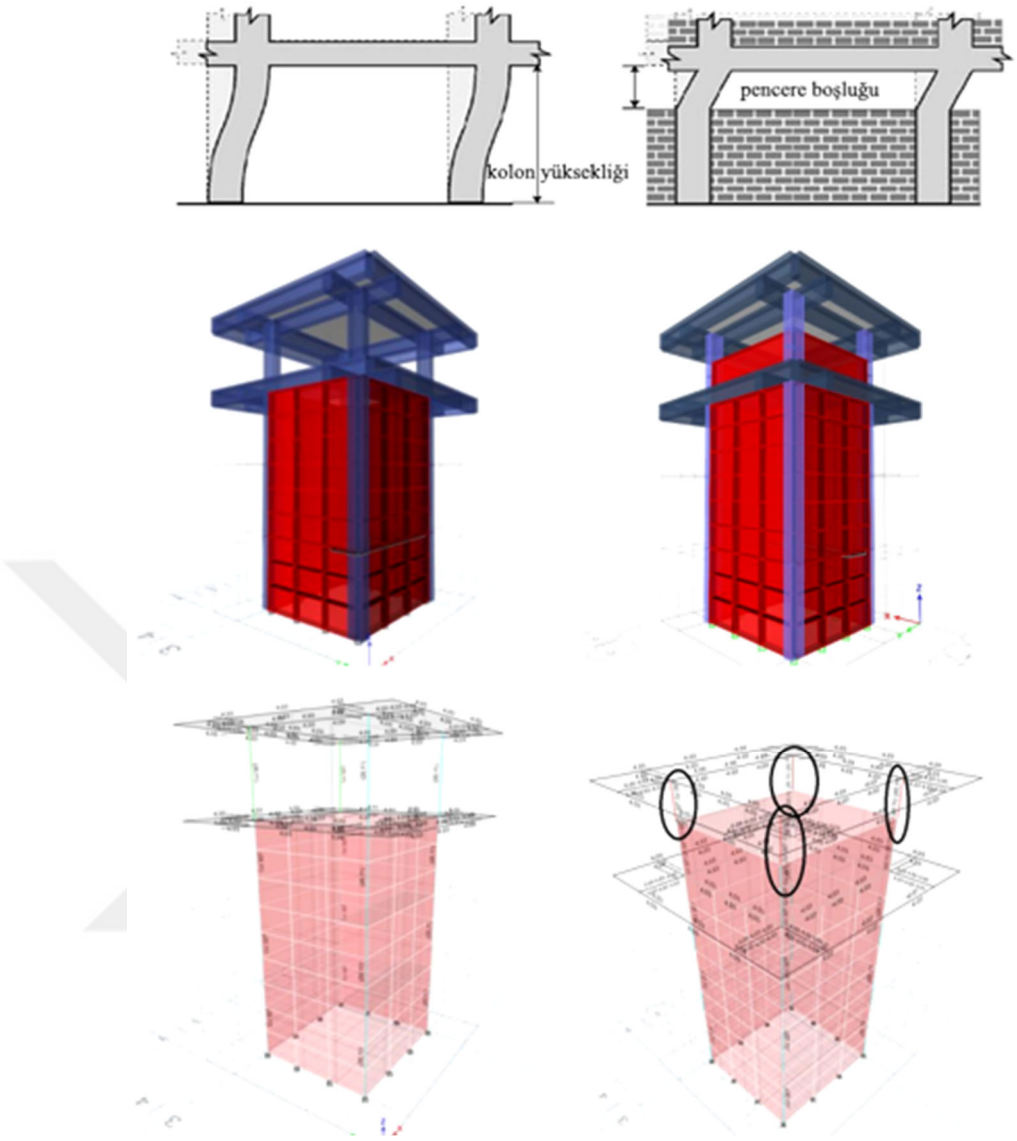
Aşağıda, 03.12.2015 tarihinde meydana gelen ve merkez üssü Bingöl'ün Kiğı ilçesinin Açıkgüney köyü olan depremden sonra köydeki karakolun gözlem kulelerinden birinde meydana gelen hasarın detayları görülmektedir [23]. Şekil 1.11'de kesiti, görünüşü ve kısa kolon hasarı, Şekil 1.12'de ise bu hasarın, tezin yazarının da içinde bulunduğu yazar grubu tarafından modellendiği çalışmadan görseller yer almaktadır.



Şekil 1-11 Kulenin plan ve kesit görüntüsü [23]

Duvarın modellenmediği soldaki versiyonda kulede kısa kolon hasarı oluşmadığı ve duvarın modellenmiş olduğu sağdaki versiyonda ise kısa kolon oluşumundan dolayı kayma gerilmesi değerlerinin sınır değerleri aştığı görülmektedir (Şekil 1.12).

Piyasada proje üretimi için kullanılan paket programların duvarları modellemeden sadece çerçeveli sistemde oluşan tesirleri ve gerilmeleri hesapladıkları düşünülürse bu durum oldukça düşündürücüdür. Zira eksik veri ile yapılan hesaplamadan yanlış sonuçlar çıktığı açıkça görülmektedir.



Şekil 1.12 Kısa kolon oluşumu ve görseli [23]

1.3.7 Yapı nizamı

Şekil 1.13'teki yapıda hem bitişik nizam hem de çekiçleme etkisi (Pounding effect) olabileceği görülmektedir. Bu tür hasardan korunmak için yönetmeliğimiz yeterli dilatasyon mesafesi sağlanmalıdır.



Şekil 1.13 Bitişik nizam yapı örneği



Şekil 1.14 Muhtemelen çekiçleme etkisi görülecek olan yapılaşma örneği

Genel olarak, belirli bir bölgenin gerçek deprem hasarı verilerinden geliştirilen kırılganlık tahminleri, o bölgedeki bina performansını daha çok temsil etmektedir. Gerçek hasar verilerinin yokluğunda, kırılganlık tahminleri, binaların yapısal modellerinin zaman alanı analizinden elde edilen simüle edilmiş verilerden geliştirilebilir.

Modern deprem yönetmeliklerinin yürürlüğe girmesinden önce inşa edilen mevcut yapı stokunun kırılganlık profilini hızlı bir şekilde değerlendirmek için çeşitli deprem öncesi tarama yöntemleri geliştirilmiştir [14, 24-27]. Büyük bir deprem sırasında yıkılabilecek binaları değerlendirirken, geleneksel hızlı görsel tarama prosedürleri, daha detaylı araştırma gerektiren binaları tanımlama konusunda genellikle iyi sonuçlar verir.

1.3.8 Tabii zemin eğimi

Bina eğer eğimli bir yokuşta konumlanmışsa, alt taraftaki rijitlik yukarı taraftaki rijitlikten farklı olabileceğinden sorun yaratabilir. Ayrıca yukarı taraftaki kısa kolonlar deprem yüklerini daha fazla çeker ve bu yüzden toptan göçebilir.



Şekil 1.15 Yamaçta bina

1.4. Temel Kavramlar

Herhangi bir olayın afet olarak nitelendirilmesinde iki kavram ön plana çıkmaktadır. Birincisi bu olayın bir tehlike arz etmesidir. İkincisi ise bu tehlikeden etkilenecek canlı veya cansız nesnelerin bulunmasıdır. Tehlike, potansiyel olarak bulunan tehdide işaret ederken risk bu tehdide maruz kalan toplum ve varlıkları işaret eder [28]. Geçmiş tecrübeler ışığında, meydana getirdiği büyük kayıplar ve etki alanının büyüklüğü göz önüne alındığında, Bingöl ili için en büyük afet riskinin deprem olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

1.4.1 Tehlike

Can ve mal kaybı ihtimalinin yanı sıra sosyoekonomik düzeni, tabii ve kültürel kaynakları tehdit eden her şey [29].

1.4.2 Risk

Bir tehlikenin belli bir bölge ve orada yaşayanlar üzerinde meydana getireceği tahmini kötü etkiler [29].

1.4.3 Hasar görebilirlik (Savunmasızlık)

Herhangi bir bölgede yaşayanların ve maddi manevi varlıklarının bir tehlike karşısındaki hasara maruz kalma ihtimali. Hasar görebilirliğin fiziksel, psikolojik ve ekonomik açılardan farklı boyutları söz konusu olabilir ve bunların belirlenmesi afet yönetiminde kritik öneme sahiptir [29].

1.4.4 Risk altındaki değer

Bir tehlikeye maruz olduğu bilinen fiziksel, sosyal, maddi, manevi, ekonomik, tarihi ve kültürel varlıkların tamamını ifade eder.

Bir deprem eğer depreme maruz kalacak hiçbir yerleşim yoksa örneğin çölde meydana geldiyse risk sıfırdır. Eğer depremin meydana geldiği yer bir yerleşim yeri ise risk söz konusudur ve bu durumda bu yerleşim yeri eğer düzensiz, plansız ve özensiz yapılaşmış ise burada risk yüksektir. Üçüncü bir durum ise bir depremin planlı, düzenli ve özenli bir yerleşim yerinde meydana gelmesi ihtimalidir ki bu durumda da risk yine sıfıra yakındır. Yani bir bölgenin yapı stoku, kritik öneme sahip yapıları, ulaşım ağı, sağlık ve eğitim gibi kamu hizmetleri gibi unsurlar, risk kavramının temel unsurlarıdır. Buradan hareketle Risk (R) bir bölgede, olası bir tehlike (T) karşısında, risk altındaki değerlerin (D) varlığı durumunda, hasar görebilirliklerinin (H) fonksiyonu olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir [29, 30].

$$R = T \times D \times H \text{ [30]} \quad (1.2)$$

1.4.5 Yönetme kapasitesi

Herhangi bir afete karşı meydana geldiği anda bu afet karşısında dayanma ve karşı koyabilme kapasitesinin ifadesidir. Burada mevcut kurumsal kapasite, afete karşı ön hazırlıklar, planlama, yasal düzenlemeler, kaynak ve bütçe ayrılması, kamusal farkındalık, eğitim ve sosyal hazırlıklar gibi kavramlar afeti yönetme kapasitesini belirlemektedir [29, 30].

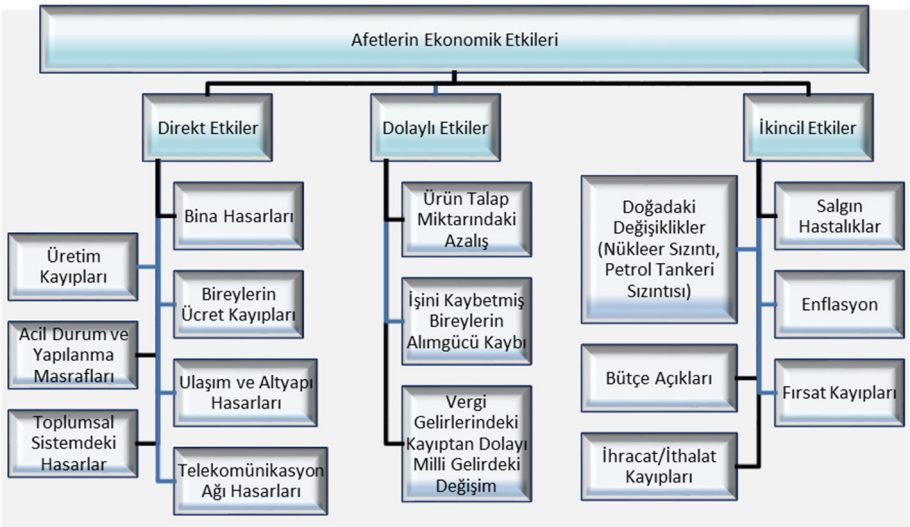
Sismik tehlike ve risk alanında son on yılda, sismik riskin azaltılmasına yönelik olarak, toplumda risk bilincinin artırılması ve yeni yapılacak yapıların sismik performansının iyileştirilmesini teşvik eden yasal düzenlemelerin oluşturulması gibi önemli çalışmalara rağmen mevcut binaların kapsamlı bir şekilde araştırılmadığı göze çarpmaktadır.

Ayrıca yeni yönetmeliklerdeki tasarım kurallarına göre tasarlanmamış yapıların varlığı ile bağlantılı olarak olasılıksal sismik tehlike analizine ilişkin son çalışmalar nüfusun büyük bölümünün risk altında olabileceğini göstermektedir [31-39]

1.5. Deprem Kayıp Modellemesi İhtiyacı

10 yıl içinde dünya nüfusunun 8,1 milyara, 2050 yılında ise 9,4 milyara ulaşacağı tahmin ediliyor [1]. Nüfusun bu şekilde kontrolsüz büyümesi genellikle, deprem gibi doğal afetlere eğilimli bölgelerde bulunan (nüfusun 2 milyondan fazla olduğu) devasa kentlerin artmasına neden olmuştur [40]. Bu durum son yüzyılda neredeyse ortalama olarak yılda 60 binden fazla insanın ölümüne yol açan bir gerçeklik olarak karşımıza çıkmaktadır [41].

Afetlerin ekonomik etkileri temel olarak üç ana başlıkta incelenmektedir; Kısa vadede gerçekleşen direkt etkiler, orta vadede görülen dolaylı etkiler ve uzun vadede etki eden ikincil etkiler [28]. Bu etkiler şekil-1.14 de gösterilmiştir.

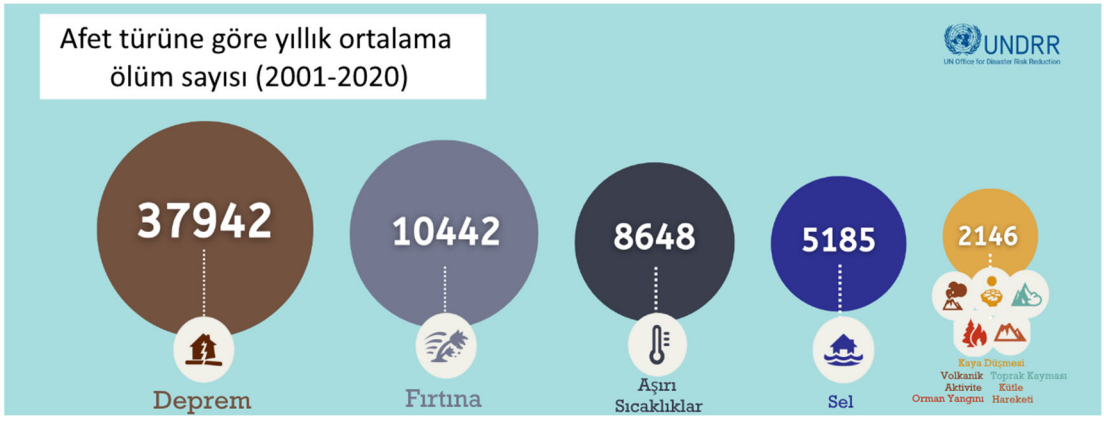


Şekil 1.16 Afetlerin ekonomik etkileri [28]

Depremlerin ekonomi üzerindeki direkt etkileri herkesin dikkatini çekecek derecede yüksek ve hissedilir olsa da dolaylı ve hatta ikincil etkilerinin ülkelerin toplam ekonomik gelişmesini sekteye uğratacak derecede yüksek miktarda etkileri de olabilmektedir. Orta Amerika'da son 50 yılda meydana gelen büyük depremler neredeyse meydana geldiği ülkenin gayri safi yurtiçi hasılasının (GSYH) yaklaşık 40%'ı ila 98%'i kadar büyüklükte ekonomik kayıplara neden olmuştur [42]. Nikaragua (1972), Guatemala (1976) ve El Salvador (1986) depremleri, bu ülkelerin gayri safi yurtiçi hasılasının (GSYH) yaklaşık 82%'si, 98%'i ve 40%'ı kadar ekonomik kayıplara neden olmuştur [43]. 2010 Haiti depreminde ise ekonomik kayıplar GSYH'nin (120%) üzerindeydi ve 300 binden fazla insanın hayatını kaybettiği tahmin ediliyor [43]. Üstelik bu ülke 2021 yılında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki depremde 2248 gibi azımsanmayacak derecede büyük yaşam kaybı meydana gelmiştir [44].

Birleşmiş Milletler Afet Risklerinin Azaltılması Ofisinin 2021 yılı tespitlerine göre afetler nedeniyle yılda ortalama olarak 64.363 can kaybı meydana gelmiş ve bu kayıpların yaklaşık 59%'u ise depremlerden kaynaklanmıştır [41].

Olasılığa dayalı sismik tehlike analizi, binaların sismik performansının değerlendirilmesi ve tehlikelere maruz kalan bölgelerle ilgili bilgilerin toplanması alanlarında son yıllarda kaydedilen büyük ilerlemelere rağmen, deprem kayıpları eğiliminde hala bir artış gözlemlenmektedir [18, 45-49].



Şekil 1.17 2001-2020 yılları arasında afet tipine göre yıllık ortalama ölüm sayıları [41]

Afet Riskinin Azaltılmasına İlişkin Küresel Değerlendirme Raporu [50] bu eğilimin iki olası sebebine işaret etmektedir. İlk sebep, ilgili afet riskinde doğrudan etkisi olan,

afetlerden etkilenme tehlikesi yüksek alanlarda nüfusun ve sermaye stokunun önemli ölçüde artmasıdır.

İkincisi ise küresel ölçekte bakıldığında, modern toplumların bugün geçmişe göre çok daha fazla birbiriyle ilintili ve ilişkili ağlara (inşaat stoku, enerji, finans, ulaşım) sahip olması ve bu durumun da bir doğal afet durumunda bir felaketin tetiklediği başka bir felaket etkisi başlatabilecek olmasıdır. Nitekim günümüzde, Covid-19 dönemindeki kapanmaların etkisiyle emtia tedarikinde meydana gelen aksaklıklar nedeniyle küresel ölçekte enflasyon sıkıntısı yaşanmaktadır. Bu şekildeki bir ekosistemi modellemek, her bir bileşenin gerekli şekilde anlaşılması ve bunların afetlerden zarar görebilirliğine dair hesaplamaların yapılması gerçekten çok zor olabilir.

Bu tür kayıplar, afet sonrası yeniden yapılaşma sürecinde ülkelerin ekonomisinde ciddi yaralar açabilir. 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde GSYH'nin yaklaşık 8%'lik kısmı gibi çok büyük bir mali yük ile karşı karşıya kaldı [13]. Bu durum nedeniyle, sismik kayıplardan kaynaklanan mali yükün büyük bir kısmının dünya sigorta piyasasına aktarılmasına izin veren Doğal Afet Sigortası Kanununun (DASK) yayınlanmasına neden oldu [49]. Bunda, ekonomisinde afet riskinin etkisini değerlendirmek için kullanılan ekonomik tahmin modelinin geliştirilmesi ve deprem kayıplarını tahmin çalışmaları etkili olmuştur.

Ayrıca, deprem kayıpları tahmin modellemesi, diğer birçok sismik risk azaltma eyleminin de temelini teşkil eder. Bunlar, bir ülke içindeki bina stokunun yapısal sismik hasar görebilirliğinin iyileştirilmesi için önce tespitini, daha sonra ise kentsel yenileme ve kentsel dönüşüm çalışmaları açısından önceliklendirilmesini ve son olarak da afet sonrası acil durum eylem planlanmasını veya depreme dayanıklı inşaat uygulamalarını dayatacak yasal düzenlemeleri kapsamaktadır.

Ancak daha az gelişmiş ülkelerde, sismik riskin kapsamlı şekilde değerlendirmesini yapmak için gerekli kaynaklar, veri kümeleri ve araçlar maalesef yeterince mevcut değildir. Aslında, düşük/orta gelirli ülkeler ile yüksek gelire sahip ülkeler, son yıllardaki doğal afetlerin yıllık ortalama maliyetleri açısından kıyaslandığında, felaket

modellemelerini oluşturmuş ve tedbirlerini hazırlamış olan zengin ülkelerde bu maliyetlerin önemli ölçüde daha düşük olduğu göze çarpmaktadır [13, 50].

Deprem etkisi altında hasara uğrayan başlıca yapılar, içinde kendimizi güvende hissettiğimiz binalardır. Peki gerçekten güvende miyiz? Zira deprem etkisi ile binalarda meydana gelen hasarlar büyük miktarlarda can ve mal kaybına neden olabilmektedir. Son 30 yıl içerisinde meydana gelen 1995'teki Kobe depremi, 1999'daki Kocaeli Depremi, 1999'daki Düzce depremi, 2003'teki Bingöl Depremi, 2004'teki Aceh depremi, 2011'deki Van depremi ve 2020'deki Doğanyol/Sivrice depremi gibi depremlerde binalar ve altyapılar ciddi şekilde hasar görmüş ve çökmüştür. Bu depremler sırasında, en büyük kayıplar şehir merkezlerinde meydana gelmiştir. Üstelik yukardan düşen bina döküntüleri, sadece binaların içindekilerin değil, sokaktan geçen bazı kişilerin de ölümüne sebep olmuştur. Dolayısıyla, depremler sırasında oluşan kayıpların ana kaynağının binalar olduğunu söylemek yanlış olmaz.

1.6. Fiziksel Hasar Görebilirliğin Tespitinin Önemi

Yapısal hasar görebilirlik, belirli bir elemanın bir depremin etkileri nedeniyle zarar görme olasılığı olarak tanımlanabilir. Sismik olaylara maruz kalan unsurların kırılganlığının etkisi, kayıpların büyüklüğünde esastır. Gelişmekte olan bölgelerde ve gelişmiş ülkelerde meydana gelen depremler arasında basit bir karşılaştırma, hasar görebilirliğin tespitinin kritik önemini ortaya koymaktadır. Örneğin, Aralık 1988'deki Spitak (Ermenistan) depremi Ms 6.7'ye sahipti ve yaklaşık 25.000 can kaybına neden oldu. Bir yıldan kısa bir süre sonra, Loma Prieta'da (California, ABD) daha büyük (Ms-7.0) bir deprem meydana geldi ve 70'ten daha az sayıda insan kaybına neden oldu [51]. Demek ki yapısal hasar görebilirliğin tespiti, yalnızca bir yapının hasara görebilirliğini doğrudan yansıtmak için değil, aynı zamanda uygun güçlendirme çözümleri ile müdahale ederek güvenlik açığını önemli ölçüde azaltmak mümkün olabileceğinden, sismik riskin tahmini için özel bir öneme sahiptir.

Hasar görebilirliğin önemini anlayan pek çok araştırmacı hasar görebilirliğin belirlenmesinde ve değerlendirmesinde kullanılabilecek yöntemler geliştirme arayışına girişmiştir [24-27, 52]. Bunlardan bazıları bunu ampirik yöntemlerle

araştırma yoluna başvurmuştur [19]. Bazı yöntemler ele alınan yapıların artan yer ivmesi seviyelerine karşı sismik performansını modelleyen analitik kullanırken [20, 53-55], bazı yöntemlerse yapıların hasar görebilirliğini geçmiş deprem tecrübeleri üzerinden, bir dizi yapısal parametre ile hasar görebilirlik arasındaki ilişkiyi gözlemlemek ve puanlamak yoluna gitmiştir [56-61].

Her analitik yöntem, temel olarak doğrusal davranmayan yapının davranışının ele alınma biçiminde farklı basitleştirmeleri, varsayımları ve algoritmaları dikkate alır. Sonuç olarak, yapısal tepki seçilen yönteme bağlıdır ve her zaman tutarsızlıklar gözlemlenebilir. Bu kavramsal belirsizliğin araştırılması ve bunun ortaya çıkan sismik risk üzerindeki etkisi, bu tezde ele alınan bir araştırma sorusuydu. Mevcut analitik yöntemlerin doğruluk açısından tatmin edici sonuçlar sağlasa da bu analitik yöntemlerle güvenilir hasar görebilirlik sonuçları elde etmek için gereken çaba ve bu çaba için gereken süre halen büyük bir dezavantajdır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek amacıyla gerçek deprem performansı verileri ile mevcut yapı stoku örneklemi kullanılmak suretiyle binaların kritik olanlarını ayıklayabilecek bir tahmin aracı geliştirilmiştir.

1.7. Türkiye'de Deprem Yönetmeliklerinin Gelişimi

Türkiye'de ilk deprem yönetmeliği, 1939 yılında Erzincan'da meydana gelen ve yaklaşık 33 bin insanın hayatını kaybettiği 7,8 büyüklüğündeki deprem sonrasında 1940 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu deprem bu büyük miktardaki can kaybının yanı sıra yaklaşık 345 milyon $ lık maddi kayba da neden olmuştur.



Şekil 1.18 1939 Erzincan depremi genel görünüm ve bir konut hasarı

1942 yılında Deprem Bölgeleri Haritası yayınlanmıştır. Daha sonra 1943 yılında meydana gelen 7,7 büyüklüğündeki Tosya depremi sonrasında 1944 yılında ikinci bir deprem yönetmeliği yayınlanmıştır. Yaklaşık 2900 kişinin hayatını kaybettiği bu depremin günümüz rakamları ile yaklaşık 320 milyon $'lık maddi hasara neden olduğu tahmin edilmektedir.

Deprem Yönetmeliğimiz daha sonra 1947, 1949, 1953 ve 1961 yıllarında yönetmeliğimiz yenilenmiştir. 1947 ve sonrası yönetmeliklerde deprem hesapları yapının yapılacağı bölgelere göre farklı katsayılarla geliştirilmiştir. Yapıların deprem güvenliğini sağlamak üzere sünek yapı tasarımının yer almaya başlaması ilk kez 1975 yönetmeliği ile gerçekleşmiştir. Bu yönetmelikteki sünek yapı tasarımını hedefleyen birleşim bölgesi detayları ve enine donatı detayları tavsiye niteliği taşımakta idi. Bu yönetmelik uzun süre yürürlükte kaldıktan ilk kapsamlı yönetmeliğimiz olan 1997 yönetmeliğimiz yayınlanmıştır. Bu yönetmelik sünek yapı tasarımına yönelik detayları zorunlu hale getirmiştir. 1999 yılındaki Kocaeli ve Düzce depremleri sonrasında bir kez daha güncellenen yönetmeliğimiz 2007 yılında daha kapsamlı hale getirilmiştir. Ve nihayet performansa dayalı tasarım özellikleri ile hâlihazırdaki yönetmeliğimiz 2018 yılında yürürlüğe girmiştir.

1.8. Türkiye'nin Depremselliği

Türkiye; jeolojik yapısı, topoğrafyası ve iklim özellikleri sebebiyle başta depremler olmak üzere sıklıkla afete neden olan tehlike ve/veya tehditlerle karşılaşmaktadır [62]. 1939 Erzincan, 1971 Bingöl, 1999 Kocaeli ve Düzce, 2003 Bingöl, 2011 Van, 2020 Elâzığ ve 2021 İzmir depremleri ülkemizin son yüzyılda yaşadığı ve maalesef pek çok kayıplar verdiği afetlerden sadece bazıları. Bu depremlerin neden olduğu büyük miktardaki can kaybının yanı sıra dolaylı olarak sebep olduğu milyarlarca dolarlık maddi kayıp da ülkenin boşa giden kaynaklarını ifade etmekte yetersiz kalmakta.

Geçmiş tecrübeler ışığında bakıldığında ülkemizin afet sonrası müdahale konusunda çağ atladığı yadsınamaz bir gerçek olarak önümüzde durmaktadır. Hele ki özellikle 2020 Elâzığ ve 2021 İzmir depremleri sonrasında devletimiz acil müdahale ile arama kurtarma konusunda kahramanca çalışan ekipler sayesinde enkazdan canlı kurtarılan vatandaşlarımız bunun en fazla idrakinde olanlardır. Depremzede vatandaşlar için oluşturulan geçici barınma alanları, ulaştırılan gıda ve sağlık yardımları gibi müdahaleler, devletin şefkat elinin zamanında ve yeterince vatandaşının yanında olduğunun göstergesidir. Ancak afet sonrası müdahalelerde göğsümüzü kabartan bu gayret ve gelişmelere ve 1999 depreminin üzerinden 23 yıl geçmiş olmasına rağmen afet öncesi gerekli gelişim ve dönüşümleri hala yeterli ölçüde gerçekleştirebilmiş olmamak da bir o kadar üzücüdür. Özellikle İstanbul, Ankara, Bursa ve İzmir gibi nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerimizin mevcut yapı stokunun, son yıllardaki başarılı kentsel yenileme uygulamalarına rağmen, çoğunluğunun eski, eksik/noksan denetimli ve mühendislik hizmeti görmemiş olduğu göz önüne alındığında ülkemizin ne büyük bir risk altında olduğu korkutucu şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bugün ülke ekonomisinin yüzde elliden fazlasının üretildiği Marmara Bölgesinin hâlihazırda sismik bir boşluk olduğu ve 7 veya üzeri büyüklüğe sahip bir deprem üretme tehlikesini barındırdığı uzmanlarca üzerinde ittifak edilmiş bir konudur.

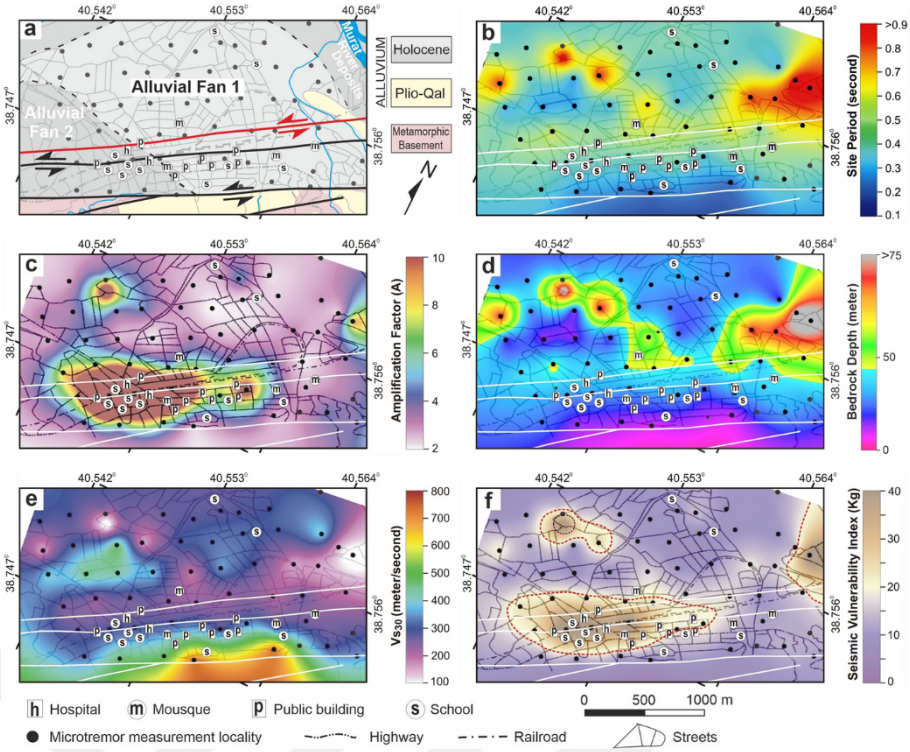
1.9. Bingöl'ün Sismik Tehlike Potansiyeli

Özellikle 1999 Kocaeli ve İzmit, 2003 Bingöl, 2011 Van ve 2020 Elâzığ depremleri sonrası oluşan büyük hasarların dağılımı incelendiğinde, hasarların belirli bölgelerde yoğunlaşması bilim insanlarını, üzerinde yapılarımızı kurduğumuz zeminler hakkında daha kapsamlı şekilde düşünmeye itmiştir. Önceleri zeminleri iyi zemin ve kötü zemin

şeklinde bir sınıflandırmayı, daha sonra ise iyi zeminlerin sert zeminler ve kötü zeminlerin de yumuşak zeminler olduğunu tecrübe eden bilim dünyası sert zeminlerin sismik dalga hızının yüksek olduğu ve yumuşak zeminlerin ise sismik dalga hızının düşük olduğu zeminler olduğunu belirledi [63].

Jeolojik açıdan gevşek zeminler, deprem esnasında gelişen yer hareketini büyüterek ağır yapı hasarlarına neden olabilirler. Bina Deprem Yönetmeliğinde zemin türleri altı sınıfa ayrılır: ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF. Bu sınıflama genellikle, yukarıda belirttiğimiz sismik dalga hızına ve zemin tabakasının kalınlığına bağlı olarak yapılır [5]. Ayrıca zemin hâkim periyotları ile örtüşen doğal titreşim periyoduna sahip yapılar da rezonans yaşayabilmektedir [64]. Rezonans etkisi altında binaya etkiyen kuvvetler giderek daha fazla büyümekte ve en sonunda yapının ağı düzeyde hasar görmesine veya çökmesine neden olmaktadır. Ancak rezonans olayından kaçınma gibi bir durum yönetmelikte tanımlanmamıştır. "Ne yazık ki, birçok depremde zemin tabakalarının yönetmelikte belirtilenden daha büyük spektral ivmelere neden olduğu gözlenmiştir [65]."

Dolayısıyla, yapı ve zemin hasarları açısından son derece önemli parametreler olan aktif faylara uzaklık, zemin sınıflarının belirlenmesi, zemin hâkim periyotları ve büyütme faktörleri gibi etkenlerin belirlenmesi depremlerin afete dönüşmesinin önlenmesinde kritik öneme haizdir. Bu konuda örnek sayılabilecek bir çalışma bu tezi yazan şahsımın da içinde yer aldığı 121Y406 nolu ve *"Doğu Anadolu Fay Zonu Üzerindeki Bingöl Sismik Boşluğunun Fay Yapısı, Bingöl Çek Ayır Havzası'nın Bingöl'deki Taban Yaşı ile Bingöl İli Merkez İlçesi'nin Yerel Zemin Etkilerinin Araştırılması ve Sahaya Özel Sismik Tehlike Analizi"* başlıklı TÜBİTAK projesidir [66]. Ayrıca aynı ekip tarafından Genç ilçesi özelinde yapılmış bir çalışmada bu ilçenin zemin özellikleri, ana kaya derinlikleri ve sismik hızları araştırılmıştır [67].



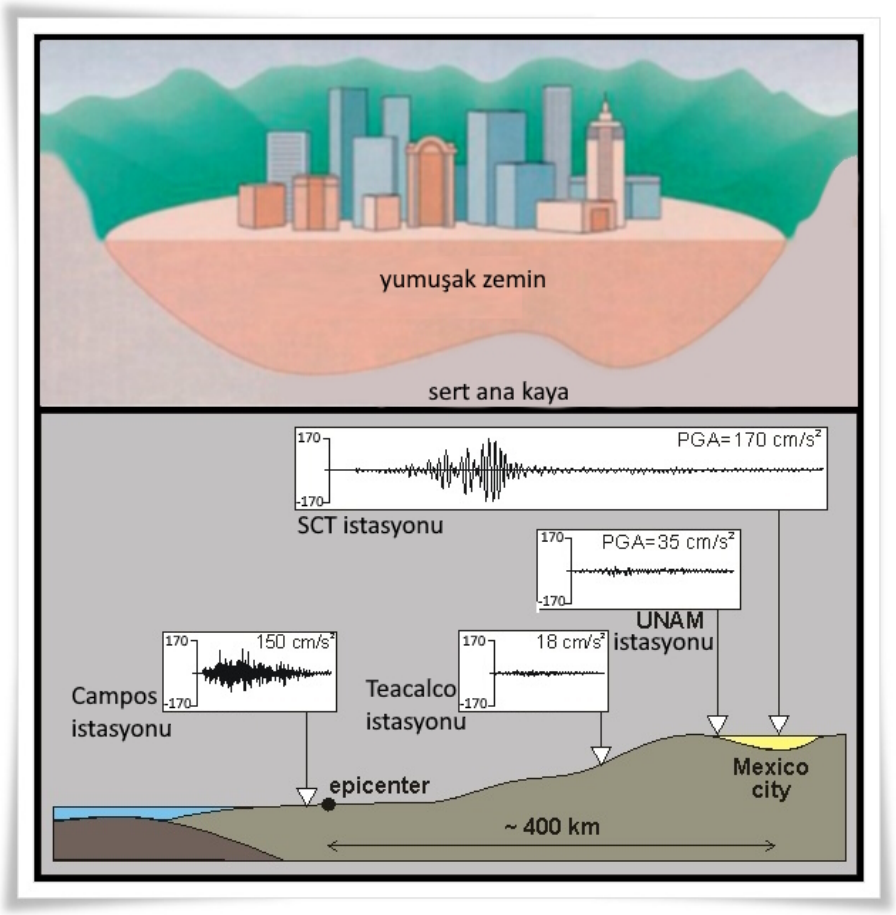
Şekil 1.19 Genç ilçesi için zemine bağlı olarak hasar görebilirlik haritası [66]

Yukarıdaki şekilde a) Jeolojik Birimleri, b) Zemin Hâkim Periyot (T), c) Zemin büyütme faktörü (A), d) Anakaya derinliği (BD), e) Kayma dalgası hızı (Vs30) ve f) Sismik kırılganlık indeksi (Kg) haritaları Genç Mahallesi sokakları, otoyolları, demiryolları ile tek istasyonlu mikrotremor araştırma alanı. Siyah noktalar ölçüm alanlarını göstermektedir. Faylar, a' da kırmızı veya siyah çizgiler diğerlerinde beyaz olarak gösterilir. a'daki kırmızı fay en aktif faydır. Hastanelerin, kamu binalarının (örneğin belediye, güvenlik binaları), okulların ve camilerin yerleri de her şekilde gösterilmiştir.

Bu aşamadan sonra ise hasar görebilirliğin en önemli fonksiyonu olan yapısal hasarların tespiti ve bu hasarlara dair risklerin azaltılması en önemli konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemizde gerçekleşen 23 Ekim 2011 Van Depremi gibi bazı yıkıcı depremlerde hasar gören yerleşim alanlarının, kimi zaman henüz belirlenmemiş aktif fayların üzerlerinde ya da yakınında yer aldığı gözlenmiştir [68]. Bu nedenle sahaya özel deprem tehlike analizleri yapılırken, zemine yönelik araştırmaların yanında, aktif fay haritalarının da

detaylı ölçeklerle yeniden güncellenmesi, hem sismik tehlike analizlerinde kullanılacak deprem senaryolarının hazırlanmasında hem de fay sakınım bantlarının planlanmasında yüksek önem arz etmektedir.



Şekil 1.20 1985 Meksika Depremi ve uzaklıkla değişen ivme kayıtları [63]

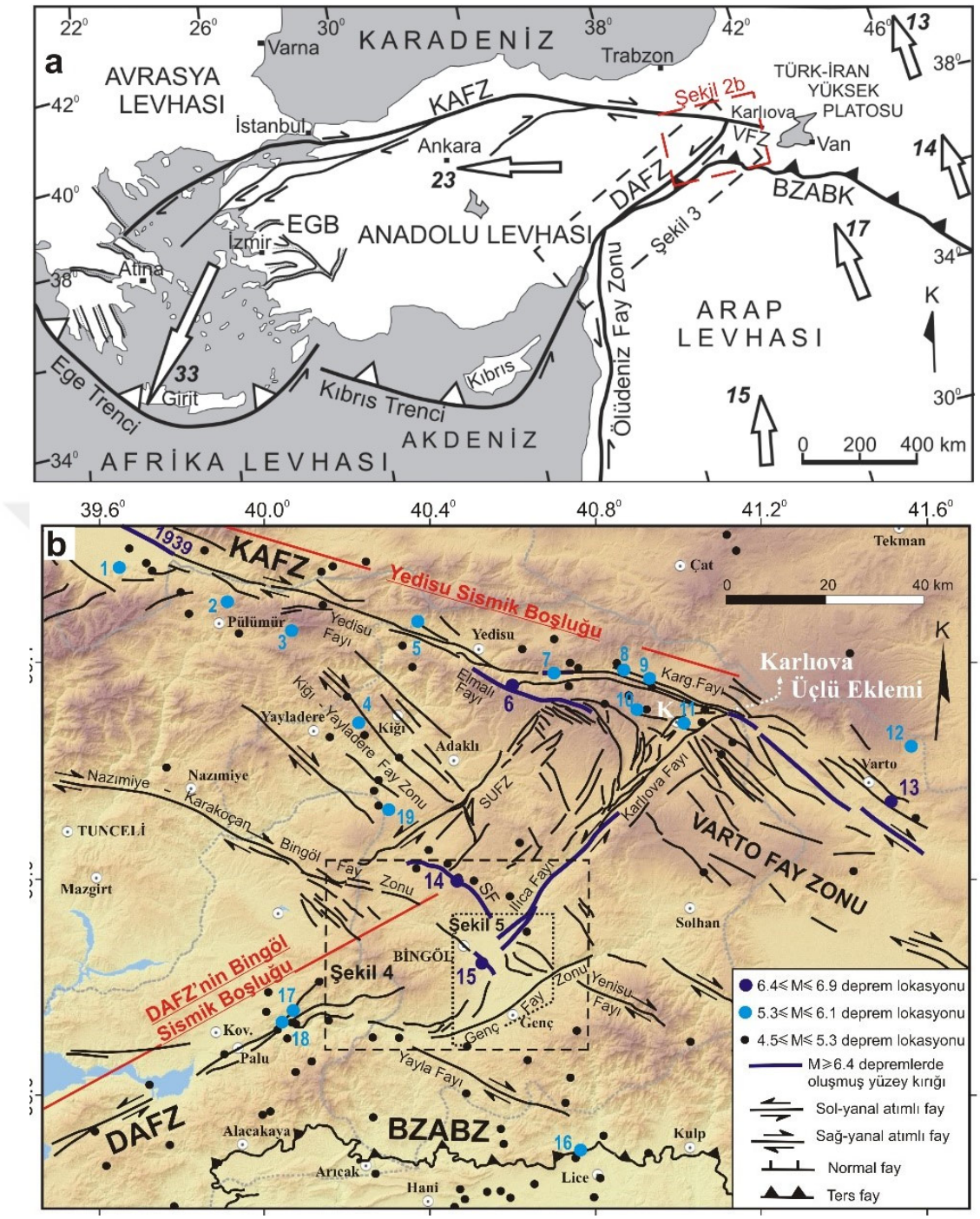
"Deprem dalgalarını etkileyen ve hasar miktarını önemli şekilde değiştiren en önemli faktörlerin başında yapının üzerinde kurulduğu jeolojik birim gelir. Özellikle yatay tabakalı, düşük diyajenez özelliklerine sahip (gevşek) çökel havzalara ait jeolojik birimlerin bulunduğu yerlerde, ana kaya ile çökel arasındaki sınırda yüksek sismik empedans (yoğunluk*Vs) farklılıkları oluşmakta ve zemin büyütmeleri gelişebilmektedir [69]. Çökel havzalarda yer alan yerleşimlerin altında bulunan gevşek malzemenin kalınlığı arttıkça depremin büyütme etkisi daha da artmaktadır. Bu konunun önemine işaret eden bilimsel sonuçlardan bazıları, 1985 Michoacan-Meksika depreminden sonra rapor edilmiştir (Şekil 1.18)" [69].

Depremin yıkıcı etkisinin sadece depremden sonra yayılan şok dalgalarının genlik ve frekansına bağlı olduğunu düşünmek doğru değildir. 1985 yılında Meksika'nın Michoacan şehrinde meydana gelen depremde ilginç bir gerçek kayda geçmiştir. Depremin merkez üssüne çok yakın Campos'ta kaydedilen ivme değeri 150 cm/sn^2 iken depremin merkez üssünden 400km uzaktaki Mexico City'de 170 cm/sn^2 ivme kaydedilmiştir. Üstelik bu iki şehrin arasında bulunan kalan Teacalco şehrinde ise ölçülen ivme sadece 18 cm/sn^2 dir [69]. Bu olaydan sonra anlaşılmıştır ki depremin bir yerleşim alanında yaratacağı yıkıcı etki yani ivmenin büyüklüğü büyük oranda bu şehrin üzerinde kurulu olduğu zemine ve dinamik parametrelerine bağlıdır.

Yaklaşık 130.000 insanın yaşadığı Bingöl ili yerleşim alanı da tıpkı Mexico City gibi diyajeneze uğramamış yani gevşek zemin özellikleri taşıyan çökeller içeren bir ovada yer almaktadır. Ülkemizin en önemli iki fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonunun (DAFZ) yanı sıra Varto Fay Zonu (VFZ) de Bingöl ili Karlıova ilçesi yakınlarında birbiri ile kesişmektedir [66].

Bu üç önemli fay zonu ve Bitlis-Zağros Aktif Bindirme Kuşağı (BZABK), ülkemizde Anadolu Bloku'nun Arap Levhası ile çarpışması sonucu başlamış olan neotektonik dönemin ürünleridir (Şekil 17) [70]. Çarpışma sonrası gerçekleşen kabuk kalınlaşması Doğu Anadolu'nun yükselerek bir plato halini almasına neden olmuştur [71]. Devam eden sıkışma ile birlikte bir süre sonra Anadolu Levhası kuzeyde KAFZ ve güneyde DAFZ denetiminde batıya doğru hareket etmeye başlamıştır [70, 72, 73].

Bingöl İli civarındaki yoğun deprem aktivitesi; tarihsel deprem kayıtları ve aletsel dönemdeki kayıtlarla net bir biçimde ortaya çıkarılmıştır (Şekil 1.7, Çizelge-5) [73-82].



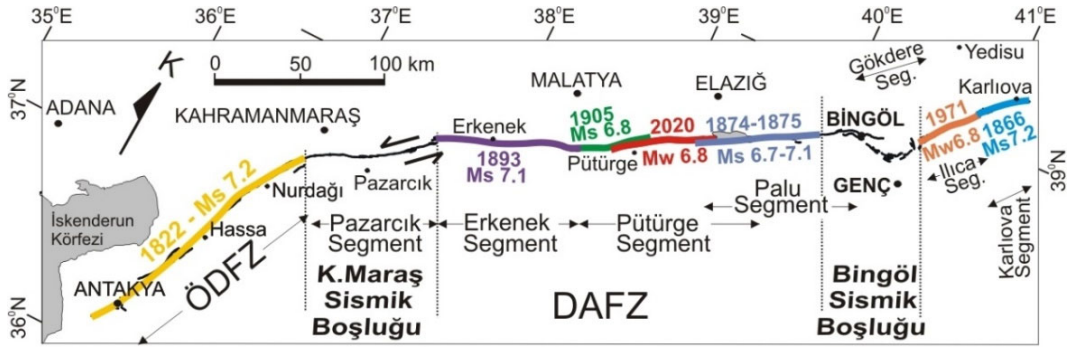
Şekil 1.21 Bingöl fay lokasyonları [66]

Tablo 1.4 Şekil 1.19'da merkez üsleri gösterilen ve numaralandırılmış olan M≥5.3 depremlerine ait parametreler ve şiddet-hasar verileri

Şekil 1.7b	Büyüklük (M)	Tarih	Zaman (UTC)	Yeri	Merkez Üssü		Maksimum Şiddet	Vefat Sayısı	Ağır Hasarlı Bina Sayısı	Referanslar
Deprem No		(gün/ay/yıl)			Enlem (N°)	Boylam (E°)				
1	7.9	26/12/1939	23:57	Erzincan	39.80	39.51	X-XI	32968	116720	1, 2
2	6.9	17/08/1949	18:44	Karlıova (Bingöl)	39.39	40.61	IX	450	3500	2, 8, 9
3	5.6	07/03/1966	01:16	Varto-Hınıs-Muş	39.20	41.60	VIII	14	1100	2, 3
4	6.9	19/08/1966	12:22	Varto-Muş	39.17	41.56	IX	2396	20007	2, 3
5	5.9	26/07/1967	18:53	Pülümür-Tunceli	39.50	40.40	VIII	97	1282	5, 6, 7
6	**6.8**	**22/05/1971**	**18:43**	**Merkez-Bingöl**	**38.83**	**40.52**	**VIII**	878	**9111**	**2, 12**
7	6.0	06/09/1975	09:20	Lice-Diyarbakır	38.51	40.77	VIII	2385	8149	2, 3
8	5.8	15/03/1992	16:16	Pülümür-Tunceli	39.53	39.93	VII	-	439	2, 3
9	5.7	05/12/1995	16:49	Kiğı-Bingöl	39.43	40.11	VI+	1	-	2, 3
10	6.1	27/01/2003	05:26	Pülümür-Tunceli	39.58	39.66	VII	1	50	1, 2
11	**6.4**	**01/05/2003**	**00:27**	**Merkez-Bingöl**	**39.04**	**40.53**	**VIII**	176	**6000**	**1, 2**
12	5.6	12/03/2005	07:36	Karlıova-Bingöl	39.41	40.86	VI	-	-	2, 11
13	5.9	14/03/2005	01:55	Karlıova-Bingöl	39.41	40.81	VII	-	3349	2, 11
14	5.4	23/03/2005	21:44	Karlıova-Bingöl	39.41	40.80	VI	-	-	2, 11
15	5.7	06/06/2005	08:41	Karlıova-Bingöl	39.38	40.84	VI	-	-	2
16	6.1	08/03/2010	04:32	Başyurt-Karakoçan-Elazığ	38.76	40.08	VII	424	>4000	2, 13
17	5.6	08/03/2010	07:47	Başyurt-Karakoçan-Elazığ	38.70	40.05	VII	-	-	14
18	5.3	02/12/2015	23.27	Açıkgüney-Kiğı-Bingöl	39.29	40.23	Tanımsız	Tanımsız	Tanımsız	4
19	5.9	14/06/2020	14:24	Kaynarpınar-Karlıova-Bingöl	39.37	40.74	VII	1	800	10
20	5.3	25/06/2021	18:28	Kiğı-Bingöl	39.17	40.22	V	-	-	2

Kısaltmalar: 1:[83], **2:**[84]; **3:**[80] **4:**[85], **5:**[86], **6:**[73], **7:**[3], **8:**[78], **9:**[87], **10:**[88], **11:**[77], **12**:[89], **13:**[4]

Bingöl Çek-Ayır Havzası, KAFZ'nun bazı fayları tarafından kesiliyor olsa da genel olarak (DAFZ) üzerinde açılmış bir tektonik havzadır (Şekiller 1.19-a ve 1.19-b). DAFZ, Anadolu'nun batı yönlü hareketini KAFZ ile birlikte karşılar (Şekil 1.19a) [70, 72-74, 90, 91].



Şekil 1.22 DAFZ'nun Karlıova (Bingöl) ile Kahramanmaraş, Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ)

Şekil 1.22 de Doğu Anadolu Fay Zonu Kahramanmaraş ile Antakya arasındaki haritası [82] değiştirilerek) ve zon boyunca son 200 yılda M≥6.8 büyüklüğündeki depremlerle kırılmış fay parçaları ile sismik boşluklar (Çizelge 1.1 [74], [73], [92], [76], [78], [87], [81], [88] Bu şeklin coğrafi konumu için Şekil 21.a'ya bakınız.

Dolayısıyla, DAFZ Doğu Akdeniz Bölgesi'nin en önemli doğrultu atımlı faylarından biridir ancak ~580 km uzunluğundaki DAFZ üzerinde yapılan çalışmalar KAFZ üzerinde yapılan çalışmalara göre oldukça azdır [81]. Şekil 18'de Duman ve Emre (2013)'nin yayınladıkları DAFZ'nuna ait segment yapısının tarafımızca basitleştirilmiş bir hali verilmektedir. DAFZ'nun ~130 km uzunluğundaki kısmında yer alan üç segmentinde ise son 200 yılda büyük ölçekli deprem görülmemiştir, dolayısıyla sismik boşluk karakterindedirler [66, 82, 87].

Deprem risklerinin belirlenmesi ve deprem zararlarının azaltılması çalışmalarında 2 ana unsur öne çıkmaktadır: Öncelikle yeni yapılan yapıların yeterli miktarda ve nitelikli malzemeyle, doğru işçilikle ve yeterli mühendislik hizmeti alınarak inşa edilmesi gerekmektedir. 1999 yılındaki Gebze ve Düzce depremleri sonrasında artan bilinç ve akademik çalışmaların da etkisi ile 2007 yılında *"Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik* [7]" çıkarılmıştır. Daha sonra bilimsel gelişmeler ışığında güncellenip genişletilmiş yeni bir yönetmelik de 2018 yılında "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" adıyla yayınlanmıştır [5].

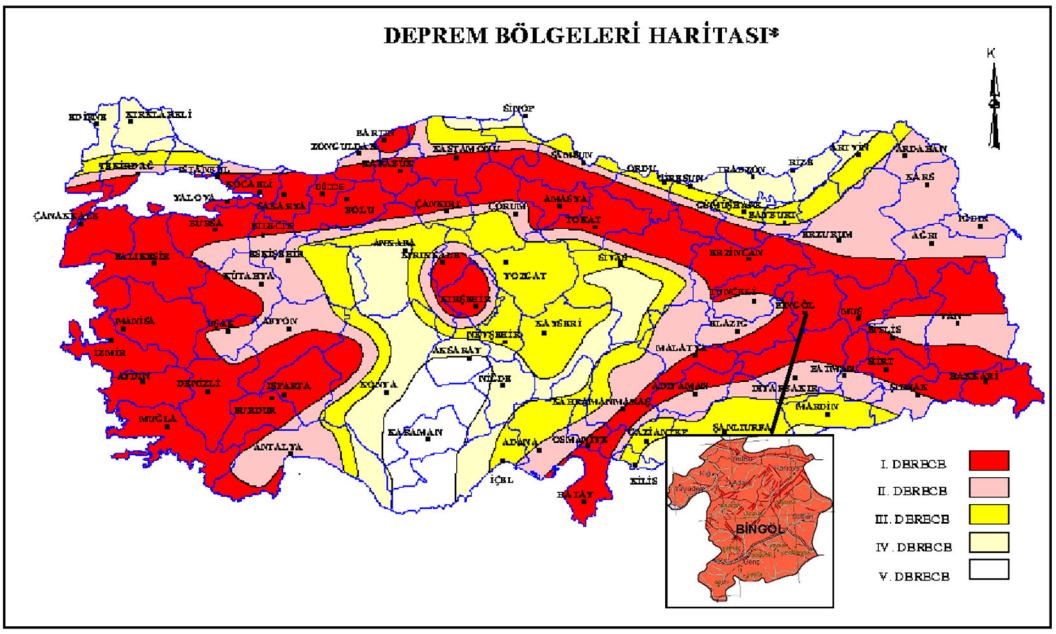
İkinci olarak da ülkedeki yapı stokunun yaklaşık %75 ini oluşturan az ve orta katlı betonarme binaların depreme karşı dayanıklılığının belirlenmesi gerekmektedir [93].

Ancak dayanımı yetersiz bütün binaların bir anda yıkılması ve yenilenmesi dünyanın en gelişmiş ülkeleri için bile altından kalkılabilecek bir yük değildir. Zira bunun için ne yeterli maddi imkân ve ne de yeterli zaman mevcuttur. Bu nedenle, olası bir deprem bölgesinde, mevcut bina stokunun hızlı, basit, güvenilir, mantıklı ve uzman görüş tabanlı model ve yazılımlara göre farklı kategorilere ayrılması ve önceliklendirilmesi gerekmektedir.

1.10. Afet Yönetimi ve Risk Azaltma

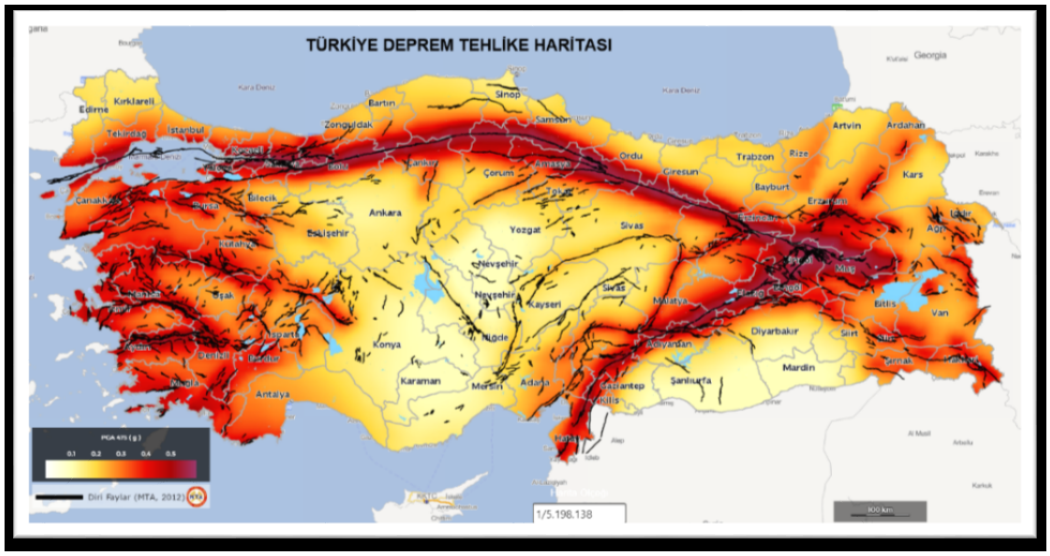
İnsani ihtiyaçları nedeniyle yaşadığı yere müdahale eden, orayı değiştiren ve dönüştüren bir varlık olan insanoğlu plansız, kontrolsüz ve özensiz şekilde gerçekleştirdiği bu değişim ve dönüşümle kendi varlığını tehdit eder hale gelebilmektedir. İnsan eliyle oluşturulmuş yapay çevrede çeşitli doğal olaylar afete dönüşebilmektedir. Bu noktada bu afet tehlikelerinin yönetimini ve bu afetlerden görülebilecek riskin azaltılmasını hedefleyen "Afet Yönetimi ve Risk Azaltma" kavramı karşımıza çıkmaktadır. Bu kavram "her türlü tehlikeye karşı hazırlıklı olma, zarar azaltma, müdahale etme ve iyileştirme amacıyla mevcut kaynakları organize eden analiz, planlama, değerlendirme ve karar alma süreçlerinin tamamını kapsar [29]". Bu faaliyetlerin süreklilik arz etmesi esastır. Bazen eş zamanlı olarak, bazen de öncelik sırası değişerek sürdürülmesi gereken bu faaliyetler deprem sonrası müdahale ve eylemlere harcanacak kaynaklarda önemli miktarda tasarruf sağlayacaktır [30].

Bingöl ili, güncellenmeden önceki haliyle Şekil 1-23'deki deprem bölgeleri haritasında ve 2018 yılında güncellenmiş haliyle Şekil 1.24'de görülebileceği üzere, topraklarının tamamı 1'inci derece deprem bölgesinde ve 0.5g üzeri ivme tehlikesine maruz bir alanda bulunmaktadır [5].



Şekil 1.23 Deprem bölgeleri haritası [3]

TBDY-2018 haritası üzerinde; Şekil.1.23'te görüldüğü üzere, Türkiye'deki diri fayları gösteren haritayı ve beklenen en büyük ivmeleri gösteren konturları birleştirirsek Bingöl ilinin Türkiye'deki en büyük ivmelerin oluşacağı alanda kaldığı görülmektedir.



Şekil 1.24 Türkiye deprem tehlike haritası [3]

1.11. Deprem Tehlike Seviyeleri

Ülkemizde ve dünyada uygulanan deprem yönetmeliklerinde çeşitli deprem tehlike seviyeleri tanımlanmıştır:

a) ***ATC-40*** dokümanında 3 adet deprem tehlike seviyesi tanımlanmıştır [94]. Sırasıyla ifade edilecek olursa bu depremlerden ilki;

a.1. 50 yıl içinde aşılma olasılığı 50% olan ve tekrarlanma periyodu 75 yıl olarak kabul edilen "Servis Depremi" dir. Servis depreminin etkisi tasarım depreminin yarısı kadardır

a.2. 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı 10% olan ve geri dönüşüm periyodu 474 yıl olarak varsayılan "Tasarım Depremi" dir.

a.3. Sonuncusu ise 50 yıl içinde aşılma olasılığı 5% olarak tahmin edilen Maksimum Deprem" olarak ifade edilmektedir. Maksimum depremin tekrarlanma periyodu 975 yıldır ve bu etkisi tasarım depreminin yaklaşık 1,5 katı kadardır.

b) ***TBDY 2018*** de ise dört farklı deprem tehlike seviyesi tanımlanmıştır [5]. Sırayla ifade etmek gerekirse:

b.1. DD1 olarak adlandırılan ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı 2% olan deprem yer hareketi düzeyi. Bu düzeyin tekrarlanma periyodu 2475 yıldır. Bu düzey en yüksek deprem tehlike düzeyi olarak belirlenmiştir ve etkisi normal tasarım depreminin yaklaşık 2 katıdır.

b.2. DD2 olarak adlandırılan ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı 10% olan deprem yer hareketi düzeyi. Bu düzeyin diğer adı "Tasarım Depremi'dir" ve tekrarlanma periyodu 475 yıldır.

b.3. DD3 olarak adlandırılan ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı 50% olan deprem yer hareketi düzeyi. Tekrarlanma periyodu 72 yıl olan bu deprem "Servis Depremi'dir" ve etkisi "Tasarım Depremi'nin" yaklaşık yarısı kadardır

b.4. DD4 olarak adlandırılan ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı 68% olan deprem yer hareketi düzeyi. Bu depremin tekrarlanma periyodu 43 yıldır ve etkisi "Tasarım Depremi'nin" yaklaşık olarak dörtte biri kadardır.

c) **FEMA-356** da ise TBDY 2018'deki gibi 4 farklı seviyede deprem tehlike düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla:

c.1. 50 yıl içinde aşılma olasılığı 50% olan ve tekrarlanma periyodu 72 yıl olan deprem tehlikesi düzeyi

c.2. 50 yıl içinde aşılma olasılığı 20% olan ve tekrarlanma periyodu 225 yıl olan deprem tehlike düzeyi

c.3. 50 yıl içinde aşılma olasılığı 10% olan ve tekrarlanma periyodu 474 yıl olan deprem tehlike düzeyi

c.4. 50 yıl içinde aşılma olasılığı 2% olan ve tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem tehlike düzeyidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapıların deprem direncini ve performansını doğru bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla yapılan pek çok çalışmanın yanı sıra, depremler karşısında yapıların performansını hızlı ve pratik bir şekilde belirlemeye ya da en azından sınıflandırmaya yönelik de birçok çalışma yapılmıştır.

ATC40 ve FEMA356 gibi dünya çapında kullanılan yönetmeliklerden sonra TBDY-2018 le birlikte ülkemizde de kullanılmaya başlanan performansa dayalı tasarıma yönelik çeşitli hesap yöntemleri önerilmiştir. Genel olarak bu standartlar kapsamında yapılar için bir performans hedefi söz konusudur. Herhangi bir bina için öngörülen performans hedefi, deprem etkisi altında yapının taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarının performans seviyelerine bağlı olup ilgili seviyeler meydana gelebilecek hasarın sınır durumlarını gösterir [14, 95].

Performansa dayalı tasarımın en temel iki parametresi kapasite ve taleptir. Yapıya etki eden deprem kuvvet “talep”, yapının bu kuvvet altında davranışı ise “kapasite” olarak tarif edilebilir.

Yapısal anlamda kapasite, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin birleşimi olarak tanımlanır. Yürürlükteki yönetmeliklere göre herhangi bir yapının doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak talep/kapasite oranları hesaplanabilir [95]. Ancak deprem hareketinin doğası gereği zamana bağlı ve dinamik olarak değişen bir hareket olması sebebi ile depreme dayanıklı yapı tasarımında dinamik hesap yöntemlerinin kullanılması daha gerçekçi sonuçlar verecektir [96-119]. Tabii ki bunun için yüksek miktarda işlemci gücüne sahip ileri düzey bilgisayarlar gerekecektir.

Mevcut yapı stokunun deprem riskinin önceden kestirilmesi, afet yönetiminin temel döngüsündeki “müdahale” evresinin daha sağlıklı ve gerçekçi bir biçimde yürütülmesini sağlamanın yanı sıra deprem zararlarının azaltılması için yapılması gerekenler konusunda aydınlatıcı bir rol üstlenecektir. Bu nedenle deprem tehlikesi yüksek alanlardaki yapı stokunun niteliklerine ve yerleşim bölgelerine bağlı olarak HG

ilişkilerinin türetilmesi, gelecekte meydana gelebilecek depremlerde yapısal ve yapısal olmayan hasarların tahmini sürecinin altyapısını oluşturacaktır. Bu nedenle yıkıcı depremler sonrasında hasar görmemiş ve farklı düzeylerde hasar görmüş yapıların ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve ortak bulguların parametrik bileşenler altında derlenmesi hasar tahmininde önemli yol alınmasına büyük katkı sunacaktır. Depremler sonrasında yerinde yapılan saha gözlemleri ve yapılardan alınan numuneler üzerine yapılan deneysel araştırmalar bize şunları göstermiştir:

- Bina türü yapılar genel olarak gerek tasarım ve gerekse imalat aşamalarında yeterince mühendislik hizmeti almamıştır.
- Mevcut durum ile tasarım projeleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır ve yapısal malzeme kalitesi gözle görülür düzeyde düşüktür.
- Donatı oranları ve donatı işçiliği yetersiz hatta yanlıştır.

Bu sayılan durumlardan kaynaklı olarak depremler sonrasında ülkemizdeki binaların genellikle gevrek bir davranış sergiledikleri görülmektedir. Deprem nedeniyle oluşan hasarların neredeyse tamamı, taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kapasitelerinin aşılması sonucu oluşan kayma gerilmesinden kaynaklanmaktadır.

Tezde kaynak olarak kullanılan başlıca çalışmaların literatür özetleri aşağıda verilmiştir.

2.1. Hasar Görebilirlik Üzerine Çalışmalar

Erberik, 2006 yılında TÜBİTAK tarafından desteklenen bir projede, ülkemizdeki yapı stokunun 75%'ini kapsayan, fiziksel hasar ve can kaybı açısından en kritik grubu oluşturan az ve orta katlı betonarme çerçeveli sistemleri incelemiştir. Proje kapsamında bu yapı grubuna ait hasar görebilirlik eğrileri oluşturulmuş, oluşturulan eğriler değişik yer hareketi seviyeleri altında incelenmiştir [120].

Yadollahi vd., 2012, "Seismic Vulnerability Functional Method for Rapid Visual Screening of Existing Buildings" isimli makalesinde, mevcut betonarme binaların sismik değerlendirmesi için kullanılan mevcut hızlı görsel araştırma yöntemlerinin

karşılaştırmasını ve eleştirel bir incelemesini sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, okullar, hastaneler, itfaiye istasyonları, polis karakolları ve acil müdahale merkezleri dâhil olmak üzere Oregon'un kamu tesisleri için potansiyel sismik tehlikeleri belirlemektir. Bu amaçla hızlı görsel tarama (HGT) yöntemlerini kullanmak, hassas binaların ayrıntılı değerlendirmeye tabi tutulması önceliğini ve bununla ilgili belirsizlikleri belirlemek ve değerlendirme sırasında etkilerini en aza indirmek için bulanık mantık sistemine dayalı yeni bir HGT yöntemi önermiştir [47].

Gürbüz ve Tekin, 2015 yılındaki çalışmasında, harita üzerinde hayali bir bölge kurgulamış ve bu bölgedeki yapıların yönetmeliğe göre performans puanlarını hesaplanmıştır. Örnek yapı stokunda bulunan binalar performans puanlarına göre sıralanarak deprem risk dağılımları incelenmiştir. Bu çalışmada gerçek bir bölge veya bina stokunu kapsamayan farazi bir yapı stoku değerlendirilmiştir [121]. Çalışmanın sonuçlarının gösterildiği haritada hasar durumları ve dağılımları işaretlendiğinden önceliklendirme açısından yöntemin kullanışlı olduğu görülmüştür.

Un vd. 2015 yılındaki çalışmalarında yapısal hasara bağlı deprem kayıplarını tahmin etmek için bir araç olarak kullanılmak üzere Türkiye'deki konut türü binaların sismik performansını olasılıksal olarak değerlendirmiştir. Çalışmanın amacı; Türkiye'nin kuzeybatısındaki yüksek nüfuslu bir şehir için kayıplar (can kaybı) açısından potansiyel sismik kaybı tahmin etmek için farklı konut binalarının performanslarını belirlemektir. Bu çalışmanın ana aşamaları sismik tehlike, kırılganlık fonksiyonları açısından bina performansı, binaların hasar durumları ve toplam can kaybının belirlenmesidir [122]. Bölgesel tehlikeyi ölçmek için, olasılıksal bir sismik tehlike değerlendirme yaklaşımı benimsenmiştir. Farklı bina yapıları türleri için, belirli bir tehlike seviyesi için önceden tanımlanmış performans seviyelerini karşılama olasılıkları, yerel özellikler kullanılarak üretilen uygun kırılganlık eğrisi setleri kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, söz konusu bina tiplerinin tahmini performansının bir fonksiyonu olarak elde edilen kayıp sayısı bakımından 50 yılda beklenen kayıplar olarak ifade edilmektedir [122].

Harirchian, vd. 2020 yılındaki çalışmalarında, sismik yönetmeliklerin geliştirilmesinden önce inşa edilen binaların, deprem titreşimlerine karşı yeterince

dirençli olmamasından hareketle yapısal hasarların, insan hayatını olumsuz etkilemesinin yanı sıra ekonomik kayıplara da neden olmasına vurgu yapmıştır. Yapısal hasar görebilirliğin kapsamlı şekilde tespiti için gereken analizlerin pahalı ve zaman alıcı olduğunu belirterek muhtemel deprem senaryolarına yönelik olarak yapısal performansları kontrol etmek için hızlı bir güvenlik açığı değerlendirme yönteminin geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir [123]. Bu süreç önce de belirtildiği gibi, Hızlı Görsel Tarama (HGT) olarak bilinir. Çeşitli olumsuzluk parametrelerinin yapısal hasarların oluşumdaki payını esas alan bu yöntemde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasının yeni bir kapı açacağını belirtmiştir [123].

Kızılkaya, 2018 yılında hazırladığı "FEMA-P154 Hızlı Görsel Tarama, Kanada Sismik Tarama ve Japon Sismik İndeks Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi ve Uygulaması" başlıklı yüksek lisans tezinde, yönetmeliklerin şartlarını karşılamayan binaların ağır hasar veya göçme düzeyinde hasarlar aldığından bahisle mevcut yapı stoğunun hasar görebilirliğinin hızlı ve güvenilir bir şekilde araştırılması zorunluluğunu ifade etmiştir [124]. Çalışması kapsamında FEMA-P154, Kanada ve Japon Sismik İndeks Yöntemlerini incelemiş ve çeşitli yönlerden kıyaslamıştır [124].

Aghabeigi ve Farahmand-Tabar 2021 yılındaki çalışmalarında, Ağustos 2010'da UNESCO'nun dünya mirası listesine giren dünyadaki ilk çarşı olan İran'ın Tebriz Çarşısı'nın önemli ve güzel kısımlarından birinde yer alan tarihi bina Malek Timçe'nin sismik hasar görebilirliğini araştırmış ve iyileştirme önerisi geliştirmişlerdir. Bu tarihi binanın sismik kırılganlığını, yapısal davranışını ve arıza mekanizmalarını değerlendirmek ve sismik performansın güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi için uygun bir yöntem önermek amacıyla yola çıkmış, önce yapısal malzemelerin özelliklerini belirlemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Daha sonra, sonlu elemanlar yöntemi kullanarak Malek Timche'nin üç boyutlu bir modelini oluşturmuş ve statik, modal ve dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra, İtalyan yönetmeliği olan OPCM-3431'e dayanan bir yöntemle dinamik analiz yaparak gerilmeleri elde etmişler ve son olarak yapının duvarlarını ve kubbelerini sırasıyla takviyeler ve FRP kompozitleri ile güçlendirilmişlerdir [125].

Demirbaş vd. 2022 yılındaki çalışmalarında, 2020 Elazığ-Sivrice Depremi sonrası yapılan saha çalışmalarında incelenen 67 adet betonarme binayı, hızlı değerlendirme yöntemleri (HGT yöntemi, Kanada Sismik Tarama yöntemi, RBTY yöntemi, Sucuoğlu yöntemi) kullanarak incelemiştir. Binaların performans puanlarını ve hasar görebilme riskini belirlemişlerdir. Yöntemlerden elde edilen sonuçları birbirleriyle ve deprem sonrası mevcut hasar durumu ile karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırmalarla, mevcut hasar durumunu en iyi yansıtan yöntemi ve yöntemlerin birbirleriyle uyumunu belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda; i) Kanada Sismik Tarama yönteminin mevcut hasar durumunu en iyi yansıtan yöntem olduğu, ii) güvenli tarafta kalmak açısından HGT yönteminin, Sucuoğlu yöntemine göre daha uygun bir değerlendirme sunduğu, iii) RBTY ile yapılan değerlendirmede Sucuoğlu yöntemine benzer sonuçlarla karşılaşıldığı belirlenmiştir [52].

Fikri ve Ingham 2022 yılındaki çalışmasında, 2010/2011 yıllındaki Canterbury, Yeni Zelanda depremleri sonrasında meydana gelen artçı şokların, özellikle depreme dayanıklı yapı tasarımını şart koşan yönetmeliklerin yürürlüğe girmesinden önce tasarlanan binalar için, ana şok depreminden daha yıkıcı olabileceğini göstermiştir. Canterbury depremlerini takiben, deprem sonrası keşif ekipleri bir dizi sünek olmayan yığma binanın hasar seviyesinin, ana şoktaki küçük hasardan, artçı şoklarda orta ve büyük hasara yükseldiğini gözlemlemiştir. Bu çalışma, birleşik bir ana şok-artçı şok deprem dizisine maruz kaldığında, sünek olmayan orta katlı yığma dolgu binaların davranışlarını belirlemek için bina hasarı ve çökme potansiyelini tahmin etmekte kullanılabilecek kırılganlık eğrilerini geliştirmişlerdir. Artımlı Dinamik Analiz (IDA) yöntemiyle, bu rijit tasarımlı orta katlı yığma binaları sismik olarak değerlendirilmiştir. Ana şok sarsıntısını takiben farklı hasar durumları için bir dizi artçı şok kırılganlık eğrisi üretilmiştir. Depremin ana şoku sonrasında hasar görmüş bir binanın Katlar Arası Sürüklenme Oranı (IDR) arttıkça, artçı şok sarsıntısından kaynaklanan daha fazla hasarın, daha küçük bir spektral ivme ile meydana geldiği ve bu ana şok hasarlı binaların daha küçük bir artçı şok depremine maruz kaldıklarında oldukça savunmasız olduklarını göstermiştir [126].

Cosentini ve Bozzoni 2022 yılındaki çalışmasında, Karayolu ağındaki sanat yapılarında oluşan deprem kaynaklı hasarları, sismik bir olayın hemen ardından acil

durum ve kurtarma aşamalarındaki operasyonları açıkça etkilediğinden dolayı inceleme gereği duymuştur. Bu tip bir yapının veya tipolojik bir yapı sınıfının sismik kırılganlığının hızlı bir şekilde tahmin edilmesinin önemine binaen kırılganlık eğrileri geliştirmişlerdir. Böyle stratejik yapıların sismik tepkisini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılabilecek en etkili araç kırılganlık eğrileridir. Çalışmada, hız (PGV) ve ivmenin (PGA) tepe değerleri için kırılganlık fonksiyonları geliştirilmiştir. Kırılganlık modelleri daha sonra 2016 yılında Orta İtalya'da meydana gelen gerçek bir depremle ilişkili sismik hasar senaryosunu hesaplamak için uygulanabilecektir [127].

Chen ve Zhang 2022 yılındaki çalışmalarında, Nepal, Kavrepalanchok'taki binaların sismik kırılganlığını değerlendirmek için Aşırı gradyan artırma (XGBoost) tabanlı bir model geliştirmiştir. Güvenlik açığı değerlendirme modeli, 2015 Gorkha depreminin bina anketi verilerine dayanarak eğitilmiştir. Ham verilerdeki sınıf dengesizliğinin etkilerini düzeltmek için, veri ön işleme aşamasında Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) tekniği benimsenmiştir. Ardından, seçilen 3 hedef değişken için sırasıyla XGBoost modelleri geliştirilmiştir. Çalışmanın sonunda temel tipi, çatı tipi ve bina yaşı, genel bina hasar derecesi için en önemli özellikler olarak tanımlanmıştır. Geliştirilen öğrenme modeli, deprem öncesi verileri kullanarak sismik alanlarda bina güvenlik açığı değerlendirmesini otomatikleştirmek için bir karar aracı olarak kullanılabilir ve erken bir aşamada afet riskinin azaltılması için karar desteği sağlayabilir [128].

Surana, vd. 2022 yılındaki çalışmalarında, Hindistan'ın Himachal Pradesh eyaletinde yaygın olan geleneksel bina uygulamalarını belirlemek için yaygın saha araştırmaları yapmıştır. Yapılan saha araştırmaları, çalışma bölgesindeki Kath-kunni, Thathara, Drystone ve Rammed toprak binalarının belirlenmesine katkı sağlamıştır. Bu yapı uygulamaları, oturma, mimari ve yapısal özellikleri, toprak koşulları ve temelleri için incelenmiş, sınıflandırılmış ve çizilmiştir. Nitel sismik kırılganlık değerlendirmesi, incelenen geleneksel binaların depreme dayanıklı ve savunmasız özelliklerini vurgulamıştır [129].

Yu Qian ve arkadaşları 2020 yılındaki çalışmalarında, hızlı görsel değerlendirme yöntemindeki değerlendirme esasına uygun şekilde sokak taramasından elde edilmiş görüntülerden, derin öğrenme tabanlı yapay zeka kullanarak, yumuşak kat içeren binaları tespit etmişlerdir [130].

Harirchian ve Lahmer, 2020'deki çalışmalarında, HGT'nin hızlı ve basit bir yöntem olmasına karşın çeşitli öznel değerlendirmeler içerdiğini belirterek, bulanık tabanlı bir yöntemle belirsizlikleri kapsayacak ve değerlendirme sırasında etkilerini en aza indirecek, "aralıklı tip-2 bulanık mantık" (IT2FLS) sistemine dayalı yeni bir HGT yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemde FEMA P154 de belirlenmiş olan çeşitli olumsuzluk parametrelerinin yanına PGA ve PGV değerleri eklenmiştir. Yöntemin uygulanabilirliği, Türkiye'deki Bingöl ve Düzce depremlerinden betonarme binaların deprem sonrası hasar veri tabanı kullanılarak incelenmiştir [131].

Sathurshan, vd. 2022 yılındaki çalışmalarında, ulaşım, güç, telekomünikasyon, su temini ve hastaneler gibi kritik altyapıların afet sonrası müdahalelerin etkili bir şekilde yönetilmesinde hayati bir rol oynadığından bu altyapıların esnekliğinin belirli bir coğrafi alandaki risk değerlendirmesine esas teşkil etmesi gerektiğini söylemiştir. Bunun için planlama aşamasında altyapıların da hasar görebilirliğini dikkate alan yaklaşımlar önermektedir. (PRISMA) yöntemi olarak adlandırdıkları yöntemle sistematik incelemeler ve meta-analizler için tercih edilen raporlama maddeleri, en ilgili 24 çalışmanın seçiminde kullanıldı ve bunlar, mevcut çerçeveleri, modelleri ve kavramları tanımlamak için analiz edildi. Çalışma, altyapı direncini değerlendirmek için mevcut çerçeveler arasında geniş kapsamlı eşitsizlikler olduğunu ve altyapı sektöründe esnekliğe dayalı yatırıma öncelik vermenin önemli bir zorluk haline geldiğini ortaya koydu. Ayrıca, kritik altyapının uzun vadeli dayanıklılığını artırmak için performans göstergeleri, acil durum boyutları ve hasar değerlendirmesi gibi temel özelliklerin farklı afet aşamaları için (önceki, öncesi ve sonrası) dikkate alınması gerekir. Daha sonra, uygun kritik altyapı planlaması ve esnekliğe dayalı yatırım kararı verme için entegre ve uyarlanabilir bir altyapı dayanıklılık değerlendirme çerçevesi önerilmiştir [132].

Ramírez Eudave vd. 2022 yılındaki çalışmasında, Meksika'daki 2017 Depremleri hakkında bir bilgi veri kümesi, önceden belirlenmiş bir sismik kırılganlık endeksi yaklaşımının uygunluğunu değerlendirmek için kullanmıştır. Bu yaklaşım ile Ulusal Tarihi Anıtlar Kataloğunda yer alan bilgiler arasındaki uyumluluk, daha sonra 2017'de kaydedilenlerle karşılaştırılan hasar seviyelerini tahmin etmek için çıkış noktasıdır. Bu uygulama, Meksika'ya özgü olacak şekilde parametrelerin tanımlanmasını, ince ayarlarla düzenlenmesini de içeren dinamik bir süreçtir. Bu makalede benimsenen kırılganlık indeksi yaklaşımı kullanılarak tahmin edilen hasar seviyeleri ile Meksika'daki 2017 Depremleri sonrasında kaydedilen hasar seviyeleri arasındaki karşılaştırmanın sonuçlarına dayanarak, burada belirlenen ve tartışılan sınırlamaların dikkate alınması koşuluyla, bu yaklaşımın bu bölgedeki gelecekteki sismik kırılganlık değerlendirme çalışmalarında kullanılabileceğini doğrulamak akla yatkındır [133].

Mouhine ve Hilali 2022 yılındaki çalışmalarında, özellikle düzensiz binaların sismik hasar görebilirliğinin, yapının bulunduğu konumun, yapının tepkisi üzerindeki etkisi göz önüne alınarak çalışılması gerektiğini belirmiştir. Saha etkisi göz önüne alındığında sismik kırılganlığın büyüklüğündeki ve dağılımındaki değişimlere bakılarak, modellemelerde nonlineer modellemelerin daha doğru sonuçlar verdiğini ifade etmiştir. Çalışmanın odak noktası binaların zemin özellikleri nedeniyle uğradıkları hasar düzeyidir. Bu nedenle çalışmasında sert kaya, çok yoğun toprak, sert toprak ve ve yumuşak toprak olmak üzere 4 farklı zemin tipi üzerindeki aynı düzensizliklere sahip 4 binanın hasar durumlarını modellemeye gayret göstermişlerdir. Çalışmanın sonucunda ise zemin tipi farklılığının hasar üzerindeki etkisinin sınırlılığına vurgu yapmışlardır [134].

Bektaş ve Orsolya, 2022 yılındaki çalışmalarında, deprem mühendisliği alanındaki son gelişmelerin binalardaki risk seviyelerini değerlendirmek için ne denli katkıda bulunduğuna vurgu yapmışlardır. Bu araştırma yöntemlerinin, bir binadaki veya yapısal bileşenlerindeki hasar seviyelerini değerlendirmek için geliştirilen hızlı görsel tarama (HGT), sismik risk indeksleri ve güvenlik açığı değerlendirmeleri olduğunu ifade etmiş ve sokaktan tarama yöntemiyle depreme eğilimli bölgelerdeki mevcut büyük yapı stokunun deprem öncesi ve/veya sonrası hızlı taranması için HGT yöntemini önermişlerdir. Bölgenin depremselliği, toprak tipi, bina tipi ve buna karşılık

gelen bina karakteristik özelliklerinin ayrı ayrı incelenmesi ve her binanın kırılganlık seviyesinin HGT yöntemleri kullanılarak belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışma, geleneksel HGT yöntemlerini kullanan önceki araştırmaların bulgularını bir çerçeve içinde tanımlamakta, değerlendirmekte ve karşılaştırmaktadır. Ayrıca, belirli hedefler için kullanılacak yöntemleri önermekte ve ileriye dönük iyileştirme stratejileri içermektedir. Ayrıca, makale zaman alan HGT yöntemlerini de tartışmaktadır (NRCC bir saat gerektirirken 15 ila 30 dakika süren FEMA 154 gibi) ve yöntemlerin uygulama alanlarına genel bir bakış sunmaktadır. Geleneksel HGT yöntemlerine dair bu inceleme, mühendisler ve mimarlar gibi uygulayıcılar için kapsamlı bir rehber görevi görmekte ve araştırmacıların gelecekteki iyileştirmeleri için geliştirme teknikleri (örneğin, makine öğrenimi, bulanık mantık) önermektedir [56].

Ruggieri vd. 2020 yılındaki çalışmalarında, hastane ve okul binaları gibi kritik tesislerin sismik kırılganlık değerlendirmesinin, deprem sonrası acil durumlarda acil işlevselliklerini garanti altına almak için büyük önem taşıdığını belirtmiş, çok sayıdaki okul ve hastane binasının acilen incelenmesi gerektiğinden bütün bu binaları hızlıca sınıflandırmak için HGT uygulanmasını önermişlerdir. Yöntemle, daha yüksek sismik riske sahip binalara öncelik vermeyi ve karar vericilere sismik risk azaltma stratejilerinin uygulanmasında yardımcı olmayı amaçlamaktadırlar. Metodoloji, betonarme (RC) okul binalarının sismik riskini, bir bilgi formunun derlenmesi yoluyla değerlendirmektedir. Yapısal ve yapısal olmayan kırılganlığın ana kaynakları anket formunda ele alınmıştır. Tehlike ve maruziyetin etkisi, basitleştirilmiş parametrelerle emniyet endeksinin hesaplanmasında hesaba katılır. Önerilen HGT yöntemi, daha detaylı analiz gerektirenleri belirlemek için çok sayıda binaya hızlı bir şekilde uygulanabilir. Önerilen yöntem, Güney İtalya'daki Apulian Bölgesi'ndeki tipik okul binalarının bir örneğine uygulanmıştır. Önerilen HGT yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar, etkinliğini değerlendirmek için daha gelişmiş sayısal analizlerle karşılaştırılmıştır [135].

2.2. İnşaat Mühendisliği Alanında Yapay Zekâ ile ilgili Çalışmalar

Golnaraghi vd. 2019 da yayınlanan çalışmalarında, işgücü odaklı bir endüstri olan inşaat sektöründe, projelerde verimlilik oranını artırmak amacıyla, *"Denetimli Öğrenme*" algoritmalarını kullanan *Yapay Sinir Ağları (ANN)* tekniklerini kullanmış

ve modelleme kolaylığı ve tahmin doğruluğu sayesinde istatistiksel regresyon tekniklerinden daha yararlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada çevresel ve operasyonel değişkenler dikkate alınarak beklenen verimlilik modellenmiştir. Genel Regresyon Sinir Ağı (GRNN), Geri Yayılım Sinir Ağı (BNN), Radyal Temel Fonksiyonlu Sinir Ağı (RBFNN) ve Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) dâhil olmak üzere çeşitli ANN teknikleri, beklenen üretkenliği tahmin etmek için en iyi yöntemi seçmek amacıyla kendi sonuçlarını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Sonuçlar, BNN'nin inşaat işçiliği verimliliğini modellemek için diğer tekniklerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir [136].

Pan ve Zhang, 2021 yılındaki çalışmalarında, Yapay zekânın (YZ) yaygın olarak benimsenmesiyle, inşaat mühendisliği ve yönetiminin (CEM) hızlı bir dijital dönüşüm yaşadığını belirterek. CEM'deki yapay zekâ tabanlı çözümler araştırma odağı haline geldiğinden, kapsamlı bir şekilde anlaşılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu bağlamda, CEM de YZ kullanımına dair mevcut durumu sunmak ve gelecekteki araştırma eğilimlerini tartışmak için hem bilimsel ölçüm hem de nitel analiz altında sistematik bir derleme sunmuşlardır. Başlangıç olarak, 1997 yılını alarak 2020 yılına kadar yayınlanan 4.473 dergi makalesinde, anahtar kelimelerin, dergilerin ve kümelerin özelliklerini keşfetmek için bir ölçümsel inceleme yapmışlardır. Özellikle son 10 yılda, anahtar kelime popülaritesindeki uzman sistemlerden bina bilgi modellemesine (BIM), dijital ikizler ve diğerlerine geçişle birlikte ilgili makalelerde bir patlama olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra, otomasyon, risk azaltma, yüksek verimlilik, dijitalleşme ve bilgisayar görüşü açısından YZ'nın ortaya çıkan eğiliminden yararlanılabilecek kısa bir CEM anlayışı sağlamıştır [137].

Getahun vd. 2018 yılındaki çalışmalarında, İnşaat enkazları ve tarımsal atıkların dünyadaki en önemli çevresel kirleticilerden olduğunu ve bu malzemelerin büyük bir kısmının aslında geri dönüştürülebilir olduğunu ve diğer işlerin yanı sıra genel inşaat ve kaldırımlar için agrega ve çimento ikameleri olarak yeniden kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu amaçla Portland çimentosu ve bakir agregaların yerine kısmen kullanılan pirinç kabuğu külü (RHA) ve geri kazanılmış asfalt kaplaması (RAP) içeren betonun 28 günlük mukavemetini tahmin etmek için yapay sinir ağı (ANN) modeli geliştirmeye çalışmışlardır. ANN modeli, sırasıyla 0.648 ve 0.072 MPa tahmin hatası

değerleriyle basınç ve çekme bölünme mukavemetlerini tahmin etmiştir. Model, basınç dayanımını (f_c) ortalama olarak 0.123 MPa iken, çekme mukavemetini (f_{Ts}) 0.019 MPa ile. Tahmin edilen basınç ve gerilme dayanımları, deneysel sonuçlardan sırasıyla ortalama %2.088 ve %2.905 oranında sapmıştır. Sonuçlar, ANN'nin RHA ve RAP içeren betonun basınç ve çekme dayanımlarını tahmin etmek için bir araç olarak kullanılacak kadar verimli bir model olduğunu göstermektedir [138].

Shang ve Nguyen, 2019 yılındaki çalışmasında, tezgâh patlatmanın neden olduğu zemin titreşimini tahmin etmek için sağlam bir performansa sahip yeni bir hibrit yapay zekâ modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Yapay bir sinir ağı (ANN), bu amaç için FFA-ANN modeli olarak kısaltılan ateşböceği algoritması (FFA) ile birleştirilmiştir. Önerilen FFA-ANN modelinin gücünü doğrulamak için bir sınıflandırma ve regresyon ağacı geliştirilmiştir. Vietnam'daki bir taş ocağı madenindeki seksen üç patlatma olayı, geliştirilen modeller aracılığıyla zemin titreşimi tehlikesini değerlendirmek için araştırılmıştır. Modellerin performansını değerlendirmek için basit bir sıralama yöntemi tekniği de uygulanmıştır. Sonuçlar, FFA'nın patlamaya bağlı zemin titreşimini tahmin etmekte ANN modelini optimize etmek için hayati bir role sahip olduğunu göstermiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Ülkemiz geçmişte çok sayıda ölüme ve ciddi maddi hasara neden olan çok sayıda yıkıcı deprem yaşadı. Yıkıcı depremlerin oluşumundaki sıklık ülkemizin sismik tehlike düzeyinin ne denli yüksek olduğunu açıkça ortaya koymakta ve kapsamlı bir deprem afet risk yönetimi politikasına olan ihtiyacı öne çıkarmaktadır.

Kırsal alanlardaki ekonomik fırsatların azalması ile kırsaldan kente göç tetiklenmiş ve kentsel alanlarda hızla artan nüfus ve barınma ihtiyacı plansız büyümeye neden olmuştur. Hızlı kentleşmenin ve kontrolsüz büyümenin sonucu olarak gecekondulaşma çoğalmış ve standart dışı (yönetmeliklere uygun olmayan) yapıların yapı stoku içerisindeki oranı her geçen yıl artmıştır.

Yeni oluşan imarsız alanlar bile ne acıdır ki yeni yapılan yapıların dahi kötü tasarlanmış ve kötü inşa edilmiş binalardan oluştuğu göze çarpmaktadır. Üstelik zamanın yönetmeliklerine uygun yapılmış eski binalar bile en son yönetmeliklerin daha katı ölçütlerine uymayabilir. Ülkemizin hasar görebilirlik seviyesi, kentsel alanlardaki hem yeni hem de eski inşaatlarda büyük hasar ve kayıplar yaşadığı 1939 Erzincan, 1999 Kocaeli, 2003 Bingöl, 2020 Elâzığ ve 2021 İzmir depremlerinde acı şekilde tecrübe edildi. Bu depremlerde son 50 yılda inşa edilmiş çok sayıda beton bina da ağır hasar gördü ve bu binalar, uygun şekilde tasarlanıp inşa edilmiş olsalardı kuvvetle muhtemeldir ki çok daha az hasar göreceklerdi.

3.1. Hızlı Görsel Tarama Prosedürleri (RBTY, FEMA, IITK)

Kapsamlı bir deprem afet risk yönetimi politikasının temel bir bileşeni olarak, Türkiye'nin kentsel alanlarındaki binaların sismik kırılganlığının değerlendirilmesine acil bir ihtiyaç vardır. Ayrıntılı sismik hassasiyet değerlendirmesi, teknik olarak karmaşık ve pahalı bir süreçtir ve yalnızca sınırlı sayıda binada gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, daha karmaşık değerlendirme süreçlerinin en kritik binalarla sınırlandırılabilmesi için, farklı bina tiplerinin hasar görebilirliğini hızlı bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olabilecek daha basit prosedürlerin kullanılması çok önemlidir.

Bu öneme atfen depremlere maruz ülkelerdeki pek çok araştırmacı eldeki yüksek yapı stokunu değerlendirebilecek hızlı sınıflandırma yöntemleri arayışlarına girişmiş ve bunun neticesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunların genel yaklaşımları binalardaki olumsuzluk parametreleri üzerinden ilerlemekle birlikte her ülkenin kendine has olumsuzluklar ve kendine özgü inşaat pratikleri içermesi nedeniyle çeşitli özellikleri itibariyle birbirlerinden ayrışmaktadır.

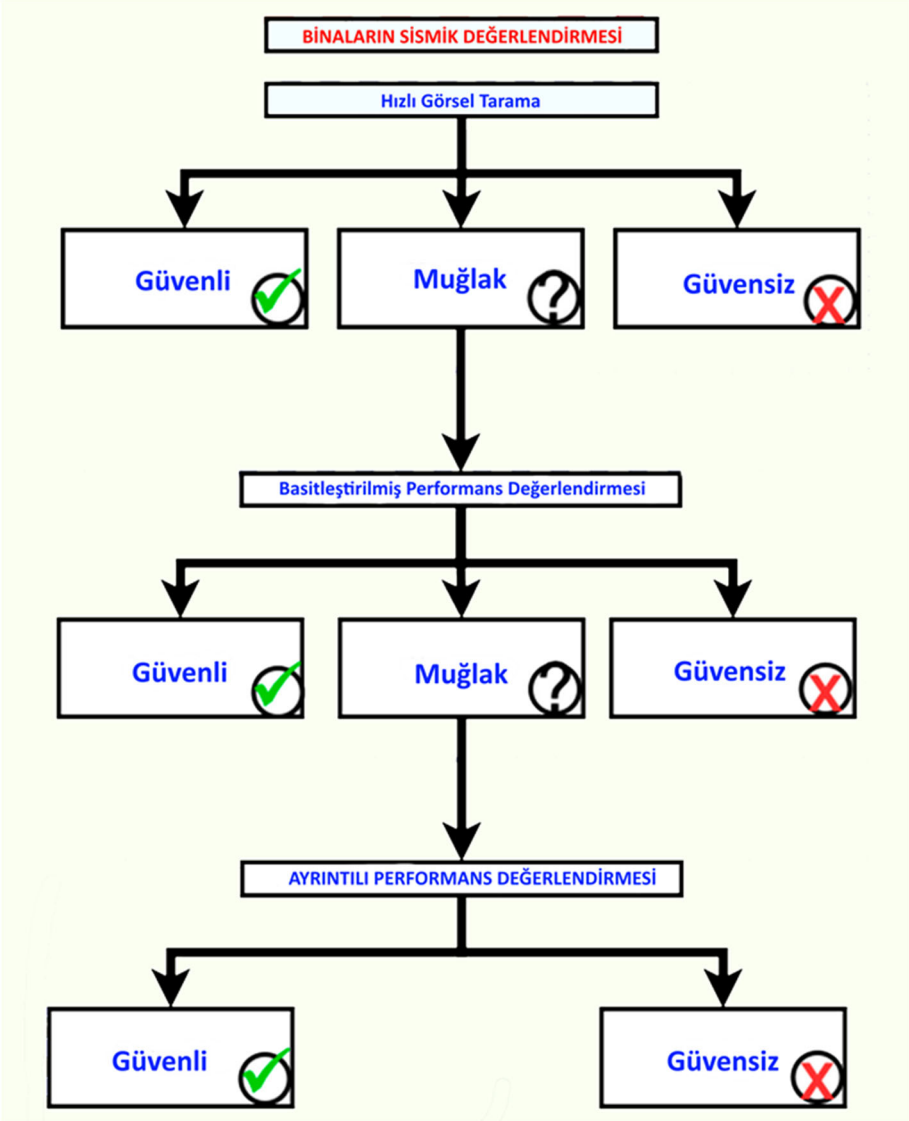
Hızlı görsel tarama (HGT) için bir prosedür ilk olarak 1988'de ABD'de önerilmiştir. 2002'de en son teknolojik gelişmeleri ve 1990'lardaki deprem felaketlerinden alınan dersleri içerecek şekilde daha da geliştirildi [139-141].

Bu HGT prosedürü, orijinal olarak ABD'deki tipik yapılar için geliştirilmiş olmasına rağmen, uygun modifikasyonlardan sonra diğer birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu prosedürün en önemli özelliği, eğitimli bir değerlendirici tarafından binanın çevresinde dolaşmaya dayalı güvenlik açığı değerlendirmesine izin vermesidir. Değerlendirme prosedürü ve sistemi, CBS tabanlı şehir veri tabanı ile uyumludur ve toplanacak bina bilgilerinin çeşitli başka planlama ve hasar azaltma amaçları için kullanılmasına izin verir.

Türkiye'nin deprem afet risk yönetimi aşağıdaki prosedürleri içermektedir [8].

1. Yalnızca görsel değerlendirme ve sınırlı ek bilgi gerektiren hızlı görsel tarama (HGT) (Seviye 1). Bu prosedür tüm binalar için tavsiye edilir.
2. Görsel gözlemlerden ve yapısal çizimlerden veya saha ölçümlerinden elde edilen bilgilere dayalı olarak sınırlı mühendislik analizi gerektiren basitleştirilmiş performans değerlendirmesi (BPD) usul (Seviye 2 prosedürü). Bu prosedür, insan yoğunluğunun yüksek olduğu tüm binalar için tavsiye edilir.
3. Yeni bir binanın tasarımı için gerekli olana benzer veya daha karmaşık olan ayrıntılı bilgisayar analizi (Pushover-Time History vb.) gerektiren ayrıntılı performans değerlendirmesi (APD) prosedürü (Seviye 3 prosedürü). Bu prosedür tüm önemli ve yaşamsal binalar için tavsiye edilir.

Hızlı Görsel Tarama (HGT) prosedürünün uygulanmasında öncelikle binaların kısa listesinin yapılması faydalı olacaktır. Basitleştirilmiş Performans Değerlendirme prosedürü, binanın sismik dayanımının daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacak ve daha karmaşık performans (Ayrıntılı Performans Değerlendirmesi APD) değerlendirmesi ihtiyacının belirlenmesi için temel oluşturacaktır. HGT, ayrıntılı performans değerlendirmesinin her zaman gerekli olduğu kritik yapılar dışındaki tüm binalar için faydalı olacaktır.



Şekil 3-1 Deprem afet risk yönetiminin aşamaları [56]

3.1.1 RBTY yönteminin kapsamı ve etkinliği

RBTY yöntemi, herhangi bir yapısal hesaplama yapılmadan uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. Prosedür, değerlendiricinin yapısal sistemi tanımlamasını ve sistem için beklenen sismik performansı etkileyen faktörleri, incelediği bina için taramasını gerektiren bir puanlama sistemine dayanır. Veri toplama, inceleme ve karar verme süreci tipik olarak şantiyede gerçekleşir ve her bina için yaklaşık 30 dakika sürmesi beklenir.

Tarama, sismik tehlike ve hasar görebilirlik puanlamasına dayalıdır. Puanlar, bölgede beklenen yer sarsıntısı seviyelerine ve ayrıca şehir veya bölge için sismik tasarım ve inşaat uygulamalarına dayanmaktadır. Puanlar olasılık kavramlarını kullanır ve gelişmiş değerlendirme yöntemleriyle tutarlıdır. RBTY yöntemi, CBS tabanlı şehir planlama veri tabanı ile birleştirilerek gelişmiş bir risk analiz yazılımı elde edilebilir. Bu takdirde gelecekte bilimsel veya teknolojik gelişmeler nedeniyle elde edilebilecek yeni bilgilere dayalı olarak hâlihazırda incelenmiş binaların risklerinin kolay ve hızlı bir şekilde yeniden değerlendirilmesine izin verir.

RBTY yöntemi hem kırsal hem de kentsel alanlarda uygulanabilir. Bununla birlikte, inşaat uygulamalarındaki çeşitlilik, kentsel alanlar için daha kolay ölçülebilir ve kırsal alanlar için RBTY sonuçlarının güvenilirliği çok düşük olabilir. Bu nedenle, RBTY yönteminin kırsal alanlarda standart olmayan (veya yönetmelik dışı) inşaatlar için yalnızca yeterli dikkatle kullanılması tercih edilir. RBTY yöntemi, binalar dışındaki yapılar için de tasarlanmamıştır. Köprüler ve yaşam hattı tesisleri gibi önemli yapılar için ayrıntılı değerlendirme yöntemlerinin kullanılması tavsiye edilir. Kentsel alanlarda bile, mühendislik hizmeti görmemiş binaların çok zayıf bazı biçimleri, düşük sismik kırılganlıkları ile iyi bilinirler ve bunların kırılganlıklarını tahmin etmek için RBTY ihtiyaç duymazlar. Bu bina türleri de RBTY sürecine dâhil değildir.

3.2. FEMA-P154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi

En son 2015 yılında güncellenerek bugün kullanılan halini almıştır. Yöntem iki aşamadan oluşmaktadır ancak ikinci aşamanın kullanımın isteğe bağlıdır. Birinci aşamanın sahada uygulanması için ortalama 15 dakikalık bir süre yeterlidir. Yöntem sahada uygulanmadan evvelki hazırlık dönemi itibariyle diğer yöntemlerden

ayrışmaktadır. Bu yöntemde sahaya çıkmadan önce ciddi bir araştırma süreci gerekmektedir.

Hızlı görsel tarama (HGT) prosedürü, sismik açıdan potansiyel olarak tehlikeli olan binaları belirlemek, envanterini çıkarmak ve taramak için geliştirilmiştir. İki aşamalı bir yöntem olan FEMA-154 HGT de, yapı potansiyel olarak tehlikeli diye tanımlandıktan sonra, sismik tasarım konusunda deneyimli bir tasarımcı tarafından, gerçekten sismik açıdan tehlikeli olup olmadığı ayrıca değerlendirilmelidir. HGT prosedürü, bir binanın sokak taramasına dayalı bir metodolojidir. Anketi yürüten kişinin binanın dışarıdan ve mümkünse içeriden görsel olarak gözlemlenmesine dayalı olarak doldurduğu bir Veri Toplama Formu kullanır. Anket sırasında toplanan verilere dayanarak, binanın beklenen sismik performansının bir göstergesini sağlayan bir puan hesaplanır.

Öncelikle incelenecek bina stokuna uygun veri toplama formu ele alınmalıdır (Ek A1, A2, A3, A4 ve A5 formlarından uygun olan ele alınarak işe başlanır. Binanın sadece dışarıdan bakılınca görülebilen fiziksel özellikleri ile yapısal özellikleri bu forma işlenir. Formdaki kriterlere göre yapılan toplama ile binaya ait sonuç puanı tespit edilir. Daha sonra bu S puanı bir limit L puan ile karşılaştırılarak binanın performans tahmini yapılır.

Formun binanın taşıyıcı sistemine ve malzemesine göre tespit edilmesi taramanın sağlıklı sonuç vermesini sağlayacaktır. Bu nedenle, taramayı yürüten kişilerin tarama öncesi tarama prosedürü hakkında eğitilmesi çalışmanın daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır. Ayrıca tarama ekibinin başında deneyimli bir mühendisin koordinasyonu sağlaması tavsiye edilir.

Yöntemde ilk olarak yapının bulunduğu bölgenin depremsel özelliklerine uygun veri toplama formunun seçilmesi gerekir. Bina dışarıdan ve mümkünse içeriden incelenerek olumsuzluk parametreleri kayıt altına alınır. Bu aşamada herhangi bir hesaplamaya dayanmadan sadece yöntemin önerdiği skor tablosuna göre puanlama yapılarak bir S puanı elde edilir. İncelenen her bina için hesaplanan bu S puanı, limit durumu tarif eden S_L ile karşılaştırılarak yapının performansına karar verilir. HGT ile

hesaplanan skor S, 2'den küçük ise "yetersiz performans", 2'den büyükse "yeterli performans" notu işlenir. Yetersiz performans puanı hesaplanan binalar için Ayrıntılı Performans Değerlendirmesi (APD) yapılmalıdır.

3.2.1 Bina bilgileri

Veri toplama formunun ilk bölümünde yapı genel bilgisinin girileceği bir çizelge mevuttur. Bu alanda yapının adı, adresi, posta kodu, kullanım amacı, lokasyonu, veri toplayıcının adı-soyadı, tarama yapıldığı tarih ve saat gibi bilgiler girilmelidir. Formun eskiz kısmında planın ve/veya varsa olumsuzluk parametrelerinin kısa bir şematik çizimi yapılacaktır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Bina ile ilgili genel bilgiler.

Adres			
		Posta Kodu	
Diğer Tanımlama Bilgileri			
Binanın Adı			
Kullanım			
Enlem		**Boylam**	
Ss		**S_1**	
Değerlendirenler		**Tarih/Saat**	

Veri toplama formunun ikinci bölümünde iki ayrı bölüm mevcuttur. Bunlardan biri yapının fotoğrafı için, diğeri ise plan ve görünüş çizimleri için oluşturulmuştur. Fotoğraf için ayrılan bölümde en az bir fotoğraf olmalı ve yapıyı temsil edecek açıdan çekilmelidir. Mümkünse bütün cephelerden fotoğraf koymak ileriki aşamada uzman mühendislerin denetimini kolaylaştıracaktır. Bu eskizlerde yatay ve düşey düzensizliklerin yanı sıra yumuşak kat, zayıf kat ve kısa kolon gibi olumsuzlukların da işlenmesi gerekir [124].

3.2.2 Yapının karakteristik özellikleri

Ön araştırma aşamasında bu bilgilerin elde edilmiş ve sahada veri toplayan kişinin işini kolaylaştırması adına forma işlenmiş olması gerekir.

3.2.2.1 Toplam kat sayısı

Depremin verdiği hasarın genellikle kat yüksekliği ile ilgili olduğu kabul edilir. Bu nedenle kat sayısı sayılarak bina toplam yüksekliği ile ilgili bir parametre elde edilmiş olur (Tablo 3.2). Eğer bina yamaçta yer alıyorsa, en çok katın sayılabildiği cepheden kat sayısı tayin edilmelidir.

Tablo 3.2 Binanın karakteristik özellikleri

Kat Sayısı	_____	Zemin Üstü	_____	Zemin Altı	_____	Yapım Yılı	_____	☐ THM
Toplam Kat Alanı	_____					Yönetmelik Yılı	_____	
Ekler	☐	Yok	☐	Var	Yapım Yılı	_____	☐	THM

3.2.2.2 Yapım yılı ve yönetmelik yılı

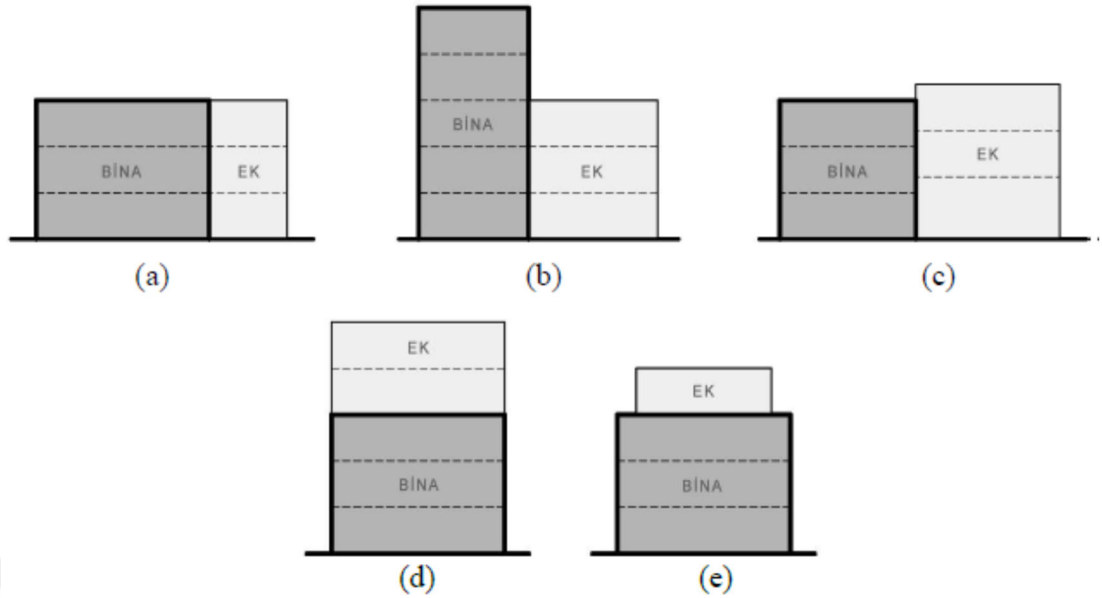
Ön araştırmada, yapım yılı ve yapıldığı zaman tabi olduğu yönetmeliğin yürürlük tarihi eğer bulunamadı ise binanın kesit ebatları gibi tasarımsal özelliklerinden kabaca hangi dönemde inşa edilmiş olabileceğine dair tahminde bulunulabilir.

3.2.2.3 Toplam kat alanı

Ön çalışmadan elde edilemedi ise binanın kabaca eni ile boyunun çarpımı il elde edilebilen bir parametredir.

3.2.2.4 Eklentiler

Binaların inşasından sonra kullanıcı müdahalesi ile ekler yapılmış olabilmektedir. Bazen bir odunluk veya müştemilat olabilir bu. Bazen de bir garaj. Böyle eklentilerin varlığı durumunda kat yükseklikleri de farklı olabilmektedir. Ayrıca eklentinin dilatasyonla ayılıp ayrılmadığı anlaşılmalıdır. Bu eklentilerin her birisinin sismik tepkisi farklı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Eklentiler mevcut ise mutlaka yanındaki kutucuk işaretlenmeli ve yapım yılı kaydedilmelidir.



Şekil 3.2 Yatayda ve düşeyde eklentiler

3.2.2.5 Yapının kullanım durumu

Yapının kullanım şekli işlevi ile ilgili olmakla birlikte özünde yapı önem katsayısını tarif etmektedir. Bu tasarım aşamasında deprem yükünü değiştiren bir katsayıdır. Bazı durumlarda yapının tasarlanma amacı ile kullanılma amacı farklı olabilmektedir. Bu tür bir farklılık dikkate alınmalıdır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Yapı kullanım durumu

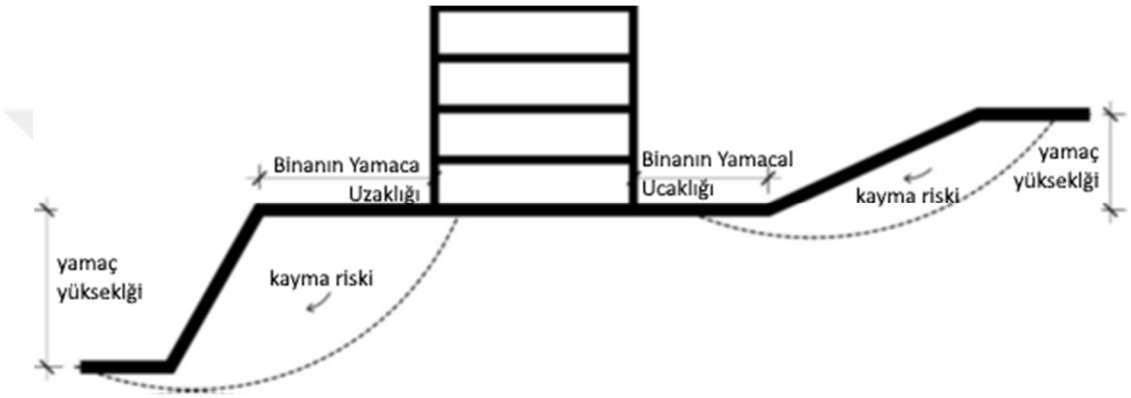
Kullanım	Toplantı		Ticari		Acil Hizm.		Tarihi	
	Endütri		Ofis		Okul		Devlet	
	Kamu		Depo		Konut		Sığınak	

3.2.3 Jeolojik tehlikeler

Binanın bulunduğu bölgede fay, toprak kayması veya sıvılaşma gibi jeolojik tehlikeler mevcut ise mutlaka ilgili alanda belirtilmesi gerekmektedir (Tablo 3.4). Her ne kadar yapının taşıyıcı sistemi deprem bakımından risk taşımasa da bu gibi jeolojik tehlikeler hasar riskini arttırmaktadır. Bu durumlarda daha detaylı bir çalışma yürütülmesi gerekmektedir.

Tablo 3.4 Jeolojik tehlikeler

		Evet	Hayır	Belirsiz
Jeolojik Tehlikeler	Sıvılaşma			
	Toprak Kayması			
	Yüzey Faylanması			



Şekil 3.3 Binanın kayma riski olan yamaçlara olan uzaklığı ve yamaç yüksekliği

3.2.4 Bitişik düzendeki yapılar

Aralarında uygun şekilde dilatasyon teşkil edilmediği takdirde bitişik düzendeki yapılar, deprem halinde iken sağa sola sallanırken birbirlerine çarparlar. Buna çekiçleme etkisi denir. Bitişik düzende inşa edilen ve kat yükseklikleri birbirinden farklı olan binalarda yatay kuvvetler etkisiyle binalardan birinin kat döşemesinin diğer binanın düşey taşıyıcı elemanında hasara neden olması durumu oldukça sık karşılaşılan hasarlardan biridir (tablo 3.5). Bitişik Nizam söz konusu ise formda ilgili bölüm işaretlenmelidir.

Tablo 3.5 Bitişik nizam yapılar

Bitişik Nizam		Çekiçleme	Yan Binadan Düşme Tehlikesi olan Eleman

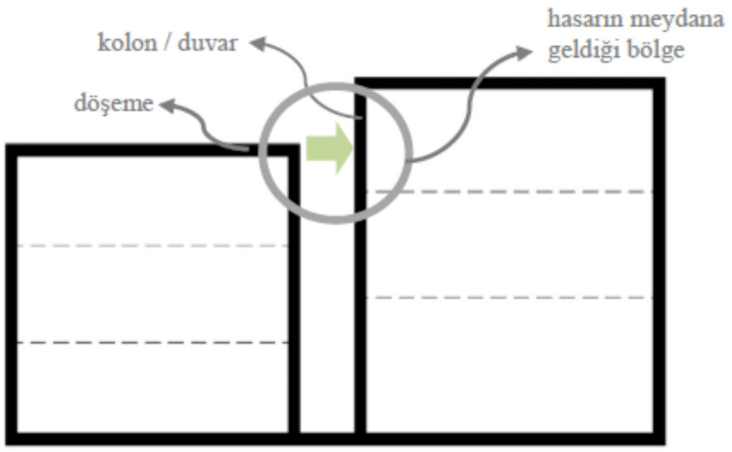
Tablo 3.6 Minimum dilatasyon boşluğu

Mesafe		Deprem Bölgesi
2,00	inch	Depremselliğin ***Çok Yüksek*** Olduğu Bölgeler
1,50	inch	Depremselliğin ***Yüksek*** Olduğu Bölgeler
1,00	inch	Depremselliğin ***Orta Yüksek*** Olduğu Bölgeler
0,50	inch	Depremselliğin ***Orta ve Düşük*** Olduğu Bölgeler

Bitişik düzendeki binalar arası dilatasyon, minimum derz aralığından daha az ise ve aşağıda sözü edilen üç durumdan en az biri gözlemleniyor ise çekiçleme etkisi işaretlenir (Tablo 3.6).

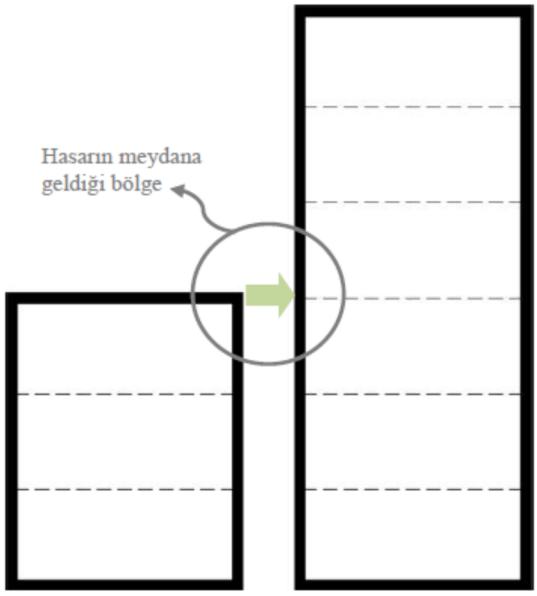
I. Bitişik iki döşeme hizası birbirine göre düşeyde 2 feet ten daha fazla farklı konumda ise birinin döşemesi diğerinin kolonunda veya duvarında hasar oluşturabilir (Şekil 3.4).

II.



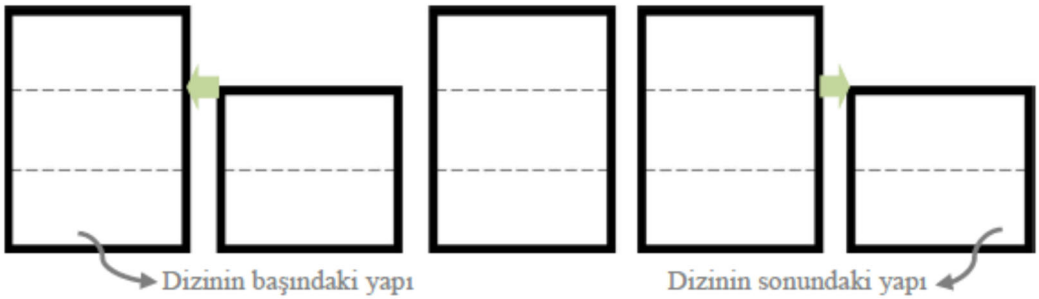
Şekil 3.4 Çekiçleme etkisi

III. Yapılardan birinin kat sayısı diğerinden iki ya da ikiden fazla ise hasar, uzun olan yapıda kısa olan yapının çatı hizasında yoğunlaşmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Farklı yükseklikteki binalarda çekiçleme

IV. Bitişik bir bina dişinin başında ya da sonundaki bina deprem etkisiyle en çok hasarı almaktadır. Ortadaki yapıların her iki tarafı dolu olduğundan dengededir ancak baştaki ve sondaki yapıların yükü dengesizdir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Bitişik bina dizisi

3.2.5 Düzensizlikler

Genellikle bir binanın birinci katı, zemin katta ticari alan ve üst katta daireler bulunan bir binada olduğu gibi, yukarıdaki katlardan daha yüksektir. Köşedeki bir binanın sokağa bakan iki yanında çok sayıda pencere olabilir, ancak diğer iki yanında sağlam duvarlar olabilir. Bu gibi düzensizlikler, talepleri belirli kat seviyelerinde veya elemanlarında yoğunlaştırarak bir binanın sismik performansını olumsuz etkiler.

Yoğun talepler hasara, başarısızlığa ve bazı durumlarda çökmeye yol açabilir. Yapıda düzensizlik var ise veri formunda işaretlenmeli ve düzensizlik tipi belirtilmelidir.

Tablo 3.7 Düzensizlikler

Düzensizlik	☐	Düşey Düzensizlikler	_____
	☐	Planda Düzensizlikler	_____

Seviye 1 taramasında aşağıdakilerden herhangi birini görürse tarayıcı bunları formun Düzensizlikler bölümünü kullanarak açıklar (Tablo 3.7). Düşeyde düzensizlikler; Zayıf kat ve yumuşak katlar, kısa kolonlar, kapalı çıkmalar, geri çekmeler ve kat uyuşmazlığı gibi etkenler düşeyde düzensizliğe neden olmaktadır.

3.2.5.1 Zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliği

Bir kattaki dolgu duvarların diğer katlara göre daha az olması ya da hiç olmaması, yapının deprem kuvveti etkisiyle dolgu duvarların az olduğu kat hizasında büyük hasar görmesine neden olmaktadır. Dolgu duvarları olmayan katın yataydaki yer değiştirmelere karşı direnci, dolgu duvarların çok olduğu katlara göre daha azdır. Bu durum zayıf kat düzensizliği olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.7).

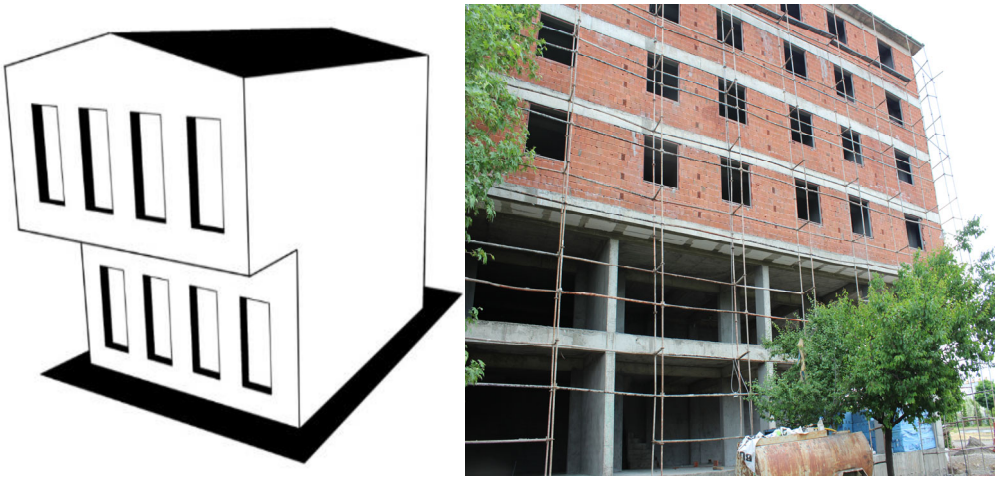


Şekil 3.7 2003 Bingöl depreminde zayıf kat nedeniyle ağır hasar gören bir bina

Yumuşak kat düzensizliği, bir katın diğer katlara göre daha az dolgu duvarın ya da daha az kolonun olması nedeniyle rijitliğinin diğer katlara göre daha az olmasıdır. Yumuşak kat ya da zayıf kat düzensizliğinin gözlem yapılarak anlaşılması zor olmakla birlikte aşağıda belirtilen durumlar söz konusu olduğunda veri toplama formuna ciddi derecede düşeyde düzensizlik olarak işaretlenmelidir.



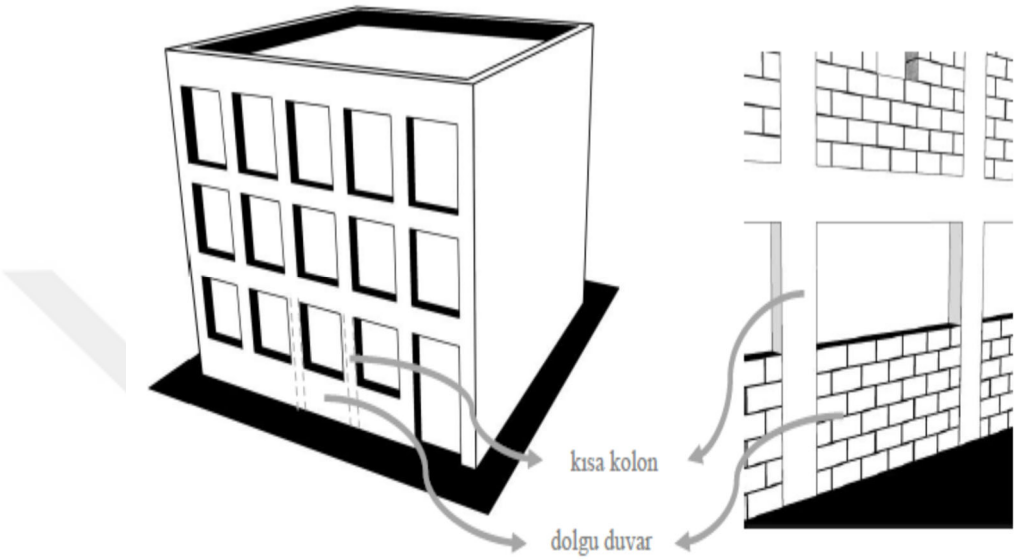
Şekil 3.8 Zayıf kat, yumuşak kat, döşemelerde seviye farklılığı



Şekil 3.9 a) Kapalı çıkma b) Kapalı çıkma + zayıf/yumuşak [8, 14]

3.2.5.2 Kısa kolon oluşumu

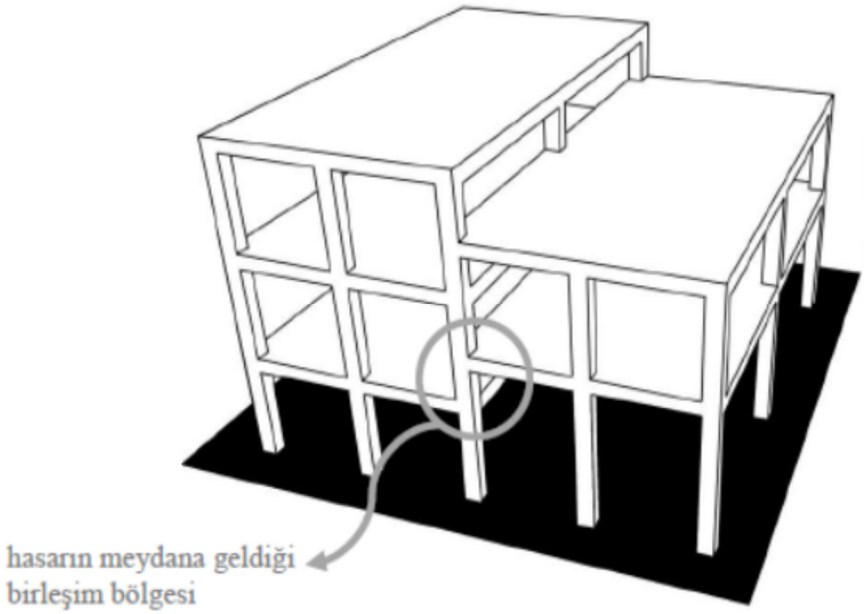
Kısa kolonlar, dolgu duvarlar özellikle duvarın belirli bölgesine kadar esnek derz uygulanmadan örülmesinden dolayı oluşmaktadır. Ciddi derecede hasar yapıcı hatta yıkıcı bir etkendir. Diğer bir neden ise kat arasına döşeme eklenmesidir (Şekil 3.22).



Şekil 3.10 Şematik kısa kolon gösterimi [14]



Şekil 3.11 Kısa kolon, yumuşak/zayıf kat, kapalı çıkma



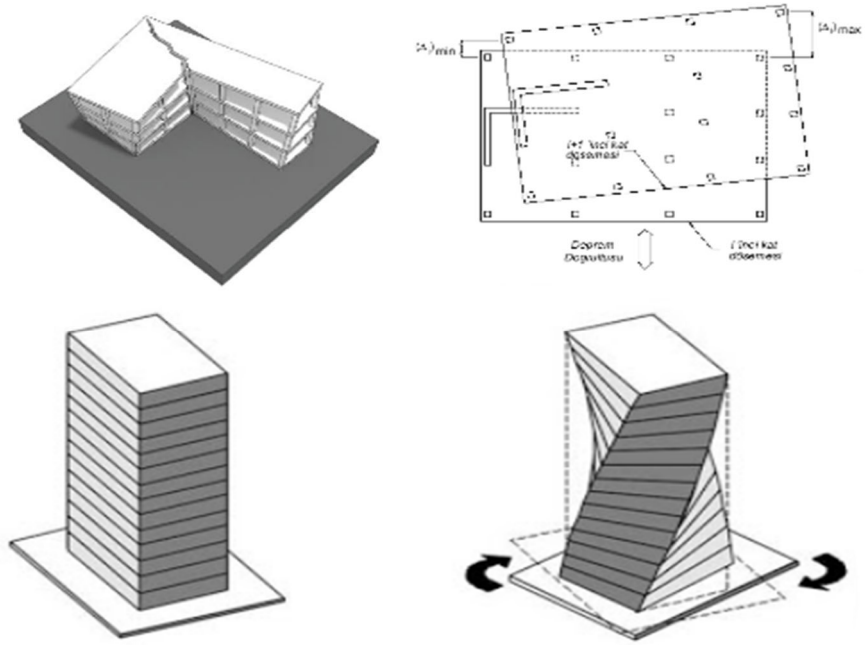
Şekil 3.12 Katlar arası seviye uyuşmazlığı şematik gösterimi [124]

3.2.6 Planda düzensizlikler

Özellikle ahşap yapılar üzerinde çok daha etkili olduğu bilinen plan düzensizliği hemen hemen bütün yapı tiplerinde görülmektedir. Ancak özellikle prefabrik olarak üretilen elemanlarda çok dikkat edilmesi mümkünse kaçınılması gerekir. Genel olarak beş tip plan düzensizliği söz konusudur [5, 14].

3.2.6.1 Burulma düzensizliği

Burulma düzensizliği, genelde yapının taşıyıcı sisteminin bir yönde rijit, diğer yönde daha zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Genellikle taşıyıcı elemanların en kesitlerinin x ve y yönünde dengeli dağılmamasından kaynaklanan bir düzensizlik türüdür. Bu düzensizlikten taşıyıcı eleman en kesitlerini dengeli şekilde dağıtarak kurtulmak mümkündür [14].

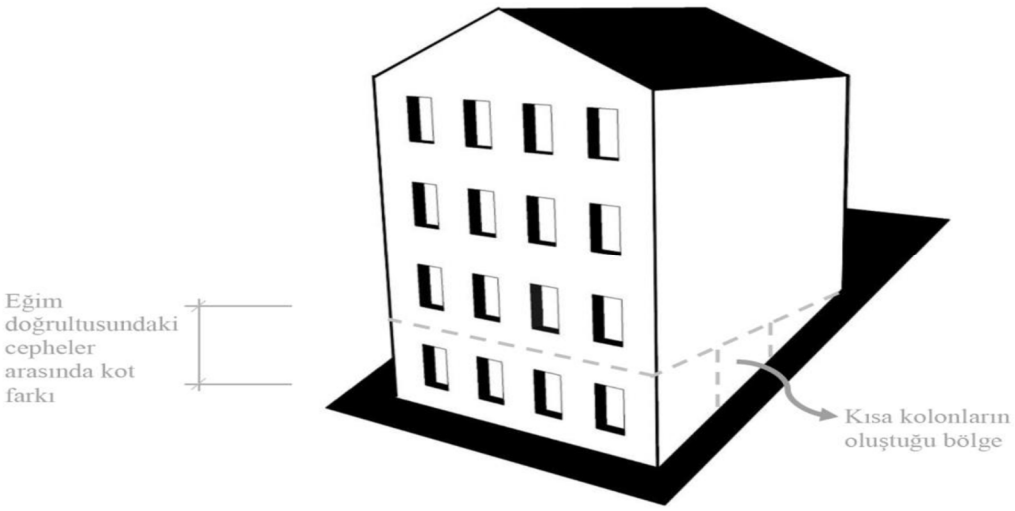


Şekil 3.13 Burulma düzensizliği şematik gösterim [14]

Tasarım aşamasında durum planda rijitlik dağılımı düzensizliğine yol açmakta ve yapı deprem kuvveti etkisiyle rijitlik merkezi etrafında burulmaktadır.

3.2.6.2 Eğimli arazi düzensizliği

Eğimli arazide yapılan binalarda, yapının alt bölümü ve üst bölümünün rijitliği birbirinden farklı olmaktadır. Ayrıca yapıda arazideki eğim nedeniyle kısa kolonlar oluşmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.14 Eğimli arazi düzensizliği [14]

Binanın eğim doğrultusundaki altta kalan cephe ile üstteki cephe arasında 1 kattan fazla fark var ise bu durum eğimli arazi düzensizliğidir. W1 tipi binalar için (ahşap iskeletli, 1 bir ya da birden fazla katlı) ciddi derecede düşeyde düzensizlik, diğer bina tipleri için orta derecede düşeyde düzensizlik olarak değerlendirilir.



Şekil 3.15 Yamaç etkisinde bir bina [14]

3.3. Hint Yöntemi (IITK-GSDMA)

Mevcut Binaların Sismik Değerlendirmesi ve Güçlendirilmesine yönelik olarak Gujarat Devlet Afet Hafifletme Kurumunun (GSDMA) desteğiyle, Hindistan Teknoloji Enstitüsü Kanpur (IITK) tarafından FEMA-P154'e dayalı bir HGT metodolojisi geliştirilmiştir [142]. Hindistan koşulları göz önünde bulundurularak FEMA-P154'te uygun uyarlanmıştır. Bu uyarlamalar yalnızca puanların ve parametrelerin değerlerini kapsamakta, hesaplama prosedürü ise FEMA-P154'e benzemektedir. IITK-GSDMA için FEMA-P154'ünkine benzer bir veri toplama formu kullanılır. Binanın tüm önemli bilgilerini, binanın fotoğraflarını ve planını koyacak boşluklar içermektedir. Çeşitli sismik bölgeler için farklı veri toplama formlarına

sahiptir [143]. Sismik bölgelerin sınıflandırılması aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 3-8).

Tablo 3.8 Deprem bölge sınıflandırması [143]

Deprem Bölgesi	**Deprem Tehlike Seviyesi**
II Bölge	Düşük sismik tehlike (deprem sırasında maksimum hasar, MSK şiddeti VI'ya kadar olabilir)
III Bölge	Orta derecede sismik tehlike (deprem sırasındaki maksimum hasar, MSK yoğunluğu VII'ye kadar olabilir)
IV Bölge	Yüksek sismik tehlike (deprem sırasında maksimum hasar, MSK yoğunluğu VIII'e kadar olabilir)
V Bölge	Çok yüksek sismik tehlike (deprem sırasındaki maksimum hasar, MSK yoğunluğu IX veya daha fazla olabilir)

Yöntemde bütün yapı tipleri genel olarak 4 ana kategoriye ayrılır:

(1) Yığma Yapılar,

(2) Betonarme Yapılar,

(3) Çelik Yapılar

(4) Ahşap Yapılar

Bunlar ayrıca çeşitli alt kategorilere de ayrılabilir. EMS-98'i (Avrupa Makrosismik Ölçeği) baz olarak aşağıdaki hasar görebilirlik sınıflandırması yürürlüğe konmuştur (Tablo 3-9) [144].

Tablo 3.9 Farklı yapısal tipler için sismik güvenlik açığı sınıflandırması [144]

Materyal	Yapının Taşıyıcı Sistemi	Alt Kategoriler	Hasar Görebilirlik Sınıfı					
			A	B	C	D	E	F
Yığma Yapılar	Taş Yığma Yapılar	Çamur/kireç harçlı veya harçsız moloz taş (tarla taşı) (genellikle ahşap çatılı)	O					
		Masif taş duvarcılık (kireç / çimento harçlı)	|-	-	O	-|		
	Toprak / Çamur / Kerpiç / Sıkıştırılmış Toprak Duvarlar	Çamur Duvarlar	O					
		Yatay ahşap elemanlar içeren çamur duvarlar	|-	O	-|			
		Kerpiç Duvarlar	O	-|				
		Sıkıştırılmış toprak / Pise inşaatı	O	-|				
	Pişirilmiş kil tuğla / blok duvar duvarları	Çamur harçlı donatısız tuğla yığma duvarlar	|-	O	-|			
		Dikey sütunlu, çamur harçlı donatısız yığma tuğla duvarlar	|-	O	-	-|		
		Kireç harcı ile donatısız yığma tuğla duvarlar	|-	O	-	-|		
		Betonarme zemin / çatı plakaları ile çimento harçlı donatısız yığma tuğla duvarlar		|-	O	-|		
		Lentolu, çimento harçlı, donatısız yığma tuğla duvarlar (çeşitli zemin / çatı sistemleri)		|-	O	-|		
		Beton direkler yatay/düşey hatıllar ile çevrelenmiş yığma tuğla / kerpiç duvarlar			|-	O	-|	
	Beton blok duvarcılık	Takviyesiz, kireç/çimento harçlı (çeşitli zemin / çatı sistemleri)		|-	O	-|		
		Betonarme, çimento harçlı (çeşitli zemin / çatı sistemleri)			|-	O	-|	
Betonarme	Moment aktaran çerçeveler	Yalnızca düşey yükler için tasarlanmış yapılar (sismik özellikler yoktur)	|-	-	O	-|		
		Sismik özelliklerle tasarlanmış (çeşitli yaşlarda)			|-	-	O	-|
		Donatısız yığma dolgu duvarlı çerçeve		|-	O	-	-|	
		Kirişsiz döşemeli sistemler		|-	O	-	-|	
		Prekast (ön üretimli) çerçeveler		|-	O	-|		
		Beton perde duvarlı çerçeve (ikili sistem)			|-	-	O	-|
	Perde duvarlı yapılar	Yerinde dökme duvarlar				|-	O	-|
		Prekast duvar paneli yapıları		|-	O	-|		
Çelik	Moment aktaran çerçeveler	Tuğla duvar bölmeleri ile			|-	O	-	-|
		Yerinde dökme beton duvarlarla			|-	-	O	-|
		Hafif bölmelerle				|-	O	-|
	Çaprazlı çerçeveler	Çeşitli zemin/çatı sistemleri ile				|-	O	-|
	Hafif çelik sistemler	Tek katlı hafif çelik karkas yapı			|-	-	O	-|
Ahşap Yapılar	Taşıyıcı ahşap çerçeveler	Saz çatı	|-	-	O	-|		
		Kolon ve kiriş çerçeveli			|-	O	-|	
		Bambu / kamış ağlı ve direkli duvarlar (Sepet Örgü ve çamur harç)		|-	O	-|		
		(Taş/tuğla) dolgu duvarlı çerçeve	|-	-	O	-|		
		Kontrplak/alçıpan kaplamalı çerçeve		|-	O	-|		
		Panel duvarlı çerçeve				|-	O	-|

O Büyük olasılıkla güvenlik açığı sınıfı
|- Olasılık alt sınırı
- Ortalama altı veya üstü
-| Olasılık üst sınırı

Bu tablodan değerlendirilecek yapının taşıyıcı sitemine göre hasar görebilirlik sınıfı tayin edilir. Daha sonra ise olumsuzluk parametrelerine göre puanlamalar yapılır. Puan Değiştiriciler:

- ***Orta Kat ve Yüksek Kat:*** Kat sayısına bağlı olarak bu değiştiricilerden biri seçilmelidir. Kat sayısı dört ile yedi (dahil) arasında ise, orta katlı değiştiriciler seçilmelidir. Yediden fazla ise, yüksek katlı değiştiriciler düşünülmelidir. Kat sayısı dörtten az ise, bu değiştiricileri dikkate almaya gerek yoktur [144].
- ***Düşey Düzensizlikler:*** Yükseldikçe eksilen basamak görünümü katlar, eğimli duvarlar, tepelerdeki binalar, yumuşak kat, kısa kolon ve desteklenmemiş serbest duvarlar gibi düzensizliklerden herhangi biri belirlenirse, bu değiştirici dikkate alınmalıdır [144].
- ***Plan düzensizliği:*** Bu değiştirici, L, T, U, E, + şeklinde girintili-çıkıntılı binalar ve her iki yönde farklı yanal dirence sahip binalar gibi herhangi bir düzensizlik gözlemlendiğinde dikkate alınmalıdır [144].
- ***Sismik Yönetmelik:*** Bu değiştirici, binanın hükümet tarafından önemli ölçüde iyileştirilmiş sismik yönetmeliklerin kabul edilmesinden ve uygulanmasından sonra inşa edilmişse dikkate alınabilir [144].
- ***Zemin tipi:*** Toprak tipine bağlı olarak, ilgili skor değiştirici uygulanmalıdır. Zemin sıvılaşabilir ise sıvılaşma değiştiricisi dikkate alınmalıdır. Toprak tiplerinin sınıflandırılması Hint Sismik yönetmeliğine dayanmaktadır [143].

EMS-98 (Avrupa Makrosismik Ölçeği) dayalı hasar sınıfı, bina hasarını 1'den 5'e kadar tanımlar. Hasar sınıflandırmaları, bir depremden sonra deprem yoğunluğunun değerlendirilmesine yardımcı olur. HGT'de kod düzeyinde deprem sırasında bir binanın olası hasarını tahmin etmek için kullanılırlar.

Tablo 3.10 Bina hasar sınıflandırması [144]

Yığma Binalar için Hasar Sınıflandırması	Betonarme Binalar için Hasar Sınıflandırması
Derece 1: Önemsiz ila hafif hasar (Yapısal hasar yok, hafif yapısal olmayan hasar) Çok az duvarda kılcal çatlaklar var. Sadece küçük sıva parçalarının düşmesi. Çok az vakada binaların üst kısımlarından gevşek taşların düşmesi.	**Derece 1: Önemsiz ila Hafif hasar (Yapısal hasar yok, hafif yapısal olmayan hasar)** Çerçeve elemanları üzerindeki sıvada veya tabandaki duvarlarda ince çatlaklar. Bölmelerde ve dolgularda ince çatlaklar.
Derece 2: Orta derecede hasar (Hafif yapısal hasar, orta yapısal olmayan hasar) Birçok duvarda çatlaklar. Oldukça büyük sıva parçalarının düşmesi. Bacaların ve kabakulakların kısmen çökmesi.	**Derece 2: Orta derecede hasar (Hafif yapısal hasar, orta yapısal olmayan hasar)** Çerçevelerin kolon ve kirişlerinde ve yapısal duvarlarda çatlaklar. Bölme ve dolgu duvarlardaki çatlaklar; kırılgan kaplama ve sıvanın düşmesi. Derzlerden dökülen harç duvar panelleri.
Derece 3: Önemli ila ağır hasar (orta yapısal hasar, ağır yapısal olmayan hasar) Çoğu duvarda büyük ve kapsamlı çatlaklar. Çatı kiremitleri ayrılır. Bacalar çatı hattında kırılır; bireysel yapısal olmayan elemanların (bölmeler, üçgen duvarlar vb.) göçmesi.	**Derece 3: Önemli ila Ağır hasar (orta yapısal hasar, ağır yapısal olmayan hasar)** Kolonlarda ve çerçevelerin kolon-kiriş birleşim yerlerinde, tabanda ve manşonlu duvarların birleşim noktalarında çatlaklar. Beton örtünün soyulması, takviyeli çubukların burkulması. Bölme ve dolgu duvarlarda büyük çatlaklar, tek tek dolgu panellerin arızalanması.
Derece 4: Çok ağır hasar (ağır yapısal hasar, çok ağır yapısal olmayan hasar) Duvarlarda ciddi hasar (duvarlarda boşluklar); çatıların ve zeminlerin kısmi yapısal arızası.	**Derece 4: Çok ağır hasar (ağır yapısal hasar, çok ağır yapısal olmayan hasar)** Yapısal elemanlarda, betonun basınç kırılması ve inşaat demirlerinin kırılması ile birlikte büyük çatlaklar; kiriş takviye çubuklarının bağ kopması; Sütunların eğilmesi. Birkaç sütunun veya tek bir üst katın çökmesi.
Derece 5: Yıkım (çok ağır yapısal hasar) Binanın tamamen veya tamamen çökmesi.	**5. Derece: Yıkım (çok ağır yapısal hasar)** Binanın zemin kat bölümlerinin çökmesi

3.4. Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler

Yapay sinir ağları, yapay zekâ biliminin altında, araştırmacıların çok yoğun ilgi gösterdikleri bir araştırma alanıdır. Bilgisayarların öğrenmesine yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Bu bölümde öncelikle yapay zekâ bilimine genel bir giriş yapılarak bilgisayarların karar verme ve öğrenme nitelikleri hakkında genel bilgiler verilecektir [145].

Yapay zekâ teknolojisi her geçen gün hayatımızda daha fazla dillendirdiğimiz bir olgu haline gelmektedir. Karmaşık problemlerin çözümünde insandaki nöron ağlarındaki öğrenme modelini rol model alan araştırmacılar bu yöntemi her geçen gün daha da geliştirmektedir. Yeni ürünler ortaya çıktıkça çeşitli alanlarda yapay zekâ teknolojisi ile donatılmış bilgisayar yazılımlarının karar verme gücünden faydalanılmaktadır. Yapay zekâ teknolojilerinden özellikle;

• **Uzman** sistemler: Bir uzmanın problemleri çözdüğü gibi problemlere çözümler üreten sistemlerdir. Uzmanlık bilgisi ile donatılırlar. Çıkarım mekanizmaları bilgiler arasındaki ilişkileri kurarak kararlar verirler.

• **Yapay sinir** ağları: Örneklerden olaylar arasındaki ilişkileri öğrenerek daha sonra hiçi görmediği örnekler hakkında öğrendikleri bilgileri kullanarak karar veren sistemlerdir.

• **Genetik** algoritmalar: Geleneksel optimizasyon teknolojisi ile çözülemeyen problemleri çözmek üzere geliştirilmişlerdir. Problemlerin çözümlerini birleştirerek daha iyi çözümler üretmek felsefesine dayanmaktadır.

• **Bulanık önermeler mantığı:** Belirsiz bilgileri işleyebilme ve kesin rakamlar ile ifade edilemeyen durumlarda karar vermeyi kolaylaştıran bir teknolojidir.

• **Zeki etmenler:** değişik yapay zekâ tekniklerini kullanabilen ve bağımsız olarak çalışabilen sistemlerdir. Esnek bir şekilde programlanmaktadırlar.

Bu teknolojiler günlük hayatta insanlara faydalı ürünlerin oluşmasına katkıda bulunmaktadırlar. Bunlardan yapay sinir ağları bilgisayarın öğrenmesini sağlamaktadır. Makine öğrenmesi zaman içinde davranışların iyileştirilmesi olarak tanımlanmaktadır.

3.5. Yapay Sinir Ağları

Son yıllarda hemen hemen her alanda sıkça karşılaşmaya başladığımız bir kavram olan Yapay Zekâ temel olarak, insan zekâsının çalışma biçimine benzetilerek, onun

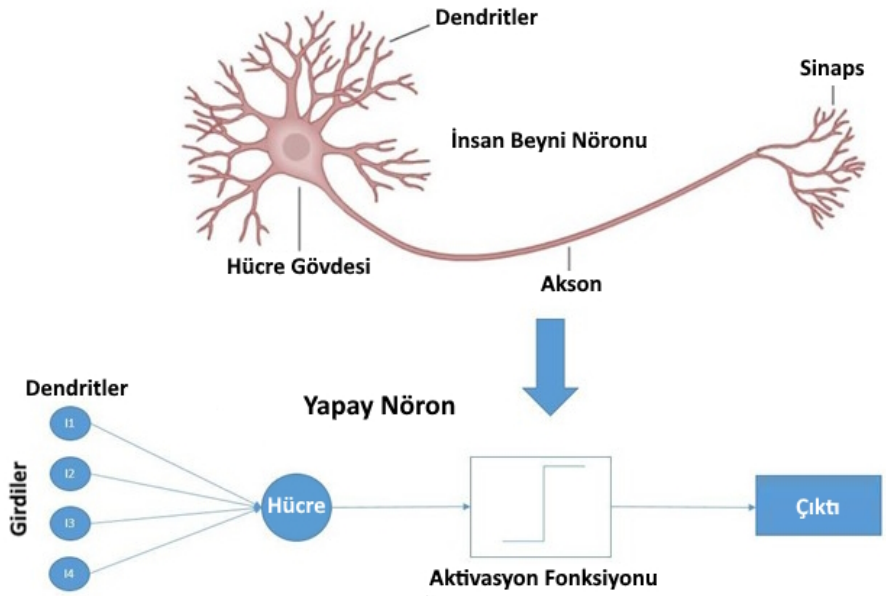
davrandığı gibi davranması için bilgisayarların eğitilmesini ifade etmektedir. Yapay zekânın modern bir bilim olarak gelişimi 1956 yılında C. Shannon, M. Minsky ve J. McCarthy'nin çabaları ile başlamaktadır [146].

YZ geliştirmenin amacı, insan zekâsına sahip bilgisayarlar geliştirmek, insan zekâsı davranışına benzer davranan makineler üretmekti [147]. Bir bilgisayar programının, bir problem hakkında insan gibi düşünebilmesi için, problem hakkında yüksek düzeyde bilgi sahibi olması gerekir. YZ aslında veri işleme ve kestirim için bir ağ geçididir. Dolayısıyla bu tür sistemlerde bilginin sunumu ve işlenmesi çok önemlidir [148].

YZ de verilerin işlenmesi için öğrenme fonksiyonu gereklidir. Öğrenme süreçleri, tıpkı küçük bir çocuğun deneme-yanılma yolu ile öğrenmesi gibidir. Örneğin sıcak bir sobanın sıcak olduğunu deneyimleyen küçük bir çocuk bardağındaki sıcak sütün kendisine zarar vermeyecek kadar soğuyunca içilebileceğini de deneyimler. Bu süreçte beyindeki nöronların öğrenme şekli gelen bir bilginin yani girdinin, sonuçlarla yani çıktılarla ilişkilendirilmesi üzerinden öğrenmesi söz konusudur.

YZ veri tabanları yazılım, ekonomi, endüstri ve mühendislik gibi birçok alanda uygulanmaktadır. YSA'ların sinirsel öğrenmenin en temel tekniği olduğunu öne süren yapay zekâ temelli çoklu öğrenme teorileri arasında nöral, istatistiksel ve evrimsel öğrenme yer alır. YZ, çeşitli sistemlerin simülasyonu, analizi, görselleştirilmesi ve kontrolü için kullanılabilir. Şekil 2 beyindeki nöronların yapısını ve yapay sinir ağlarını tasvir etmektedir [149].

Beyin çok sayıda nöron içerir ve bu nöronlar, öğrenme sürecini gerçekleştiren biyolojik sinir ağları ile birbirine bağlıdır. YZ'nin bir alt kümesi olarak Yapay Sinir Ağları aynı biyolojik ağın bir alt simülasyonu gibi çalışır.



Şekil 3.16 Beyindeki ve Yapay Nöron [149]

Nöronlar yapıları itibariyle ağaca benzer; kök (dentritler) ve gövdeye (akson) sahiptir [149]. Beynimiz ise bu ağaçlardan oluşan sıra dışı bir ormandır [149]. Her ağacın kökü, başka binlerce ağacın köklerine bağlıdır (sinaps) [149]. Görüntü itibariyle tam bir karmaşa halindeki bu aksonlar uç uca eklense Dünya'dan Ay'a kadar uzanabilir [149]. Bu ormandaki ağaçlar elektrik yükü ile yüklüdür. Kıvılcımlar ağaç gövdelerinde hareket ederken diğer ağaçların gövdelerinde de kıvılcımlar oluşturur. Öğrenme esnasında ormanın bir bölgesi fırtına benzeri bir hareketlenme yaşar ve sonra sakinleşir. Beyindeki düşünme faaliyeti ise bütünüyle bu süreçlerin uyumlu bir şekilde icrası ile gerçekleşmektedir.

Nöron bilgisayarda modellenirken mantık süzgeçleri kullanılır. Girdilerden (Dendritler) en az biri aktif ise "OR" süzgeci, hepsi aktif ise "AND" süzgeç aktif olur. Bir nöronun aktif girdilerinin (Dendritlerinin) sayısı eşik bir değeri aşınca o nöron etkinleşir [149]. Bu eşik değer "1" e eşit olduğunda "OR" süzgeci aktif olur. Eşik değer "Dendritlerin" sayısına eşit ise o zaman da "AND" süzgeci aktif olur. Bazen de bir nöron başka bir nöronun aktifleşmesine engel olur. Bu durum "NOT" süzgecini tarifler.

3.6. Nöron Nasıl Öğrenir?

Bir nöronun öğrenmesi, nöronlar arasındaki bağlantılara (sinaps) verilen çeşitli ağırlıklandırmalarla olur. Buna algılayıcı (perceptron) denir. Algılayıcılar (perceptron), girdinin (Dendritlerin) toplam ağırlığı eşik değer üstünde ise "1" şeklinde, altındaysa "0" şeklinde çıktı verir. Bir girdinin (Dendritin) ağırlığı ne kadar fazlaysa, ilgili bağlantı (sinaps) o kadar güçlü olur. Hücre gövdesi (Akson), tüm girdileri toplar ve akson toplam sonuca bir aktivasyon fonksiyonu uygular.

$$y = w \,.\, x + b \qquad 3.1$$

Burada;

*y: x'*in değerine bağlı olduğu bağımlı değişkendir. Girdiye ait skoru verir.

x: bağımsız değişken yani girdiyi ifade eder.

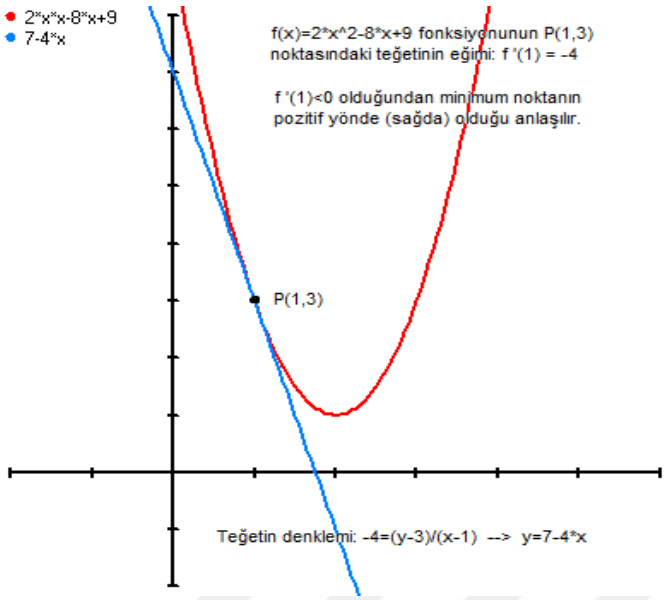
b: iki sınıfı birbirinden ayıran doğruyu (karar sınırı veya eşik değer) başlangıç noktasından uzaklaştırmayı sağlar. Buna bias değeri de denir.

Bu tez kapsamında yapay sinir ağları ile 2003 Bingöl depreminde gözlenen gerçek hasar verileri öğrenme seti olarak kullanılmış ve daha sonra yürürlükteki FEMA-154, IITK-GSMDA ve RBTY 2019 yönetmelikleri irdelenmiştir.

Kurulan YSA da 15 katmanlı bir şebeke kurulmuştur. Kurulan şebekede geri yayılımlı ileri besleme algoritması "feed-forward backprop" kullanılmıştır. Geri yayılımlı YSA da ileri besleme, girdilerin girildiği aşamadır. Bu aşamadan çıkan çıktılar hata fonksiyonuna girilir ve geriye yayılmak suretiyle hataların ağırlıkları güncellenir. Toplam hatayı sıfıra yaklaştırmak amacıyla gradyan indirgeme yöntemi kullanılır [150-152].

3.6.1 Gradyan indirgeme (Gradient Descent) yöntemi

Geri yayılım algoritmasının temeli bu yönteme dayanır. Bu yöntem aynı zamanda eğitim aşamasının temelini teşkil eder.



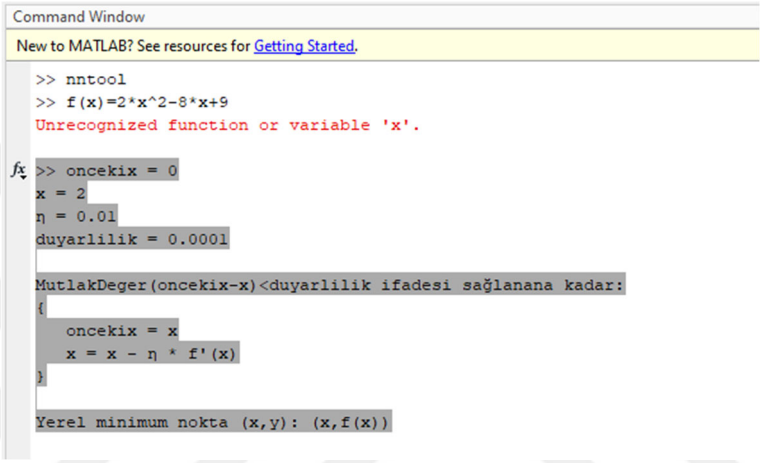
Şekil 3.17 Gradyen Fonksiyonunu anlatmak için örnek bir denklem

"Türevlenebilir tek değişkenli bir fonksiyon üzerindeki bir P noktası bu fonksiyonun türevinde yerine yazıldığında elde edilecek değer, fonksiyonun eğrisine P noktasında teğet geçen doğrunun eğimidir. Bu doğrunun eğimi, fonksiyondaki artışın hızını ve yönünü belli eder. Eğime bakılarak yerel minimum noktasının ne yönde olduğu tespit edilebilir. Eğer eğim sıfırdan büyükse minimum değerin negatif yönde, sıfırdan küçükse pozitif yönde kaldığı anlaşılır. Fonksiyonun minimum değerine yaklaşıldıkça, teğetlerin eğimi azalır. Bu durumdan yararlanılarak, eğimin adım adım azaltılması suretiyle minimum değerlere yaklaşılması amaçlanır" [150, 152].

"Yukarıdaki grafikte f(x) fonksiyonunun türevine P noktasının x koordinatı yerleştirilerek, eğriye bu noktada teğet geçen doğrunun eğimi ve denklemi elde edilmiştir. Eğim negatif olduğundan, minimum nokta için ilerlenmesi gereken yönün pozitif yön olduğu anlaşılır. Grafikte görüldüğü gibi minimum nokta P noktasının sağındadır. Ayrıca grafik üzerinde minimum noktaya yaklaşıldıkça teğetlerin eğimlerinin azalacağı ve minimum noktada sıfır olacağı, yani eğriye minimum noktada teğet geçen doğrunun x eksenine paralel olacağı gözlenebilir" [150, 152].

"Yöntemin tek bilinmeyenli bir denklem üzerindeki uygulanışını basitçe örneklendirelim. Türevi alınabilen tek değişkenli herhangi bir fonksiyonun verilen ilk değere en yakın yerel minimum noktası, gradyan iniş metodu kullanılarak kabul

edilebilir bir fark ile tespit edilebilir. Önce *x'* e bir başlangıç değeri verilir ve atılan adımların büyüklüklerinin ölçülebilmesini sağlayan önceki-x değeri sıfırlanır. Adım katsayısı(η) ve duyarlılık değeri belirlenir. Daha sonra atılan adımın büyüklüğü, belirlenen duyarlılık değerinden küçük olana kadar - f' (x) yönünde ilerlenerek yerel minimum noktasına adım adım yaklaşılır. Eğim azaldıkça adımlar küçüleceğinden, yerel minimuma yaklaşıldıkça adım büyüklüğü olan |oncekix-x| değeri, duyarlılık değerine yaklaşır" [150, 152].



Adım Katsayısı (η:eta) Seçimi

"Adım katsayısı gereğinden küçük seçilirse adımlar çok küçük olur ve minimuma yaklaşma süreci uzar. Adım katsayısı gereğinden büyük seçildiğinde ise minimum noktanın yakalanmadan aşılır ve noktanın ötesine geçilir. Bu durumda noktanın iki yanında sürekli tekrarlanan ve noktayı bir türlü tutturamayan bir döngü oluşur. Bunun önüne geçmek için bir sonraki adımda eğimin azaldığından emin olmak gerekir. Bunun için denklem 3.2'nin doğruluğu kontrol edilmelidir" [150-152].

$$f'\big(x-\eta * f'(x)\big) < f'(x) \qquad 3.2$$

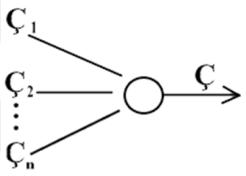
Eğim azalırken fonksiyon minimum noktasına yaklaşacaktır. Dolayısıyla 3.2 fonksiyonu doğru olacaktır.

$$f\big(x-\eta * f'(x)\big) < f(x) \qquad 3.2$$

İleri Besleme

Bu aşamada, şebeke verilerle beslenir ve şebekeden çıktı alınır. Şebekeden çıktı alındıktan sonra hata tespiti yapılabilecektir. Dolayısıyla ileri besleme, sonraki adımların da bileşenidir [150-152].

Her nöronun birden fazla girişi (dendriti) ve sadece bir çıkışı (sinapsı) vardır. İlk katmandaki nöronlar hariç diğer nöronların her bir girişi, önceki katmandaki başka bir nöronun çıkışına bağlıdır. Çıkış sinyalleri, sonraki katmanda bulunan nöronlara iletilirken arada bulunan dendrit ağırlıkları ile çarpılır [150-152]. Çarpım, sonraki nöron için bir giriş sinyali niteliğindedir. Bir nöron çıkış üretirken kendisine iletilen tüm giriş sinyallerini toplar ve bu toplamı aktivasyon fonksiyonundan geçirir [150-152].



$$Ç = f\left(\underbrace{ç_1 \cdot a_1}_{g_1} + \underbrace{ç_2 \cdot a_2}_{g_2} + \ldots + \underbrace{ç_n \cdot a_n}_{g_n}\right)$$

$$= f\left(\underbrace{\sum_i ç_i \cdot a_i}_{g}\right)$$

$$= f(g) \qquad g$$

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \xrightarrow{sigmoid}$$

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \xleftarrow{tanh}$$

Şekil 3-18 Çıkış Fonksiyonunun Matematiksel ifadesi

Şebekedeki her bir gizli katmanda tansig (hyperbolic tangent sigmoid) transfer fonksiyonu kullanılmıştır. “Tansig” fonksiyonu bir sinir transfer fonksiyonudur. Transfer fonksiyonları bir katmanın net girdilerinden çıktısını hesaplayan fonksiyonlardır [153].

Yapılan bu tez çalışmasında eğitim fonksiyonu olarak “trainlm” fonksiyonu kullanılmıştır. “trainlm”, ağırlık ve yanlılık değerlerini Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre güncelleyen bir ağ eğitim işlevidir. “trainlm” genellikle araç kutusundaki en hızlı geri yayılım algoritmasıdır ve diğer algoritmalardan daha fazla

bellek gerektirmesine rağmen ilk tercih edilen denetimli algoritma olarak şiddetle tavsiye edilir.

3.6.2 Veri seti

Bingöl illinde 2003 yılında meydana gelen deprem sonrasında Güney Özcebe, Ahmet Yakut ve arkadaşları tarafından çeşitli noktalarda saha araştırmaları gerçekleştirilmiş olup yaptıkları araştırmalar bugün bile bilim dünyasına katkı vermeye devam etmektedir [21]. Bu ekip 2-5 kat arasında değişen kat sayısına sahip toplamda 57 adet yapıyı incelemiştir.

Toplam 35 adet binadan oluşan bu bina veri setinin 30 adedi FEMA-P154, IITK-GSMDA ve RBTY-2019 prosedürlerine göre değerlendirilmiş, sonuçları yapay sinir ağları ile çalışan bir yapay zekâ uygulamasında öğrenme seti olarak kullanılmıştır.

Daha sonra 5 adet binadan oluşan veri seti ile de öğrenme sonrası hasar tahmini yaptırılmıştır. Bu bina verileri yapım yılı, toplam kat sayısı, planda düzensizlik, düşeyde düzensizlik, ağır çıkma, kısa kolon, zayıf kat ve yumuşak kat gibi parametreler ışığında puanlanmış ve elde edilen sonuçlar YSA ya öğretilmiştir. Bunun için MATLAB programı kullanılmıştır.

Tablo 3.11 Bina veri seti özellikler tablosu

Bina İsimleri		TP	Olumsuzluk Parametreleri								Olumsuzluk Puanlamaları								YSP	PP
			O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	OP_1	OP_2	OP_3	OP_4	OP_5	OP_6	OP_7	OP_8		
1	BNG-10-3-10	80	1	1	1	0	1	1	0	1	-20	-20	-10	-5	-3	0	0	-10	0	**17**
2	BNG-10-3-3	80	0	0	1	0	0	0	0	0	-20	-20	-10	-5	-3	0	0	0	0	**70**
3	BNG-10-4-4	60	1	1	0	1	1	1	0	1	-30	-30	-25	-5	-3	0	0	-10	0	**-18**
4	BNG-10-4-6	70	1	1	0	1	1	1	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	-5	0	-10	0	**-13**
5	BNG-10-4-7	70	1	1	0	1	1	1	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	-5	0	-10	0	**-13**
6	BNG-10-4-8	70	1	1	0	1	0	1	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**-5**
7	BNG-10-4-9	60	1	1	0	1	1	1	0	1	-30	-30	-25	-5	-3	0	0	-10	65	**47**
8	BNG-10-5-1	60	1	0	0	0	0	0	0	1	-30	-30	-25	-5	-3	0	0	-10	65	**85**
9	BNG-10-5-11	60	0	1	0	0	0	1	0	1	-30	-30	-25	-5	-3	0	0	-10	0	**20**
10	BNG-10-5-2	60	1	0	0	1	0	0	0	1	-30	-30	-25	-5	-3	0	0	-10	65	**80**
11	BNG-11-2-3	90	0	1	1	0	1	0	0	1	-10	-10	-10	-5	-3	0	0	-5	0	**62**
12	BNG-11-4-1	70	1	1	0	1	0	0	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	75	**70**
13	BNG-11-4-2	70	1	1	0	1	0	0	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**-5**
14	BNG-11-4-4	70	1	1	0	1	0	0	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**-5**
15	BNG-11-4-5	70	0	1	0	0	0	0	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**30**
16	BNG-1-2-11	90	0	0	1	0	0	0	0	1	-10	-10	-10	-5	-3	0	0	-5	0	**75**
17	BNG-1-3-1	80	0	0	0	1	0	0	0	1	-20	-20	-10	-5	-3	0	0	-10	0	**65**
18	BNG-1-3-3	80	0	1	0	1	0	0	0	1	-20	-20	-10	-5	-3	0	0	-10	0	**45**
19	BNG-1-3-6	80	1	1	0	1	0	1	0	1	-20	-20	-10	-5	-3	-10	0	-10	0	**15**
20	BNG-1-4-7	70	0	1	0	0	0	1	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**30**
21	BNG-3-4-1	70	0	0	0	0	0	0	0	0	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	0	0	**70**
22	BNG-3-4-2	70	0	0	0	0	0	0	0	0	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	0	0	**70**
23	BNG-3-4-3	70	0	0	0	0	0	0	0	0	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	0	0	**70**
24	BNG-3-4-4	70	0	0	0	0	0	0	0	0	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	0	0	**70**
25	BNG-5-5-1	60	1	1	1	1	0	0	0	1	-30	-30	-25	-5	-3	0	0	-10	0	**-40**
26	BNG-6-2-8	90	0	1	1	0	0	0	0	1	-10	-10	-10	-5	-3	0	0	-5	0	**65**
27	BNG-6-3-1	80	1	1	0	1	1	1	0	1	-20	-20	-10	-5	-3	-10	0	-10	0	**12**
28	BNG-6-3-10	90	0	1	0	0	0	1	0	0	-10	-10	-10	-5	-3	-10	0	0	0	**70**
29	BNG-6-3-11	80	1	1	0	1	0	1	0	1	-20	-20	-10	-5	-3	-10	0	-10	0	**15**
30	BNG-6-3-12	80	1	1	1	0	0	1	0	0	-20	-20	-10	-5	-3	-10	0	0	0	**20**
31	BNG-6-3-4	80	0	1	0	0	0	1	0	0	-20	-20	-10	-5	-3	-10	0	0	0	**50**
32	BNG-6-4-2	70	1	1	0	1	0	1	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**-5**
33	BNG-6-4-3	70	0	1	1	1	0	0	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**10**
34	BNG-6-4-5	70	0	0	0	1	0	0	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	0	**55**
35	BNG-6-4-7	70	0	1	0	0	1	0	0	1	-30	-30	-15	-5	-3	0	0	-10	75	**102**

Tablo 3.12 Olumsuzluk parametreleri tablosu

Kat Sayısı	Yapı Nizamı	Ağır Çıkma	Zayıf / Yumuşak Kat	Kısa Kolon	Planda Düzensizlik	Bina Görsel Kalitesi	Tabii Zemin Eğimi	Zemin Sınıfı
3	2	1	1	2	1	2	2	3
3	1	2	2	2	2	2	1	3
5	2	1	1	1	1	1	2	3
4	3	1	1	1	1	1	2	3
4	3	1	1	1	1	1	2	3
4	2	1	1	1	1	1	1	3
5	2	1	1	1	1	1	2	3
5	1	2	1	2	1	1	1	3
5	2	1	2	2	1	1	1	3
5	1	2	1	1	1	1	1	3
2	1	1	2	2	1	2	2	3
4	1	1	1	1	1	1	1	4
4	1	1	1	1	1	1	1	4
4	1	1	1	1	1	1	1	4
4	1	1	2	2	1	1	1	3
2	1	2	2	2	1	2	1	3
3	1	2	2	1	1	1	1	3
3	1	1	2	1	1	1	1	3
3	3	1	1	1	1	1	1	3
4	2	1	2	2	1	1	1	3
4	1	2	2	2	2	1	1	3
4	1	2	2	2	2	1	1	3
4	1	2	2	2	2	1	1	3
4	1	2	2	2	2	1	1	3
5	1	1	1	1	1	2	1	3
2	1	1	2	2	1	2	1	2
3	4	1	1	1	1	1	2	2
2	4	1	2	2	2	1	1	2
3	4	1	1	1	1	1	1	2
3	4	1	1	2	2	2	1	2

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çalışmanın Bulguları

Çalışmada elde edilen bulgular şunlardır:

Bingöl ilinde 2003 yılında meydana gelen deprem sonrasında hasar tespiti sahada gerçekleştirilmiş 35 adet betonarme binanın gerçek deprem performans verisi, deprem sonrasında sahada tespiti yapan Güney Özcebe, Ahmet Yakut ve arkadaşlarının saha gözlemleri, tespitleri ve çektikleri fotoğraflar üzerinden elde edilmiştir [21]. Daha sonra bu yapılar Türkiye HGT yöntemi RBTY-2019, ABD HGT yöntemi FEMA-P154 ve Hindistan HGT yöntemi IITK-GSDMA ile değerlendirilmiş ve HGT skorları elde edilmiştir.

Ahmet Yakut, Güney Özcebe ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada (SERU-2003) bu yapıların, HASARSIZ, AZ HASAR, ORTA HASAR, İLERİ HASAR ve GÖÇME olmak üzere 5 sınıfta sınıflandırıldığı görülmektedir [21]. Aynı sınıflandırma, 1-GÖÇME ve 5-HASARSIZ olacak şekilde, 1'den 5'e kadar aşağıdaki tablodaki gibi sınıflandırılmıştır [21].

Tablo 4.1 SERU hasar sınıflandırması

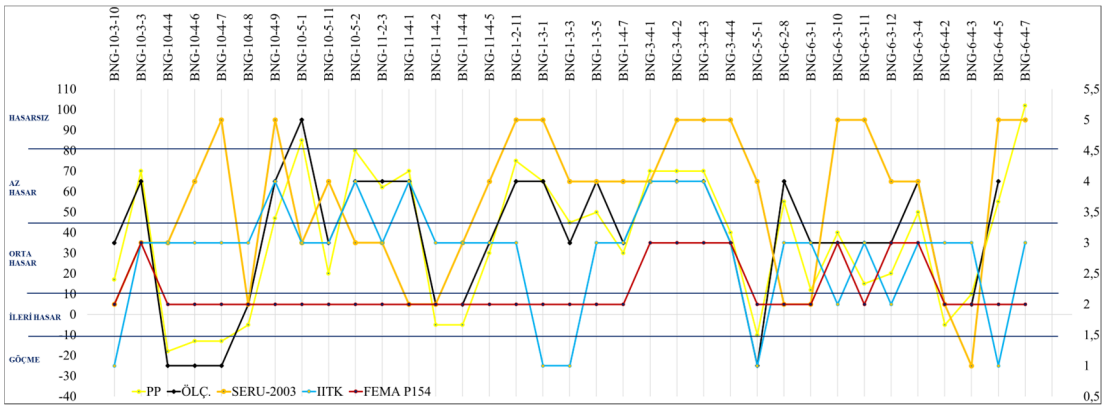
Hasar Ölçeği	**GÖÇME**	**İLERİ HASAR**	**ORTA HASAR**	**HAFİF HASAR**	**HASARSIZ**	**TOPLAM**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	
Hasar Ölçeğindeki Bina Adedi	1	7	6	10	11	35
Hasar Ölçeğindeki Bina Oranı	2,86%	20,00%	17,14%	28,57%	31,43%	100%

Değerlendirmeye alınan binaların 2003 depremi sonrasında 11 adedi (yaklaşık 31%) HASARSIZ, 10 adedi (yaklaşık %29) AZ HASARLI, 6 adedi (yaklaşık 17%) ORTA HASARLI, 7 adedi (20% si) İLERİ HASARLI ve 1 adedi (yaklaşık 3%) GÖÇME bölgesinde tespit edilmiştir [21]. Yapılan HGT değerlendirmelerinde elde edilen skorlar için de aynı hasar ölçeği kullanılmıştır. Ancak Türkiye HGT yönetmeliği RBTY-2019'te böyle bir sınıflandırma olmadığından bu yöntemden elde edilen HGT skorları için Bingöl'e özel bir ölçeklendirme önerisi geliştirilmiştir.

Yapılan HGT analizleri sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 4-2'de ve bu sonuçlara dair toplu grafik de Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 HGT sonuçları

Bina İsimleri	RBTY-2019		SERU-2003	FEMA P154	IITK-GSDMA
	PP	ÖLÇ.			
BNG-10-3-10	17	3	2	2	1
BNG-10-3-3	70	4	3	3	3
BNG-10-4-4	-18	1	3	2	3
BNG-10-4-6	-13	1	4	2	3
BNG-10-4-7	-13	1	5	2	3
BNG-10-4-8	-5	2	2	2	3
BNG-10-4-9	47	4	5	2	4
BNG-10-5-1	85	5	3	2	3
BNG-10-5-11	20	3	4	2	3
BNG-10-5-2	80	4	3	2	4
BNG-11-2-3	62	4	3	2	3
BNG-11-4-1	70	4	2	2	4
BNG-11-4-2	-5	2	2	2	3
BNG-11-4-4	-5	2	3	2	3
BNG-11-4-5	30	3	4	2	3
BNG-1-2-11	75	4	5	2	3
BNG-1-3-1	65	4	5	2	1
BNG-1-3-3	45	3	4	2	1
BNG-1-3-5	50	4	4	2	3
BNG-1-4-7	30	3	4	2	3
BNG-3-4-1	70	4	4	3	4
BNG-3-4-2	70	4	5	3	4
BNG-3-4-3	70	4	5	3	4
BNG-3-4-4	40	3	5	3	3
BNG-5-5-1	-10	1	4	2	1
BNG-6-2-8	55	4	2	2	3
BNG-6-3-1	12	3	2	2	3
BNG-6-3-10	40	3	5	3	2
BNG-6-3-11	15	3	5	2	3
BNG-6-3-12	20	3	4	3	2
BNG-6-3-4	50	4	4	3	3
BNG-6-4-2	-5	2	2	2	3
BNG-6-4-3	10	2	1	2	3
BNG-6-4-5	55	4	5	2	1
BNG-6-4-7	102	5	5	2	3



Şekil 4.1 HGT yöntemleri binaların hasar tahmin dağılımları (EK 5)

4.1.1 RBTY-2019'e göre elde edilen bulgular

Bu yöntem 6306 sayılı yasanın ekinde "*Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar"* başlığıyla yer alan EK-2'nin ekindeki Ek A'da *"Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımını Belirlemek için Kullanılabilecek Basitleştirilmiş Yöntemler"* başlığı ile yer almaktadır. Çalışmada bundan sonrasında Riskli Bina Tespit Yönetmeliği (RBTY-2019) olarak anılacaktır.

Yöntemin girişinde; *"6306 sayılı yasa kapsamında, belli bir alandaki önceliklerin ve riskli olabilecek binaların bölgesel dağılımının belirlenmesi"* amacıyla kullanılabileceği ve tekil binalar için risk değerlendirmesinde kullanılamayacağı belirtilmektedir [8]. Ayrıca yöntemin 1 ila 7 katlı binalar için kullanılabileceği belirtilmektedir [8].

Bu yönteme göre değerlendirme yapılırken Deprem Tehlike Bölgesine ve binanın kat adedine göre yönetmelikten alınan bir taban puandan her bir olumsuzluk parametresi için yönetmelikte belirlenmiş olan olumsuzluk parametre puan eksilticileri uygulanmış ve nihai puana, taşıyıcı sistemin türüne bağlı olarak, Yapısal Sistem Puanı eklenerek Performans Puanı hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeden elde edilen puanları gösteren tablo ve grafik aşağıda sunulmuştur (Tablo 4-3 ve Şekil 4.2). Tablodaki PP puanları RBTY-2019 kapsamında yapılan değerlendirmeden elde edilen puanlardır. Yandaki sütunda gösterilmiş olan ÖLÇ skorları ise PP puanlarının 1'den 5'e kadar

ölçeklendirilmesi ile elde edilmiştir. Bunun için en düşük puanı ve en yüksek puanı 1 ila 5 arasında ölçekleyen aşağıdaki gibi bir grafik çizilmiştir.

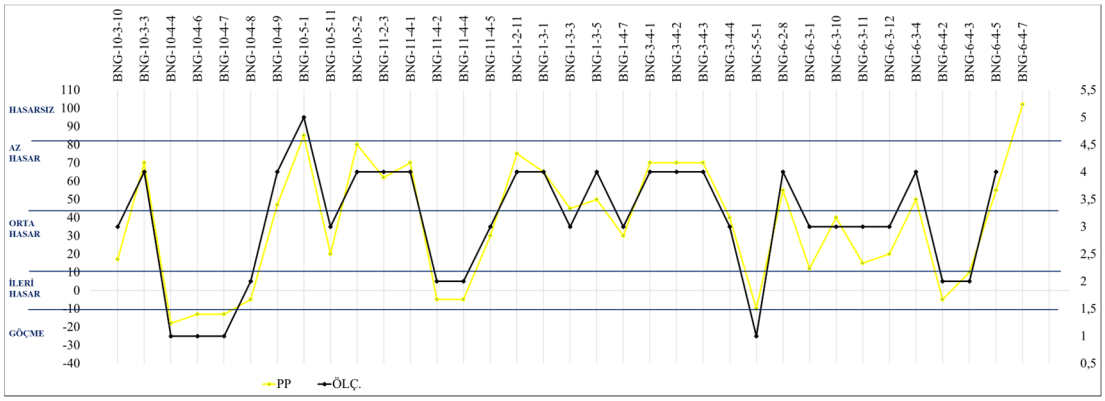
Tablo 4.3 RBTY-2019 PP sonuçları ve ÖLÇ sınıflandırması

Sıra	Bina İsimleri	RBTY-2019		Sıra	Bina İsimleri	RBTY-2019		Sıra	Bina İsimleri	RBTY-2019	
		PP	ÖLÇ			PP	ÖLÇ.			PP	ÖLÇ.
1	BNG-10-3-10	17	3	13	BNG-11-4-2	-5	2	25	BNG-5-5-1	-10	1
2	BNG-10-3-3	70	4	14	BNG-11-4-4	-5	2	26	BNG-6-2-8	55	4
3	BNG-10-4-4	-18	1	15	BNG-11-4-5	30	3	27	BNG-6-3-1	12	3
4	BNG-10-4-6	-13	1	16	BNG-1-2-11	75	4	28	BNG-6-3-10	40	3
5	BNG-10-4-7	-13	1	17	BNG-1-3-1	65	4	29	BNG-6-3-11	15	3
6	BNG-10-4-8	-5	2	18	BNG-1-3-3	45	3	30	BNG-6-3-12	20	3
7	BNG-10-4-9	47	4	19	BNG-1-3-5	50	4	31	BNG-6-3-4	50	4
8	BNG-10-5-1	85	5	20	BNG-1-4-7	30	3	32	BNG-6-4-2	-5	2
9	BNG-10-5-11	20	3	21	BNG-3-4-1	70	4	33	BNG-6-4-3	10	2
10	BNG-10-5-2	80	4	22	BNG-3-4-2	70	4	34	BNG-6-4-5	55	4
11	BNG-11-2-3	62	4	23	BNG-3-4-3	70	4	35	BNG-6-4-7	102	5
12	BNG-11-4-1	70	4	24	BNG-3-4-4	40	3				

ÖLÇ sınıflandırması yapılırken önce her hasar derecesi orta değerinden bölünerek standart dağılım yapılmış sonra da SERU sonuçları yani gerçek deprem hasar durumlarıyla ile kıyaslanarak sınıflandırmanın nihai şekli verilmiştir. Bu ölçeklendirme fonksiyonu aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo 4-4).

Tablo 4.4 RBTY-2019 Ölçeklendirme Fonksiyonu

		PP	≤	-10	Göçme Bölgesi	1
-10	<	PP	≤	11	İleri Hasar	2
11	<	PP	≤	45	Orta Hasar	3
45	<	PP	≤	81	Az Hasar	4
81	<	PP			Hasarsız	5



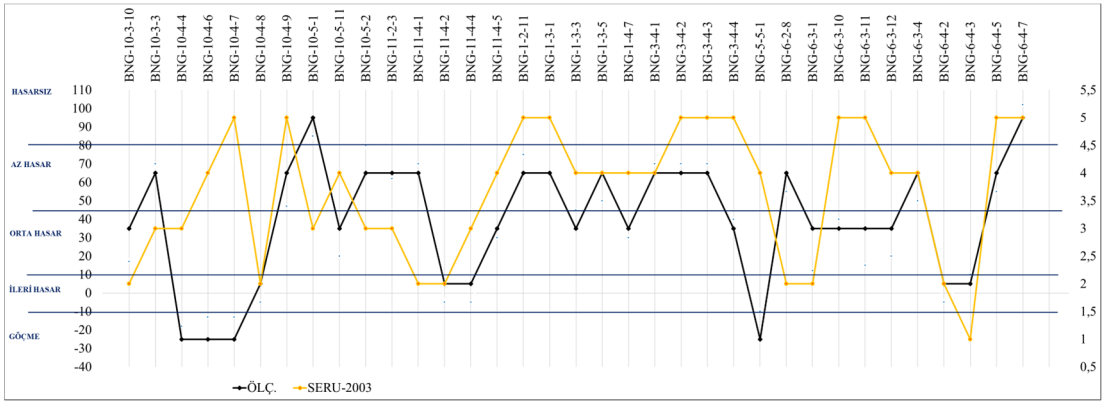
Şekil 4.2 RBTY-2019 PP skorları ve ÖLÇ sınıflandırması (EK 6)

Daha sonra bu yapılan sınıflandırma ile SERU referans sonuçları arasında kıyaslama yapılmıştır. **Bu kıyaslamada korelasyon fonksiyonu değeri 94,46% olarak hesaplanmıştır.**

Daha sonra ÖLÇ olarak sınıflandırılan RBTY-2019 puanları, yapıların 2003 depremi sonrası performansını ifade eden SERU referans değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamayı gösteren tablo ve grafik veriler aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.5 ve Şekil 4.3).

Tablo 4.5 RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU referans sonuçlarının karşılaştırılması

Sıra	Bina İsimleri	RBTY	SERU	Sıra	Bina İsimleri	RBTY	SERU	Sıra	Bina İsimleri	RBTY	SERU
		2019	2003			2019	2003			2019	2003
1	BNG-10-3-10	3	2	13	BNG-11-4-2	2	2	25	BNG-5-5-1	1	4
2	BNG-10-3-3	4	3	14	BNG-11-4-4	2	3	26	BNG-6-2-8	4	2
3	BNG-10-4-4	1	3	15	BNG-11-4-5	3	4	27	BNG-6-3-1	3	2
4	BNG-10-4-6	1	4	16	BNG-1-2-11	4	5	28	BNG-6-3-10	3	5
5	BNG-10-4-7	1	5	17	BNG-1-3-1	4	5	29	BNG-6-3-11	3	5
6	BNG-10-4-8	2	2	18	BNG-1-3-3	3	4	30	BNG-6-3-12	3	4
7	BNG-10-4-9	4	5	19	BNG-1-3-5	4	4	31	BNG-6-3-4	4	4
8	BNG-10-5-1	5	3	20	BNG-1-4-7	3	4	32	BNG-6-4-2	2	2
9	BNG-10-5-11	3	4	21	BNG-3-4-1	4	4	33	BNG-6-4-3	2	1
10	BNG-10-5-2	4	3	22	BNG-3-4-2	4	5	34	BNG-6-4-5	4	5
11	BNG-11-2-3	4	3	23	BNG-3-4-3	4	5	35	BNG-6-4-7	5	5
12	BNG-11-4-1	4	2	24	BNG-3-4-4	3	5				



Şekil 4.3 RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU referans sonuçlarının karşılaştırılması (EK 7)

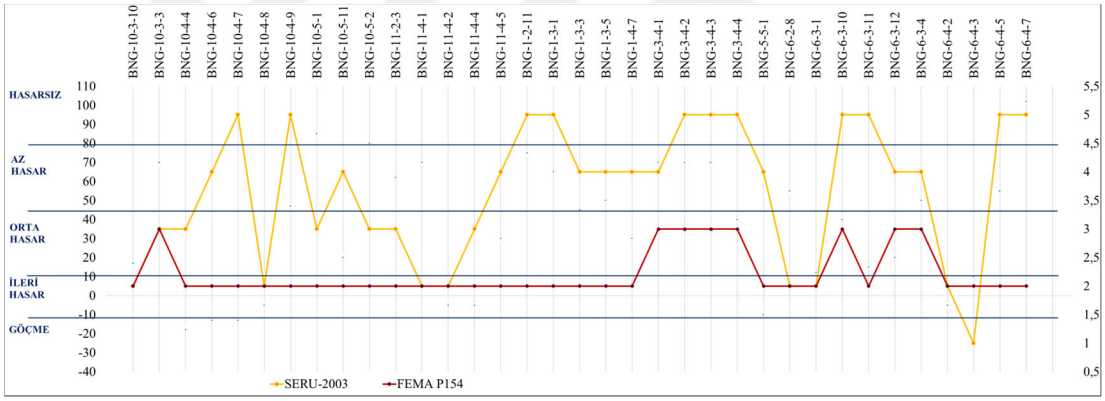
Bu yöntemle yaptığımız değerlendirme sonucunda ele alınan 35 yapının 4 adedi (11,43%) GÖÇME bölgesinde, 5 adedi (14,29%) İLERİ HASAR bölgesinde, 10 adedi (28,57%) ORTA HASAR bölgesinde, 14 adedi (40,00%) AZ HASAR bölgesinde ve 2 adedi de (5,71) HASARSIZ bölgede olacağı tahmin edilmiştir. SERU referans sonuçları ile kıyaslanırken hasar görebilirlik dereceleri arasında 1 dereceye kadar fark olması durumunda doğru kabul edilmiştir. Zira sahada amacımız münferit olarak her bir bina için performans değerlendirmesi yapmak değil ele aldığımız binaların öncelik sıralamasını belirlemektir. Bu bakış açısı ile kıyaslama yaptığımızda RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU referans sonuçları arasındaki tutarlılık oranı 71,43% olmaktadır.

4.1.2 FEMA-P154'e göre elde edilen bulgular

Bu yöntem 2015 yılında güncellenmiş haliyle ABD'de uygulanmakla birlikte uygun modifikasyonlar yapılırsa ülkemizde de uygulanabileceği düşünülen bir yöntemdir. Bu yönteme göre değerlendirme yapılırken Deprem Tehlike Bölgesine ve binanın taşıyıcı sistem türüne göre yönetmelikten alınan bir taban puandan her bir olumsuzluk parametresi için yönetmelikte belirlenmiş olan olumsuzluk parametre puan eksilticileri uygulanmış ve nihai puana, taşıyıcı sistemin türüne bağlı olarak tahmini Performans Puanı hesaplanmıştır. Daha sonra FEMA-P154 skorlar, yapıların 2003 depremi sonrası performansını ifade eden SERU referans değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu yöntemle elde edilen puanları yapılan kıyaslamayı gösteren tablo ve grafik aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.6 ve Şekil 4.4).

Tablo 4.6 FEMA-P154 sonuçları ve SERU 2003 Kıyaslaması

Sıra	Bina İsimleri	FEMA P154	SERU 2003	Sıra	Bina İsimleri	FEMA P154	SERU 2003	Sıra	Bina İsimleri	FEMA P154	SERU 2003
1	BNG-10-3-10	2	2	13	BNG-11-4-2	2	2	25	BNG-5-5-1	2	4
2	BNG-10-3-3	3	3	14	BNG-11-4-4	2	3	26	BNG-6-2-8	2	2
3	BNG-10-4-4	3	3	15	BNG-11-4-5	2	4	27	BNG-6-3-1	2	2
4	BNG-10-4-6	4	4	16	BNG-1-2-11	2	5	28	BNG-6-3-10	3	5
5	BNG-10-4-7	5	5	17	BNG-1-3-1	2	5	29	BNG-6-3-11	2	5
6	BNG-10-4-8	2	2	18	BNG-1-3-3	2	4	30	BNG-6-3-12	3	4
7	BNG-10-4-9	5	5	19	BNG-1-3-5	2	4	31	BNG-6-3-4	3	4
8	BNG-10-5-1	3	3	20	BNG-1-4-7	2	4	32	BNG-6-4-2	2	2
9	BNG-10-5-11	4	4	21	BNG-3-4-1	3	4	33	BNG-6-4-3	2	1
10	BNG-10-5-2	3	3	22	BNG-3-4-2	3	5	34	BNG-6-4-5	2	5
11	BNG-11-2-3	3	3	23	BNG-3-4-3	3	5	35	BNG-6-4-7	2	5
12	BNG-11-4-1	2	2	24	BNG-3-4-4	3	5				



Şekil 4.4 FEMA-P154 ile SERU sonuçlarının karşılaştırılması (EK 8)

Bu yöntemle yaptığımız değerlendirme sonucunda ele alınan 35 yapının 27 adedi (78%) İLERİ HASAR bölgesinde, 8 adedi (22%) ORTA HASAR bölgesinde olacağı tahmin edilmiştir. SERU referans sonuçları ile kıyaslanırken yine hasar görebilirlik dereceleri arasında 1 dereceye kadar fark doğru kabul edilmiştir. Kıyaslama yaptığımızda FEMA-P154 ile SERU referans sonuçları arasındaki tutarlılık oranı 48,57% olmaktadır.

FEMA P154 kriterlerine göre yapılan değerlendirme için söylenmesi gereken belki de en önemli ayrıntı, ele alınan binaların tamamı için ayrıntılı performans değerlendirmesi gerekmiş olmasıdır. Bunda temel puan olarak alınan 1 puandan

yapılan olumsuz puan eksiltmelerinin neticesinde, sınır değer olarak belirlenmiş olan 2 den büyük bir değer elde edilmesinin mümkün olmamasıdır [14].

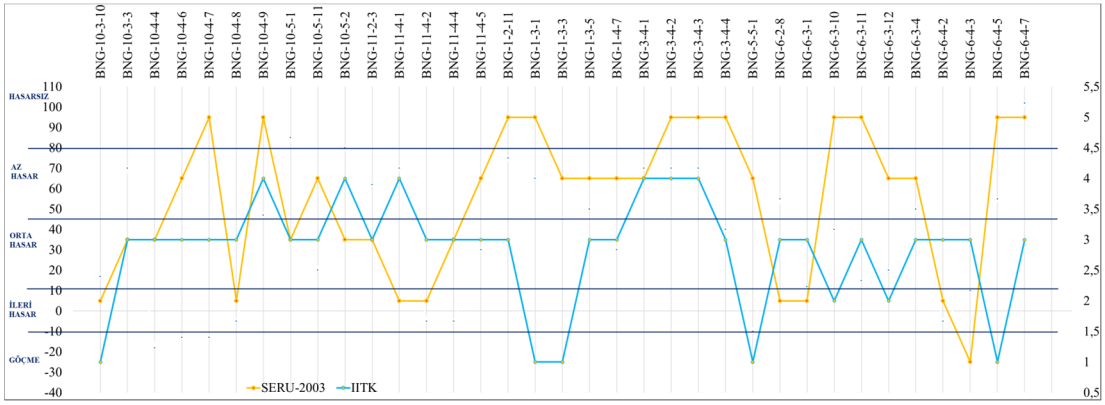
4.1.3 IITK-GSDMA' ya göre elde edilen bulgular

Bu yöntem ABD'deki FEMA-P154 yönteminin Hindistan'a uyarlanmasıyla elde edilmiş bir yöntemdir. Ülkemizin yapı stoku düşünüldüğünde ülkemizde de buna benzer şekilde uyarlamalar yapılsa başarılı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Bu yönteme göre değerlendirme yapılırken Deprem Tehlike Bölgesine ve binanın taşıyıcı sistem türüne göre yönetmelikten alınan bir taban puandan her bir olumsuzluk parametresi için yönetmelikte belirlenmiş olan olumsuzluk parametre puan eksilticileri uygulanmış ve nihai puana, taşıyıcı sistemin türüne bağlı olarak tahmini Performans Puanı hesaplanmıştır. FEMA-P154'ten en önemli farkı taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak belirlenen taban puanın 1 yerine 2.5 olmasıdır. Sonraki adımda bu taban puandan her bir olumsuzluk parametresi için eksiltilen puanlar neticesinde elde edilen nihai skor, 5 dereceli bir hasar sınıflandırmasına tabi tutularak yapı ile ilgili hasar tahmini gerçekleştirilmiştir. Daha sonra IITK değerlendirmesinden elde edilen skorlar, yapıların 2003 depremi sonrası performansını ifade eden SERU referans değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu yöntemle elde edilen puanları yapılan kıyaslamayı gösteren tablo ve grafik aşağıda sunulmuştur (Tablo 4-6 ve Şekil 4.4).

Tablo 4.7 IITK sonuçları ve SERU 2003 kıyaslaması

Sıra	Bina İsimleri	IITK	SERU	Sıra	Bina İsimleri	IITK	SERU	Sıra	Bina İsimleri	IITK	SERU
		GSDMA	2003			GSDMA	2003			GSDMA	2003
1	BNG-10-3-10	1	2	13	BNG-11-4-2	3	2	25	BNG-5-5-1	1	4
2	BNG-10-3-3	3	3	14	BNG-11-4-4	3	3	26	BNG-6-2-8	3	2
3	BNG-10-4-4	3	3	15	BNG-11-4-5	3	4	27	BNG-6-3-1	3	2
4	BNG-10-4-6	3	4	16	BNG-1-2-11	3	5	28	BNG-6-3-10	2	5
5	BNG-10-4-7	3	5	17	BNG-1-3-1	1	5	29	BNG-6-3-11	3	5
6	BNG-10-4-8	3	2	18	BNG-1-3-3	1	4	30	BNG-6-3-12	2	4
7	BNG-10-4-9	4	5	19	BNG-1-3-5	3	4	31	BNG-6-3-4	3	4
8	BNG-10-5-1	3	3	20	BNG-1-4-7	3	4	32	BNG-6-4-2	3	2
9	BNG-10-5-11	3	4	21	BNG-3-4-1	4	4	33	BNG-6-4-3	3	1
10	BNG-10-5-2	4	3	22	BNG-3-4-2	4	5	34	BNG-6-4-5	1	5
11	BNG-11-2-3	3	3	23	BNG-3-4-3	4	5	35	BNG-6-4-7	3	5
12	BNG-11-4-1	4	2	24	BNG-3-4-4	3	5				

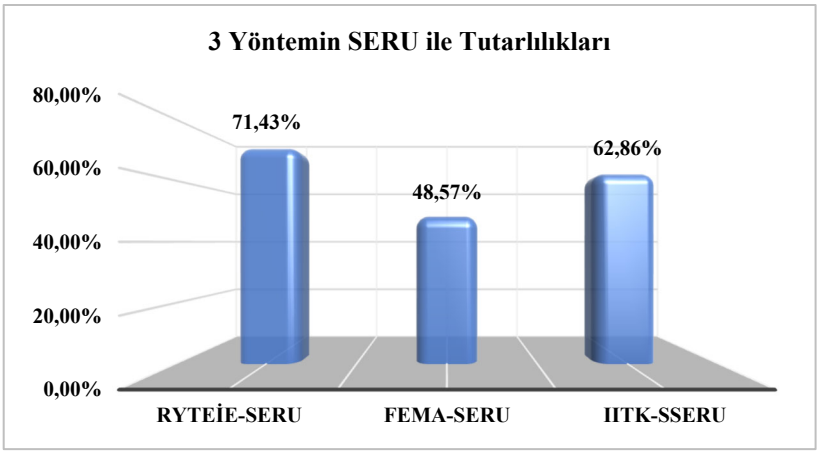


Şekil 4.5 IITK-GSDMA ile SERU sonuçlarının karşılaştırılması (EK 9)

Bu yöntemle yapılan değerlendirme sonucunda ele alınan 35 yapının 6 adedi (17,14%) AZ HASAR bölgesinde, 22 adedi (65,71%) ORTA HASAR bölgesinde, 2 adedi (5,71%) İLERİ HASAR bölgesinde ve 5 adedi (14,29%) GÖÇME bölgesinde olacağı tahmin edilmiştir. SERU referans sonuçları ile kıyaslanırken yine hasar görebilirlik dereceleri arasında 1 dereceye kadar fark doğru kabul edilmiştir. Kıyaslama yaptığımızda IITK-GSDMA ile SERU referans sonuçları arasındaki tutarlılık oranı 62,86% olmaktadır.

Tablo 4.8 HGT yöntemlerinin tutarlılık oranları

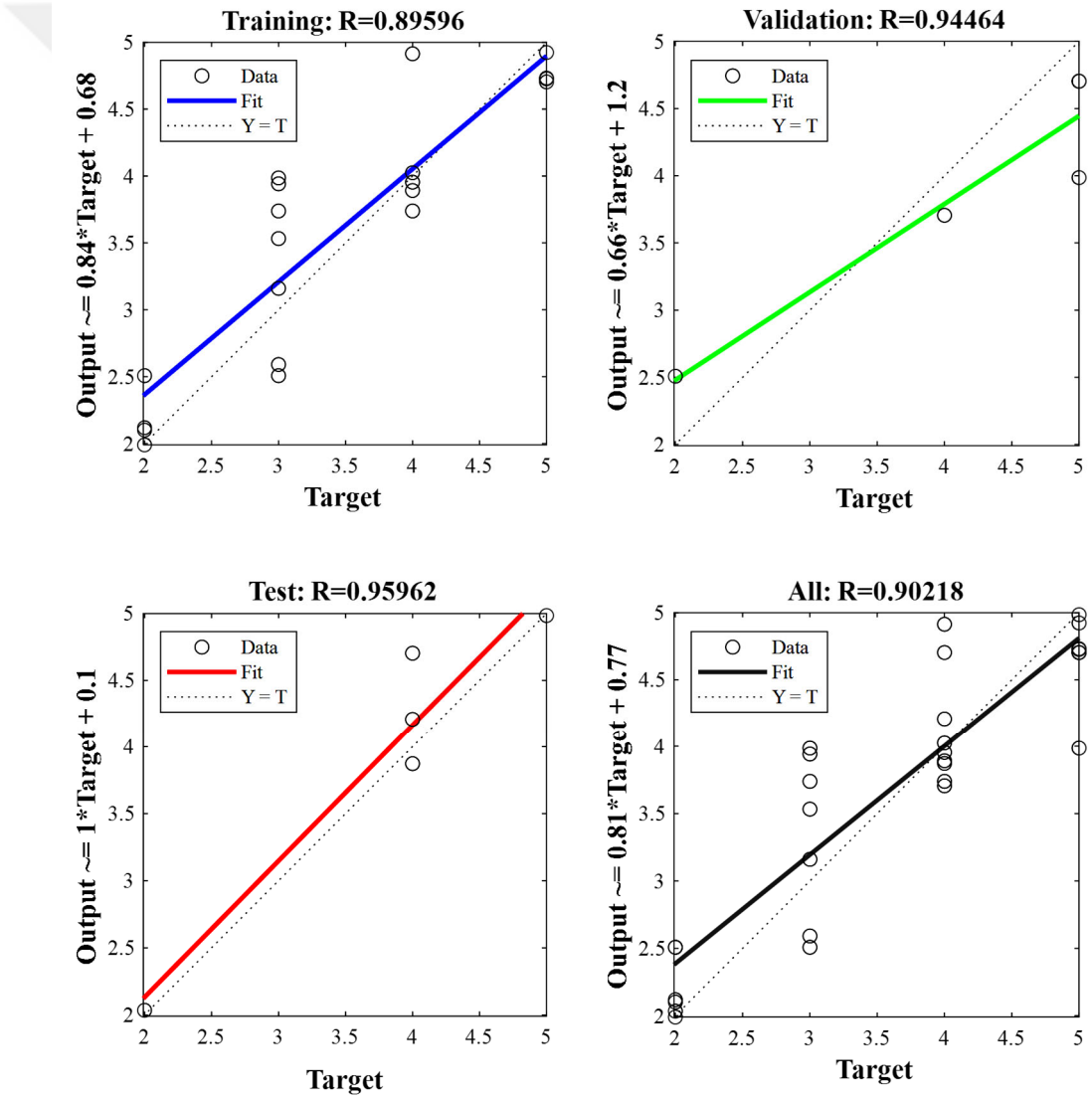
Yöntem	Tutarlılık Oranı
RBTY-SERU	71,43%
FEMA-SERU	48,57%
IITK-SERU	62,86%



Şekil 4.6 HGT Yöntemlerinin Tutarlılıkları

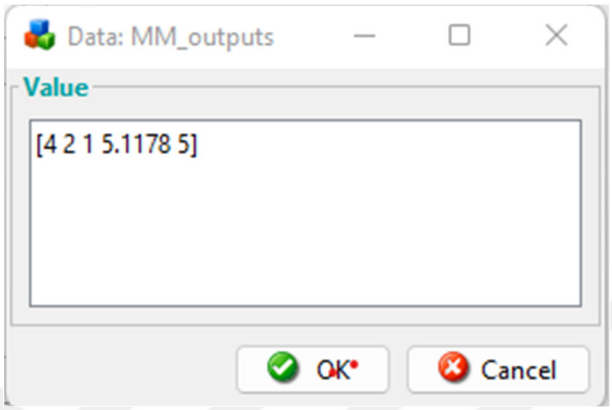
4.1.4 YSA'ya göre yapılan değerlendirmeden elde edilen bulgular

MATLAB programı yardımı ile kurulan YSA şebekesi kullanılarak bu 35 adet binanın 30 adedi ile YSA eğitilmiştir. Bu 30 adet verinin 5 adedi validasyon ve 5 adedi eğitimin test verisi olarak kullanılmıştır. Yapılan eğitim temel olarak RBTY-2019'deki olumsuzluk parametrelerinin ele alınan her bir yapı için bulunup bulunmadığına dair var ise 1 ve yok ise 0 şeklinde puanlama yapmasını sağlamak ve her bir olumsuzluk parametresinin varlığının SERU referans matrisinin oluşumu üzerindeki olasılığını hesaplayan bir fonksiyon geliştirmektir. Yapılan eğitimde 90% üzerinde regresyon elde edilmiştir. Yapılan eğitimin sonuçları aşağıdaki grafikte sunulmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 YSA ile yapılan eğitimin regresyon sonuçları

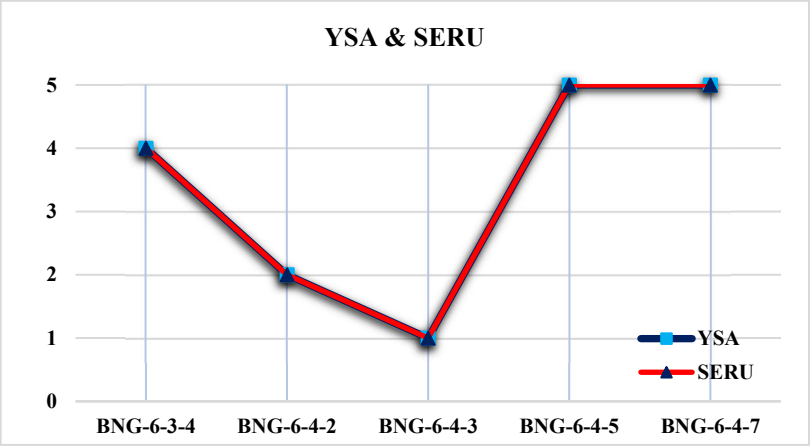
Daha sonra eğitilen YSA ile daha önce programa verisi hiç girilmemiş 5 adet binanın sahip olduğu olumsuzluk parametreleri verilerek hasar tahmini yaptırılmıştır. YSA tarafından 99,99% oranında doğru tahminde bulunduğu görülmüştür. YSA'nın yapmış olduğu tahmin aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 YSA ile yapılan tahmin sonucu

Tablo 4.9 YSA sonuçları ve SERU karşılaştırması

Yapılar	YSA	SERU	FARK	TUTARLIK
BNG-6-3-4	4	4	0	100
BNG-6-4-2	2	2	0	100
BNG-6-4-3	1	1	0	100
BNG-6-4-5	5	5	0	100
BNG-6-4-7	5	5	0	100
TUTARLILIK				100,00%

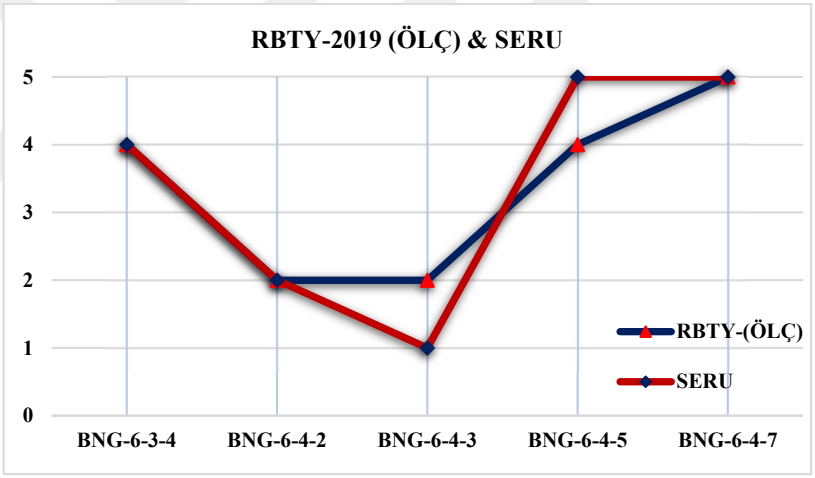


Şekil 4.9 YSA tahminleri ile SERU karşılaştırması

Bu çalışmada değerlendirme için kullanılan 3 HGT yönteminin de bu 5 yapı için yaptığı tahminler aşağıda sunulmuştur. Tablo 4.10 da ve Şekil 4.10 da RBTY yönteminin tahminleri ile SERU sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.10 RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU karşılaştırması

Yapılar	RBTY-2019 (ÖLÇ)	SERU	FARK	TUTARLIK
BNG-6-3-4	4	4	0	100
BNG-6-4-2	2	2	0	100
BNG-6-4-3	2	1	1	100
BNG-6-4-5	4	5	1	100
BNG-6-4-7	5	5	0	100
	TUTARLILIK			100,00%



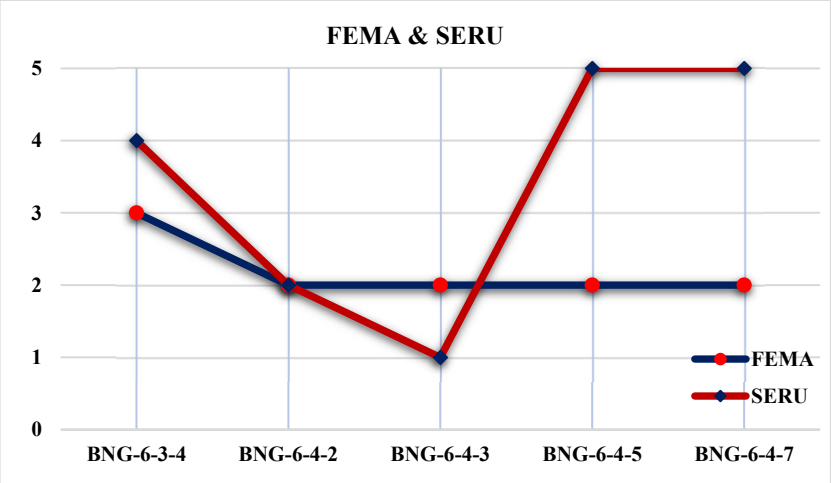
Şekil 4.10 RBTY ile SERU karşılaştırması

Görüldüğü üzere tam tahmin edemediği 2 BNG-6-4-3 ve BNG-6-4-5 yapıları için 1 derece farklı tahmin yapmıştır. Bu nedenle yukarıda da izah edildiği üzere bu iki yapı için yapılan tahminler de doğru kabul edilmiştir. Böylece tahmin doğruluğu 100% olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4-11 ve Şekil 4.11 de ise FEMA tahminleri ile SERU karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.11 FEMA tahminleri ile SERU karşılaştırması

Yapılar	FEMA	SERU	FARK	TUTARLIK
BNG-6-3-4	3	4	1	100
BNG-6-4-2	2	2	0	100
BNG-6-4-3	2	1	1	100
BNG-6-4-5	2	5	3	0
BNG-6-4-7	2	5	3	0
	TUTARLILIK			60,00%

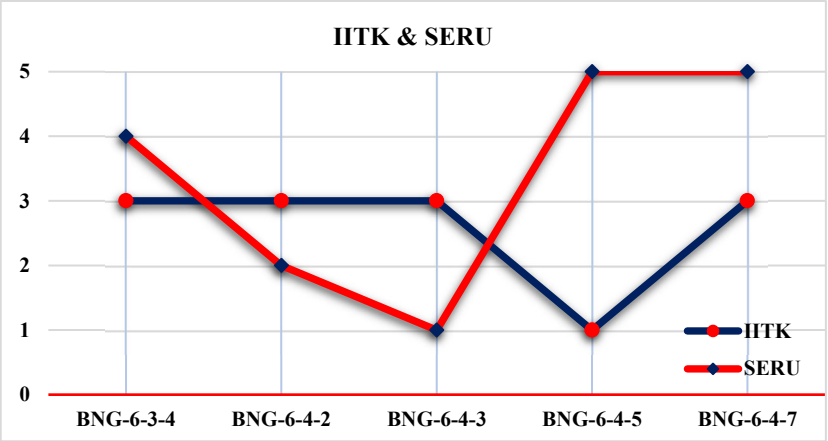


Şekil 4.11 FEMA tahminleri ile SERU karşılaştırması

Görüldüğü üzere FEMA yöntemi ile gerçekleştirilen 5 tahminden 2 tanesi çok ilgisiz 1 tanesi tam doğru ve 2 tanesi ise 1 dereceye kadar doğru olduğu için tutarlılık oranı 60% olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4-12 ve Şekil 4.12 de ise IITK tahminleri ile SERU karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.12 IITK tahminleri ile SERU karşılaştırması

Yapılar	IITK	SERU	FARK	TUTARLIK
BNG-6-3-4	3	4	1	100
BNG-6-4-2	3	2	1	100
BNG-6-4-3	3	1	2	0
BNG-6-4-5	1	5	4	0
BNG-6-4-7	3	5	2	0
	TUTARLILIK			40,00%



Şekil 4.12 IITK tahminleri ile SERU karşılaştırması

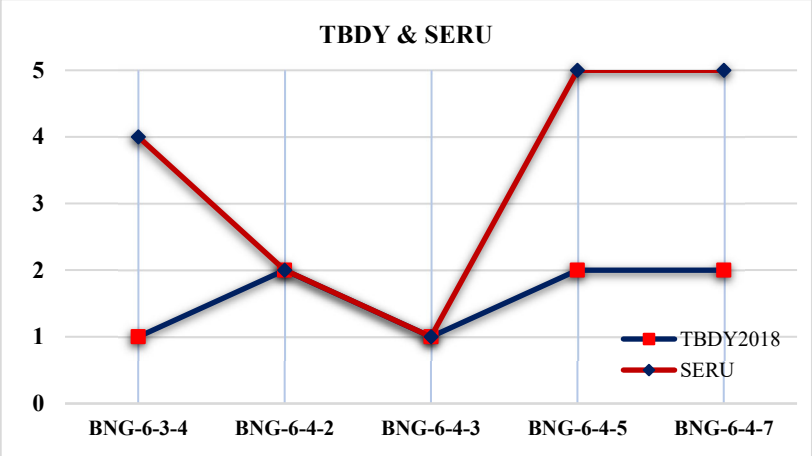
Görüldüğü üzere IITK yöntemi ile gerçekleştirilen 5 tahminden 3 tanesi çok ilgisiz ve 2 tanesi ise 1 dereceye kadar doğru olduğu için tutarlılık oranı 40% olarak gerçekleşmiştir.

Bu aşamada test verisi olarak kullanılan BNG-6-3-4, BNG-6-4-2, BNG-6-4-3, BNG-6-4-5 ve BNG-6-4-7 kodlu binaların nonlineer analizleri yapılarak performans sonuçları elde edilmiştir. Performans Analizi uygulanarak elde edilmiş tahminler aşağıda sunulmuştur (Tablo 4-12).

Bu tahminlerin SERU referans sonuçları ile kıyaslandığı tablo aşağıda sunulmuştur. Görüldüğü gibi 5 adet yapının 2 tanesinde doğru sonuç vermişken 3 tanesinde uzak sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4-12 ve Şekil 4.12). Bu durum 40% doğru tahmin tutarlılığı anlamına gelmektedir.

Tablo 4.13 TBDY-2018 ve SERU karşılaştırması

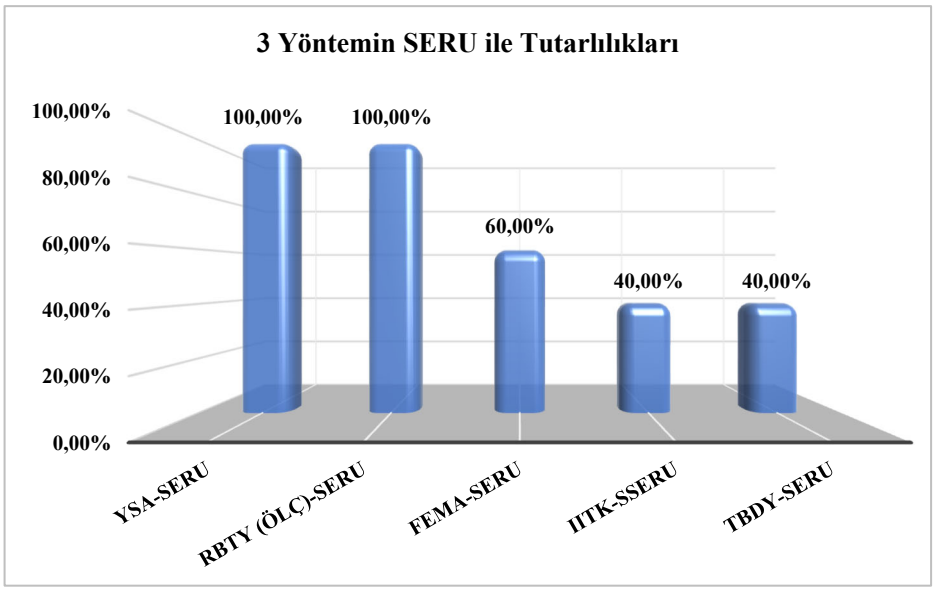
Yapılar	TBDY2018	SERU	FARK	TUTARLIK
BNG-6-3-4	1	4	3	0
BNG-6-4-2	2	2	0	100
BNG-6-4-3	1	1	0	100
BNG-6-4-5	2	5	3	0
BNG-6-4-7	2	5	3	0
		TUTARLILIK		40,00%



Şekil 4.13 TBDY-2018 ile SERU karşılaştırması

Tablo 4.14 YSA, HGT ve TBDY-2018 ile SERU tahmin tutarlılıkları

Yöntem	Tutarlılık Oranı
YSA-SERU	100,00%
RBTY(ÖLÇ)-SERU	100,00%
FEMA-SERU	60,00%
IITK-SERU	40,00%
TBDY-SERU	40,00%



Şekil 4.14 YSA, HGT ve TBDY-2018 ile SERU tahmin tutarlılıkları

Şekil 4.14 ve Tablo 4-14 bize YSA'nın her bir bina için yaptığı tahminlerin birebir ve tam doğru olduğunu göstermektedir. RBTY (ÖLÇ) için oluşturulmuş sınıflandırma kriterinin de doğru tahminler üretmede yardımcı olduğunu söyleyebiliriz.

FEMA yönteminin tahminlerinin 60,00% oranında başarılı olduğu görülmektedir. Ancak FEMA' ya göre yüksek sismik tehlikeye sahip Bingöl gibi yerleşimlerdeki bütün binalar için APD gerektirdiğini hatırlamak gerekir (Tablo 4-14 ve Şekil 4.14). IITK yönteminin tahminlerinin 40,00% oranında başarılı olduğu görülmektedir (Tablo 4-14 ve Şekil 4.14). Ayrıca TBDY-2018 ile yapılan performans analizine göre yapılan tahminler ile SERU referans sonuçları arasındaki tutarlılık oranının 40% olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Geleneksel hasar görebilirlik yaklaşımı yerine derin öğrenme yaklaşımı ile ilerleyen bu çalışmada, Türkiye'de Bingöl'deki betonarme binalar için olası sismik hasarı tahmin etmekte kullanılabilecek üç alternatif yaklaşım ve bir Yapay Zekâ yaklaşımı sunulmaktadır. Bu 4 yöntemden elde edilen hasar tahminlerini değerlendirmek için, sonuçlar yapısal hasar durumu cinsinden ifade edilmiş ve pratik olarak birbiriyle ve gözlenen gerçek hasarla (SERU) karşılaştırılmıştır.

Ele alınan SERU referans verisindeki binalar için yapılan değerlendirmeler sonucunda; FEMA-P154 e göre Yapıların tamamının performans puanının, belirlenmiş olan "2" sınır değerinden küçük olduğu ve bu nedenle "Ayrıntılı Performans Analizi" ne ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu da eldeki yapı stokunun büyüklüğü ve sahip olunan imkanların kısıtlılığı düşünülürse yöntemi kullanışsız kılmaktadır.

IITK ile yapılan değerlendirmeden elde edilen tahminlerde ise bölgesel koşullara uygun şekilde modifikasyon yapılırsa daha başarılı sonuçlar elde etmek mümkündür. Örneğin Düşey düzensizlik durumu için olumsuz puan parametresi üzerinde bir uyarlama yapılarak tahmin skorlarını gerçek deprem skorlarına yaklaştırmak mümkündür.

Bu çalışmanın en önemli sonucu RBTY-2019 yönetmeliğinden elde edilen "PP-Performans Puanları" için elde edilmiş olan ölçeklendirme fonksiyonudur. Literatüre kazandırılmış olan bu ölçeklendirme fonksiyonu, "sahadan toplanan olumsuzluk parametreleri ile elde edilecek olan performans puanlarının belli bir hasar durumunu işaret edecek ve önceliklendirecek olan bir araç" olarak araştırmacıların kullanımına ve takdirine sunulmuştur. Türkiye RBTY-2019 yönteminin bu çalışmadaki ***"Ölçeklendirilmiş"*** **(ÖLÇ)** versiyonunun, Bingöl'deki binaların hasar görebilirliğini değerlendirmede önemli bir etkinliğe sahip olduğu söylenebilir.

Çalışmanın diğer bir önemli sonucu ise YSA ile yapılan tahminlerdeki başarı oranıdır. Bu başarı oranı, araştırmacıların bu alana yönelmesine ve bu alandaki çalışmaların derinliğinin artmasına katkıda bulunacaktır. Zira bu çalışma sayesinde eldeki çok büyük miktardaki mevcut ve "standart dışı/yönetmelik öncesi" yapı stoklarının hızlıca değerlendirilebilmesinde başarı oranının yükselmesine katkıda bulunulmuştur.

YSA ile yapılan tahminler, bütün yöntemler içerisinde en başarılı olan tahminlerdir. Zira RBTY (ÖLÇ)'e göre tutarlılık karşılaştırması yapılırken 1 dereceye kadar yaklaşık sonuçlar doğru kabul edilmiş idi. Oysa YSA tahminlerinde her bir bina için tam doğru tahmin elde edilmiştir.

FEMA-P154, şaşırtıcı bir şekilde, Hindistan ve Türkiye HGT yöntemlerine temel teşkil etse de hasar tahminlerinde en başarılı sonuçları elde edemedi. HGT yöntemleri için yerel koşullara göre uyarlamalar yapıldığından bu normal karşılanmalıdır.

Hindistan yöntemi IITK, BNG-6-4-3 kodlu bina için verdiği "ORTA HASAR" skoru ile bina SERU referans verisine göre "GÖÇME" durumunda olduğundan en önemli noktada doğru tahmini yapamadığı tespit edilmiştir. Bu yönetmeliğin Hindistan'daki binalar için gerçek deprem sonuçları ile kıyaslaması yapılarak etkinliğinin araştırılması önemli bir nokta olarak öne çıkmaktadır. Eğer öyleyse, IITK'yi kullanmak oldukça riskli olabilir. Bu, FEMA P-154'ün güvenlik faktörlerini gereğinden fazla kullanmasından veya olumsuzluk parametreleri için yapılan puan eksiltmelerinde fazla eksiltme yapıyor olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Gelecekteki çalışmalarda, Amerika'daki binalarda HGT uygulanarak FEMA-P154 sonuçlarının benzer olup olmayacağı kontrol edilmelidir. Bu yapıların hasar görebilirliğini sınıflandırmak/değerlendirmek için HGT metodolojilerinin uygulanabilirliğinin anlaşılmasında önemli bir bulgudur.

Çalışmada elde edilen veriler, Bingöl için HGT'nin ve YZ'nin uygulanabilirliğine dair olumlu sonuçlar vermektedir. Ancak referans alınan SERU veri tabanındaki bina sayısının, YSA eğitiminin başarısı açısından yeterli sayıya ve çeşitliliğe sahip olmadığı aşikardır. Ancak bu alanda ileride yapılacak çalışmalar, daha fazla bina veri tabanı,

farklı bina türleri ve deprem bölgelerini içerebilir ve daha doğru sonuçlar için farklı ülkelerden/bölgelerden binalar dikkate alınarak HGT yöntemlerinin karşılaştırmasının yapılması ve YSA'nın bu bilgilerle eğitilmesi sayesinde tahminlerdeki başarı oranı artacaktır.

5.2. Öneriler

Derin Öğrenme (DEEP-LEARNING) tabanlı modellerin konfigürasyonları, en iyi tahmin performansını elde etmek için optimize edilmelidir. Ağırlıkların güncellenmesi için optimal geri yayılım algoritması, gizli katman sayısı ve nöron sayıları farklı varyasyonlarla denenmelidir.

Aynı veri setleri son zamanlarda yaşanan Elâzığ 2020, İzmir 2021 ve yakın zamanda yaşanan Düzce 2022 gibi depremlerin saha tespit çalışmaları ile genişletilirse YSA şebekesinin kapasitesi artacaktır. Özellikle yapının deprem merkez üssüne uzaklığı, kaydedilen PGA değeri, depremin etkin süresi ve ivme kaydedicinin üzerinde bulunduğu zemin tipi ve özellikleri gibi bazı parametreler geniş bir yapı yelpazesi için elde olursa ve YSA bu veri seti ile eğitilirse çok daha doğru sonuçlar tahmin etmesi kuvvetle muhtemeldir.

Gerçek depremlerden sonra yapılacak tespitlerle oluşturulacak geniş bir veri tabanı sayesinde Ayrıntılı Performans Değerlendirmesinde kullanılan yöntem ve analizlerin etkinliği araştırılmalıdır. Zira bu çalışmada da olduğu gibi APD ile yapılan analizlerde genellikle güvenli tarafta kalınması kaygılarıyla abartılı sonuç tahminleri yapılabilmektedir.

Ayrıca ileriki çalışmalar açısından, PUSHOVER veya artımsal dinamik analiz (IDA) gibi ayrıntılı performans değerlendirme yöntemlerinin sonuçları da öğrenme verisi olarak YSA'ya öğretilirse, APD gerektiren binalar için gereken maddi manevi kaynakların daha ekonomik şekilde kullanılabileceği aşikârdır.

Gelecekte yapay zekâ ile ilgili uygulamaların ve gelişmelerin her alanda olduğu gibi inşaat mühendisliği alanında da daha fazla kullanıma gireceğini söylemek kehanet sayılmaz. Bu ve buna benzer YZ çalışmaları sayesinde, inşaat mühendisliği için

eskiden çok karmaşık olan matris çözümleri bilgisayar sayesinde çözebilir hale geldiğimiz gibi, Yapay Zekâ tabanlı analizlerle de daha doğru ve daha pratik çözümler geliştirilebilir.

Geliştirilen derin öğrenme tabanlı uygulamalar toplumun depreme dayanıklılığını artırmayı hedefleyen çeşitli uygulamalara entegre edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] C. Haub, "PRB's 2010 World Population Data Sheet," 2010.

[2] S. Hegarty. "Dünya nüfusu 8 milyara ulaştı: 5, 6 ve 7 milyarıncı bebekler bugün ne yapıyor?" https://www.bbc.com/turkce/articles/c3g5xv3714wo (accessed 25.11.2022, 2022).

[3] AFAD. "Disaster and Emergency Management Presidency." https://afad.gov.tr/afad-hakkinda (accessed 2020).

[4] USGS. "The US Geological Survey." https://www.usgs.gov/ (accessed 21.10.2021, 2021).

[5] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*.

[6] *Earthquake Master Plan for Istanbul (İstanbul İçin Deprem Master Plan),* 7, 2003.

[7] *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,* B. v. İ. Bakanlığı, 2007.

[8] *Riskli Bina Tespit Yönetmeliği,* 6306, 2019.

[9] M. Bardakçı, "Murat Bardakçı büyük İstanbul depremini yazdı," ed. İstanbul, 2015.

[10] S. Kundak and H. Türkoğlu, "İstanbul'da deprem riski analizi," *İTÜDERGİSİ/a,* vol. 6, no. 2, 2010.

[11] D. Okuyucu, G. K. Savaş, B. Gedik, M. F. Şuşarlıoğlu, and T. Kara, "Sokaktan tarama yöntemiyle binaların bölgesel deprem risk dağılımının belirlenmesi: Erzurum–Yenişehir örneği," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* vol. 30, no. 1, pp. 219-231, 2018.

[12] TUIK, "Yıllara Göre GSYH," 2022. [Online]. Available: www.tuik.gov.tr.

[13] J. D. Cummins and O. Mahul, *Catastrophe Risk Financing in Developing Countries, Principles for Public Intervention*. Washington D.C.: The World Bank, 2009, p. 299.

[14] *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook*, 0160941504, FEMA, 2017.

[15] E. Sayın and T. Demir, "Betonarme Yapılarda Farklı Kat Sayıları için Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi,* vol. 10, no. 3, pp. 1049-1060, 2019.

[16] G. Ç. Köse Sunca, "Farklı oran ve düzendeki dolgu duvarlara sahip betonarme yapıların sismik performanslarının belirlenmesi," Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, 2019.

[17] H. Sucuoğlu, "Kentsel yapı stoklarında deprem risklerinin sokaktan tarama yöntemi ile belirlenmesi," *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul,* vol. 267, p. 284, 2007.

[18] G. M. Calvi, R. Pinho, G. Magenes, J. J. Bommer, L. F. Restrepo-Vélez, and H. Crowley, "Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years," *ISET journal of Earthquake Technology,* vol. 43, no. 3, pp. 75-104, 2006.

[19] M. Colombi, B. Borzi, H. Crowley, M. Onida, F. Meroni, and R. Pinho, "Deriving vulnerability curves using Italian earthquake damage data," *Bulletin of Earthquake Engineering,* vol. 6, no. 3, pp. 485-504, 2008.

[20] S. Lagomarsino and S. Giovinazzi, "Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings," *Bulletin of Earthquake Engineering,* vol. 4, no. 4, pp. 415-443, 2006.
[21] SERU. Archival Material from Bingol database located at website SERU [Online] Available: https://seru.metu.edu.tr/archives.html
[22] A. Özün, "Fragility based assessment of lowrise and midrise reinforced concrete frame buildings in turkey using Düzce damage database," Middle East Technical University, 2007.
[23] M. M. Yadollahi, A. Benli, and S. Varolgüneş, "Betonarme Binalarda Kısa Kolon Oluşumunda Dolgu Duvar Etkisi: Örnek Çalışma," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* vol. 19, no. 2, pp. 78-83, 2016.
[24] İ. E. Bal, "Deprem etkisindeki betonarme binaların göçme riskinin hızlı değerlendirme yöntemleri ile belirlenmesi," Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
[25] E. Işık, İ. B. Karaşin, and B. Eren, "Mevcut bir yığma yapının farklı hızlı değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi," *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* vol. 5, no. 2, pp. 70-76, 2016.
[26] M. Altıner, "Deprem etkisindeki betonarme binaların göçme riskinin saptanması için hızlı değerlendirme yöntemleri," 2008.
[27] S. Tüysüz, "Betonarme binaların göçme riskinin hızlı değerlendirme yöntemleri ile belirlenmesi: P25 puanlama yöntemi," Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
[28] V. Silva, H. Crowley, M. Pagani, D. Monelli, and R. Pinho, "Development of the OpenQuake engine, the Global Earthquake Model's open-source software for seismic risk assessment," *Natural Hazards,* vol. 72, no. 3, pp. 1409-1427, 2014.
[29] M. Kadıoğlu, "Modern, bütünleşik afet yönetimin temel ilkeleri," *Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri,* p. 1, 2008.
[30] AFAD, M. Kadıoğlu, Ed. *Depreme Karşı Yapısal Olmayan Risklerin Azaltılması*. Disaster and Emergency Management Presidency, 2011.
[31] H. Ulutaş, "Van ili sismik tehlike analizi," 2012.
[32] K. Ö. Çetin *et al.*, "Bursa Şehri için CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ve Sıvılaşma Risk Haritası Oluşturulması," presented at the Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi İstanbul, Turkey, 16-17 Eylül 2004, 2004.
[33] E. Harman, "Sakarya şehri için olasılığa dayalı sismik tehlike analizi," 2015.
[34] S. Kızılbuğa, "Isparta ilinin olasılıksal yöntem ile sismik tehlikesinin tahmini," 2016.
[35] A. Askan, S. Karimzadeh, M. Asten, N. Kilic, F. N. Şişman, and C. Erkmen, "Assessment of seismic hazard in the Erzincan (Turkey) region: construction of local velocity models and evaluation of potential ground motions," *Turkish Journal of Earth Sciences,* vol. 24, no. 6, pp. 529-565, 2015.
[36] H. B. Özmen, "Eskişehir ili sismik tehlike analizi," Anadolu University (Turkey), 2020.
[37] A. Askan, B. Ugurhan, E. Ün, and M. Erberik, "Batı Marmara Bölgesi için Alternatif Yöntemlerle Deprem Hasar ve Kayıp Tahmini Çalışmaları," in *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, 11-14 Ekim 2011 2011.
[38] E. Işık, "Bitlis şehri deprem performans analizi," 2010.

[39] R. F. Kartal, "Olasılık ve istatistik yöntemler ile Amasya ilinin sismik tehlikesinin tahmini," 2010.
[40] H. Crowley and J. J. Bommer, "Modelling Seismic Hazard in Earthquake Loss Models with Spatially Distributed Exposure," 2006, doi: 10.1007/s10518-006-9009-y.
[41] UNDRR. "Annual average number of deaths by disaster type (2001-2020)." https://www.undrr.org/ (accessed 22.10.2022, 2022).
[42] R. Vicente, S. Parodi, S. Lagomarsino, H. Varum, and J. Mendes da Silva, "Seismic vulnerability assessment, damage scenarios and loss estimation. Case study of the old city centre of Coimbra, Portugal," in *Proceedings of the 14th world conference on earthquake engineering, Beijing, China*, 2008, pp. 12-17.
[43] J. E. Daniell, F. Wenzel, and B. Khazai, "The cost of historic earthquakes today–economic analysis since 1900 through the use of CATDAT," in *AEES 2010 Conference, Perth, Australia*, 2010, vol. 21.
[44] PAHO/WHO, "Haiti: Earthquake Situation Report No. 4 (7 September 2021)," Pan American Health Organization / World Health Organization, Washington, D.C.: ; 2021, 2021.
[45] M. Waseem, S. Khan, and M. Asif Khan, "Probabilistic seismic hazard assessment of Pakistan Territory using an areal source model," *Pure and Applied Geophysics,* vol. 177, no. 8, pp. 3577-3597, 2020.
[46] A. Mohammadi, S. Karimzadeh, K. Valizadeh Kamran, and M. Matsuoka, "Extraction of land information, future landscape changes and seismic hazard assessment: A case study of Tabriz, Iran," *Sensors,* vol. 20, no. 24, p. 7010, 2020.
[47] M. Yadollahi, A. Adnan, and R. M. Zin, "Seismic vulnerability functional method for rapid visual screening of existing buildings," *Archives of Civil Engineering,* pp. 363-377-363-377, 2012.
[48] N. Abrahamson, "Seismic hazard assessment: problems with current practice and future developments," in *First European conference on earthquake engineering and seismology*, 2006, pp. 3-8.
[49] J. J. Bommer and N. A. Abrahamson, "Why do modern probabilistic seismic-hazard analyses often lead to increased hazard estimates?," *Bulletin of the Seismological Society of America,* vol. 96, no. 6, pp. 1967-1977, 2006.
[50] UNISDR, "Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. ," Third. UN World Conference, Sendai, Japan, 2015.
[51] J. Bommer *et al.*, "Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance," *Journal of seismology,* vol. 6, no. 3, pp. 431-446, 2002.
[52] N. Demirbaş, H. Şahin, and C. Durucan, "Hızlı değerlendirme yöntemlerinin performanslarının depremde hasar görmüş binalar kullanılarak değerlendirilmesi Evaluating the performances of rapid assessment methods by using damaged buildings in earthquake," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* vol. 1000, no. 1000, pp. 0-0, 2022, doi: doi: 10.5505/pajes.2021.84115.
[53] K. Lang, *Seismic vulnerability of existing buildings* (no. 273). vdf Hochschulverlag AG, 2002.
[54] B. R. Ellingwood, "Earthquake risk assessment of building structures," *Reliability Engineering & System Safety,* vol. 74, no. 3, pp. 251-262, 2001/12/01/ 2001, doi: 10.1016/S0951-8320(01)00105-3.

[55] V. Silva *et al.*, "Current challenges and future trends in analytical fragility and vulnerability modeling," *Earthquake Spectra,* vol. 35, no. 4, pp. 1927-1952, 2019.
[56] N. Bektaş and O. Kegyes-Brassai, "Conventional RVS Methods for Seismic Risk Assessment for Estimating the Current Situation of Existing Buildings: A State-of-the-Art Review," *Sustainability,* vol. 14, no. 5, p. 2583, 2022. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/2583.
[57] U. Albayrak, M. Canbaz, and G. Albayrak, "A rapid seismic risk assessment method for existing building stock in urban areas," *Procedia engineering,* vol. 118, pp. 1242-1249, 2015.
[58] R. Fathi-Fazl, Z. Cai, E. Jacques, and W. L. Cortés-Puentes, "Methodology for seismic risk screening of existing buildings in Canada: Structural scoring system," *Canadian Journal of Civil Engineering,* vol. 48, no. 3, pp. 250-262, 2021.
[59] M. M. Kassem, F. M. Nazri, E. N. Farsangi, and C. G. Tan, "Comparative seismic RISK assessment of existing RC buildings using seismic vulnerability index approach," in *Structures*, 2021, vol. 32: Elsevier, pp. 889-913.
[60] A. K. Chopra and R. K. Goel, "Evaluation of NSP to estimate seismic deformation: SDF systems," *Journal of Structural Engineering,* vol. 126, no. 4, p. 482, 2000.
[61] A. K. Chopra and R. K. Goel, "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings," *Earthquake engineering & structural dynamics,* vol. 31, no. 3, pp. 561-582, 2002.
[62] UDAP, "Ulusal Deprem Araştırma Programı," Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2012. [Online]. Available: https://deprem.afad.gov.tr/icerik?id=10&menuId=100
[63] E. Yalçınkaya, "Zemin neden bu kadar önemli," *Jeofizik Bülteni,* vol. 63, pp. 77-80, 2010.
[64] D. Kara, K. B. Bozdoğan, and E. Keskin, "Çerçeve sistemlerin yapı zemin etkileşimli serbest titreşim analizi," *Politeknik Dergisi,* vol. 23, no. 4, pp. 1347-1355, 2020.
[65] E. Yalçınkaya, "Zemin Özelliklerinin Deprem Yer Hareketine Etkisi: 1 Ekim 1995 Dinar ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi Örnekleri," PhD, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst, Jeofizik Mühendisliği, İstanbul Üniversitesi, Istanbul, 121171, 2002.
[66] K. Akbayram, K. Kıranşan, and S. Varolgüneş, "Hazırlıkta," 2020.
[67] K. Akbayram, E. Bayrak, E. Pamuk, Ç. Özer, K. Kıranşan, and S. Varolgüneş, "Dynamic sub-surface characteristic and the active faults of the Genç District locating over the Bingöl Seismic Gap of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey," *Natural Hazards,* pp. 1-23, 2022.
[68] M. Üzer *et al.*, *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1: 1.250. 000*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2013.
[69] E. Yalçınkaya, "Zemin Neden Bu Kadar Önemli?," (in TR), *Jeofizik Bülteni,* Bulletin vol. 63, pp. 77-80, Haziran,2010 2010. [Online]. Available: http://www.jeofizik.org.tr/resimler/ekler/8997733ec258a9f_ek.pdf?dergi=24.
[70] A. M. C. Şengör, "Türkiye'nin neotektoniğinin esasları," *Türkiye Jeoloji Kurumu yayını,* vol. 40, 1980.

[71] A. Şengör and W. Kidd, "Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet," *Tectonophysics,* vol. 55, no. 3-4, pp. 361-376, 1979.
[72] A. Şengör, "The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance," *Journal of the Geological Society,* vol. 136, no. 3, pp. 269-282, 1979.
[73] D. McKenzie, "Active tectonics of the Mediterranean region," *Geophysical Journal International,* vol. 30, no. 2, pp. 109-185, 1972.
[74] E. Arpat and F. Şaroğlu, "The East Anatolian fault system; thoughts on its development," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi,* vol. 78, no. 78, pp. 1-12, 1972.
[75] İ. Seymen and A. Aydın, "The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian fault zone," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi,* vol. 79, no. 79, pp. 8-12, 1972.
[76] N. Ambraseys, "Temporary seismic quiescence: SE Turkey," *Geophysical Journal International,* vol. 96, no. 2, pp. 311-331, 1989.
[77] T. Taymaz, H. Eyidoğan, and J. Jackson, "Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey)," *Geophysical Journal International,* vol. 106, no. 3, pp. 537-550, 1991.
[78] N. Ambraseys and J. Jackson, "Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region," *Geophysical Journal International,* vol. 133, no. 2, pp. 390-406, 1998.
[79] E. Herece, "Atlas of East anatolian fault," *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Special Publication Series,* vol. 13, 2008.
[80] O. Tan, M. C. Tapirdamaz, and A. Yörük, "The earthquake catalogues for Turkey," *Turkish Journal of Earth Sciences,* vol. 17, no. 2, pp. 405-418, 2008.
[81] Ö. Emre, T. Y. Duman, S. Özalp, H. Elmacı, and S. Olgun, "1: 250.000 scale active fault map series of Turkey," *Kayseri (NJ36-8) Quadrange, Ankara,* 2011.
[82] T. Y. Duman and Ö. Emre, "The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics," *Geological Society, London, Special Publications,* vol. 372, no. 1, pp. 495-529, 2013.
[83] D. Kalafat, K. Kekovali, M. Ocal, and L. Gülen, "Moment Tensor Catalogue of Important Earthquakes in Turkey and Surrounding Regions," in *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2009, vol. 2009, pp. ED23A-0536.
[84] KOERI. "Kandilli Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center." http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lst8.asp (accessed 06.10.2021, 2021).
[85] S. Altuncu Poyraz, D. Aksarı, T. Ergün, U. M. Teoman, and A. Pınar, "The December 2nd, 2015 Bingöl, Eastern Anatolia-TURKEY, earthquake (Mw = 5.3): A rupture on optimally oriented fault plane," *Journal of Asian Earth Sciences,* vol. 173, pp. 88-97, 2019/04/15/ 2019.
[86] H. Eyidoğan, U. Güçlü, Z. Utku, and E. Değirmenci, *Türkiye Büyük Depremleri Makro Sismik Rehberi (1990–1988)*. İstanbul: ITÜ Maden Fak. Jeofizik Müh. Bölümü, 1991.
[87] S. S. Nalbant, J. McCloskey, S. Steacy, and A. A. Barka, "Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey," *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 195, no. 3-4, pp. 291-298, 2002.
[88] K. Akbayram, K. Kıranşan, S. Varolgüneş, P. Büyükakpınar, E. Karasözen, and Ç. Bayık, "Multidisciplinary analyses of the rupture characteristic of the June 14, 2020, M w 5.9 Kaynarpınar (Karlıova, Bingöl) earthquake reveal

N70E-striking active faults along the Yedisu Seismic Gap of the North Anatolian Fault Zone," *International Journal of Earth Sciences,* pp. 1-21, 2022.
[89] O. Tan *et al.*, "Aftershock study and seismotectonic implications of the 8 March 2010 Kovancılar (Elazığ, Turkey) earthquake (MW= 6.1)," *Geophysical Research Letters,* vol. 38, no. 11, 2011.
[90] A. Şengör, N. Görür, and F. Şaroğlu, "Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study," *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists,* pp. 227-264, 1985.
[91] J. Dewey, M. Hempton, W. Kidd, F. Saroglu, and A. Şengör, "Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone," *Geological Society, London, Special Publications,* vol. 19, no. 1, pp. 1-36, 1986.
[92] İ. Seymen and A. Aydın, "The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian fault zone," *Bulletin of the General Directorate of Mineral Research and Exploration,* vol. 79, pp. 8-12, 1972.
[93] M. A. Erberik, C. Citiloglu, and G. Erkoseoglu, "Seismic performance assessment of confined masonry construction at component and structure levels," (in English), *Bulletin of Earthquake Engineering,* vol. 17, no. 2, pp. 867-889, Feb 2019, doi: 10.1007/s10518-018-0468-8.
[94] ATC-40, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building," Applied Technology Council, Redwood City, California, 40-2, 1996.
[95] *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, TBDY, 2018.
[96] S. Karimzadeh, A. Askan, M. A. Erberik, and A. Yakut, "Seismic damage assessment based on regional synthetic ground motion dataset: a case study for Erzincan, Turkey," (in English), *Natural Hazards,* vol. 92, no. 3, pp. 1371-1397, Jul 2018, doi: 10.1007/s11069-018-3255-6.
[97] O. Kammouh, S. Silvestri, M. Palermo, and G. P. Cimellaro, "Performance-based seismic design of multistory frame structures equipped with crescent-shaped brace," (in English), *Struct Control Hlth,* vol. 25, no. 2, Feb 2018, doi: 10.1002/stc.2079.
[98] S. Karimzadeh, K. Kadas, A. Askan, M. A. Erberik, and A. Yakut, "A study on fragility analyses of masonry buildings in Erzincan (Turkey) utilizing simulated and real ground motion records," (in English), *Procedia Engineer,* vol. 199, pp. 188-193, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.09.237.
[99] G. P. Cimellaro, D. Lopez-Garcia, and A. M. Reinhorn, "Soil-Structure Interaction for Integrated Design of Weakened and Damped Structures," (in English), *J Earthq Tsunami,* vol. 11, no. 4, Oct 2017, doi: 10.1142/S1793431117500130.
[100] S. Marasco, A. Z. Noori, and G. P. Cimellaro, "Cascading Hazard Analysis of a Hospital Building," (in English), *Journal of Structural Engineering,* vol. 143, no. 9, Sep 2017, doi: 10.1061/(Asce)St.1943541x.0001808.
[101] E. Vuran and M. N. Aydinoglu, "Capacity and ductility demand estimation procedures for preliminary design of coupled core wall systems of tall buildings," (in English), *Bulletin of Earthquake Engineering,* vol. 14, no. 3, pp. 721-745, Mar 2016, doi: 10.1007/s10518-015-9853-8.
[102] H. H. Elanwar and A. S. Elnashai, "Framework for Online Model Updating in Earthquake Hybrid Simulations," (in English), *Journal of Earthquake*

Engineering, vol. 20, no. 1, pp. 80-100, Jan 2 2016, doi: 10.1080/13632469.2015.1051637.

[103] H. H. Elanwar and A. S. Elnashai, "Application of In-Test Model Updating to Earthquake Structural Assessment," (in English), *Journal of Earthquake Engineering,* vol. 20, no. 1, pp. 62-79, Jan 2 2016, doi: 10.1080/13632469.2015.1051638.

[104] M. N. Aydinoglu and E. Vuran, "Developments in Seismic Design of Tall Buildings: Preliminary Design of Coupled Core Wall Systems," (in English), *Geotech Geol Earthq,* vol. 39, pp. 227-243, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-16964-4_9.

[105] E. I. Katsanos, A. G. Sextos, and A. S. Elnashai, "Prediction of inelastic response periods of buildings based on intensity measures and analytical model parameters," (in English), *Engineering Structures,* vol. 71, pp. 161-177, Jul 15 2014, doi: 10.1016/j.engstruct.2014.04.007.

[106] G. P. Cimellaro, T. Giovine, and D. Lopez-Garcia, "Bidirectional Pushover Analysis of Irregular Structures," (in English), *Journal of Structural Engineering,* vol. 140, no. 9, Sep 2014, doi: Artn 04014059
10.1061/(Asce)St.1943-541x.0001032.

[107] S. A. Edalati, Y. Yadollahi, I. Pakar, A. Emadi, and M. Bayat, "Numerical study on the performance of corrugated steel shear walls," (in English), *Wind Struct,* vol. 19, no. 4, pp. 405-420, Oct 2014, doi: DOI 10.12989/was.2014.19.4.405.

[108] J. Li, B. F. Spencer, and A. S. Elnashai, "Bayesian Updating of Fragility Functions Using Hybrid Simulation," (in English), *Journal of Structural Engineering,* vol. 139, no. 7, pp. 1160-1171, Jul 1 2013, doi: 10.1061/(Asce)St.1943-541x.0000685.

[109] H. N. Mahmoud, A. S. Elnashai, B. F. Spencer, O. S. Kwon, and D. J. Bennier, "Hybrid Simulation for Earthquake Response of Semirigid Partial-Strength Steel Frames," (in English), *Journal of Structural Engineering,* vol. 139, no. 7, pp. 1134-1148, Jul 1 2013, doi: 10.1061/(Asce)St.1943-541x.0000721.

[110] N. D. Aksoylar, A. S. Elnashai, and A. Z. Ozturk, "Story Drifts and Connection Rotations of Semi-Rigid Steel Frames," (in Turkish), *Tek Dergi,* vol. 24, no. 2, pp. 6351-6377, Apr 2013. [Online]. Available: <Go to ISI>://WOS:000318454300002.

[111] S. L. Lin, J. Li, A. S. Elnashai, and B. F. Spencer, "NEES integrated seismic risk assessment framework (NISRAF)," (in English), *Soil Dynamics and Earthquake Engineering,* vol. 42, pp. 219-228, Nov 2012, doi: 10.1016/j.soildyn.2012.06.005.

[112] N. D. Aksoylar, A. S. Elnashai, and H. Mahmoud, "Seismic Performance of Semirigid Moment-Resisting Frames under Far and Near Field Records," (in English), *J Struct Eng-Asce,* vol. 138, no. 2, pp. 157-169, Feb 2012, doi: 10.1061/(Asce)St.1943-541x.0000455.

[113] G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, A. D'Ambrisi, and M. De Stefano, "Fragility Analysis and Seismic Record Selection," (in English), *Journal of Structural Engineering,* vol. 137, no. 3, pp. 379-390, Mar 2011, doi: 10.1061/(Asce)St.1943-541x.0000115.

[114] M. Vafaei, A. bin Adnan, and M. Yadollahi, "Seismic Damage Detection Using Pushover Analysis," (in English), *Adv Mater Res-Switz,* vol. 255-260, pp. 2496-2499, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.255-260.2496.

[115] M. N. Aydinoglu and G. Onem, "Evaluation of Analysis Procedures for Seismic Assessment and Retrofit Design," (in English), *Geotech Geol Earthq,* vol. 17, pp. 171-198, 2010. [Online]. Available: <Go to ISI>://WOS:000302967600008.

[116] M. N. Aydinoglu and G. Onem, "Nonlinear performance assessment of bridges with Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA) procedure," (in English), *Strtr Infra Sers,* vol. 2, pp. 393-+, 2009. [Online]. Available: <Go to ISI>://WOS:000264663800025.

[117] J. Ji, A. S. Elnashai, and D. A. Kuchma, "Seismic Fragility Relationships of Reinforced Concrete High-Rise Buildings," (in English), *Struct Des Tall Spec,* vol. 18, no. 3, pp. 259-277, Apr 2009, doi: 10.1002/tal.408.

[118] B. O. Ay and M. A. Erberik, "Vulnerability of Turkish low-rise and mid-rise reinforced concrete frame structures," (in English), *Journal of Earthquake Engineering,* vol. 12, pp. 2-11, 2008, doi: 10.1080/13632460802012687.

[119] A. Mwafy and A. Elnashai, "Importance of shear assessment of concrete structures detailed to different capacity design requirements," (in English), *Engineering Structures,* vol. 30, no. 6, pp. 1590-1604, Jun 2008, doi: 10.1016/j.engstruct.2007.10.015.

[120] A. M. Erberik, "Az ve orta katlı betonarme yapıların hasar görebilirliğinin incelenmesi," TUBITAK-PROJE NO: 104M565 Ankara, 2006. [Online]. Available: https://open.metu.edu.tr/bitstream/handle/11511/50526/T1RZME9Uaz0.pdf

[121] A. Gürbüz and M. Tekin, "Performans Siralamasi Yöntemİyle Mevcut Bİnalarin Bölgesel Deprem RİSk Dağiliminin Belİrlenmesİ," *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* vol. 11, no. 1, pp. 37-48, 2015.

[122] M. Un Elif, M. A. Erberik, and A. Askan, "Performance Assessment of Turkish Residential Buildings for Seismic Damage and Loss Estimation," *Journal of Performance of Constructed Facilities,* vol. 29, no. 2, p. 04014063, 2015/04/01 2015, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000547.

[123] E. Harirchian, K. Jadhav, K. Mohammad, S. E. Aghakouchaki Hosseini, and T. Lahmer, "A Comparative Study of MCDM Methods Integrated with Rapid Visual Seismic Vulnerability Assessment of Existing RC Structures," *Applied Sciences,* vol. 10, no. 18, p. 6411, 2020. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/18/6411.

[124] Ş. Kızılkaya, "FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama," *Kanada Sismik Tarama ve Japon Sismik İndeks Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi ve Uygulaması, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,* 2018.

[125] P. Aghabeigi and S. Farahmand-Tabar, "Seismic vulnerability assessment and retrofitting of historic masonry building of Malek Timche in Tabriz Grand Bazaar," *Engineering Structures,* vol. 240, p. 112418, 2021/08/01/ 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112418.

[126] R. Fikri and J. Ingham, "Seismic response and aftershock fragility curves for Non-ductile Mid-rise buildings comprised of reinforced concrete frame with masonry infill," *Structures,* vol. 45, pp. 1688-1700, 2022/11/01/ 2022, doi: 10.1016/j.istruc.2022.09.108.

[127] R. M. Cosentini and F. Bozzoni, "Fragility curves for rapid assessment of earthquake-induced damage to earth-retaining walls starting from optimal seismic intensity measures," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering,* vol. 152, p. 107017, 2022/01/01/ 2022, doi: 10.1016/j.soildyn.2021.107017.

[128] W. Chen and L. Zhang, "Building vulnerability assessment in seismic areas using ensemble learning: A Nepal case study," *Journal of Cleaner Production,* vol. 350, p. 131418, 2022/05/20/ 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131418.
[129] M. Surana, A. Ghosh, and D. Baldev, "Seismic features and vulnerability of traditional building practices in the Himalayan State, Himachal Pradesh, India," *Journal of Building Engineering,* vol. 62, p. 105376, 2022/12/15/ 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.105376.
[130] Q. Yu *et al.*, "Rapid visual screening of soft-story buildings from street view images using deep learning classification," *Earthq Eng Eng Vib,* vol. 19, no. 4, pp. 827-838, 2020.
[131] E. Harirchian and T. Lahmer, "Improved rapid visual earthquake hazard safety evaluation of existing buildings using a type-2 fuzzy logic model," *Applied Sciences,* vol. 10, no. 7, p. 2375, 2020.
[132] M. Sathurshan, A. Saja, J. Thamboo, M. Haraguchi, and S. Navaratnam, "Resilience of Critical Infrastructure Systems: A Systematic Literature Review of Measurement Frameworks," *Infrastructures,* vol. 7, no. 5, p. 67, 2022. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2412-3811/7/5/67.
[133] R. Ramírez Eudave, T. M. Ferreira, and R. Vicente, "Parameter-based seismic vulnerability assessment of Mexican historical buildings: Insights, suitability, and uncertainty treatment," *International Journal of Disaster Risk Reduction,* vol. 74, p. 102909, 2022/05/01/ 2022, doi: 10.1016/j.ijdrr.2022.102909.
[134] M. Mouhine and E. Hilali, "Seismic vulnerability for irregular reinforced concrete buildings with consideration of site effects," *Materials Today: Proceedings,* vol. 58, pp. 1039-1043, 2022/01/01/ 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.038.
[135] S. Ruggieri, D. Perrone, M. Leone, G. Uva, and M. A. Aiello, "A prioritization RVS methodology for the seismic risk assessment of RC school buildings," *International Journal of Disaster Risk Reduction,* vol. 51, p. 101807, 2020/12/01/ 2020, doi: 10.1016/j.ijdrr.2020.101807.
[136] S. Golnaraghi, Z. Zangenehmadar, O. Moselhi, and S. Alkass, "Application of Artificial Neural Network(s) in Predicting Formwork Labour Productivity," *Advances in Civil Engineering,* vol. 2019, p. 5972620, 2019/01/02 2019, doi: 10.1155/2019/5972620.
[137] Y. Pan and L. Zhang, "Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends," *Automation in Construction,* vol. 122, p. 103517, 2021/02/01/ 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103517.
[138] M. A. Getahun, S. M. Shitote, and Z. C. Abiero Gariy, "Artificial neural network based modelling approach for strength prediction of concrete incorporating agricultural and construction wastes," *Construction and Building Materials,* vol. 190, pp. 517-525, 2018/11/30/ 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.097.
[139] A. Mardani, A. Jusoh, K. Md Nor, Z. Khalifah, N. Zakwan, and A. Valipour, "Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014," *Economic Research-Ekonomska Istraživanja,* vol. 28, no. 1, pp. 516-571, 2015/01/01 2015, doi: 10.1080/1331677X.2015.1075139.

[140] P. Kapetana and S. Dritsos, "Seismic assessment of buildings by rapid visual screening procedures," *Earthquake Resistant Engineering Structures VI,* vol. 93, p. 409, 2007.
[141] M. Ebrahimi and M. Mirzayi Modam, "Selecting the best zones to add new emergency services based on a hybrid fuzzy MADM method: A case study for Tehran," *Safety Science,* vol. 85, pp. 67-76, 2016/06/01/ 2016, doi: 10.1016/j.ssci.2015.10.011.
[142] D. C. Rai, "Seismic evaluation and strengthening of existing buildings," *IIT Kanpur and Gujarat State Disaster Mitigation Authority: Gandhinagar, India,* pp. 1-120, 2005.
[143] Indian-Standard, "Criteria for earthquake resistant design of structures," *Bureau of Indian Standards, Part,* vol. 1, 1893.
[144] R. Sinha and A. Goyal, "A national policy for seismic vulnerability assessment of buildings and procedure for rapid visual screening of buildings for potential seismic vulnerability," *Report to Disaster Management Division, Ministry of Home Affairs, Government of India, Hindistan,* pp. 1-9, 2004.
[145] E. Öztemel, "Yapay sinir ağlari," *PapatyaYayincilik, Istanbul,* 2003.
[146] J. McCarthy *et al.*, "XIII. ARTIFICIAL INTELLIGENCE," 1962.
[147] M. Childs. "John McCarthy: Computer scientist known as the father of AI." https://www.independent.co.uk/news/obituaries/john-mccarthy-computer-scientist-known-as-the-father-of-ai-6255307.html (accessed 12.05.2022, 2022).
[148] A. N. Akpolat, "Management and control of distributed energy generation systems via artificial intelligence techniques," MARMARA UNIVERSITY, 2021.
[149] T. Güveli. "Python ile Makine Öğrenmesi 2: “camdan beyin yapmak”." https://www.veribilimiokulu.com/python-ile-makine-ogrenmesi-2-camdan-beyin-yapmak/ (accessed 16.08.2022, 2022).
[150] D. Svozil, V. Kvasnicka, and J. Pospichal, "Introduction to multi-layer feed-forward neural networks," *Chemometrics and intelligent laboratory systems,* vol. 39, no. 1, pp. 43-62, 1997.
[151] X. Yu, M. O. Efe, and O. Kaynak, "A general backpropagation algorithm for feedforward neural networks learning," *IEEE transactions on neural networks,* vol. 13, no. 1, pp. 251-254, 2002.
[152] N. B. Shaik, S. R. Pedapati, S. A. A. Taqvi, A. Othman, and F. A. A. Dzubir, "A feed-forward back propagation neural network approach to predict the life condition of crude oil pipeline," *Processes,* vol. 8, no. 6, p. 661, 2020.
[153] T. P. Vogl, J. Mangis, A. Rigler, W. Zink, and D. Alkon, "Accelerating the convergence of the back-propagation method," *Biological cybernetics,* vol. 59, no. 4, pp. 257-263, 1988.

EKLER

Ek 1: RBTY 2019 B.A. binalar için Veri Toplama Formu

BETONARME BİNALAR İÇİN VERİ TOPLAMA FORMU					
BİNA KİMLİK BİLGİLERİ				Tarih:	
				Sıra:	
BİNA KİMLİK NO				BİNA FOTOĞRAF (BİNANIN ÖN CEPHESİNDEN VE BİNAYI TEMSİL EDEBİLECEK NET BİR FOTOĞRAF OLMALI)	
İL					
İLÇE					
MAHALLE					
CADDE / SOKAK					
DIŞ KAPI NO					
BİNA ADI					
PAFTA					
ADA					
PARSEL					
UAVT BİNA KODU					
BİNANIN TAHMİNİ YAŞI					
COĞRAFİ KOORDİNATLARI	ENLEM:		BOYLAM:		
YAPI KULLANIM TÜRÜ	☐ KONUT	☐ TİCARET	☐ SANAYİ	☐ KAMU	☐ METRUK
BİNA TEKNİK BİLGİLERİ					
YAPISAL SİSTEM TÜRÜ	☐ BA ÇERÇEVE		☐ BA ÇERÇEVE VE PERDE		
SERBEST KAT ADEDİ (n_{sk})					
BİNA GÖRSEL KALİTESİ	☐ İYİ	☐ ORTA	☐ KÖTÜ		
YUMUŞAK KAT / ZAYIF KAT	☐ VAR	☐ YOK			
DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK	☐ VAR	☐ YOK			
AĞIR ÇIKMALAR	☐ VAR	☐ YOK			
PLANDA DÜZENSİZLİK	☐ VAR	☐ YOK			
KISA KOLON ETKİSİ	☐ VAR	☐ YOK			
YAPI NİZAMI	☐ AYRIK	☐ BİTİŞİK	☐ KÖŞEDE BİTİŞİK		
BİTİŞİK BİNALARLA DÖŞEME SEVİYESİ	☐ AYNI	☐ FARKLI			
TABİİ ZEMİN EĞİMİ	☐ DÜZ	☐ EĞİMLİ (Eğim > 30°)			
ZEMİN SINIFI	☐ ZA	☐ ZB	☐ ZC	☐ ZD	☐ ZE
NOT:					

Ek 2: FEMA-P154 1 inci Aşama Veri Toplama Formu (Deprem Tehlikesi Yüksek Bölge için)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards — **Level 1**
FEMA P-154 Data Collection Form — **HIGH Seismicity**

PHOTOGRAPH

SKETCH

Address: _____
_____ **Zip:** _____
Other Identifiers: _____
Building Name: _____
Use: _____
Latitude: _____ **Longitude:** _____
S_S: _____ **S_1:** _____
Screener(s): _____ **Date/Time:** _____

No. Stories: Above Grade: _____ Below Grade: _____ **Year Built:** ☐ EST
Total Floor Area (sq. ft.): _____ **Code Year:** _____
Additions: ☐ None ☐ Yes, Year(s) Built: _____

Occupancy: Assembly ☐ Commercial ☐ Emer. Services ☐ Historic ☐ Shelter
Industrial ☐ Office ☐ School ☐ Government
Utility ☐ Warehouse ☐ Residential, # Units: _____

Soil Type: ☐A Hard Rock ☐B Avg Rock ☐C Dense Soil ☐D Stiff Soil ☐E Soft Soil ☐F Poor Soil **DNK** *If DNK, assume Type D.*

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK

Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building

Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) _____
☐ Plan (type) _____

Exterior Falling Hazards: ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer ☐ Parapets ☐ Appendages ☐ Other: _____

COMMENTS:

☐ Additional sketches or comments on separate page

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1}

FEMA BUILDING TYPE (Do Not Know)	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score	**3.6**	**3.2**	**2.9**	**2.1**	**2.0**	**2.6**	**2.0**	**1.7**	**1.5**	**2.0**	**1.2**	**1.6**	**1.4**	**1.7**	**1.7**	**1.0**	**1.5**
Severe Vertical Irregularity, V_{L1}	-1.2	-1.2	-1.2	-1.0	-1.0	-1.1	-1.0	-0.8	-0.9	-1.0	-0.7	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9	-0.7	NA
Moderate Vertical Irregularity, V_{L1}	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	NA
Plan Irregularity, P_{L1}	-1.1	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.9	-0.7	-0.6	-0.6	-0.8	-0.5	-0.7	-0.6	-0.7	-0.7	-0.4	NA
Pre-Code	-1.1	-1.0	-0.9	-0.6	-0.6	-0.8	-0.6	-0.2	-0.4	-0.7	-0.1	-0.5	-0.3	-0.5	-0.5	0.0	-0.1
Post-Benchmark	1.6	1.9	2.2	1.4	1.4	1.1	1.9	NA	1.9	2.1	NA	2.0	2.4	2.1	2.1	NA	1.2
Soil Type A or B	0.1	0.3	0.5	0.4	0.6	0.1	0.6	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3
Soil Type E (1-3 stories)	0.2	0.2	0.1	-0.2	-0.4	0.2	-0.1	-0.4	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.4
Soil Type E (> 3 stories)	-0.3	-0.6	-0.9	-0.6	-0.6	NA	-0.6	-0.4	-0.5	-0.7	-0.3	NA	-0.4	-0.5	-0.6	-0.2	NA
Minimum Score, S_{MIN}	*1.1*	*0.9*	*0.7*	*0.5*	*0.5*	*0.6*	*0.5*	*0.5*	*0.3*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*1.0*

FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{L1} \geq S_{MIN}$:

EXTENT OF REVIEW
Exterior: ☐ Partial ☐ All Sides ☐ Aerial
Interior: ☐ None ☐ Visible ☐ Entered
Drawings Reviewed: ☐ Yes ☐ No
Soil Type Source: _____
Geologic Hazards Source: _____
Contact Person: _____

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?
☐ Yes, Final Level 2 Score, S_{L2} _____ ☐ No
Nonstructural hazards? ☐ Yes ☐ No

OTHER HAZARDS
Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation?
☐ Pounding potential (unless S_{L2} > cut-off, if known)
☐ Falling hazards from taller adjacent building
☐ Geologic hazards or Soil Type F
☐ Significant damage/deterioration to the structural system

ACTION REQUIRED
Detailed Structural Evaluation Required?
☐ Yes, unknown FEMA building type or other building
☐ Yes, score less than cut-off
☐ Yes, other hazards present
☐ No

Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? *(check one)*
☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated
☐ No, nonstructural hazards exist that may require mitigation, but a detailed evaluation is not necessary
☐ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK

Where information cannot be verified, screener shall note the following: EST = Estimated or unreliable data OR DNK = Do Not Know

Legend: MRF = Moment-resisting frame; BR = Braced frame; RC = Reinforced concrete; SW = Shear wall; URM INF = Unreinforced masonry infill; TU = Tilt up; MH = Manufactured Housing; LM = Light metal; FD = Flexible diaphragm; RD = Rigid diaphragm

Ek 3: FEMA-154 2nci Aşama Veri Toplama Formu (opsiyonel) (Deprem Tehlikesi Yüksek Bölge için)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards — **Level 2 (Optional)**

FEMA P-154 Data Collection Form — **HIGH Seismicity**

Optional Level 2 data collection to be performed by a civil or structural engineering professional, architect, or graduate student with background in seismic evaluation or design of buildings.

Bldg Name:	**Final Level 1 Score:**	S_{L1} =	*(do not consider S_{MIN})*
Screener:	**Level 1 Irregularity Modifiers:**	*Vertical Irregularity,* V_{L1} =	*Plan Irregularity,* P_{L1} =
Date/Time:	**ADJUSTED BASELINE SCORE:**	$S' = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1})$ =	

STRUCTURAL MODIFIERS TO ADD TO ADJUSTED BASELINE SCORE

Topic	Statement *(If statement is true, circle the "Yes" modifier; otherwise cross out the modifier.)*		Yes	Subtotals
Vertical Irregularity, V_{L2}	Sloping Site	W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-1.2	
		Non-W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-0.3	
	Weak and/or Soft Story *(circle one maximum)*	W1 building cripple wall: An unbraced cripple wall is visible in the crawl space.	-0.6	
		W1 house over garage: Underneath an occupied story, there is a garage opening without a steel moment frame, and there is less than 8' of wall on the same line (for multiple occupied floors above, use 16' of wall minimum).	-1.2	
		W1A building open front: There are openings at the ground story (such as for parking) over at least 50% of the length of the building.	-1.2	
		Non-W1 building: Length of lateral system at any story is less than 50% of that at story above or height of any story is more than 2.0 times the height of the story above.	-0.9	
		Non-W1 building: Length of lateral system at any story is between 50% and 75% of that at story above or height of any story is between 1.3 and 2.0 times the height of the story above.	-0.5	
	Setback	Vertical elements of the lateral system at an upper story are outboard of those at the story below causing the diaphragm to cantilever at the offset.	-1.0	
		Vertical elements of the lateral system at upper stories are inboard of those at lower stories.	-0.5	
		There is an in-plane offset of the lateral elements that is greater than the length of the elements.	-0.3	
	Short Column/ Pier	C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: At least 20% of columns (or piers) along a column line in the lateral system have height/depth ratios less than 50% of the nominal height/depth ratio at that level.	-0.5	
		C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: The column depth (or pier width) is less than one half of the depth of the spandrel, or there are infill walls or adjacent floors that shorten the column.	-0.5	
	Split Level	There is a split level at one of the floor levels or at the roof.	-0.5	
	Other Irregularity	There is another observable severe vertical irregularity that obviously affects the building's seismic performance.	-1.0	V_{L2} = _____
		There is another observable moderate vertical irregularity that may affect the building's seismic performance.	-0.5	*(Cap at -1.2)*
Plan Irregularity, P_{L2}	Torsional irregularity: Lateral system does not appear relatively well distributed in plan in either or both directions. *(Do not include the W1A open front irregularity listed above.)*		-0.7	
	Non-parallel system: There are one or more major vertical elements of the lateral system that are not orthogonal to each other.		-0.4	
	Reentrant corner: Both projections from an interior corner exceed 25% of the overall plan dimension in that direction.		-0.4	
	Diaphragm opening: There is an opening in the diaphragm with a width over 50% of the total diaphragm width at that level.		-0.2	
	C1, C2 building out-of-plane offset: The exterior beams do not align with the columns in plan.		-0.4	P_{L2} = _____
	Other irregularity: There is another observable plan irregularity that obviously affects the building's seismic performance.		-0.7	*(Cap at -1.1)*
Redundancy	The building has at least two bays of lateral elements on each side of the building in each direction.		+0.3	
Pounding	Building is separated from an adjacent structure by less than 1% of the height of the shorter of the building and adjacent structure and:	The floors do not align vertically within 2 feet.	-1.0	*(Cap total pounding modifiers at -1.2)*
		One building is 2 or more stories taller than the other.	-1.0	
		The building is at the end of the block.	-0.5	
S2 Building	"K" bracing geometry is visible.		-1.0	
C1 Building	Flat plate serves as the beam in the moment frame.		-0.4	
PC1/RM1 Bldg	There are roof-to-wall ties that are visible or known from drawings that do not rely on cross-grain bending. *(Do not combine with post-benchmark or retrofit modifier.)*		+0.3	
PC1/RM1 Bldg	The building has closely spaced, full height interior walls (rather than an interior space with few walls such as in a warehouse).		+0.3	
URM	Gable walls are present.		-0.4	
MH	There is a supplemental seismic bracing system provided between the carriage and the ground.		+1.2	
Retrofit	Comprehensive seismic retrofit is visible or known from drawings.		+1.4	M = _____

FINAL LEVEL 2 SCORE, $S_{L2} = (S' + V_{L2} + P_{L2} + M) \geq S_{MIN}$: *(Transfer to Level 1 form)*

There is observable damage or deterioration or another condition that negatively affects the building's seismic performance: ☐ Yes ☐ No

If yes, describe the condition in the comment box below and indicate on the Level 1 form that detailed evaluation is required independent of the building's score.

OBSERVABLE NONSTRUCTURAL HAZARDS

Location	Statement *(Check "Yes" or "No")*	Yes	No	Comment
Exterior	There is an unbraced unreinforced masonry parapet or unbraced unreinforced masonry chimney.			
	There is heavy cladding or heavy veneer.			
	There is a heavy canopy over exit doors or pedestrian walkways that appears inadequately supported.			
	There is an unreinforced masonry appendage over exit doors or pedestrian walkways.			
	There is a sign posted on the building that indicates hazardous materials are present.			
	There is a taller adjacent building with an unanchored URM wall or unbraced URM parapet or chimney.			
	Other observed exterior nonstructural falling hazard:			
Interior	There are hollow clay tile or brick partitions at any stair or exit corridor.			
	Other observed interior nonstructural falling hazard:			

Estimated Nonstructural Seismic Performance (*Check appropriate box and transfer to Level 1 form conclusions*)

☐ Potential nonstructural hazards with significant threat to occupant life safety → Detailed Nonstructural Evaluation recommended

☐ Nonstructural hazards identified with significant threat to occupant life safety → But no Detailed Nonstructural Evaluation required

☐ Low or no nonstructural hazard threat to occupant life safety → No Detailed Nonstructural Evaluation required

Comments:

Ek 4: IITK-GSDMA Yönetmeliğine göre Veri Toplama Formu (Deprem Tehlikesi Yüksek Bölge için)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Vulnerability

FEMA-154/ATC-21 Based Data Collection Form (Seismic Zones IV & V)

Address: _____

_____ Pin _____

Other Identifiers _____

GPS Coordinates (if available) _____

No. Stories _____ Year Built _____

Surveyor _____ Date _____

Total Floor Area (sq. ft./sq. m) _____

Building Name _____

Use _____

Current Visual Condition: Excellent ☐ / Good ☐ / Damaged ☐ / Distressed ☐

Building on Stilts / Open Ground Floor: Yes ☐ / No ☐

Construction Drawings Available: Yes ☐ / No ☐

Plan and Elevation Scale:

PHOTOGRAPH

(OR SPECIFY PHOTOGRAPH NUMBERS)

OCCUPANCY			SOIL TYPE (IS 1893:2002)			FALLING HAZARDS			
Assembly	Govt.	Office	Max. Number of Persons		Type I	Type II	Type III	☐	☐	☐	☐
Commercial	Historic	Residential	0 – 10	11 – 100	Hard Soil	Medium Soil	Soft Soil	Chimneys	Parapets	Cladding	Other:
Emer.Service	Industrial	School	101 – 1000	1000+							

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S

BUILDING TYPE	Wood	S1 (FRAME)	S2 (LM)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (INF)	URM1 (BAND+RD)	URM2 (BAND+FD)	URM3	URM4
Basic Score	**3.8**	**2.8**	**3.2**	**2.5**	**2.8**	**2.6**	**2.8**	**2.8**	**1.8**	**1.4**
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	+0.2	N/A	+0.4	+0.4	+0.2	+0.4	+0.4	-0.2	-0.4
High Rise (>7 stories)	N/A	+0.5	N/A	+0.6	+0.8	+0.3	N/A	N/A	N/A	N/A
Vertical Irregularity	-2.0	-1.0	N/A	-1.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Code Detailing	N/A	+0.4	N/A	+0.2	+1.4	+0.2	N/A	N/A	N/A	N/A
Soil Type II	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type III	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Liquifiable Soil	-0.8	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-0.8	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8

FINAL SCORE, *S*

Result Interpretation (*Likely building performance*)

S < 0.3	High probability of Grade 5 damage; Very high probability of Grade 4 damage
0.3 < S < 0.7	High probability of Grade 4 damage; Very high probability of Grade 3 damage
0.7 < S < 2.0	High probability of Grade 3 damage; Very high probability of Grade 2 damage
2.0 < S < 3.0	High probability of Grade 2 damage; Very high probability of Grade 1 damage
S > 3.0	Probability of Grade 1 damage

Further Evaluation Recommended

YES NO

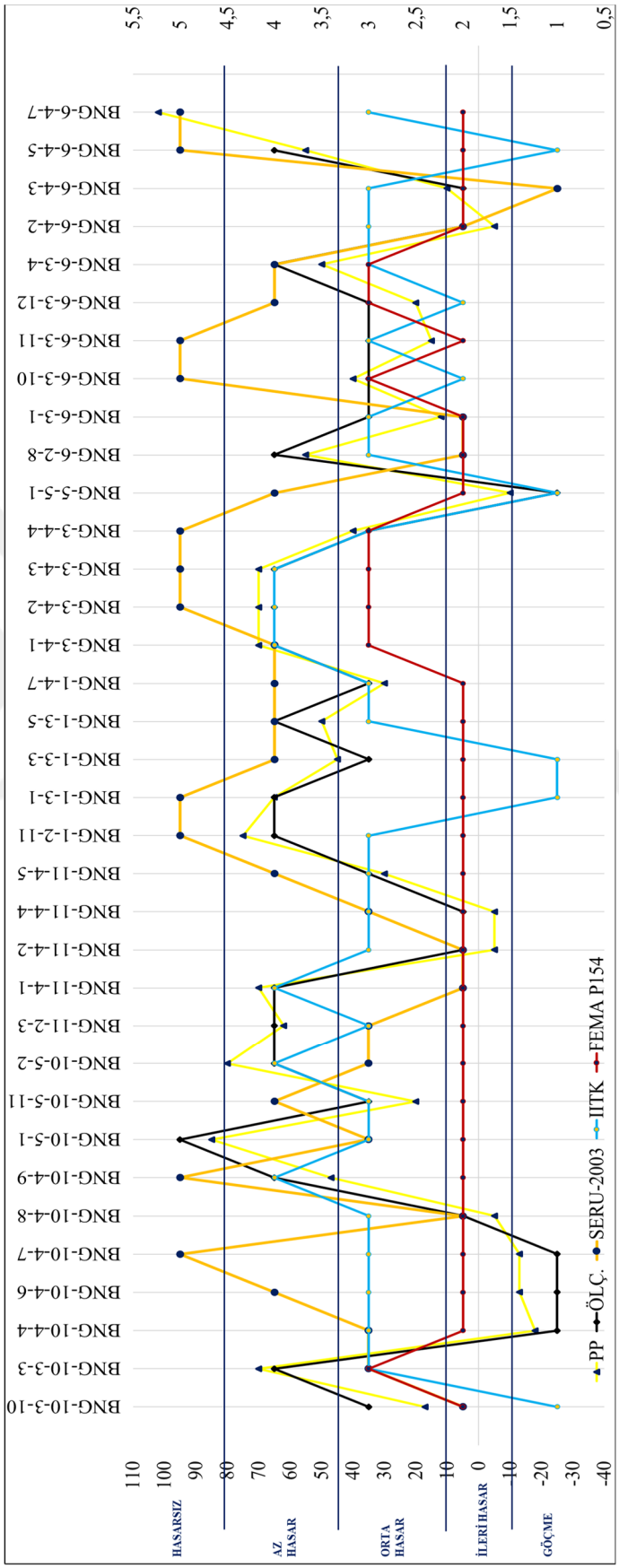
* = Estimated, subjective, or unreliable data
DNK = Do Not Know

FRAME = Steel Frame
INF = Burnt Brick Masonry Infill Wall
MRF = Moment-Resisting Frame
FD = Flexible Diaphragm

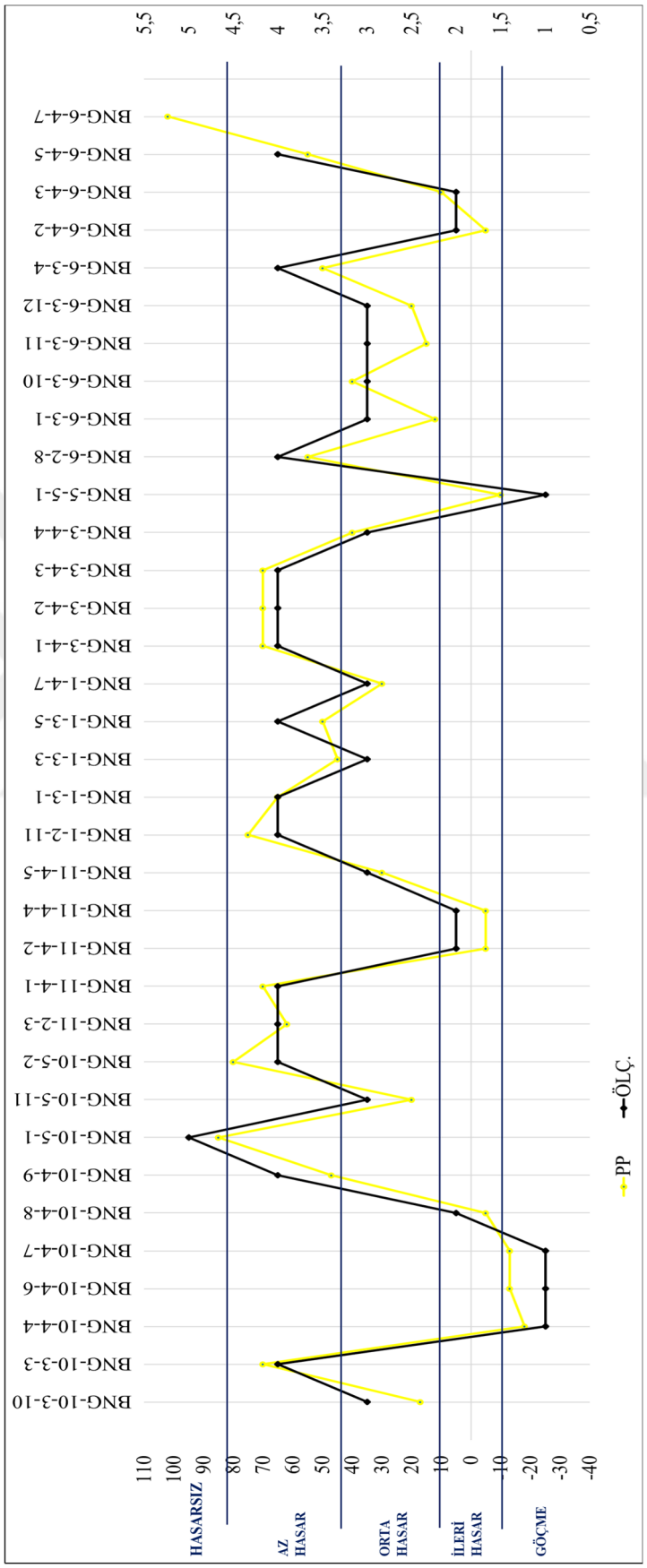
SW = Shear Wall
LM = Light Metal
BAND = Seismic Band
URM4 = Unreinforced masonry (lime mortar)

URM3 = Unreinforced burnt brick or stone masonry (cem mortar)
RD = Rigid diaphragm

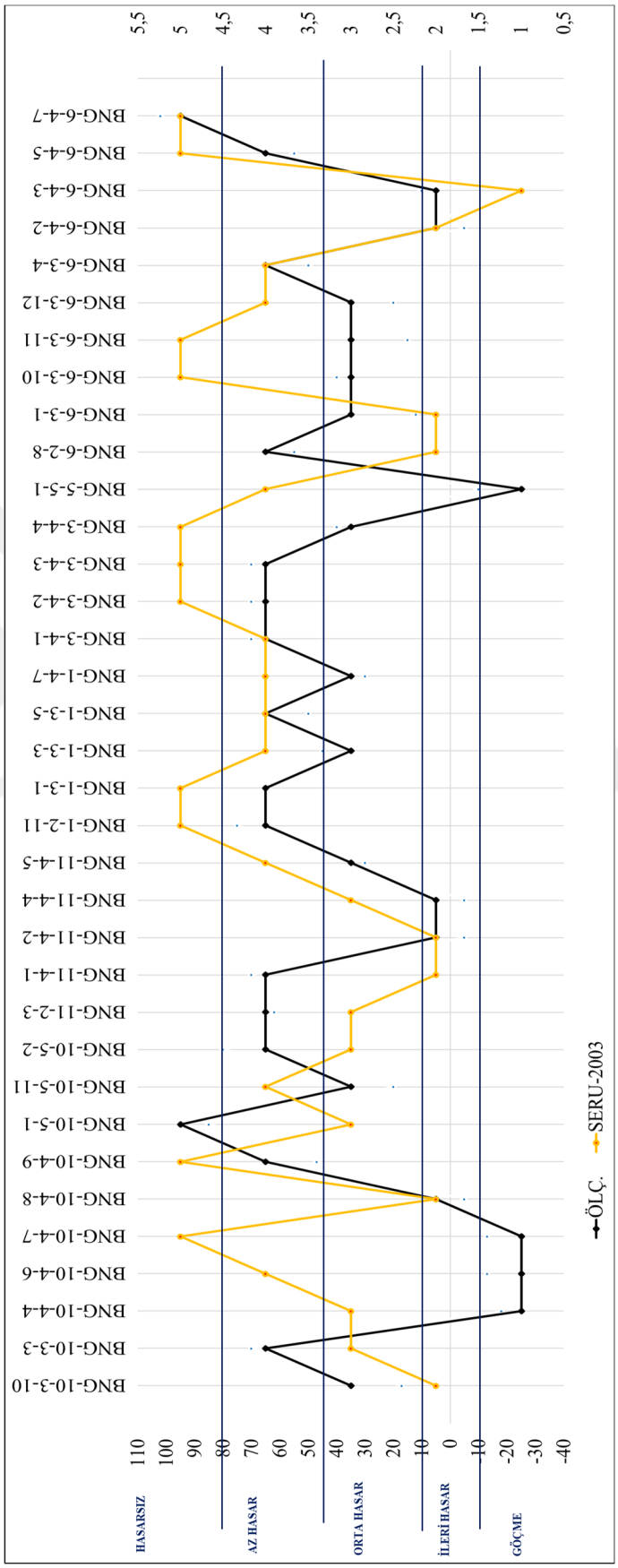
Ek 5: HGT Yöntemleri Binaların Hasar Tahmin Dağılımları



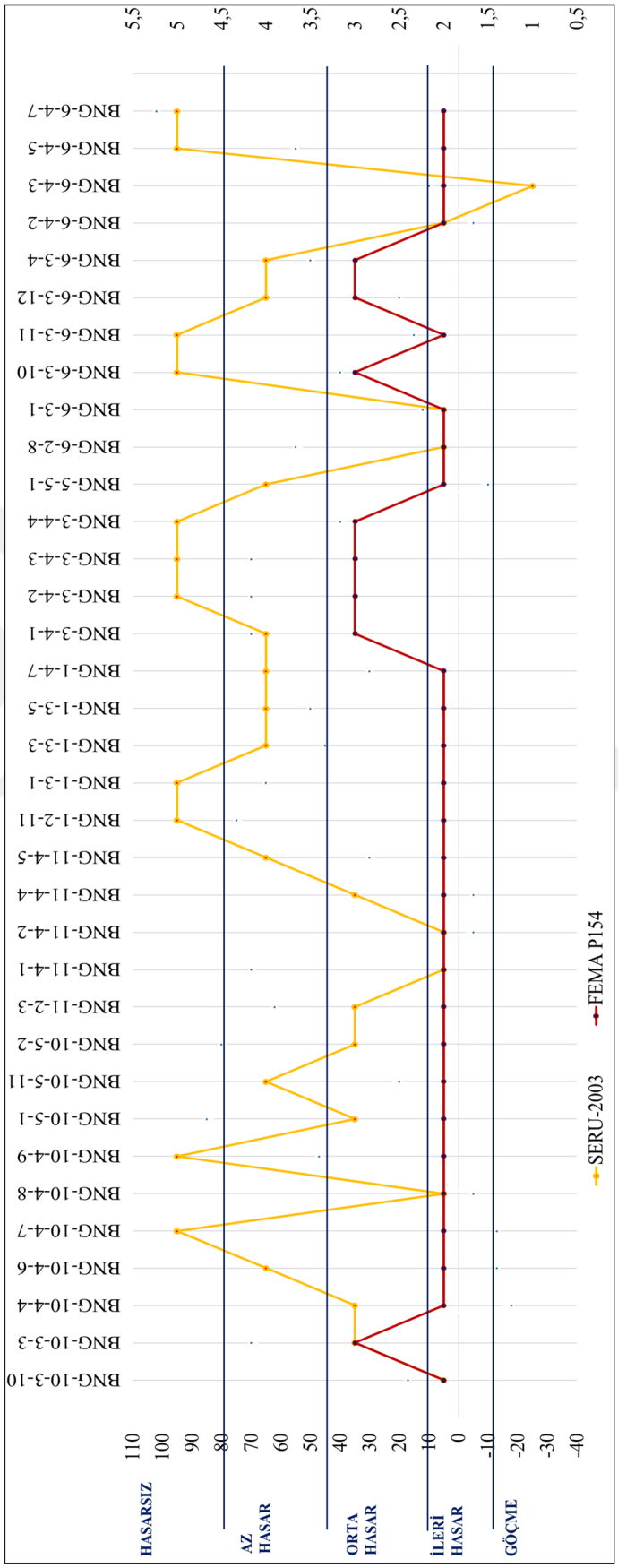
Ek 6: RBTY-2019 PP Skorları ve ÖLÇ Sınıflandırması



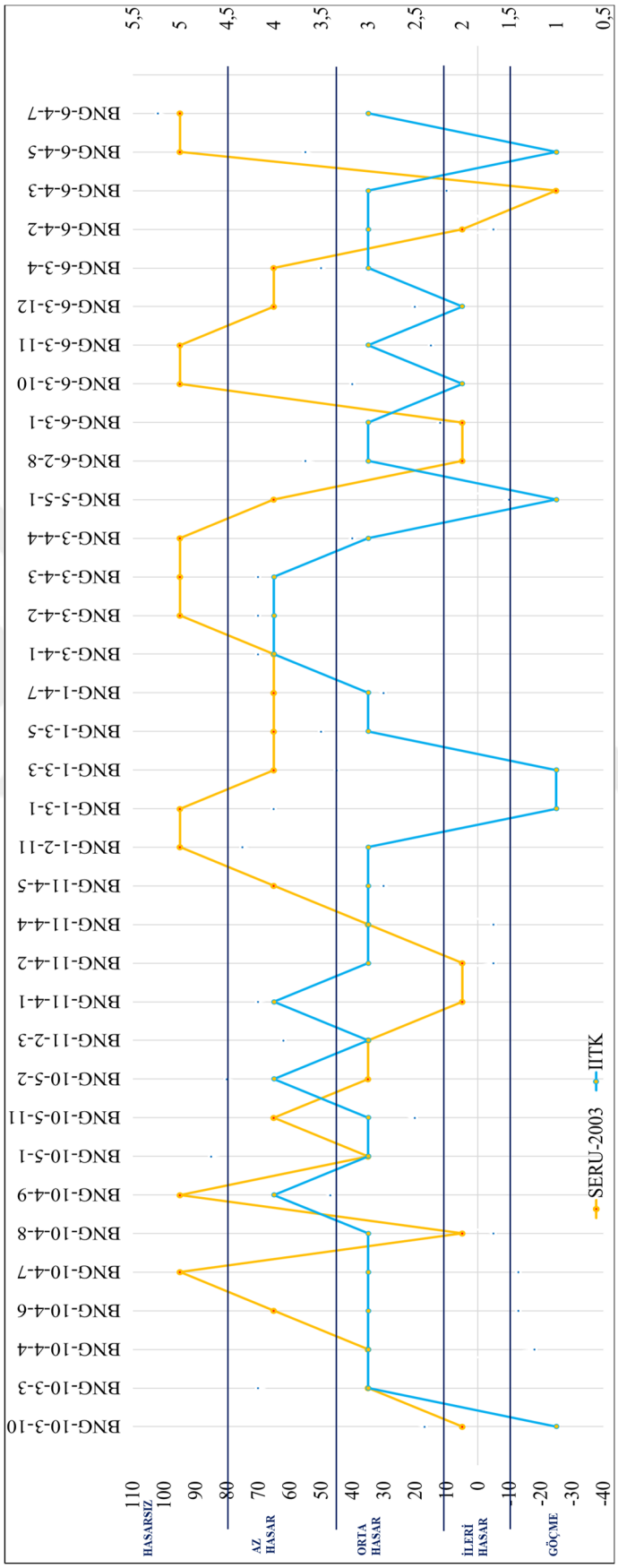
Ek 7: RBTY-2019 (ÖLÇ) ile SERU referans sonuçlarının karşılaştırılması



Ek 8: FEMA-P154 ile SERU referans sonuçlarının karşılaştırılması



Ek 9: IITK ile SERU referans sonuçlarının karşılaştırılması



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Varolgüneş, Sadık
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2013
Lisans	Erciyes Üniversitesi	2001
Lise	Bingöl Anadolu Lisesi	1995

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
1997-2001	YİMTAŞ İNŞ LTD ŞTİ	Saha Mühendisi
2001-2004	NURSA İNŞ LTD ŞTİ	Genel Müdür
2004-2010	Bingöl Belediyesi	İnşaat Mühendisi
2010-…	Bingöl Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. *"Field reconnaissance and structural assessment of the October 30, 2020, Samos, Aegean Sea earthquake: an example of severe damage due to the basin effect."* Natural Hazards 112 (1): 75-117. https://doi.org/10.1007/s11069-021-05173-y.
2. *"Dynamic sub-surface characteristic and the active faults of the Genç District locating over the Bingöl Seismic Gap of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey."* Natural Hazards 114, 825–847 (2022). https://doi.org/10.1007/s11069-022-05414-8

3. *"Assessment of stakeholder satisfaction as additive to improve building design quality: AHP-based approach."* J Housing and the Built Environment 37, 505–528 (2022). https://doi.org/10.1007/s10901-021-09855-8
4. *"Multidisciplinary analyses of the rupture characteristic of the June 14, 2020, Mw 5.9 Kaynarpınar (Karlıova, Bingöl) earthquake reveal N70E-striking active faults along the Yedisu Seismic Gap of the North Anatolian Fault Zone."* Int. J. Earth Sciences (Geol Rundsch) (2022). https://doi.org/10.1007/s00531-022-02256-4
5. *"Farklı Kür Koşullarının Reaktif Pudra Betonların Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi"*, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, c. 11, sayı. 1, ss. 353-361, Mar. 2020, doi:10.24012/dumf.537454
6. *"Manyetize Edilmiş Suyun, Reaktif Pudra Betonların Eğilme ve Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi"*, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi 6. Cilt- Prof. Dr. Fuat Sezgin Bilim Yılı Özel Sayısı, 21-29. DOI: 10.35193/bseufbd.559662
7. *"Na2O, silika modülü, su/bağlayıcı oranı ve yaşlanmanın cüruf tabanlı geopolimerlerin basınç mukavemetinde olan etkileri".*2017 Türk Doğa ve Fen Dergisi, 6(2), 26-31.
8. *"Betonarme Binalarda Kısa Kolon Oluşumunda Dolgu Duvar Etkisi: Örnek Çalışma."* 2016, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 78-83.

Özel İlgiler

Kitap, Klasik Müzik, Basketbol, Formula-1, Seyahat

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Sadık Varolgüneş		
Öğrenci No	13806503		
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☐	Doktora ☒
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Abdulhalim Karaşin		
Tez Başlığı	Bingöl İlindeki Konut Türü Yapılar için Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Karşılaştırılması		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	137		
Raporlama Tarihi	31/01/2023		
Benzerlik Oranı (%)	22		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 137 sayfalık kısmına ilişkin, 31/01/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNITIN isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı 22% olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☒Diğer (Her şey dâhil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,
Gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Sadık VAROLGÜNEŞ
Tarih:
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN İmza:

Tarih:

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK İmza:

Tarih: