

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİ YERLEŞİM BÖLGELERİNDEKİ MEVCUT YAPILARIN**  
**DEPREM RİSKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**VOLKAN ERGEN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**GEBZE**  
**2020**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİ YERLEŞİM BÖLGELERİNDEKİ**  
**MEVCUT YAPILARIN DEPREM RİSKİNİN**  
**DEĞERLENDİRİLMESİ**

**VOLKAN ERGEN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMANI**  
**DR. ÖĞR. ÜYESİ ABDULLAH CAN ZÜLFİKAR**

**GEBZE**  
**2020**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**ASSESSMENT OF EARTHQUAKE RISK FOR  
EXISTING BUILDINGS IN NEW  
RESIDENTIAL DISTRICTS**

**VOLKAN ERGEN**  
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF**  
**MASTER OF SCIENCE**  
**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**  
**EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM**

**THESIS SUPERVISOR**  
**ASSIST. PROF. DR. ABDULLAH CAN ZÜLFİKAR**

**GEBZE**

**2020**



## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü yönetim kurulu' nun 17/07/2020 tarih ve 2020/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 16/09/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Volkan ERGEN' in tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Deprem ve Yapı Mühendisliği programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Dr. Öğretim Üyesi: Abdullah Can ZÜLFİKAR

ÜYE

:Dr. Öğretim Üyesi Bahadır ŞADAN

ÜYE

:Prof. Dr. Yasin FAHJAN

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

Bu çalışmada yeni yerleşim bölgeleri yoğunlukta olan Başakşehir ilçesinde yer alan 2 pilot bölge ve Başakşehir ilçesinin tamamı için senaryo deprem tehlike ve hasar tahmin analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırması nispeten daha eski yerleşim yerlerinden olan Fatih ve Şişli ilçeleri ve Başakşehir ilçesinin komşu ilçesi olan Sultangazi ilçesi ile yapılmıştır. Çalışma kapsamında Marmara bölgesini etkileyen 4 adet tarihsel dönem depremi ve 1 adet aletsel dönem depremi senaryo deprem olarak kullanılmış ve tahmini deprem hasar analizleri yapılmıştır. Tez kapsamını literatür taraması haricinde sıralamak gerekirse 3 aşamadan oluşur. Birinci aşamada çalışma bölgesinde Başakşehir pilot bölgelerde yer alan yapı envanteri bilgileri derlenmiştir. Bu işlem için arazi çalışmaları yapılarak ve ilgili kurum ve kuruluşlardan yapı ruhsatlarının temini ile birlikte hem pilot bölgelerin yapı envanteri hem de Başakşehir ilçesinin yapı envanterinin güncellenmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise derlenip düzenlenen yapı envanteri, ücretsiz olan coğrafi bilgi sistemi programlarından biri QGIS programına tanımlanmıştır. Bu işleme müteakip yapı envanteri tahmini deprem hasar analizi yapan Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) programı kullanılarak bölgeler için tahmini deprem hasar analizleri hesaplanmıştır. Son aşamada ise gerçekleştirilen analizler sonucunda araştırma bölgelerinde meydana gelen hasar dağılımları aktarılmış ve karşılıklı kıyaslamalar ile değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç olarak yeni yerleşim bölgelerinin belirlenen senaryo depremi etkisi altında daha yüksek performans sergiledikleri gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tahmini Deprem Hasar Analizi Yöntemleri, Başakşehir, Earthquake Loss Estimation Routine(ELER), Yeni Yerleşim Bölgeleri Deprem Hasar Değerlendirmesi

## SUMMARY

In this study, scenario earthquake hazard and damage estimation analysis was performed for 2 pilot regions in Başakşehir district, which has a high concentration of new settlements, and the entire Başakşehir district. The comparison of the results was made with Fatih and Şişli districts, which are relatively old settlements, and Sultangazi district, which is the neighboring district of Başakşehir district. Within the scope of the study, 4 historical period earthquakes and 1 instrumental period earthquake affecting the Marmara region were used as scenario earthquakes and estimated earthquake damage analyzes were made. If it is necessary to list the scope of the thesis apart from the literature review, it consists of 3 stages. In the first stage, the structure inventory information in the pilot regions of Başakşehir was compiled. By conducting field studies for this process and obtaining building licenses from relevant institutions and organizations, both the building inventory of the pilot regions and the building inventory of the Başakşehir district were updated. In the second stage, building inventory compiled and edited, one of the free geographical information system programs was defined in the QGIS program. Following this process, the estimated earthquake damage analyzes for the regions were calculated by using Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) program, which performs earthquake damage analysis. At the last stage, as a result of the analyzes carried out, the distribution of damage occurring in the research regions was transferred and evaluations were made with mutual comparisons. As a result, it was observed that the new settlements displayed higher performance under the influence of the determined scenario earthquake

**Key Words: Estimated Earthquake Damage Analysis Methods, Başakşehir, Earthquake Loss Estimation Routine(ELER), New Settlement Zones Earthquake Damage Assessment**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açarak mihmandarım olan danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Abdullah Can ZÜLFİKAR'a,

Yüksek lisans eğitimimin gerçekleşmesi için imkan tanıyan ve bilim için fırsat eşitliği sunan Emlak Konut GYO A.Ş. İhale ve Hakediş müdürü Adem HACIHASANOĞLU'na,

Tez kapsamında yapı envanterine için bilgi ve belge yardımlarını sunan Başakşehir ilçesi İmar ve Şehircilik Müdürü Emre BİNGÖL'e,

Tez araştırma sırasında araştırmanın önünü açan ve eksik etmeyen yardımlarını Başakşehir ilçesi meclis üyesi Alim KAPLANER'e,

Eğitimim için bugüne kadar her türlü maddi manevi her türlü desteğini üzerimden eksik etmeyen annem Yasemin ERGEN, babam Okan ERGEN'e,

Lisansüstü kariyerim için her zaman beni teşvik eden ve cesaretlendiren ablam Dr. Öğretim Üyesi Doğanay ERGEN'e,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan motivasyonumu ve çalışma azmimi borçlu olduğum sevgili eşim Merve ERGEN ve bu süreçte dünyaya gelen oğlum Alperen ERGEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                            | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET                                                                       | v            |
| SUMMARY                                                                    | vi           |
| TEŞEKKÜR                                                                   | vii          |
| İÇİNDEKİLER                                                                | viii         |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ                                             | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                            | x            |
| TABLolar DİZİNİ                                                            | xi           |
| <br>                                                                       |              |
| 1. GİRİŞ                                                                   | 1            |
| 1.1. Genel Giriş                                                           | 1            |
| 1.2. Tez Konusu                                                            | 3            |
| 1.3. Tez İçeriği                                                           | 3            |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI                                                   | 8            |
| 2.1. Deprem Türleri                                                        | 8            |
| 2.2. Deprem Büyüklüğünün ve Şiddetinin Ölçülmesi                           | 9            |
| 2.3. Terminoloji                                                           | 11           |
| 2.4. Afet Tehlike Risk Değerlendirilmesi                                   | 12           |
| 2.5. Deprem Tehlike Hasar Değerlendirilmesi                                | 12           |
| 2.5.1. Deprem Tehlike Haritalanması                                        | 14           |
| 2.6. Yapı Hasarının Oluşmasındaki Etkenler                                 | 16           |
| 2.6.1. Yapı Bilgisi                                                        | 16           |
| 2.6.2. Yapı Tasarımı                                                       | 17           |
| 2.6.3. Yapı Geometrisi                                                     | 18           |
| 2.6.4. Yapı Yüksekliği ve Kat Dizilimi                                     | 20           |
| 2.6.5. Yapı Temel Tasarımı                                                 | 22           |
| 2.7. Tüm Yapı Tipleri İçin Seri Görüntüleme Süreci Rapid Screening Process | 25           |
| 2.8. Yapılar için Deprem Hasar Tahmini Değerlendirmesi                     | 25           |
| 2.9. İstanbul’da Deprem Risk Değerlendirilmesi                             | 27           |
| 2.9.1. Mikro-Bölgeleme Çalışmalar                                          | 28           |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 2.10. Bölüm Özeti                                         | 30 |
| 3. DEPREM RİSKİ VE HASAR DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ         | 31 |
| 3.1. Risk Değerlendirme Tarihsel Süreci ve Son Gelişmeler | 31 |
| 3.2. Sismik Hasar Tespitindeki Yaklaşım Yöntemleri        | 32 |
| 3.2.1. RADIUS Yöntemi                                     | 33 |
| 3.2.2. HAZUS Yöntemi                                      | 33 |
| 3.2.3. TELES Yöntemi                                      | 36 |
| 3.2.4. FEMA-P58 Yöntemi                                   | 37 |
| 3.2.5. ELER Yöntemi                                       | 39 |
| 3.3. Bölüm Özeti                                          | 43 |
| 4. ÇALIŞMA ALANI                                          | 44 |
| 4.1. Giriş                                                | 44 |
| 4.2. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu                      | 45 |
| 4.3. Bölgenin Yapı Dağılımı                               | 47 |
| 4.4. Çalışma Alanının Demografik Yapısı                   | 50 |
| 4.5. Bölüm Özeti                                          | 50 |
| 5. VERİ TABANI HAZIRLANMASI                               | 52 |
| 5.1. Verilerin Derlenmesi                                 | 52 |
| 5.2. Arazi Çalışması                                      | 52 |
| 5.3. Çalışma Bölgesinin İncelenmesi                       | 53 |
| 5.3.1. Gruplara Ayrılması                                 | 53 |
| 5.3.2. Yapı Envanteri                                     | 56 |
| 5.3.3. Yapı Kat Adeti                                     | 59 |
| 5.4. Nüfus Verileri                                       | 61 |
| 5.5. Program Kullanımı                                    | 61 |
| 5.6. Bölüm Özeti                                          | 62 |
| 6. ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER                          | 63 |
| 6.1. Zemin Yapısı ve Sismik Durum Üzerine Değerlendirme   | 63 |
| 6.2. Yapı Envanterinin Değerlendirilmesi                  | 70 |
| 6.3. Yapı Risk Durumlarının Değerlendirmesi               | 74 |
| 6.4. Yapı Türlerinin Hasar Durumları                      | 76 |
| 6.5. Değerlendirme                                        | 85 |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER                                   | 88 |
| 7.1. Sonuçlar                                             | 88 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 7.2. Öneriler             | 89 |
| 7.3. İleriki Araştırmalar | 89 |
| KAYNAKLAR                 | 90 |
| ÖZGEÇMİŞ                  | 93 |
| EKLER                     | 94 |

# SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

## Simgeler ve Açıklamalar

### Kisaltmalar

|                 |                                                                             |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $a_g$           | : A tipi zemindeki tasarım yer ivmesi                                       |
| $a_{max}$       | : Maksimum ivme                                                             |
| $B_{eff}$       | : Efektif Sönüm                                                             |
| $d_{max}$       | : Maksimum deplasman                                                        |
| $\epsilon_{ds}$ | : Birim zamandaki deformasyon                                               |
| $\eta$          | : Sönüm Düzeltme Faktörü                                                    |
| $\mu$           | : Süneklik                                                                  |
| $S_d$           | : Spektral Deplasman                                                        |
| $S_{ds}$        | : Spektral deplasman kısa                                                   |
| $S$             | : Zemin Faktörü                                                             |
| $T_B$           | : Sabit spektral ivme bölgesinin sınır periyotları                          |
| $T_C$           | : Sabit spektral ivme bölgesinin sınır periyotları                          |
| $T_D$           | : Spektrumun sabit yerdeğiştirme bölgesinin başlangıcını tanımlayan periyot |
| $T_{eff}$       | : Efektif periyot                                                           |
| ELER            | : Earthquake Loss Estimation Routine                                        |
| FEMA            | : Fedaral Emergenceny Management Agency                                     |
| HAZUS           | : Hazardous of United States                                                |
| IBC             | : International Building Code                                               |
| NORSAR          | : Norwegian Seismic Array                                                   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Şekil No:</u>                                                                                                                                                                | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1: 41° 5'47.64"K- 41° 4'57.20"K ile 28°39'31.93"D- 28°38'29.22"D koordinatları arasında yer alan İstanbul ili Başakşehir İlçesi Bahçeşehir 2. kısım Mahallesi 2. Pilot Bölge. | 5            |
| 1.2: 41° 7'33.19"K - 41° 6'41.59"K ile 28°45'47.96"D - 28°46'55.62"D Koordinatlarında yer alan İstanbul ili Başakşehir İlçesi Kayabaşı Mahallesi 1. Pilot Bölge.                | 5            |
| 2.1: Deterministlik ve olasılıksal yaklaşım süreci.                                                                                                                             | 13           |
| 2.2: 2007 yılında hazırlanmış deprem tehlike haritası.                                                                                                                          | 14           |
| 2.3: Türkiye deprem tehlike haritası.                                                                                                                                           | 14           |
| 2.4: Sol taraftaki bina deprem sonrası, Sağ tarafta yapı planı ağırlık merkezi(G), rijitlik merkezi(R), ara mesafe(e).                                                          | 17           |
| 2.5: İç köşesi mevcut yapı planı.                                                                                                                                               | 18           |
| 2.6: L formundaki bir yapının kısımlara ayrılması.                                                                                                                              | 18           |
| 2.7: Yumuşak kat oluşumu.                                                                                                                                                       | 19           |
| 2.8: Farklı zemin oturmaları (Transcona Silo-Kanada).                                                                                                                           | 21           |
| 2.9: Zemin sıvılaşması ile oluşan yapı hasarı(Nigata 7.4 M deprem, Haziran 16,1964).                                                                                            | 22           |
| 2.10: Su yalıtımı yetersiz temel hasarı.                                                                                                                                        | 23           |
| 2.11: Talep spektrum- kapasite eğrisi.                                                                                                                                          | 24           |
| 2.12: Kırılgenlik eğrileri.                                                                                                                                                     | 25           |
| 2.13: Anadolu yakası zemin sınıflama haritası.                                                                                                                                  | 28           |
| 3.1: HAZUS Genel yapı hasar tahmini metodolojisi.                                                                                                                               | 32           |
| 3.2: Kırılgenlik eğriliği olasılığı.                                                                                                                                            | 33           |
| 3.3: Teles süreç akışı.                                                                                                                                                         | 34           |
| 3.4: Tepki spektrumu.                                                                                                                                                           | 37           |
| 3.5: Kapasite-tepki spektrumu kesişimi.                                                                                                                                         | 37           |
| 3.6: Yapı kırılgenlik eğrileri.                                                                                                                                                 | 38           |
| 3.7: ELER metodolojisi.                                                                                                                                                         | 39           |
| 3.8: ELER iş akış diagramı.                                                                                                                                                     | 40           |
| 4.1: 1. Pilot bölge uydu görseli yıl 2009.                                                                                                                                      | 41           |
| 4.2: 1. Pilot bölge uydu görseli yıl 2020.                                                                                                                                      | 42           |

|       |                                                                                                                                                                                  |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3:  | 41° 7'33.19"K - 41° 6'41.59"K ile 28°45'47.96"D - 28°46'55.62"D<br>Koordinatlarında yer alan İstanbul ili Başakşehir ilçesi Kayabaşı<br>mahallesi 1. pilot bölge.                | 43 |
| 4.4:  | 41° 5'47.64"K- 41° 4'57.20"K ile 28°39'31.93"D- 28°38'29.22"D<br>koordinatları arasında yer alan İstanbul ili Başakşehir ilçesi<br>Bahçeşehir 2. kısım mahallesi 2. pilot bölge. | 44 |
| 4.5:  | Avrupa yakası jeolojik formasyonu.                                                                                                                                               | 44 |
| 4.6:  | 1. Pilot Bölge HAZUS yöntemine göre yapı önem sınıflandırılması.                                                                                                                 | 45 |
| 4.7:  | 2. Pilot bölge hazus yöntemine göre yapı önem sınıflandırılması.                                                                                                                 | 46 |
| 5.1:  | 1. Pilot bölge yapı inşa yılları.                                                                                                                                                | 50 |
| 5.2:  | 2. Pilot bölge yapı inşaat yılları.                                                                                                                                              | 51 |
| 5.3:  | 1. Pilot bölge taşıyıcı sistem dağılımı.                                                                                                                                         | 52 |
| 5.4:  | 2. Pilot bölge taşıyıcı sistem dağılımı.                                                                                                                                         | 53 |
| 5.5:  | 1. Pilot bölge kayabaşı kat adetleri dağılımı.                                                                                                                                   | 55 |
| 5.6:  | 2. pilot bölge Bahçeşehir 2. kısım kat adetleri dağılımı.                                                                                                                        | 56 |
| 6.1:  | Tarihsel depremler.                                                                                                                                                              | 64 |
| 6.2:  | Koordinatları girilen merkez ve fay kırılımı.                                                                                                                                    | 65 |
| 6.3:  | 1509 yılı İstanbul depremi ELER programı deprem tehlike analizi<br>modülü.                                                                                                       | 66 |
| 6.4:  | ELER programı deprem tehlike analizi pik ivme hareketi İstanbul<br>dağılımı 1509 Yılı depremi için.                                                                              | 66 |
| 6.5:  | 1766 Yılı Marmara depremi pik ivme dağılımı.                                                                                                                                     | 67 |
| 6.6:  | 1754 Yılı İzmit depremi pik ivme dağılımı.                                                                                                                                       | 68 |
| 6.7:  | 1894 Yılı İzmit depremi pik ivme dağılımı.                                                                                                                                       | 68 |
| 6.8:  | 1999 Yılı İzmit depremi pik ivme dağılımı.                                                                                                                                       | 69 |
| 6.9:  | Birkaç yapı gruplarının kapasite eğrileri.                                                                                                                                       | 71 |
| 6.10: | Yatay doğrultu elastik tepki spektrumunun şekli- IBC 2006 .                                                                                                                      | 74 |
| 6.11: | Modifiye edilmiş ivme-yer değiştirme tepki spektrum grafiği.                                                                                                                     | 75 |
| 6.12: | 1509 Yılı depremi tahmini hasar kayıpları.                                                                                                                                       | 76 |
| 6.13: | 1754 Yılı depremi tahmini hasar kayıpları.                                                                                                                                       | 77 |
| 6.14: | 1766 Yılı depremi tahmini hasar kayıpları.                                                                                                                                       | 78 |
| 6.15: | 1894 Yılı depremi tahmini hasar kayıpları.                                                                                                                                       | 79 |
| 6.16: | 1999 Yılı depremi tahmini hasar kayıpları.                                                                                                                                       | 80 |

# TABLÖLAR DİZİNİ

| <b><u>Tablo No:</u></b>                                                                                          | <b><u>Sayfa</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1: Mercalli deprem şiddeti.                                                                                    | 10                  |
| 2.2: Tbdy-2018 Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları. | 20                  |
| 5.1: 1. Pilot bölge yapı inşaat yılları.                                                                         | 50                  |
| 5.2: 2. Pilot bölge için yapı inşa yılları.                                                                      | 51                  |
| 5.3: 1. Pilot bölge için yapı taşıyıcı sistem sayısal verileri.                                                  | 53                  |
| 5.4: 2. Pilot bölge için yapı taşıyıcı sistem sayısal verileri.                                                  | 54                  |
| 5.5: 1. Pilot bölge kayabaşı kat adetleri dağılımı.                                                              | 55                  |
| 5.6: 2. Pilot bölge Bahçeşehir 2. kısım kat adetleri dağılımı.                                                   | 56                  |
| 6.1: Tarihi deprem kayıtları.                                                                                    | 63                  |
| 6.2: Senaryo depremi karakteristik özellikleri.                                                                  | 64                  |
| 6.3: HAZUS Yapı modelin türü.                                                                                    | 69                  |
| 6.4: Yapım yılı ve bina türü kodlanması örnek.                                                                   | 70                  |
| 6.5: Birkaç yapı türünün yapı kırılma eğrileri.                                                                  | 71                  |
| 6.6: Pilot bölgelerin YEK yapı dağılımı.                                                                         | 72                  |
| 6.7: Başakşehir ilçesi yek dağılımı.                                                                             | 72                  |
| 6.8: İlçeler YEK dağılımı.                                                                                       | 73                  |
| 6.9: 1509 yılı İstanbul Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi ve Fatih ilçesi yapı hasar dağılımları.            | 76                  |
| 6.10: 1754 yılı İstanbul Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi ve Fatih ilçesi yapı hasar dağılımları.           | 77                  |
| 6.11: 1766 yılı İstanbul Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi ve Fatih ilçesi yapı hasar dağılımları.           | 78                  |
| 6.12: 1894 yılı İstanbul Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi ve Fatih ilçesi yapı hasar dağılımları.           | 79                  |
| 6.13: 1999 yılı İstanbul Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi ve Fatih ilçesi yapı hasar dağılımları.           | 80                  |
| 6.14: Senaryo Depremleri Başakşehir YEK koduna göre hasar durumları.                                             | 81                  |
| 6.15: 1. Pilot bölge (Toplam 164 yapı) kayabaşı bölgesi deprem hasar tahmini sayıları.                           | 81                  |

|       |                                                                                  |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.16: | 2. Pilot bölge (Toplam 163 yapı) kayabaşı bölgesi deprem hasar tahmini sayıları. | 82 |
| 6.17: | 1. Pilot bölge Kayabaşı YEK orta hasarlı yapı sayısı.                            | 83 |
| 6.18: | 1. Pilot bölge Kayabaşı YEK hafif hasarlı yapı sayısı.                           | 83 |
| 6.19: | 2. Pilot bölge Bahçeşehir 2.Kısım YEK orta hasarlı yapı sayısı.                  | 84 |
| 6.20: | 2. Pilot bölge Bahçeşehir 2.Kısım YEK hafif hasarlı yapı sayısı.                 | 84 |

# 1. GİRİŞ

Ülkemizin deprem kuşağında yer almasıyla depremin oluşturduğu hasarlar ve hasarların yarattığı can ve mal kayıpları yadsınamayacak derece göz önüne alınması gereklidir. Depremin oluşturabileceği kayıpların önceden tespit edilmeye çalışılması, deprem öncesi gerekli tedbirlerin alınmasına ve bununla beraber can, mal kayıplarının azaltılmasına ve geri onarım veya yeniden yapım çalışmalarının azaltılmasında önemli bilgiler vererek bir yol haritası sunacaktır. Bunun için deprem hasar tahminlerinin yapılması ülkemiz için deprem mefhumuna karşı büyük önem arz etmektedir.

## 1.1. Genel Giriş

Türkiye, köklü bir deprem geçmişine sahip bir coğrafyada yer almaktadır. Deprem kayıtlarının tutulmaya başlanıldığı andan itibaren ülkemiz coğrafyasında büyük ve yıkıcı etkilere sahip depremler yaşanmıştır. Ülkemizin kurulduğu cumhuriyet tarihimizde de yıkıcı etkilere sahip olan 7.9 büyüklüğünde 1939 yılındaki Erzincan depremi, 7.2 büyüklüğünde 1943 yılındaki Samsun Ladik depremi, 7.2 büyüklüğünde 1953 yılındaki Çanakkale depremi, 7.5 büyüklüğünde 1976 yılındaki Van Muradiye depremi, 7.8 büyüklüğünde 1999 yılındaki İzmit Gölcük depremi, 7.2 büyüklüğünde 2011 yılındaki Van Muradiye depremi ve son olarak 6.8 büyüklüğünde 2020 yılında Elazığ depremi yaşanmış ve bu sebeple ülkemize can ve mal kaybı yaşatarak toplumumuzu derinden üzmüştür.

1999 yılında gerçekleşen İzmit Gölcük depremi Türkiye'nin ekonomik, sanayi ve nüfus yoğunluğun fazla olduğu Marmara bölgesinde gerçekleşerek ülkemiz üzerinde yıkıcı can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Ülkenin ekonomik merkezlerine yakınlığından dolayı Gölcük depremi ciddi ekonomik kayıplara yol açmıştır. Ülkemiz depremin yol açtığı yaralarını sarabilmek için uzun maddi manevi emek sarf etmiştir. Son olarak 2019 yılında maddi kayıplar yaşamamıza sebep olan 5.8 büyüklüğünde İstanbul Silivri depremi de 1999 yılında gerçekleşen Gölcük depreminin hatıralarını tekrardan canlandırmış ve İstanbul'un deprem kuşağında yer alan mega bir şehir olduğu gerçeğini İstanbul'a bir kez daha derhâtır ettirmiştir.

İstanbul için İstanbul Büyük Şehir Belediyesi tarafından 2009 yılında İstanbul Olası Deprem Hasar Tahminleri raporu yayınlamıştır. Çalışma İstanbul için gerçekleşmesi muhtemel depremlerden ortaya çıkacak can kayıplarını, mal kayıplarını hasarlı yapı sayılarını, acil barınmaya ihtiyaç duyan hane sayısını, hasarlardan dolayı ekonomik kayıpları tahmin ederek İstanbul'un depreme ne derece hazır olduğunu gösteren yol gösterici araştırmaları içerir.

İstanbul için 2009 yılında yayınlanan raporun 2020 yılında geçerliliğini güncelliğini koruması mümkün gözükmemektedir. İstanbul nüfusu 2009 yılında yaklaşık 12 milyon iken 2020 yılında bu rakamın yaklaşık 16 milyon olması beklenmektedir. 2009 yılından beri İstanbul bölgesel ölçekte yeni konut alanlarının arttığı bir yerleşim yerine dönüşmüştür. 2009 yılında çalışma kapsamında olmayan ve 2009 yılından sonra kurulan yeni yerleşim bölgelerinin de deprem hasar tahminlerinin yapılması gereklilik arz etmektedir. Bu sebeptendir ki yeni yerleşim bölgelerinin deprem hasar tahmininin olmaması olası yaşanabilecek depremlerden kaynaklı ortaya çıkabilecek hasar tahminlerinin bilinmemesine sebep olacaktır. Bu eksiklikten dolayı yeni yerleşim bölgelerinde deprem hasar tahmini değerlendirilmesi gereklidir.

Bu tez çalışmasında bir yüksek lisans tez süresine uygun olacak şekilde yeni yerleşim bölgelerinden biri seçilerek bölgenin deprem hasar tahmin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla İstanbul Başakşehir Kayabaşı bölgesi pilot bölge olarak seçilmiştir. Çalışma için gerekli olan yapı bilgileri pilot bölgedeki bina stoku, yapı tasarım kodu vb. bilgiler kullanılmıştır.

Bu çalışmada daha önce yapılmış deprem hasar tahmini yöntemleri incelenerek yeni yerleşim çalışma kapsamında yer alan bölgenin deprem hasar tahmin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma bölgesi için uluslararası deprem hasar tahmini değerlendirme kodlarından olan HAZUS programından ve HAZUS programına benzer Türk yapımı ELER programından faydalanmıştır.

## 1.2. Tez Konusu

Ülkemiz deprem kuşağında yer alan ve zaman zaman büyük depremler ile kendini topluma hatırlatan deprem özgeçmişini fazla olan bir deprem ülkesidir. Depremlerin ülkemizde meydana getirdiği ekonomik ve can kayıpları yadsınamayacak derece önemli yer tutar. Nüfus yoğunluğunun bulunduğu ve ekonomik altyapının geliştiği bölgelerde, (Marmara Bölgesi) bu durum kendini ülke ekonomisini ve durumunu derinden sarsabilecek bir hâle çevirmektedir. Özellikle 1999 yılında gerçekleşen İzmit Gölçük depremi Marmara bölgesinde ve bilhassa Türkiye ekonomisinin bel kemiğini oluşturan İstanbul'da büyük üzüntüler yaşatacak şekilde can, mal ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur.

İstanbul gerek nüfus yoğunluğu ve nüfus yoğunluğunda kaynaklı yapı stoku gerekse Türkiye ekonomisinin merkezi olmasından dolayı depremlere karşı tedbir alınmasında büyük önem arz etmektedir. 2009 yılında İstanbul genel ölçeğinde yapılan Olası Deprem Hasar Tahminleri raporu 2020 yılı itibarıyla İstanbul'un nüfus artışı ve genişlemesi yeni yerleşim bölgelerini kapsamamaktadır. [IBB, 2009].

Bu tezin yüksek lisans tezi olması ve yüksek lisans tezinin süresi göz önüne alındığında ve bireysel çaba ile yürütülmesi hasebiyle İstanbul'un bütün yeni yerleşim bölgelerini kapsayacak bir araştırma olması mümkün değildir. Bu sebeptendir ki İstanbul'un büyüyen ve gelişen yapısında yeni yerleşim bölgelerinden biri olan İstanbul Başakşehir Kayabaşı ve Bahçeşehir 2. Kısım bölgesinde uluslararası geçerliliği olan Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) yöntemi kullanılarak pilot bölgenin deprem hasar tahmini değerlendirilmesinin yapılmasıdır.

## 1.3. Tez İçeriği

Ülkemizin ekonomik lokomotif olan Marmara bölgesinin en büyük ve en gelişmiş şehri olan İstanbul için 2009 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan deprem risk tahmini değerlendirme çalışmaları sınırları genişleyen ve nüfusu artarak büyüyen İstanbul için 2020 yılında güncelliğini koruyamamaktadır.

İstanbul için gelişen, büyüyen ve yeni şehirleşme alanlarında güncel bir deprem hasar tahmini değerlendirme durumunun olmaması risk değerlendirmelerinin yapılamamasına ve afet yönetiminde yetersizlikler görülmesine ve bunun gibi birtakım tedbir ve önlem faaliyetlerinin aksaması problemlerine yol açacaktır.

- Hipotez-Varsayım

Tezin kapsamında yer alan 2009 yılı sonrası yapılan yeni yerleşim bölgelerinin uluslararası geçerliliği olan uygulama yönetmeliklerinden olan temeli HAZUS'a dayanan ELER yöntemiyle yapılarak deprem hasar tahmini değerlendirilmesinin, deprem gerçekleşmeden önce alınması gereken tedbir ve önlemlere fayda sağlayacağı varsayılmıştır.

- Araştırmanın Amacı

İstanbul'un çoğunluğu 2009 yılı sonrası oluşturulan yeni yerleşim bölgelerinden biri olan İstanbul Başakşehir Kayabaşı bölgesinin ve İstanbul Başakşehir Bahçeşehir 2. kısım bölgesinin deprem hasar tahmini değerlendirilmesi raporunun oluşturulması ile yeni yerleşim bölgelerinin depreme karşı olan güvenilirliklerinin araştırılması ve İstanbul'un başka yeni yerleşim bölgeleri için yapılacak deprem hasar tahmini değerlendirilmesi çalışmalarına bir altlık oluşturulması bunun akabinde ileride ki çalışmalar için ülkemiz genelinde kullanılabilecek bir altlık oluşturması amaçlanmıştır.

- Öngörülen Sonuçlar

İstanbul'un çoğunluğu 2009 yılı sonrası oluşturulan yeni yerleşim bölgelerinden biri olan İstanbul Başakşehir Kayabaşı bölgesinin ve İstanbul Başakşehir Bahçeşehir 2. kısım bölgesinin gerek yeni uygulama teknolojilerinden gerekse deprem yönetmelik değişiminden kaynaklı deprem sonrasında oluşması muhtemel hasar durumunun düşük çıkacağı öngörülmüştür.

- Çalışmanın Sınırları

Çalışma Alanı İstanbul ili merkezi Başakşehir İlçesinde Kayabaşı Mahallesi 41° 7'33.19"K - 41° 6'41.59"K ile 28°45'47.96"D - 28°46'55.62"D koordinatları arasında yer alan yaklaşık 1 milyon m<sup>2</sup> alana kurulmuş olan 1. pilot bölge Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Bu alanla beraber İstanbul ili merkezi Başakşehir İlçesinde yer alan bahçeşehir 2. kısım Mahallesi 41° 5'47.64"K- 41° 4'57.20"K ile 28°39'31.93"D- 28°38'29.22"D koordinatları arasında yer alan yaklaşık 1 milyon m<sup>2</sup> alana kurulmuş olan 2. pilot bölge Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: 41° 5'47.64"K- 41° 4'57.20"K ile 28°39'31.93"D- 28°38'29.22"D koordinatları arasında yer alan İstanbul ili başakşehir İlçesi bahçeşehir 2. kısım Mahallesi 2. Pilot Bölge.



Şekil 1.2:  $41^{\circ} 7'33.19''K$  -  $41^{\circ} 6'41.59''K$  ile  $28^{\circ}45'47.96''D$  -  $28^{\circ}46'55.62''D$  Koordinatlarında yer alan İstanbul ili Başakşehir İlçesi Kayabaşı Mahallesi 1. Pilot Bölge.

- Araştırma Yöntemi

Araştırma, çalışma sınırlarından açıklanan pilot bölgeler için deprem hasar tahmini değerlendirilmesi yapılması için uluslararası alanda kullanılan deprem hasar tahmini değerlendirme yöntemi olan Earthquake Loss Estimation Routine(ELER) yöntemi kullanılarak bölge içerisinde deprem hasar tahmini değerlendirme için gerekli olan örneğinin yapı yüksekliği, yapım yönetmelik yılı, yapı türü gibi verilerin derlenmesi, bir araya getirilmesi, deprem etkilerinin uygulanması ile araştırma ve veri toplanmasına dayalı araştırma yöntemidir.

- Tezin Yapısı Bölüm 1 :Giriş

Bu bölüm çalışmanın yapılmasında ortaya çıkan unsurları belirtir. Tezin gerekliliklerini, probleminin tanımını, varsayımlarını, öngörülen sonuçları, çalışma sınırlılıklarını, araştırma yöntemini ve araştırmanın genel yapısını aktarır.

- Bölüm 2 :Literatür Araştırması

Bu bölüm, depremin oluşumuna, deprem tehlikesinin gerçekliğine, depremin meydana getirdiği hasar durumlarına, hasar durumlarına sebep olan etkenlere, Türkiye’de deprem risk değerlendirme çalışmalarına dair literatür araştırmalarını aktarır.

- Bölüm 3 : Risk Değerlendirme Yöntemleri

Bu bölüm, deprem risk değerlendirme yöntemlerinin tarihsel gelişimini, son yapılan çalışmaları, uluslararası uygulanan deprem hasar tahmini değerlendirme yöntemlerini aktarır.

- Bölüm 4 : Çalışma Alanı

Bu bölüm, çalışma alanının coğrafik konumunu, depreme yatkınlığını, genel zemin sınıfı dağılımını, yapı dağılımını, yapı türlerinin ve sınıflarının dağılımını, hane halkını sayısını, büyüme ve genişleme popülasyonunu aktarır.

- Bölüm 5 : Verilerin Hazırlanması

Bu bölüm, çalışma alanında verilerin nasıl toplandığı, önceki kurum çalışmalarını, arazi çalışmasında karşılaşılan zorlukları, çalışma bölgesinde toplanan verilerin gruplara ayrılmasını ve haritalandırılmasını, program kullanımını, programa yolların ve altyapılarını aktarımını, yapı dökümlerine ait yükseklik, bina önem katsayıları, yönetmelik türleri vb. tablolarını aktarır.

- Bölüm 6 : Analizler ve Değerlendirmeler

Bu bölüm, program çıktıları ışığında analizlerin değerlendirilmesini, yapı envanterine göre istatistiksel olarak yapı hasar gruplarının değerlendirilmesini, yapı risk durumlarının yorumlanmasını aktarır.

- Bölüm 7 : Sonuçlar

Bu bölüm, çalışmanın sonuçlarını, hipotez ile uyumunu çalışma alanına dair önerileri ve ileriki araştırmalarda sağlayacağı faydalı aktarır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölüm, deprem gerçeği ile yüzleşebilmek için gerekli olan akademik terimlerin izahat edildiği, tezin muhtevasının daha iyi anlaşılabilmesi için gerekli olan temel kavramların tanımlarının yapıldığı, depremin yapılar üzerinde meydana getirdiği etkilerin yer aldığı kaynak taramasını içerir.

### 2.1. Deprem Türleri

Depremler farklı oluşma Şekilleri ile gerçekleşebilir. Depremler dünya yüzeyinde bulunan levha hareketleri sonucunda biriken enerjinin açığa çıkara yer yüzeyinde dalgalar halinde yayılması şeklinde oluşabilir. Depremin kaynağında meydana gelen farklı fay kırılmaları depremlerin oluşma şeklini belirler. Bu oluşma Şekillerinden birisi de tektonik olarak adlandırılan levhaların sınırında meydana gelen deprem türleridir. Deprem tarihinde gerçekleşen depremlerin büyük bir çoğunluğu bu kategoriye girer. Türkiye’de de gerçekleşen depremlerin çoğunluğu bu kategoride yer alır. Diğer bir deprem türü ise “Volkanik” depremlerdir. Bu türde yer alan depremler bölgede bulunan aktif volkanların püskürmesi ile yer yüzeyinde sarsıntılar oluşturması ile meydana gelir. Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan ergimiş maddelerin yer yüzeyine çıkarken beraberinde fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara sebep olması hasebiyle oluşan gazların yapmış oldukları patlamalar bu tür depremleri oluşturur.

Bu tür depremler aktif yanardağ bulunan bölgelerde oluşması daha muhtemeldir. Ülkemizde aktif bir yanardağ bulunmayıp bu tür depremlere Japonya ve İtalya’da oluşan depremlerin bir kısmı örnek verilebilir [Web 1, 2020].

Başka bir tür ise “Çöküntü” depremlerdir. Bu türdeki depremler için zemin yapısında yer boşluklar mağaralar, maden ocaklarının galeri gibi etkenler sebep olurlar. Bu boşluklar için yer taşıyıcı sütunların erimesi sonucu tavan bloğunun çökmesi sonucu meydana gelir. Açığa çıkan sarsıntı dalgaları bölgesel olup enerjileri düşüktür ve maddi, manevi hasar riskleri düşüktür [Web 1, 2020].

Depremın kaynağı denizin derinliklerinde olabilir. Bu tür depremler Derin deniz depremleri olarak adlandırılır. Denizin dibinde meydana gelen depremlerin sarsıntısı denizde büyük dalgalara sebebiyet verir ve oluşan bu dalgalar yaşam bölgelerine ulaşarak hasar kaybını neden olur. Bu dalgalar Tsunami olarak adlandırılır. Deniz depremlerinin çok görüldüğü ülke Japonya'da Tsunami 'den 1896 yılında 30.000 kişi ölmüştür [Web 1, 2020].

## **2.2. Deprem Büyüklüğünün ve Şiddetinin Ölçülmesi**

Deprem büyüklüğü ve şiddeti toplum arasında birbirine karıştırılan iki önemli noktadır. Bu iki mefhum zaman zaman birbiri yerine kullanılsa da aslında içerdiği anlam bakımından aralarında farklar vardır.

Depremın şiddeti; yer kabuğunun içerisinde herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Farklı bir yaklaşım ile depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Depremın sebep olduğu hasarın gözlemlenmesi ile sınıflandırılır. Depremın şiddetinin ölçüsü farklı bilim insanları tarafından farklı kategorileri ayrılarak derecelendirilmiştir. Depremın şiddetinin Mercalli tarafından roman rakamları ile kategorilere ayrılmıştır. Depremın etkisi, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı, yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık dahi değişik olabilmektedir. Şiddet, depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır [Web 3, 2020].

Depremın büyüklüğü; deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Amerika Birleşik Devletlerinden Prof. C. Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan Magnitüd tanımlanmıştır. Prof. Richter, episantırdan (yerin içinde depremin enerjisini ortaya çıktığı noktanın yer yüzeyindeki karşılığı) 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0.8 saniye ve sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon Sismografi ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin magnitüdü yani büyüklüğü olarak tanımlamıştır [Web 3, 2020].

Şiddet, büyüklükten farklı olarak, doğrudan yeryüzü zemin yapısı ve yapılaşma koşulları ile ilişkilidir. Deprem şiddetini ölçmede birçok yöntem (Rossi-Forel, Mercalli-Sieberg, Omori-Cancani, Mercalli-Cancani, Mercalli, Medvedev-Sponheur Karnik ve Japon yöntemleri) bulunmakla birlikte en yaygın uygulananı Mercalli yöntemiştir. Değişirilmiş Mercalli ölçeklemesinde 12 aşama söz konusudur. Bu aşamalar Tablo 2.1’de verilmiştir [Usuda et al, 2006].

Tablo 2.1: Mercalli deprem şiddeti.

|                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ŞİDDET I: insanlar tarafından hissedilmez, sadece deprem-ölçerler kaydedebilir.                                                                                                                                                                                        |
| ŞİDDET II: Asılı eşyalar sallanır.                                                                                                                                                                                                                                     |
| ŞİDDET III: Yapıların içindekiler tarafından hissedilebilir, asılı eşyalar ve duran motorlu araçlar sallanabilir, süresi algılanabilir.                                                                                                                                |
| ŞİDDET IV: Pencere ve kapılar ile duran motorlu araçlar sallanır, duvarlarda gıcırdamalar oluşur, yapıların içinde ve açık alanda hissedilebilir.                                                                                                                      |
| ŞİDDET V: Herkes tarafından hissedilebilir, eşyalar düşer, cam eşyalar kırılır, sıvalar çatlayabilir/dökülebilir; ağaçlar, direkler ve yüksek binalar sallanır, sallantının yönü izlenebilir; bahçe duvarları yıkılabilir.                                             |
| ŞİDDET VI: Herkes tarafından hissedilir, yürümek zorlaşır, ağır eşyalar kayar ve kitaplar raflardan dökülebilir, sıvalar dökülür, bazı yapılar yıkılabilir.                                                                                                            |
| ŞİDDET VII: Ayakta durmak güçleşir, eşyalar hasar görür, sıva ve yapı dekorasyon malzemeleri dökülür ve kırılır; yapılarda çatlamalar ve hasar, su birikintilerinde çamurlanma oluşur.                                                                                 |
| ŞİDDET VIII: Binalarda hasar ve kısmi yıkılmalar oluşur, su kuleleri ve bacalar yıkılır, ağır eşyalar devrilir; kumlu ve suya doymun zeminlerde sıvılaşma (kum fışkırmaları), yüzeyde faylanmalar ve heyelanlar gelişir; su kaynaklarının debisi ve sıcaklığı değişir. |
| ŞİDDET IX: Yapıların çoğunda hasar ve yıkılma olur; zeminde büyük çatlak ve yarılmalar ve kum fışkırmaları meydana gelir; yer altı boru sistemleri kırılır.                                                                                                            |
| ŞİDDET X: Yapıların çoğu yıkılır, betonarme yapılarda ağır hasar ve kırılma başlangıcı izlenir, barajlarda büyük hasar ve çatlamalar oluşur, zeminde büyük çatlaklar oluşur, raylar bükülür, kütle kaymaları ve sıvılaşma gelişir.                                     |
| ŞİDDET XI: Çok az yapı yıkılmadan kalabilir, köprüler yıkılır, yer (kütle) kaymaları oluşur, yer-içi boru sistemlerinin tümü ile devre dışı kalır.                                                                                                                     |
| ŞİDDET XII: Tüm yapılar yıkılır, coğrafya değişir, yüzeyde deprem dalgalarının ilerleyişi izlenebilir.                                                                                                                                                                 |

## 2.3. Terminoloji

- Periyod:

Deprem etkisi altında belirli bir zaman aralığında aynı hareketleri takip eden yapının hareketini tamamlamasına periyod denir. Periyodun birimi saniyedir. Frekans ise periyodun çarpma göre tersidir. 1 periyod bir cismin bir tam hareket yapması için geçen süreyi gösteriyordu. 1 frekans ise 1 saniye içerisinde cismin yaptığı hareket sayısını gösterir. Deprem etkisi altında bir yapının göstereceği davranış genel olarak yapının kütlesi ve yatay rijitliğine bağlıdır. Yapı doğal titreşim periyodunun belirlenmesinde bu etkenler göz önünde değerlendirilerek deneye dayalı formüller ile binanın hâkim periyodu belirlenir [Aksoylu ve Arslan, 2019].

- Sönüm:

Deprem anında açığa çıkan enerji dalgaları yapı tarafından karşılanır. Bu karşılama yapı üzerinde belli bir azalma ile olur. Yapının deprem etkisi altında başlayan hareketinin deprem etkisi kalktıktan sonra yapının yavaşlayarak durmasına sönüm denir. Yapıların dinamik davranışının belirlenmesinde kullanılan sönüm oranı yapının doğrusal olmayan davranışının daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır [Dündar, 2017].

- Tepki Spektrumu (Response Spectrum) :

Bina tasarımında kullanılan terimlerin içerisinde en yaygın terimlerden biridir. Deprem meydana getirdiği sarsıntı dalgalarının yapının üzerinde oluşturduğu ve yapının gösterdiği tepki davranışı olarak özetlenebilir. Tepki spektrumu eğrisi ise farklı doğal titreşim periyotlarına sahip yapıların belirli bir sönüm oranında yer hareketinden kaynaklı yapının yapacağı en büyük davranış sonuçlarının hesaplanarak elde edilmesidir [Kale , 2017].

- Spektral İvme ve Yer değiştirme:

Deprem meydana getirdiği ivmenin yapı üzerinde oluşturduğu ivme karşılığı olarak kabul edilir. Deprem ivmesinin yapının üzerinde meydana gelen ivme ile aynı olmayacaktır. Yapıda oluşacak deprem kuvvetini yapının ivmesi belirler. Temel fizik kuralı olarak  $F=m.a$  değerini inceleyecek olursak “a” yapının ivmesini, “m” ise

yapının kütlesini tanımlar. Yer değıştirme ise yapının ivmesi sonucunda yapı hareketinin sonucudur.

## **2.4. Afet Tehlike Risk Değerlendirilmesi**

Afet, fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar meydana getiren, doğal yaşamı ve insan hayatını durduran veya kesintiye uğratan doğal, teknolojik ve insan kökenli olaylara denilmektedir. Bu olaylar içinde deprem, sel-taşkın, volkan püskürmeleri gibi doğanın normal bir işlevi olarak gerçekleşenler “doğal tehlike” olarak nitelendirilir ve “afet” niteliğini kazanması için insan can ve malının kaybına neden olması gerekir.

Afet risk değerlendirilmesi, afet türleri için temel olarak oluşabilecek tehlikenin belirlenmesi ile etki edeceği bölge, kurum veya toplumun hasar görebilirliğinin değerlendirilmesidir. Hasar görebilirliğinin analizi ile açığa çıkan bulgular sonucunda risk derecelendirilmesi yapılır. Bu risk derecelendirilmesi afetin ne sıklıkla gerçekleşebileceğini, oluşacak zararları, toplumu nasıl etkileyeceğini tahmini olarak içerir.

Bir afet hasar değerlendirme yöntemi olan Hazardous of U. S. (HAZUS) yönteminde sel, taşkın, tsunami ve deprem gibi afet türleri için ayrı ayrı olarak hasar tahmini değerlendirmesi süreci açıklanmıştır.

## **2.5. Deprem Tehlike Hasar Değerlendirmesi**

Deprem, yer kabuğunun derinliklerinde ani kırılmalar sonucunda açığa çıkan enerjinin dalgalanma şekliyle bir frekansa sahip olarak yer yüzeyinde ve geçtiği ortamları sarsarak ilerlemesi olayıdır [Web 1, 2020].

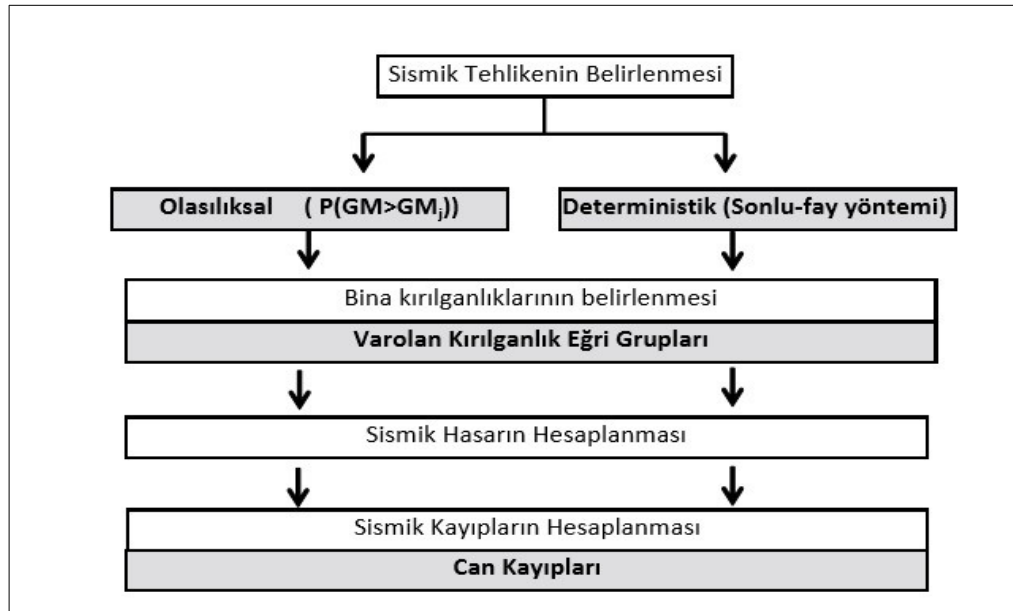
Can ve mal kayıplarıyla beraber ekonomik kayıplar oluşmasına sebep olacak bir depremden kaynaklanan yer hareketinin herhangi bir yerde ve zamanda oluşma tehlikesine deprem tehlikesi denir. Deprem riski ise depremin sonucu ile ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarının, hasar kayıplarının toplam değeri olarak ifade edilir. Deprem riskinin araştırdığı kısımlar ise depremin büyüklüğünü, depremin merkezinden incelenen alana olan mesafesini, incelenen alanın zemin sınıfını, yapı türünü, ne kadar bir hasar oluşacağı gibi alanları içerir. Bu alanları incelerken

depremin oluşma ihtimalini ampirik ve olasılıksal olarak ifade etmektir [Eyidoğan , 2003].

Deprem tehlike haritalarını risk haritaları ile karıştırmamak gerekir. Zira Deprem tehlike haritalarının risk haritalarına dđnüşebilmesi için depremin yaratacağı ekonomik kayıpları, etkilenecek nüfusu, hasar görebilecek yapı saptamak gerekir. Bu hesaplamalar ve tanımlamalar ile zarar ve kayıp sonuçlarını gösteren risk haritaları oluşabilir [Web 2 , 2020].

Deprem tehlike değerlendirmesi, deprem riski değerlendirmesinde veya tasarım kodları için tehlike haritalamasında temel bir bileşen olan bir bölge boyunca zemin sarsıntısı olasılığının hesaplanmasını sürecidir. Bu Süreç, deprem katalogları (tarihsel ve enstrümantal), aktif jeolojik faylar, kabuk deformasyonunun yer ölçümsel tahminleri ve sismotektonik özellikler gibi çeşitli bileşenler gerektirebilir [UNISDR , 2017].

Deprem tehlikesi iki ana yolla analiz edilebilir. Deterministlik olarak tek bir en olumsuz deprem senaryosunun tanımlandığı veya olasılıksal olarak tüm potansiyel deprem senaryolarının meydana gelme olasılığının dikkate alındığı şeklinde olabilir [Askan , 2011].



şekil 2.1: Deterministlik ve olasılıksal yaklaşım Süreci.

Deterministlik yaklaşımlar kavramsal olarak daha basit ve daha tutucu olarak algılanabilir. Olasılıklı bir deprem tehlikesi analizi modelinin geliştirilmesi ise

deprem büyüklüğü, yeri ve meydana gelme süresindeki belirsizlikleri açıklamak için bir dizi matematiksel formüller gerektirir[UNISDR , 2017].

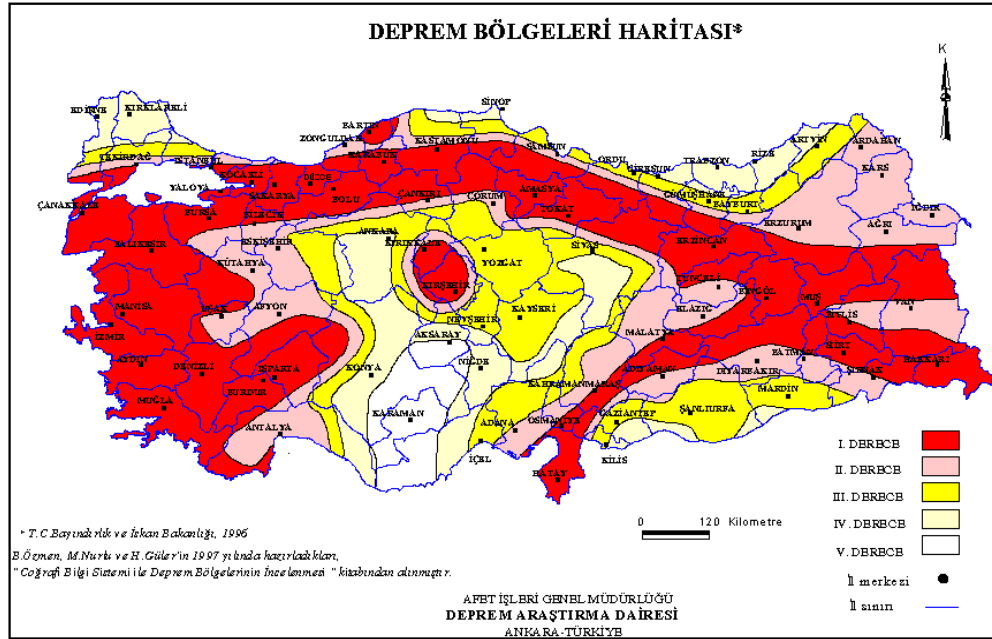
Olasılıklı deprem tehlikesi analizi tipik olarak iki temel yaklaşımı izler. Zamandan bağımsız olarak binlerce yıla kadar deprem döngülerini kapsayan sismojenik bir model elde etmek için hem araçsal hem de tarihsel deprem kataloglarıyla jeolojik ve jeodezik kanıtları birleştirmektir. Zamana bağlı olarak ise bir önceki olaydan bu yana geçen süre göz önüne alındığında, bir kaynakta meydana gelen depremlerin olasılığını tahmin etmek için deprem tekrarının periyodik eğilimleri hesaba katmaktır.

Zamana bağlı yaklaşım, bölgedeki geçmiş deprem ve fay yırtılma geçmişi hakkında ayrıntılı bilgi gerektirdiğinden, zamana bağlı deprem tehlikesi analizinin uygulanması hala iyi çalışılmış aktif fayları olan dünyada sadece birkaç yerle sınırlıdır.

### **2.5.1. Deprem Tehlike Haritalaması**

Deprem tehlike haritaları ulusların ülkeleri için yayınladıkları meydana gelme olasılığı belirli olan deprem sarsıntı seviyelerinin dağılımını göstermektedir. Bu haritalar, mühendislerin depremlerden sarsılmaya dayanacak binaların köprülerin otoyolların ve yardımcı unsurların tasarlanmasına yardımcı olmak için mümkün olan temel bilgileri sunmaya yarar. Zaman içerisinde sorumlu kuruluşlar tarafında güncellenir. 2007 yılındaki deprem yönetmeliğine göre hazırlanmış deprem tehlike haritaları Şekil 2.2’de verilmiştir. 2018 yılında deprem yönetmeliğine göre hazırlanmış deprem tehlike haritaları Şekil 2.3’de verilmiştir.

Deprem risk haritası Türkiye’de Afet ve Acil Durum yönetimi başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanır. Yerin altındaki 30 metredeki depremin hızı 760 m/s esas alınarak hesaplanır. Yerel zemin koşullarının sebep olabileceği sıvılaşma, büyütme ve farklı oturmalar gibi tehlikeleri içermez. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan bir başka deyiş ile tekrarlama periyodu 475 yıl olan depremler için hazırlanır ve oluşabilecek yer ivmesinin minimumdan maksimuma göre harita düzleminde gösterir [Web 2 , 2020].



Şekil 2.2: 2007 Yılında hazırlanmış deprem tehlike haritası.



Şekil 2.3: Türkiye deprem tehlike haritası.

## 2.6. Yapı Hasarının Oluşmasındaki Etkenler

Meydana gelen her bir depremde yeni bilgilere erişen deprem bilimi, yapı statik tasarımı alanında sınırlılıkları zaman içerisinde değişime uğratarak yapı dayanıklılığı anlamında ileri seviyeye taşımaya amaçlamıştır. Ülkemizde yapı statik tasarımında 1999 İzmit Gölçük'te meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki depremden sonra yürürlüğe giren TS 500-2000 bu gelişime örnek olarak gösterebiliriz. O dönemde yapılan çalışmaların devam etmesiyle Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 açığa çıkmış ve tasarım koşullarına ek sınırlılıklar getirmiştir.

Yapı statik tasarımı, yapının inşa edildiği mevcut yürürlükteki yönetmelik kurallarına göre bir deprem anında yapı için hasar görmeden kesintisiz kullanım temel ilkesine dayanan yöntem bilimidir. Yapılar için performans hedefi kesintisiz kullanım iken meydana gelen yapı hasarlarının oluşmasında bir takım sebepler vardır. Bu sebepleri temel olarak yapı tasarımı aşamasını, yapı uygulama aşamasını ve yapı kullanım sırasında dış etkenlerin sebep olduğu etkiler sınıflandırabiliriz [Can ve Tuncer , 2005].

Yapı tasarım aşaması içerisinde yapının geometrisini, yapı yüksekliğinin ve kat sayısını, uygun temel tasarımını vb. konuları inceleyebiliriz. Yapı inşaat uygulama aşamasını uygulama tekniklerinin doğru kullanılmamasını veya uygulama şartlarının sebep olduğu eksikliklerden dolayı kaynaklı oluşan hasarları sayabiliriz. Yapı kullanımı sırasında bina tasarımını etkileyen değiştiren yol ve yöntemlere başvurulması da yapı statığının bozulması gibi durumlar etken olabilir.

### 2.6.1. Yapı Bilgisi

Yapının deprem etkisi altında hasar görebilirliğinin değerlendirilmesinde en önce yapı için belli başlı temel bilgiler incelenir. Yapı hakkında ne kadar çok veri varsa yapının hasar görebilirliği hakkında o kadar verimli sonuç ortaya çıkacaktır. Bu bilgiler yapının inşa yılı, tasarım yönetmeliği, uygulama projelerinin olup olmadığı, kullanılan beton sınıfı, kullanılan demir türü gibi verilerdir. Bu veriler yapı hakkında görüş belirtilmesinde yardımcı olur.

Yapı projesinin olmadığı, kullanılan beton dayanımının bilinmediği, kullanılan demir kalitesinin bilinmediği durumlar risk oluşturabileceği için yapı üzerinde yerinde ölçümler ile bilgi eksikliği giderilmeye çalışılır.

### **2.6.2. Yapı Tasarımı**

Yapı tasarımı gerçekleştirilirken sağlanan ön bilginin doğru olması gereklidir. Yapının kullanım amacına uygun olacak şekilde tasarlanması yapı sağlığı açısından önem arz eder. Bir konutun giriş katında bir imalathane olacak ve bu imalathanede büyük bir titreşim ile çalışan ekipmanlar olacak ise tasarım mühendisinin bu detayları bilmesi elzemdir.

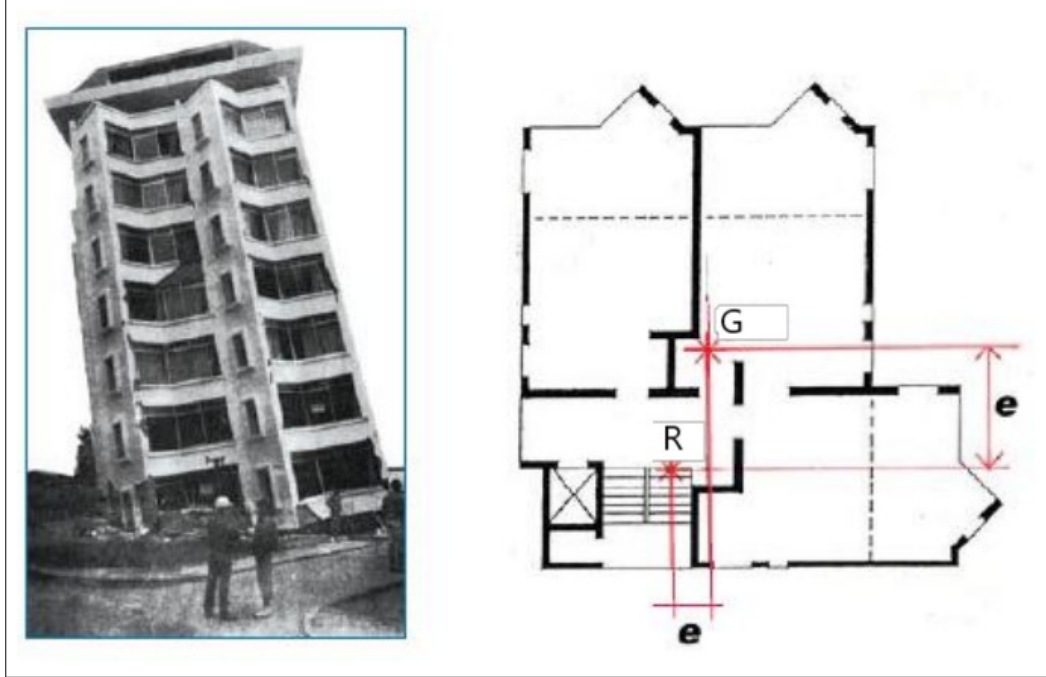
Yapı tasarımını yapısal ve yapısal olmayan elemanların birleşimi olarak yorumlayabiliriz. Yapı elemanları kolonlar, perdeler ve kirişler olarak nitelendirilirken yapısal olmayan elemanları asma tavanlar, mekanik tesisatlar, elektrik tesisatları olarak nitelendirilir. Yapısal elemanlar deprem yüklerinin düşeyde ve yatayda aktarılmasını sağlarlar.

Yapı tasarımı gerçekleştirilirken yürürlükte olan yönetmeliklere bağlı kalarak yönetmelik sınırlarına uymak gereklidir. Tasarım için kullanılan yönetmelikler zaman içerisinde bilimin ve depremlerin verdiği veriler sayesinde güncellenir. Bu sebeptir ki eski bir yönetmeliğe göre inşa edilen bir yapı ile güncel yönetmeliğe göre inşa edilen bir yapının deprem etkisi altında oluşabilecek deprem hasarı aynı seviyede olmayacaktır.

Yapı tasarımında yumuşak kat oluşumu, süreksiz perde tasarımı, güçlü kolon zayıf kiriş, kat boşluklarının kat döşemeleri oranı veya yapı düzensizlik türleri gibi yönetmelikte belirtilen sınır durumlarına dikkat edilerek tasarımın yapılması deprem hasar durumunu azaltıcı hatta yapının hasar görmeden kesintisiz kullanım yapılmasına sebep olacaktır.

### 2.6.3. Yapı Geometrisi

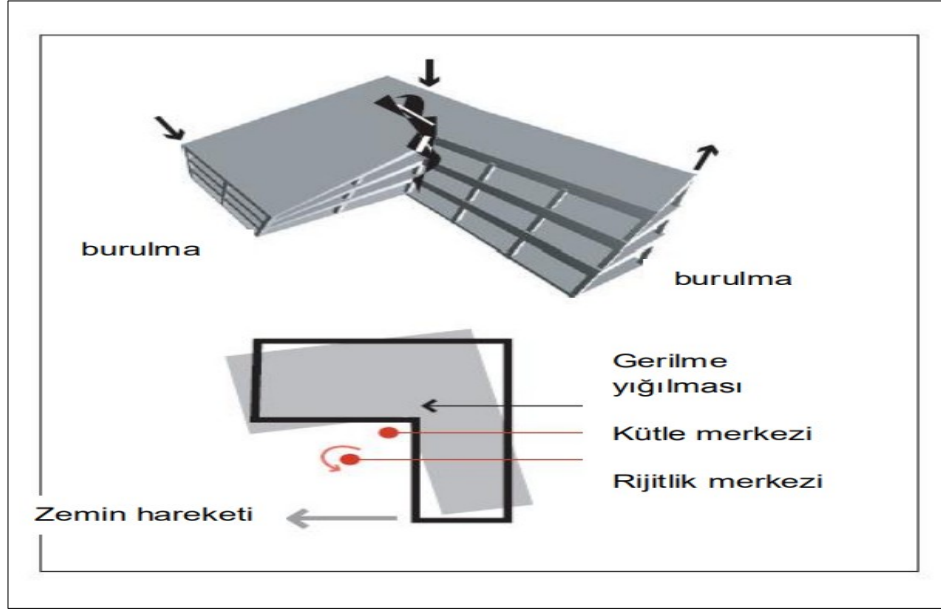
Deprem hasarının oluşmasına sebebiyet veren bir başka unsur yapı geometrisidir. Deprem yapılar üzerine yapının ağırlık merkezi üzerinden etkir. Temel fizik prensibi olarak kütle ile ivmenin çarpılması ile kuvvet oluşur. Bu noktada da yapının üzerine deprem ivmesinin etkidiği noktalar yapının kütle merkezleridir. Kütle merkezinin yeryüzüne olan etkisi olan ağırlık merkezleri ile yapının geometrik merkezi arasında uzaklık arttıkça yapı üzerine etkiyen yapı burulma etkilerini artırır. Bu yapı burulma etkileri deprem yaşattığı yıkıcı etkileri artırır. Şekil 2.4’de yapı rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafenin sebep olduğu yıkıcı etki belirtilmiştir [Can ve Tuncer , 2005] .



Şekil 2.4: Sol taraftaki bina deprem sonrası, Sağ tarafta yapı planı ağırlık merkezi(G), rijitlik merkezi(R), ara mesafe(e).

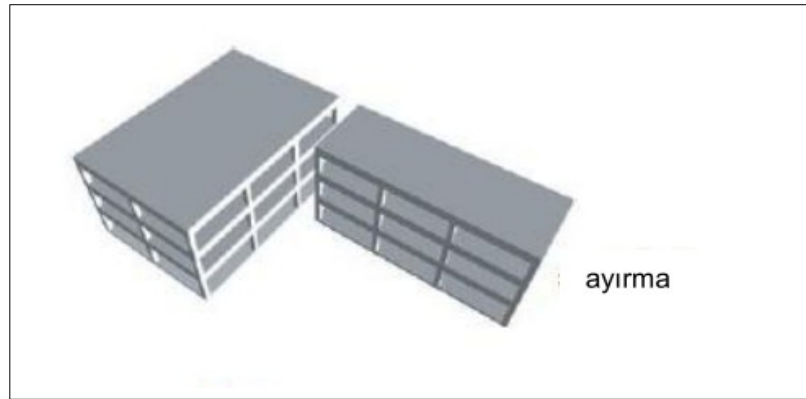
Yapı geometrisinin önem teşkil ettiği diğer bir noktada yapı çevre rijitliğinin sağlanmasıdır. Çevre rijitliğinin sağlanmasına engel olan noktalar ise iç köşelerdir. Yapı planının L, T veya E gibi formlarda olduğu yapılarda iç köşeler oluşur. Bu forma sahip yapılar içinde yapı rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında mesafe oluşur. Deprem etkisi altında yapı rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki

mesafeden dolayı yapı üzerinde burulma etkisi oluşur. Burulma etkisi, yapı iç köşelerinde gerilme yığılmalarına sebep olur. Bu gerilme yığılmaları da yapı üzerinde hasar oluşmasına veya yıkıcı etkilere sebep olabilir. Şekil 2.5’de yapı iç köşelerine oluşabilecek deprem etkileri gösterilmiştir [Can ve Tuncer , 2005].



Şekil 2.5: İç köşesi mevcut yapı planı.

L, T veya E gibi formlara sahip yapılar için tasarım aşamasında yapı kısımlara ayrılmalı veya iç köşeler rijit elemanlar ile takviye edilmelidir. Şekil 2.6’de L formuna sahip yapı için yapılması önerilen bilgiler gösterilmiştir [Can ve Tuncer , 2005] .



Şekil 2.6: L Formundaki bir yapının kısımlara ayrılması.

#### 2.6.4. Yapı Yüksekliği ve Kat Dizilimi

Ülkemizin ekonomik olarak büyümesi ve nüfus artış hızının etkisi ile imara açık arazi sıkıntısı yaşanmaktadır. Bu arazi kıtlık durumundan dolayı kat sayılarını ve yüksekliklerini artırarak bu problemin çözümü aranmıştır. Kat sayısının artması sonucuyla yapı yüksekliği artmış, bu da yapı hakim periyodunun büyümesine genel olarak yol açmıştır.

Kat sayısını veya yüksekliğini artırırken dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de kat dizilimi ve katların birbiri ile olan uyumudur. Çeşitli kullanımlar için ara katlarda farklı kat yükseklikleri kullanılabilir. Farkın yaşandığı katın(yumuşak kat) üzerinde kalan katlar daha rijit bir yapıya bürünür. Bu rijitlik deprem anında yumuşak katın üzerinde farklı periyotlar oluşmasına sebep olur. Yumuşak katın üzerinde kalan katların farklı salınımından dolayı yumuşak kat kolonlarında ve kirişlerinde gerilme yığılmaları olur. Bu gerilme yığınlarını taşıyamayacak noktaya ulaştığında yumuşak kat göçer. Şekil 2.7’de yumuşak kat oluşması sonucu hasar gören yapı görülebilir [Işık ve Özdemir , 2017].



Şekil 2.7: Yumuşak kat oluşumu.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre deprem tasarımlarında kullanılmak üzere yapı yükseklikleri sınıflara ayrılmıştır. TBDY tarafından bina yapı yüksekliği (BYS) olarak adlandırılan bu sınıflandırma sadece yapı yüksekliği esas alınarak hazırlanmış bir sınıflama değildir. Bina yükseklik sınıfı yapı yüksekliğinin yanında deprem tasarım sınıflarına göre ayrılması ile belirtilir. Tablo 2.2 ‘de bina yapı yükseklik sınıfları gösterilmiştir[TBDY 2018].

Tablo 2.2: TBDY-2018 Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları.

| Bina Yükseklik Sınıfı | Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m] |                    |                     |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
|                       | DTS 1, 1a, 2, 2a                                                                                     | DTS 3, 3a          | DTS 4, 4a           |
| BYS=1                 | $H_N > 70$                                                                                           | $H_N > 91$         | $H_N > 105$         |
| BYS=2                 | $56 < H_N \leq 70$                                                                                   | $70 < H_N \leq 91$ | $91 < H_N \leq 105$ |
| BYS=3                 | $42 < H_N \leq 56$                                                                                   | $56 < H_N \leq 70$ | $56 < H_N \leq 91$  |
| BYS=4                 | $28 < H_N \leq 42$                                                                                   | $42 < H_N \leq$    |                     |
| BYS=5                 | $17.5 < H_N \leq 28$                                                                                 | $28 < H_N \leq$    |                     |
| BYS=6                 | $10.5 < H_N \leq 17.5$                                                                               | $17.5 < H_N \leq$  |                     |
| BYS=7                 | $7 < H_N \leq 10.5$                                                                                  | $10.5 < H_N \leq$  |                     |
| BYS=8                 | $H_N \leq 7$                                                                                         | $H_N \leq$         |                     |

Dünyada yürürlükte olan çoğu yönetmelikler az katlı binalara yönelik hazırlandığı için, yüksek binaların tasarımı bu yönetmelik kuralları dışında özel araştırma ve tasarım yöntemlerini gerektirir.

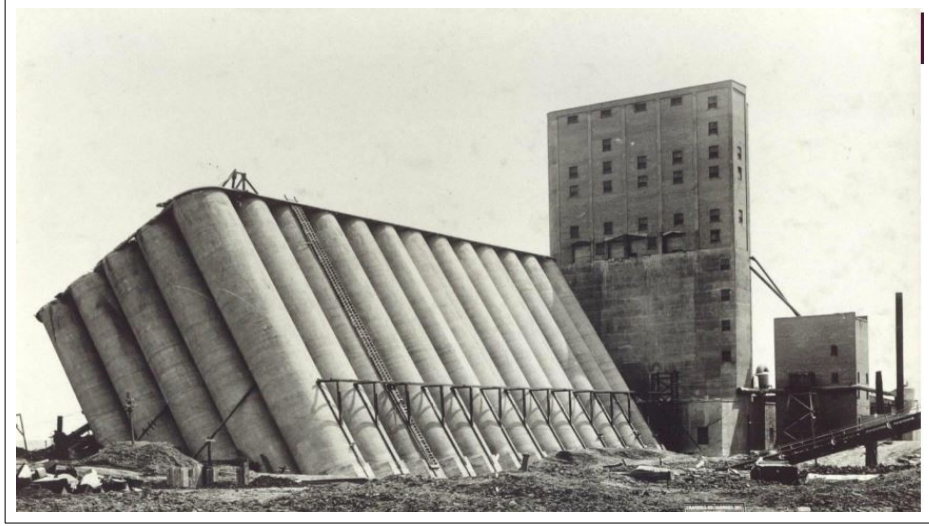
Yüksek yapılara komşu yapılar ile arasındaki mesafenin yeterli düzeyde olması gereklidir. Sıcaklık değişimlerinden etkilenebilecek yapı elamanlarında oluşan iç gerilmeler dikkate alınmalıdır. Mekanik tesisatlar için gerekli boşlukların hesaba katılmış olmasında fayda vardır. Bu gibi etkenlerinde yüksek bina tasarımında dikkate alınması yapı hasar durumunu etkileyecek nitelik taşır.

### 2.6.5. Yapı Temel Tasarımı

Temeller, yapıların yüklerinin zemine aktarılmasını sağlayan önemli yapı organlarından biridir. Temeller, yapının zeminle etkileşimini sağlayan kısımlar olduğu için tasarımından uygulama aşamasına kadar hayati öneme sahiptir. Temeller yapı zemini dayanımına göre değişiklik gösterebilir. Yüzeysel temeller ve derin temeller olarak gruplanan yapı temelleri sert, karstik yapıdaki bir zemin için tekil veya mütemadi temel kullanılabilirken zemin dayanımı düşük olan kumlu zeminlerde radye-temel, zemin dayanımı çok düşük, bununla beraber zemin oturmaları izin verilen sınırlar haricinde olması veya sıvılaşma ihtimali olan durumlarda ise kazık temeller kullanılabilir.

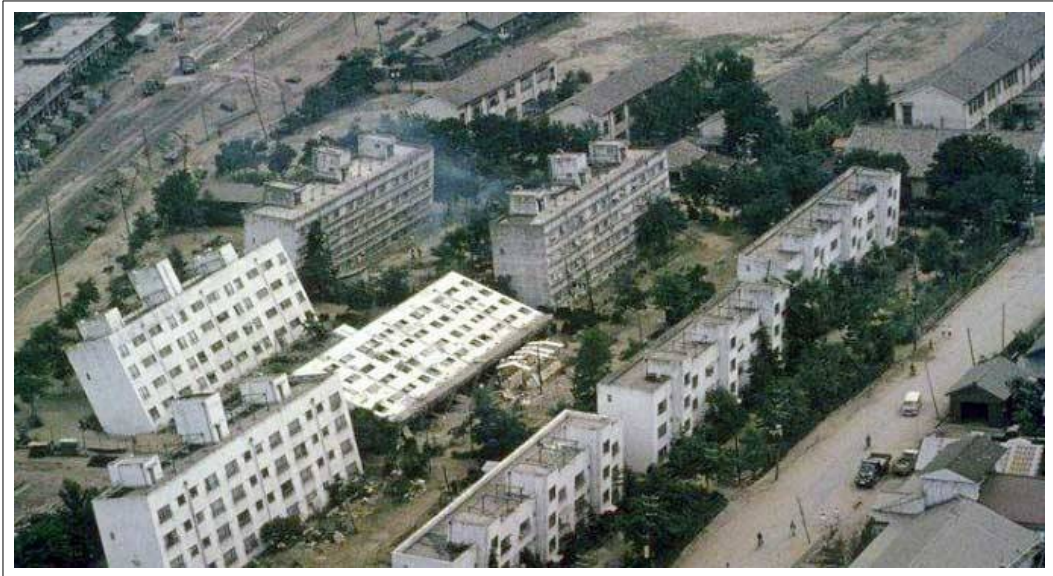
Temel elemanlarının davranış durumları yapısal ve geoteknik eleman özelliklerine bağlıdır. Yapı hasarının oluşmasında yapısal elemanlar ve geoteknik elemanların durumlarının birlikte incelenmesi gereklidir.

Yapı temel tasarımının doğru yapılması için zemin etüt raporuna ihtiyaç duyulur. Zemin etüt raporunun hazırlanması için yapı arazinde zemin sondajının yapılması gerekir. Zemin sondajı sayısı ve numune almak şekli TS EN ISO 22475-1 belirtilen yükümlüklere uygun şekilde yapılması gereklidir. Zemin etüt raporu eksik veya yeterli numune alınmamış bir yapının yapı temelinde farklı oturmalara yol açabilir. İtalya'nın Pisa şehrinde yer alan ünlü Pisa kulesi farklı oturmalara örnek olarak verilebilir. Şekil 2.8'de zeminde ki farklı oturmalardan dolayı yapıda oluşan hasar görülebilir. Yapı temelindeki bu farklı oturmalar temelde ek gerilmelere sebep olabilir. Bir deprem anından bu farklı oturmalardan dolayı yapı istenilen salınımı gerçekleştiremeyecek ve yapı kolonlarında ve kirişlerin aşırı yük yığılmalarına yol açacaktır [Özaydın , 2018].



Şekil 2.8: Farklı zemin oturmaları (Transcona Silo-Kanada).

Taşıma gücü azalması(kayıbı) temel boyutlarını yetersiz duruma getirerek, yapının yatmasına, dönmesine, göçmesine yol açabilir. Temellerin taşıma gücü zeminin kayma mukavemeti ile doğrudan ilişkilidir. Depremler sırasında killi zeminlerde meydana gelecek drenajsız kayma mukavemetinde azalma, kumlu zeminlerdeki sıvılaşma taşıma gücü kaybına neden olabilir. Şekil 2.9’de yapı zeminde oluşan sıvılaşmadan ötürü hasar gören yapılar görülebilir [Özaydın , 2018].



Şekil 2.9: Zemin sıvılaşması ile oluşan yapı hasarı(Nigata 7.4 M deprem, Haziran 16,1964).

Zemin sıvılaşma riskinin olduğunu bir bölgede yapı temel tasarımında zemin durumuna göre değişmesi gereklidir. Temel tasarımının kazıklı temellere dönmesi bu evrede gerçekleşebilir. Kazıklı temeller zemin taşıma gücünün zayıf olduğu bölgelerde yapı yükünü zemine doğru bir Şekilde aktarmak ve yapı üzerinde bir hasarın oluşmasını engellemek için kullanır.

Yapı inşa sırasında yapı temeli uygulama teknikleri de yapı hasarı oluşmasına sebebiyet verebilir. Yapının oturacağı zemininde yer altı sularının oluşması ve uygun zemin yalıtımının sağlanmaması yapı temelinde nem almasına buda yapı temelinden ekstra iç gerilmeler oluşmasına sebep olur. Yapı temelinde su ile olan etkileşimi artıkça temel içerisinde yer alan donatılarda korozyonu artırır. Donatıların korozyonu deprem anında yapı temelinden beklenen gerilme kuvvetlerini taşıyamamasına yol açabilir. Şekil 2.10 'de temel su yalıtımı yetersiz olan yapının bodrum katı görülebilir. Yapı duvarlarında ve temelinde oluşan rutubet görülebilir [Özaydın , 2018].



Şekil 2.10: Su yalıtımı yetersiz temel hasarı.

## **2.7. Tüm Yapı Tipleri için Seri Görüntüleme Süreci Rapid Screening Process (RSP)**

Seri Görüntüleme Süreci (Rapid Screening Process, RVS) nitel bir sismik hasar görebilirlik değerlendirme yöntemidir [Yadollahi et al, 2012]. RVS yöntemi, potansiyel olarak tehlikeli yapıların tanımlanması için ön değerlendirme olarak tasarlanmıştır. RVS yöntemi, potansiyel olarak tehlikeli yapıların tanımlanması için ön değerlendirme olarak tasarlanmıştır.

Seri Görüntüleme Süreci, gözlemleyenler için incelenen binaları iki kategoriye ayırmalarını sağlar; yaşam güvenliği riski taşıyabilecekler olanlar içinde kabul edilebilir olanlar veya sismik olarak tehlikeli olabilecekleri ve bir tasarım uzmanı tarafından daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerekenlerdir.

Seri Görüntüleme Süreci (RVS) yöntemi herhangi bir yapısal hesaplama yapılmadan uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. Potansiyel tehlikeli binanın ayrıntılı analizi olmaksızın hızlı ve nispeten ucuzdur. Binalar, binanın sismik performansını etkileyen özellikleri belirlemek için hızla değerlendirilir.

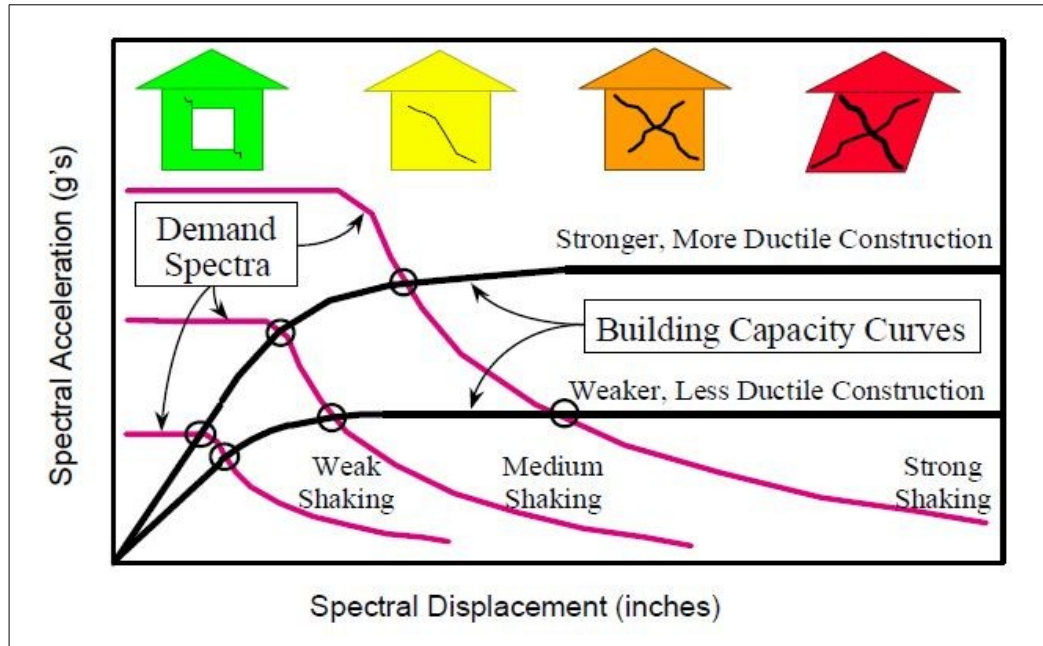
Bu alanda depremler sonrasında hızlı olarak yapı hasar durumlarının değerlendirilmesi için türk mühendis ve mimar odaları birliği tarafından Afet Hazırlık Ve Müdahale Yönergesi yayınlamış ve bu bağlamda yapı hasar değerlendirilmesi konusunda izlenilmesi gereken yol haritası paylaşılmıştır.

## **2.8. Yapılar için Deprem Hasar Tahmini Değerlendirmesi**

Dünyada yapılar için deprem hasar tahmini metodolojisinin temeli yapı kapasite eğrisi olarak tanımlanabilir. Yapı tür sınıfları için ayrı ayrı geliştirilen yapı kapasite eğrileri yapılar için deprem hasar tahmini değerlendirilmesinin ilk basamağını oluşturur.

Yapı kapasite eğrileri genellikle statik itme analizi eğrisi olarak da anılır. Birim yanal yükleme altında, birim yanal deplasman oran grafiğidir. Yapı statik yükleme altında taban kesme kuvvetine karşılık tepe deplasmanının oranlanmasıyla bulunur.

Kapasite eğrilerini, talep spektrumu ile karşılaştırabilmek için yanal yük direnci spektral ivmeye dönüştürülür. Karakteristik yanal yer değiştirme, binaların modal özellikleri kullanılarak spektral yer değiştirme dönüştürülür. Bu yöntem kapasite-spektrum metodu olarak adlandırılır. Şekil 2.11 üzerinde talep spektrumu ve yapı kapasite eğrileri üst üste çakıştırılmıştır. Talep spektrumunun ve kapasite eğrilerinin kesişim noktası yapı tepkisinin hesaplanması sürecinde kullanılır [van Westen and Kingma , 2009)].



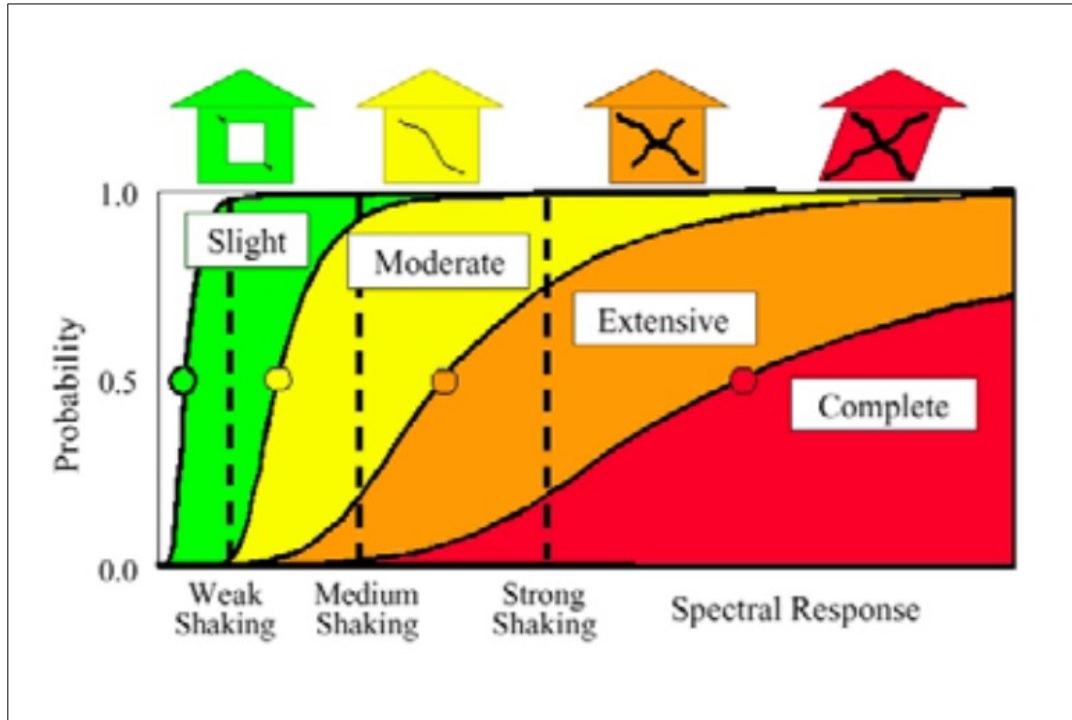
Şekil 2.11: Talep spektrum- kapasite eğrisi.

Kapasite spektrum metodu yapıların hasar değerlendirilmesinde kullanılır. Kapasite eğrileri basit ve iki temel noktadan oluşur. Akma kapasitesi ve kopma(kırılma) kapasitesidir. Akma kapasitesi, yanal yük dayanımını temsil eder. Bu akma dayanımı performans analizi veya lineer olmayan analizleri kapsamayan, tasarım kodları olan yönetmeliklerine göre tasarımı gerçekleştirilen yapılar için temel tasarım dayanımıdır.

Kopma(kırılma) kapasitesi ise yapının tam mekanizmaya dönüştüğü andaki noktadır. Yapının durağanlığını kaybetmediği ancak daha fazlasını taşıyamadığı noktadır.

Yapı kırılma eğrileri spektral yer değiştirmeye dayalı olarak verilen ortalama değerler ışığında yapısal ve yapısal olmayan hasar durumlarına ulaşma veya

bunları aşma olasılığını tanımlayan lognormal işlevlerdir [van Westen and Kingma , 2009].



Şekil 2.12: Kırılmalık eğrileri.

## 2.9. İstanbul'da Deprem Risk Değerlendirilmesi

Risk, bir tehlikenin meydana gelme ve sebep olacağı hasar olasılığıdır. Deprem riski ise herhangi bir depremin oluşma olasılığına müteakip deprem sebep olacağı hasar olasılığıdır [Kundak , 2008].

Sismik risk; deprem ve deprem nedeniyle meydana gelebilecek hasar durumlarının oluşma ihtimalinin değerlendirilmesidir. Yapı kullanımını etkileyebilecek, can ve mal kayıplarına sebep olacak, bölge ekonomisini bozacak etkiler meydana getirecek yeryüzündeki sarsıntıdan kaynaklı tehlikeler bütünüdür [Kundak , 2008].

Sismik tehlike analizi, geçmiş deprem kayıtlarının veri tabanlarında tutulması sonucu bulunur. Sismik tehlike analizi depremlerin tekrarlama sürelerine, önceki depremlerin büyüklüğüne, deprem oluşma Şekillerinin etkisi gibi bilgilerden oluşur.

İstanbul, Türkiye için sosyo-ekonomik ve nüfus yoğunluğu bakımından sismik analiz çalışmaları kritik önem arz etmiştir. Bunun içindir ki İstanbul Büyükşehir

Belediyesi(İBB) sismik çalışmalarına 1998 yılında TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ve Boğaziçi Üniversitesi (B.Ü.) Kandilli Rasathanesi ile birlikte İstanbul çevresinde bulunan aktif fay hareketlerini ve deprem tehlikesini gözlemlemeye başlamıştır. Günümüzde de İBB uhdesinde bulunan 10 adet deprem gözlem istasyonu ile birlikte B.Ü. Kandilli Rasathanesinin ulusal deprem izleme merkezi (UDİM) ile İstanbul civarındaki istasyonlardan İstanbul'un deprem hareketliliği takip edilmektedir. Bu çalışmalar İstanbul'un depreme karşı şehir planlamasına ve afet yönetimine katkı sağlanmaktadır.

1999 yılında merkez üssü İzmit gölcükte gerçekleşen yıkıcı depremin neticesinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından İstanbul'un deprem hasar tahmininin raporlanması için deprem analiz projesi başlatılmıştır. Bu projede 2000 yılında TUİK bina envanteri kullanılarak probabilistik ve deterministik deprem etkilerine göre deprem hasar tahmini öngörülerinin çıkarımı raporlanmış ve çalışma 2009 yılında İstanbul Olası Deprem Kayıp Tahminleri olarak yayınlanmıştır. Bu rapor neticesinde İstanbul ilinde 2.500-10.000 adet çok ağır hasarlı binanın 13.000-34.000 adet ağır hasarlı binanın, 85.000-150.000 adet orta hasarlı binanın, 250.000-350.000 adet hafif hasarlı binanın oluşmasının yanında çok sayıda altyapı unsurunda hizmetlerin aksayabileceği ve istanbul nüfusunun %0.1- %0.2'sine tekabül edecek şekilde can kaybına sebebiyet vereceği tahmini olarak öngörülmüştür [İBB , 2009].

### **2.9.1. Mikro-Bölgeleme Çalışmalar**

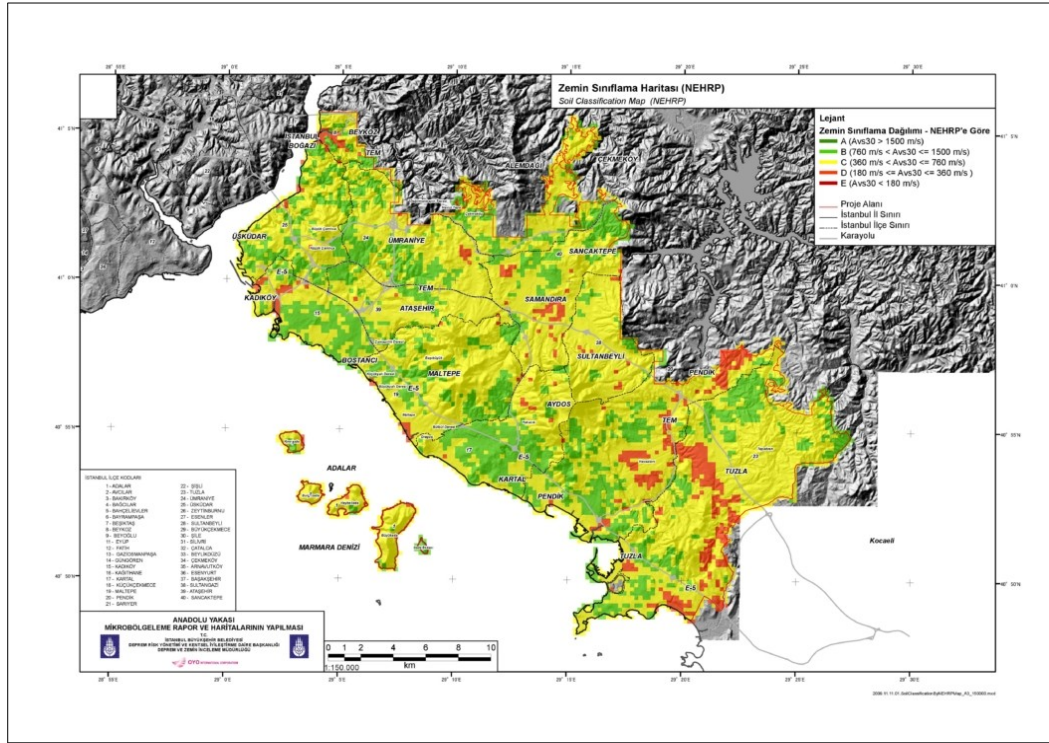
Deprem tehlikesini öngörülerinde bulunabilmek için yapılan araştırmaların başında mikro-bölgeleme çalışmaları gelir. Mikro bölgeleme bir araştırma unsuru altında incelenen bölgenin sınıflandırılmasının yapılmasıdır. Mikro bölgeleme hususunda İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından Anadolu Yakasında ve Avrupa Yakasında Mikro-bölgeleme Rapor Ve Haritalarının Yapılması çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmayı merkezi Japonya olan OYO International Corporation ( OIC ) firması yürütmüştür [Web 5 , 2020].

Mikro bölgeleme araştırması kapsamında OIC tarafından Anadolu yakasında toplamda 5.029 adet sondaj kuyusu açılmış olup, toplam delgi derinliği (metraj) 118.047 metredir. Sondaj çalışmaları ile elde edilen veriler ışığında yapılan

analizlerde sıvılaşma riski taşıdığı tespit edilen alanlarda sondaj çalışmalarına ek olarak toplam 377 adet CPT (Konik Penetrasyon Testi) çalışmaları yapılmıştır. Proje kapsamında üretilen 13 adet ana ürün haritalar bunlar sırasıyla jeoloji, yapısal jeoloji, mühendislik jeolojisi, heyelan, sıvılaşma, AVS 30, zemin sınıflama NEHRP, zemin sınıflama Euro Code, Zemin sınıflama deprem yönetmeliği, yer sarsıntı, hidrojeoloji, yerleşime uygunluk, sel ve su baskını ve bu alanlara ait rapor detayları hazırlanmıştır [Web 5 , 2020].

Aynı Şekilde OIC tarafından Avrupa yakasında toplamda 2830 adet derinliği 30 m olan normal sondaj, 27 adet derin sondaj, 764 adet sıvılaşma sondajı, 608 adet heyelan sondajı, 100 adet değişik derinliklerde anakaya derinliği ile bazı birimlerin kalınlığını belirlemek için yapılan sondajlar ile fay gibi yapısal unsurları ve alüvyon kalınlıklarının tespiti için 35 adet sondaj olmak üzere toplam 4364 adet mekanik sondaj çalışması yapılmış ve sondaj derinliği toplamı 125.578,90 m'ye ulaşmıştır. Arazi de yerinde(in-stu) yapılan SPT(standart penetration Test) deneylerinin yanı sıra 663 adet CPT (Conic Penetration Test) deneyi yapılmıştır [Web 5 , 2020].

Proje kapsamında üretilen 13 adet ana ürün haritalar bunlar sırasıyla jeoloji, yapısal jeoloji, mühendislik jeolojisi, heyelan, sıvılaşma, AVS 30, zemin sınıflama NEHRP, zemin sınıflama Euro Code, Zemin sınıflama deprem yönetmeliği, yer sarsıntı, hidrojeoloji, yerleşime uygunluk, sel ve su baskını ve bu alanlara ait rapor detayları hazırlanmıştır. Şekil 2.13'de Anadolu yakasının zemin sınıflama haritası görülebilir [Web 5 , 2020].



Şekil 2.13: Anadolu yakası zemin sınıflama haritası.

## 2.10. Bölüm Özeti

Bu bölümde, depremin türleri hakkında temel bilgiler verilmiştir. Afet risk değerlendirilmesi ve deprem tehlike hasar değerlendirilme konuları araştırılmıştır. Depremin, yapılar üzerinde nasıl hasarlar oluşturduğu aktarılmıştır. Deprem hasarının oluşmaması için tasarım hususunda dikkat edilmesi gereken konulara değinilmiştir. Araştırma alanının İstanbul'da olması hasebiyle İstanbul'da gerçekleştirilen deprem risk ve mikro bölgeleme çalışmalarından bahsedilmiştir.

### **3. DEPREM RİSKİ VE HASAR DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ**

Risk, tehdidin oluşma ihtimali ve tehdidin meydana getirdiği etkidir. Rakamsal olarak tanımlaya çalışırsak yani risk skoru, tehlikenin olma ihtimali ile tehlikenin şiddetinin çarpılması olarak tanımlanır. Risk değerlendirme yöntemleri temel olarak tehlikenin belirlenmesi ile başlar ve nitel ve nicel olmak üzere 2 kısma ayrılır. Nitel yöntemler gözleme dayalı riskleri düşük, orta, yüksek gibi terimlerle tanımlayan yöntemlerdir. Bazı nitel yöntemlere ön tehlike analizi, tehlike ve işletilebilirlik analizi, olursa ne olur gibi yöntemler örnek olarak verilebilir. Nicel yöntemler ise risklerin sayısal hale getirildiği olasılıksal ve matematiksel metodlar ile hesaplanır. Nicel yöntemlere Kinney risk analizi, L tipi matris, X tipi matris gibi yöntemler örnek olarak verilebilir.

Deprem riski ise depremin oluşma ihtimali ile beraber meydana getirebileceği etkiler bütünüdür. Afad tarafından yayınlanan Türkiye deprem haritasına göre ülkemizin %95 deprem riski taşımaktadır. Yine ülkemizin %92'si deprem bölgeleri içerisinde, büyük sanayi merkezlerinin %98'si ve barajlarımızın 93'ü deprem bölgesinde yer almaktadır [Karamanoglu ve Ulay, 2017].

#### **3.1. Risk Değerlendirme Tarihsel Süreci ve Son Gelişmeler**

Risk tahmini süreci 19. yy.'ın sonlarına doğru başlar. İlk olarak hava kayıtları, sonra akarsu seviyelerinin ölçümü daha sonra deprem kayıtlarına dayanır [Gulati, 2006]. 1932 yılına gelindiğinde John R. Freeman tarafından Earthquake Damage and Earthquake Insurance çalışması yayınlanmıştır [Freeman, 1932].

1980'ler ile beraber Amerika Birleşik Devletlerinde sigorta çalışmalarında kullanılmak üzere risk modelleme firmaları kurulmaya başladı. Başlıca risk modelleme firmaları American Risk Modelling (AIR), Catastroph Risk Management (Corelogic, EQECAT), Risk Management Solution (RMS) şeklindedir.

1994 yılında richter ölçeğine göre 6.7 büyüklüğünde Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya'da gerçekleşen Northridge depremi ve 1995 yılında richter ölçeğine göre 7.3 büyüklüğünde Japonya Kobe'de gerçekleşen Kobe depremi ile beraber hasar tahmini modellemelerinde, sigorta şirketleri ve yerel yönetimler

katkısıyla hızlı gelişmeler yaşandı. Kaliforniya’da Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından fayda-maliyet analizi çalışmaları başlatıldı. Müteakiben FEMA deprem hasar tahmini metodunu standart hale getirerek HAZardous of United States (HAZUS) programını devreye aldı. HAZUS programı deprem hasar tahmini değerlendirmesinin yanında taşkın ve kasırğa gibi afet durumlarının hasar tahmin değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır [Hazus , 2012].

Dünyada doğal afetlerin yadsınamayacak derecede olmasından ötürü A.B.D. gibi gelişmiş ülkelerde afet risk tahmini modelleme ve hasar tahmini değerlendirilmesi süreçlerinin yapılması için organizasyonlar yapmışlardır. Kanada acil durum teşkilatı tarafından Natural Hazards Electronic Map and Assesment Tools Information System (NHEMATIS) geliştirilmiştir. Birleşmiş Milletlerin International Decade for Natural Disaster Reduction(IDNDR) programı tarafından Risk Assesment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disaster (RADIUS) 1997 yılında oluşturulmuştur. RADIUS yöntemi A.B.D.’de Geohazard International tarafından geliştirilmiştir. Ayrıca Rusya’da Extremum, Taiwan’da TELES, Türkiye’de ELER, HAZTURK ve RED-AFAD risk değerlendirme, hasar tahmini değerlendirme konuları ile ilgili olarak çalışmalarıdır.

### **3.2. Sismik Hasar Tespitindeki Yaklaşım Yöntemleri**

Yürürlükte olan sismik hasar tahmini yöntemleri başlıca iki hesap yöntemini kullanılır. Deneysel yaklaşım geçmiş deprem kayıtların istatistiksel kullanılması ile ve analitik modellemeye dayalı hesaplama kullanılır.

Deneysel hasar tahmini geçmiş deprem kayıtlarını kullanır [Morales , 2002]. İstatistiksel dağılımını hasar olasılıkları matrisini ve kırılma eğrilerini kullanır. Analitik modelleme bilgisayar programları yardımı ile hasar verilerinin yapı üzerine aktarılması sonucunda açığa çıkan kapasite eğrilerini kullanır [Sarabandi . , 2004].

Yürürlükte kullanılan hasar tahmini değerlendirme metotlarından bazıları olan RADIUS, HAZUS, TELES, FEMA P-58, ELER detaylıca açıklanmıştır.

### 3.2.1. RADIUS Yöntemi

RADIUS metodu, Birleşmiş Milletlerin IDNDR sekreterliği tarafından 1997 yılında uygulanmaya başlandı. İlk amacı olarak şehir alanlarında deprem risk oranlarının düşürülmesini hedeflenmiştir. Quito, Ecuador ve Katmandu, Nepal gibi az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde uygulanması ile bilinir. RADIUS metodu, binaları malzeme özellikleri, yapım türü, tasarım kodu, bina önem katsayısı gibi niteliklerini göz önüne alarak 10 kategoriye göre sınıflar. Bu gruplama özellikle Latin Amerika'daki genel yapı tiplerini baz alır. İncelenen bölge coğrafi olarak karelere ayrıldıktan sonra her bir yapı tipinin bulunduğu yapı yoğunlukları haritalarını oluşturur.

Kırılgnalık fonksiyonu, ivme fonksiyonun modifiye edilmiş mercalli deprem şiddetinin (Modified Mercalli Intensity scale, MMI) oranından bulunur. RADIUS metodunda hasar seviyeleri göçme ve ağır hasar olarak tanımlanır. Kırılgnalık fonksiyonu, hasar değerlendirilmesinde kullanılır. Hasar değerlendirilmesi iki aşamadan oluşur. Mevcut binaların ve altyapı elemanlarını karşılığın belirlenmesi , mevcut kırılgnalık fonksiyonunun seçilen yapı tiplerinde geçmiş depremler ışığında incelenmesidir [Villacis and Cardona , 1999] .

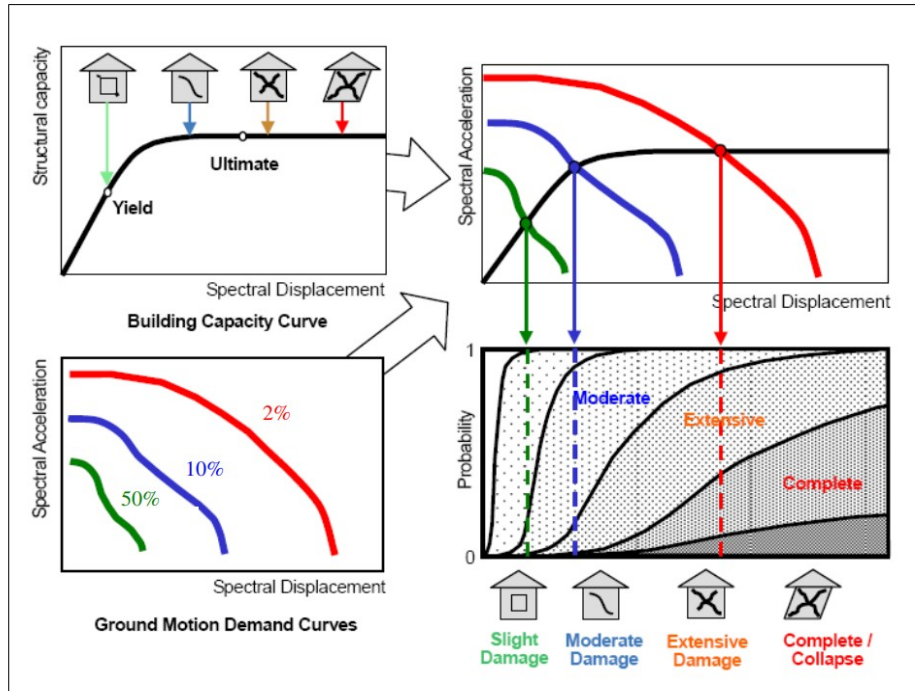
### 3.2.2. HAZUS Yöntemi

HAZardous of U.S. (HAZUS), FEMA tarafından 1997 yılında A.B.D.'deki afet kayıplarının değerlendirilmesi amacıyla kuruldu. Zaman içerisinde çeşitli güncellemelerin yapıldığı program sel, taşkın, kasırga ve deprem gibi farklı afet hasar kayıp tahminlerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Coğrafi bilgi sistemlerinden faydalanarak hasar haritalarını ve muhtemel risk değerlendirmeleri yapar. Hazus deprem modeli genel yapı stokunu geniş bir yelpazede niteliklerine göre inceler. Sayım yolu (census tract) denilen bir yöntem ile 2500 ile 8000 insanın yaşadığı alanları bölgelere ayırarak yapı stokunu kategorilere ayırır.

HAZUS metodolojisi genel yapı stokunun yanında özel yapı grupları olan temel kullanım yapılarını, ulaşım hizmetlerini ve yaşam hatları yardımcı sistemleri gibi alanları da inceler. Yapıları ayrıca bina önem katsayılarına göre de sınıflar (Ek 1). Yapılar 5 temel yapısal çerçeve olan ahşap çerçeve, çelik çerçeve, beton

çerçeveli, betonarme çerçeveli, takviyesiz beton çerçevedir. Bu yapısal çerçeveler, yapı tasarımına ve kullanılan malzeme türüne göre 36 farklı sınıfa ayrılır. (Ek 2) Yapı özelliklerinin, bina önem sınıflarının, malzeme türünün, yapı inşa türünün yer aldığı yapı envanteri oluşturulur [FEMA , 2012].

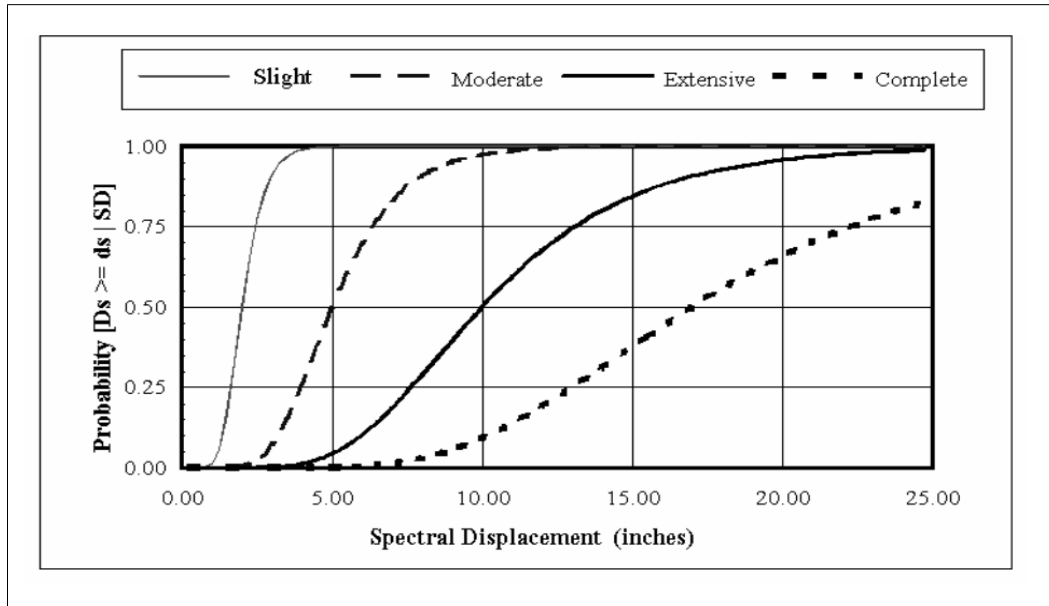
HAZUS metodolojisi bir dizi aşamadan oluşur. Yapı molları ve sismik tasarım seviyesi belirlenir. Yapı kapasite eğrileri, lineer olmayan elastik itme analizi sonucunda bulunur. Kapasite eğrileri tasarım kapasite, akma kapasitesi, kopma-kırılma kapasitesi olmak üzere 3 noktadan oluşur. Tasarım kapasitesi yapı dayanımını, akma kapasitesi yatay dayanımını, kopma-kırılma kapasitesi ise yapının mekanizmaya dönüştüğü andaki dayanımdır. Şekil x.x’de kapasite eğrisi örneği verilmiştir. Kapasite eğrileri ile beraber 0.3 ve 1.0 saniyedeki spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri belirlenir. Kapasite eğrileri ile talep eğrilerinin kesişmesinden yapı kırılma eğrilerine ulaşılır. Talep eğrileri sönüm oranı %5 olan tepki spektrumu olarak da bilinir. Tepki spektrumu spektral ivmenin spektral deplasmana oranıdır. Kırılma eğrileri yapı hasar olasılıklarının tahmininde kullanılır. Yapı hasar tahmini olasılıklarının istatistiksel olarak birleştirilmesi ile kümüle hasar olasılıkları hesaplanır. Müteakiben münferit hasar olasılığı hesaplanır. En son olarak hasar model sınıfları matrisi oluşturulur [Duan and Pappin, 2008].



Şekil 3.1: HAZUS Genel yapı hasar tahmini metodolojisi.

HAZUS metodu ile ilgili biraz daha detay verilmesi gerekirse hasar durumları az, orta, ağır ve göçme olmak üzere 4 bölüme ayrılır. Hazus yapısal elemanlarının yanında yapısal olmayan elemanların hasar durumlarını da inceler. Hazus tarafından yapı elemanları için tüm hasar durumlarını kapsayan kırılma eğrileri tanımlanmıştır. Kırılma eğrileri, log-normal olasılıksal dağılımının geliştirilmesinde kullanılır. Her bir kırılma eğrisi, ortalama spektral deplasmanların ve lognormal standart sapmanın tanımlanması ile hesaplanır. Denklem 3.1’de gösterilmiştir. Şekil 3.2’de kırılma eğrisi olasılığı verilmiştir [FEMA , 2012].

$$S_d = \overline{S_{d,ds}} * \epsilon_{ds} \quad (3.1.)$$



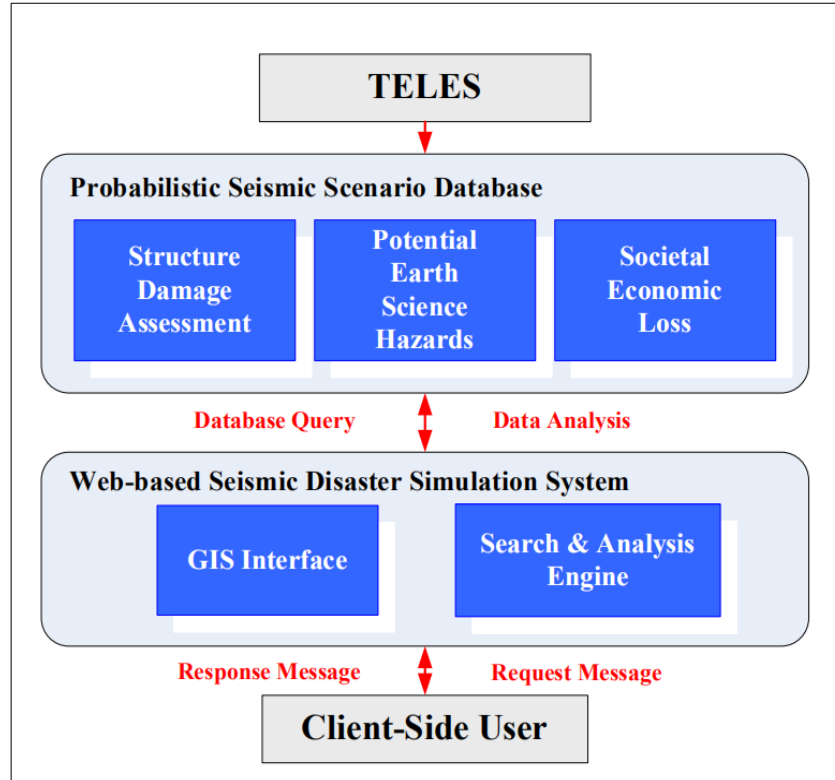
Şekil 3.2: Kırılma eğrisi olasılığı.

Hazus metodu tarafından hasar durumları sismik tasarım kodlarına göre ayrı olarak belirtilmiştir. Tasarım kod seviyeleri yapım yıllarına yönetmelik kodlarına göre yüksek, orta, düşük ve kod öncesi olarak tanımlanır. Yeni yapılmış modern yapılar için “yüksek” kod nitelmesi yapılabilirken eski yapılmış yapılar için “kod öncesi” nitelmesi yapılabilir.

### 3.2.3. TELES Yöntemi

Tayvan ulusal bilim kurulu tarafından 1998 yılında deprem hasar analizi, yapısal hasar değerlendirilmesi ve sosyo-ekonomik kayıplarının araştırılması amacıyla HAZ-Taiwan projesi başlatıldı. Bu kapsamda 2002 yılında Taiwan Earthquake Loss Estimation System (TELES) yazılım programını gerçekleştirdi. TELES , Hazus metoduna ek olarak analiz modelinde ve yazılım yapısında olmak üzere bir dizi değişiklikler yapmıştır. TELES içerisinde ayrıca kayıp tahminlerini otomatikleştirmek ve büyük depremlerden sonra etki dağılımını görmek için erken hasar kayıp değerlendirme özelliklerini ekledi [Yeh et al., 2006].

TELES, metodolojisi potansiyel yer hareketlerini, doğrudan fiziksel hasarı, dolaylı fiziksel hasarı ve sosyo ekonomik kayıpları inceler. Doğrudan fiziksel hasarın kapsamında genel yapı stoğunu, temel tesisleri, ulaştırma ve yardımcı sistemleri ve bunlara bağlı alt kavramlarında hasar tahmini değerlendirmesi yapılır. Şekil 3.3’de TELES süreç akışı görülebilir [Lin et al., 2007].



Şekil 3.3: Teles süreç akışı.

TELES, HAZUS yönteminde olduğu gibi kapasite eğrilerini ve kırılganlık eğrilerini kullanarak deprem hasar tahmini değerlendirmesi yapar. Yapı kapasite eğrileri bina tipleri ve tasarım seviyeleri TELES içerisinde tanımlanmıştır. TELES coğrafi bilgi sistemlerini kullanır ve programlama dili C++ ve Fortran'dır [Yeh et al., 2006].

### **3.2.4. FEMA-P58 Yöntemi**

2001 yılında Amerika Birleşik Devletleri, (A.B.D) Teknoloji uygulama kurulu (Applied Technological Council, ATC) ile yerel acil yönetim ajansı ,(Federal Emergency Management Agency,FEMA) tarafından yeni ve mevcut binalar için performansa dayalı ileri uygulama tasarımları projesi olan ATC-58 başlatıldı. Proje iki ana kısımdan oluşuyor. İlk kısım sismik performansı değerlendirme metodolojisinin geliştirilmesi, ikinci kısım performansa dayalı tasarım prosedürlerinin geliştirilmesi şeklindedir. Bu ürünlerin ortaya çıkması için gerçekleştirilen dokümanlar ve elektronik materyallere FEMA-P58 olarak anıldı. [FEMA , 2012]

FEMA-P58 bir takım bölümlerden oluşur. Bölüm 1, metodolojinin tam bir tanımını sunar ve bölüm 2, uygulanmasını gösterir. Bölüm 3, kullanımını kolaylaştırmak için bir dizi araç ve destekleyici elektronik materyal sunar. FEMA P-58 performans ölçütlerine göre tanımlanan kullanıcı tarafından seçilen performans hedeflerini karşılayabilecek binaların verimli tasarımını mümkün kılmak için performansa dayalı bir sismik tasarım sürecini açıklar.

Bir binanın gelecekteki depremlerde performansı, saha koşulları ve depremsellik; depreme dayanıklılık için kullanılan yapısal sistem ve mukavemeti, sertliği ve konfigürasyonu; yapısal olmayan bileşenlerin türü ve yeri ile bunların nasıl kurulduğunu içerir. Kayıplar, bina kaybı içinde meydana gelen can kaybı veya hastaneye yatma gerektiren ciddi yaralanmalar sayılabilir. FEMA-P58'de, bu önlem bir kayıp oranı olarak rapor edilir, bir binadaki herhangi bir kişinin deprem sonucu kazazedeye dönüşme olasılığı olarak kabul edilir.

FEMA P-58 metodolojisi, bir binayı deprem öncesi durumuna geri döndürmek veya toplam kayıp durumunda binayı benzer yapıdaki yeni bir yapı ile değiştirmek

için, yapılandırılmış karbon ve yapılandırılmış enerji açısından çevresel etkileri ölçebilir.

Yoğunluğa dayalı değerlendirmeler, bir elastik hızlanma tepki spektrumu ile temsil edildiği gibi, belirli bir hareket yoğunluğunun ortaya çıkmasına bağlı bir binanın olası performansını değerlendirir.

Senaryo bazlı değerlendirmeler, bir binanın inşaat alanına göre belirli bir yerde meydana gelen belirli bir büyüklükte depremden oluşan bir deprem senaryosuna maruz kaldığı varsayılarak, olası performansını değerlendirir.

Zamana dayalı değerlendirmeler, her performans ölçüsü için ortalama bir yıllık kayıp istatistiğini belirlemek için, oluşabilecek tüm depremleri ve her birinin olasılığını ve olası sonuçlarını göz önünde bulundurarak bir binanın olası performansını değerlendirir.

Performans hedefleri, bölgedeki bilinen faylara göre saha konumuna bağlı olarak birden fazla senaryo içerebilir. Örneğin, bir bölgede 7.0 büyüklüğünde bir deprem kapasitesine sahip bir faydan iki kilometre, ve 6.5 büyüklüğünde bir deprem kapasitesine sahip bir faydan 10 kilometre uzaklıkta bulunuyorsa, bu senaryo olayları, biri büyük ve biri orta olmak üzere iki performans hedefini tanımlamak için kullanılabilir.

Zamana dayalı performans hedefleri, performansı belirlemek için maliyet-fayda analizi kullanıldığında özellikle yararlıdır. Bina ömrü boyunca yıllık ortalama onarım maliyeti biliniyorsa, mühendislik ekonomisi kullanılarak, binanın faydalı ömrü boyunca olası onarım maliyetlerinin net bugünkü değerini belirlemek mümkündür.

Genelleştirilmiş performans iki deprem seviyesi için değerlendirilmiştir: tasarım seviyesi deprem ve Maksimum Dikkate Alınan Deprem (MCE). Tasarım ve MCE deprem seviyeleri ASCE / SEI 7-10 yer hareketi değerlerine dayanmaktadır ve tasarım deprem sarsıntısı MCE sarsıntısının üçte ikisi olarak alınmıştır.

Ek 3’de, onarım maliyetleri binanın ikame değerinin yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Onarım süresi gün olarak ifade edilir. Zayıat oranları, bir binada bulunan herhangi bir kişinin deprem sonucunda kazazede olma olasılığı olarak yüzde olarak ifade edilir.

FEMA P-58, ticari ofis, eğitim, sağlık, konaklama, çok üniteli konut, araştırma laboratuvarı, perakende ve depo işgalleri için yerleşik nüfus modellerine sahiptir. Ön Tasarım için, teorik olarak binayı sürekli olarak yerleşik nüfusun zaman ağırlıklı

ortalaması olan eşdeğer bir sürekli doluluk (eco) modelinin kullanılması genellikle kabul edilebilir.

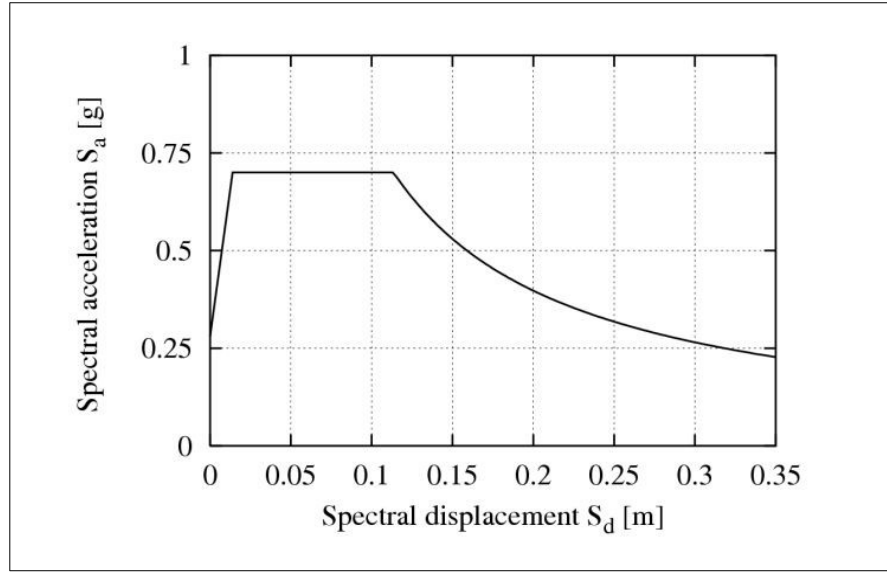
Performansa dayalı tasarım sürecinin son adımı, ortaya çıkan tasarımın hedeflenen performans hedeflerini karşıladığından emin olmak için ayrıntılı ve spesifik bilgiler kullanarak nihai tasarımın performans kapasitesinin değerlendirilmesini içerir.

### **3.2.5. SELENA Yöntemi**

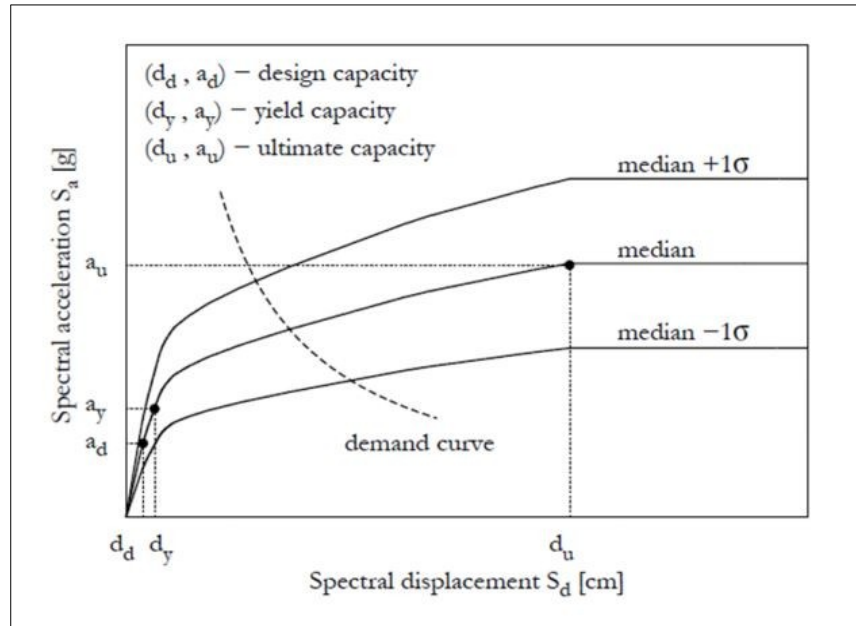
1968 yılında Norveç ve A.B.D. hükümetlerinin mutabakatı sonucunda NORwegian Seismic ARray (NORSAR) kuruldu. Mutabakatın amacı önce öncelikle sismik yer hareketlerinin takibi ve araştırılmasıdır. 1975 yılına gelindiğinde NORSAR ilk sismik hasar analizi projesi başlatıldı. A.B.D. tarafından 2000'li yıllarda HAZUS programının geliştirilmesinden sonra NORSAR ve uluslararası yerhasarı merkezi(International Centre of GeoHazard, ICG) ve İspanya'da yer alan Alicenta üniversitesi birlikte çalışarak açık kaynak uçlu sismik hasar tahmini modeli olan molina ve lindholm 2005,2006 yılında gerçekleştirildi. Sonraları Mantık Ağacı kullanılarak sismik hasar kayıp tahmini (Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach, SELENA) olarak anılacak olan bu sistem matlab kullanılarak geliştirdi. [NORSAR ,2015]

SELENA yer hareketlerini, fay hatlarını, zemin sınıflarını bünyesinde barındırır. Yapıların kapasite ve kırılgenlik eğrilerini de içerir. Yapı hasar maliyetlerinin ve yapı onarım maliyetlerin hesaplanmasında da kullanılır.

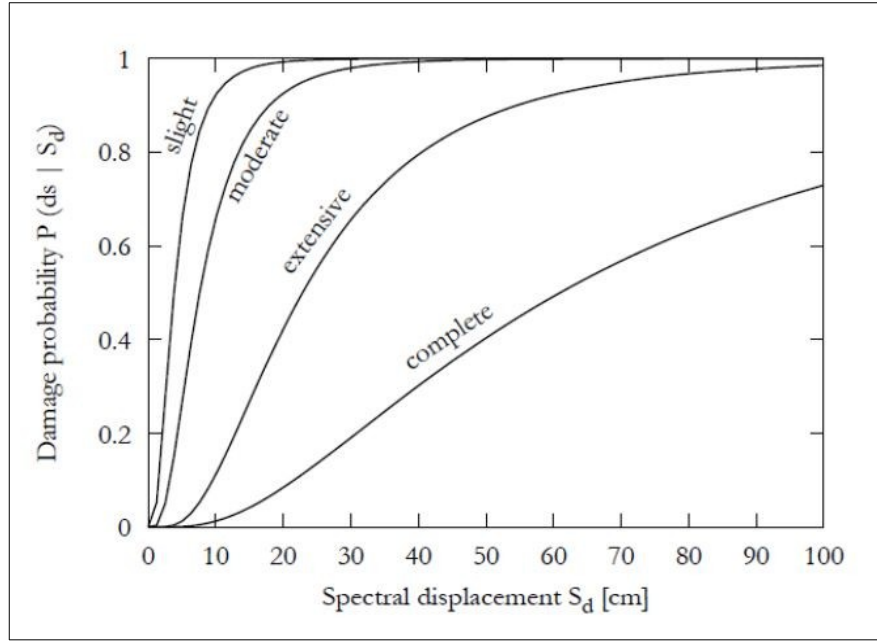
SELENA metodolojisi temel olarak yer hareketlerinin tepki spektrumu oluşturması ile başlar Şekil 3.4 Daha sonra yapı kapasite eğrilerinin tepki spektrumu ile kesişmesinden Şekil 3.5 yapı kırılgenlik eğrilerine ulaşılır. Bu metod olasılıksal hasar 4 hasar seviyesine göre az, orta, yoğun ve tamamen olmak üzere belirlenir. Şekil 3.6 Olasılıksal hasar daha sonra yapı alanlarında her bir yapı alanı için tanımlanır ve bölge hasar olasılıkları bulunur. [NORSAR ,2015]



Şekil 3.4: Tepki spektrumu.



Şekil 3.5: Kapasite-tepki spektrumu kesişimi.

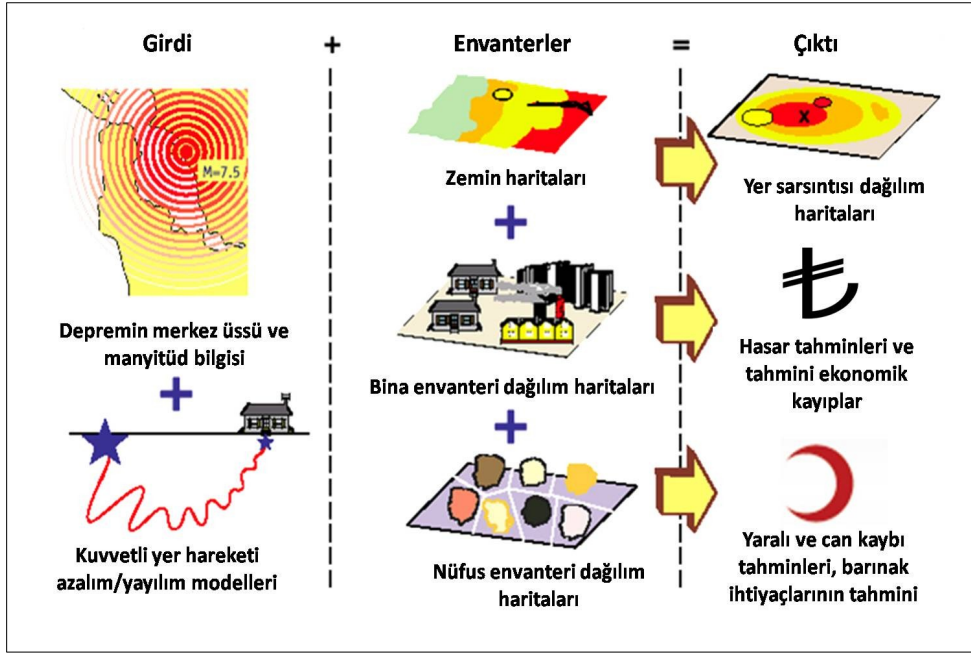


Şekil 3.6: Yapı kırılmalık eğrileri .

### 3.2.6. ELER Yöntemi

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Boğaziçi Üniversitesi arasında imzalanan mutabakat gereği olarak afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi amacıyla çalışmalar başlamıştır. Deprem kayıplarının belirlenmesi için Avrupa Birliği katkısı ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim tarafından deprem kayıp tahmin yazılımı olan ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) geliştirilmiştir [ELER,2010].

ELER ilk olarak deprem yer hareketleri girdilerinin sisteme tanıtılması ile başlar. Deprem yer hareketlerine maruz kalan yapı envanterinde oluşacak hasarları ve dolaylı can ve mal kayıplarını tahmin eder.



Şekil 3.7: ELER metodolojisi.

ELER, deprem hasar tahminine yönelik hazırlanmış 4 modülü mevcuttur. 1. Deprem tehlike analizi modülü sisteme belirtilen deprem büyüklüğü merkez üssü bilgisine göre PGA,PGV, Sa, Sd yer hareketleri değerleri dağılımını verir.

Seviye 0 modülü can kaybı ve yaralı tahminleri coğrafi bilgi sistemlerine dayalı nüfus bilgisine göre şiddet-can kaybı ya da büyüklük-can kaybı ilişkileri kullanılarak elde edilmektedir.

Seviye 1 modülü durumunda hasarlı bina sayısını bulmak ve buna bağlı olarak can kayıplarını tahmin etmek için şiddete dayalı ampirik hasar görebilirlik ilişkileri kullanılır.

Seviye 2 modülü durumunda hasarlı bina sayısını ve buna ilişkin can kayıplarını tahmini yapmak için spektral ivme- yer değiştirmeye dayalı hasar görebilirlik değerlendirme yöntemi kullanılır. ELER modülleri Şekil 3.8’de verilmiştir [ELER ,2010].



Şekil 3.8: ELER iş akış diagramı.

### 3.3. Bölüm Özeti

Bu bölümde deprem riskinin ve deprem hasar tahmininin yapılmasında kullanılan yöntemlere hakkında genel bilgiler verilmiştir. Farklı ülkelerde geliştirilen deprem hasar tahmini metodlarının nasıl ortaya çıktığı, nasıl geliştiği ve ne gibi hesaplamalar yaptığı belirtilmiştir.

## 4. ÇALIŞMA ALANI

Bu bölümde çalışmanın yapılacağı alan olan İstanbul ili, Başakşehir İlçesi, Kayabaşı mahallesindeki 1. pilot bölge ile İstanbul ili, Başakşehir ilçesi Bahçeşehir 2. kısım mahallesindeki 2. pilot bölgeye dair konum bilgisi, yapı dağılımı, ulaşım ağı, demografik yoğunluğu v.b. bilgiler sunulmuştur.

### 4.1. Giriş

Ülkemizde son dönemlerde kentsel dönüşümle beraber mevcuttaki eski binalar için yenilemeler yapılmaktadır. Bunların yanında depreme dayanıklı, fay hatlarına uzak yeni yerleşim bölgelerinin kurulması da hız kazanmaktadır. 2009 yılında İ.B.B. tarafından yayınlanan deprem hasar tahmini kayıplarının yayınlanmasından itibaren İstanbul'da yeni yerleşim bölgeleri oluşmuştur. Yüksek lisans tezine uygun olarak yeni yerleşim bölgelerinden 2 adet pilot bölge belirlenmiştir. Pilot bölgelerden Şekil 4.1'de 1. pilot bölgenin 2009 yılındaki uydu görseli verilmiştir. Şekil 4.2'de 1. pilot bölgenin 2020 yılındaki uydu görseli verilmiştir.



Şekil 4.1: 1. Pilot bölge uydu görseli yıl 2009.



Şekil 4.2: 1. Pilot bölge uydu görseli yıl 2020.

## 4.2. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

İstanbul, kuzey anadolu fay hattına yakın olup nüfus yoğunluğu ve ekonomik hareketliliği ile Türkiye için kritik öneme sahiptir. Bu sebeple İstanbul için depreme karşı hazırlık büyük önem arz eder. TBMM tarafından 2012 yılında afet riski altındaki alanların dönüştürülmesini öngören nam-ı diğer kentsel dönüşüm yasası çıkarılmıştır. Bu anlamda risk oluşturan yapılar yıkılarak yeniden yapılmaya başlanmış veya yeni yerleşim alanları açılmıştır.

Yeni yerleşim bölgelerinin deprem hasar tahmini değerlendirilmesi yapmak için 2 pilot bölgeden  $41^{\circ} 7'33.19''K$  -  $41^{\circ} 6'41.59''K$  ile  $28^{\circ}45'47.96''D$  -  $28^{\circ}46'55.62''D$  koordinatları arasında yer alan yaklaşık 1 milyon m<sup>2</sup> alana kurulmuş olan 1. pilot Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4. 3:  $41^{\circ} 7'33.19''\text{K}$  -  $41^{\circ} 6'41.59''\text{K}$  ile  $28^{\circ}45'47.96''\text{D}$  -  $28^{\circ}46'55.62''\text{D}$  Koordinatlarında yer alan İstanbul ili Başakşehir İlçesi Kayabaşı Mahallesi 1. Pilot Bölge.

$41^{\circ} 5'47.64''\text{K}$ -  $41^{\circ} 4'57.20''\text{K}$  ile  $28^{\circ}39'31.93''\text{D}$ -  $28^{\circ}38'29.22''\text{D}$  koordinatları arasında yer alan yaklaşık 1 milyon  $\text{m}^2$  alana kurulmuş 2. pilot bölge Şekil 4.4'de verilmiştir.

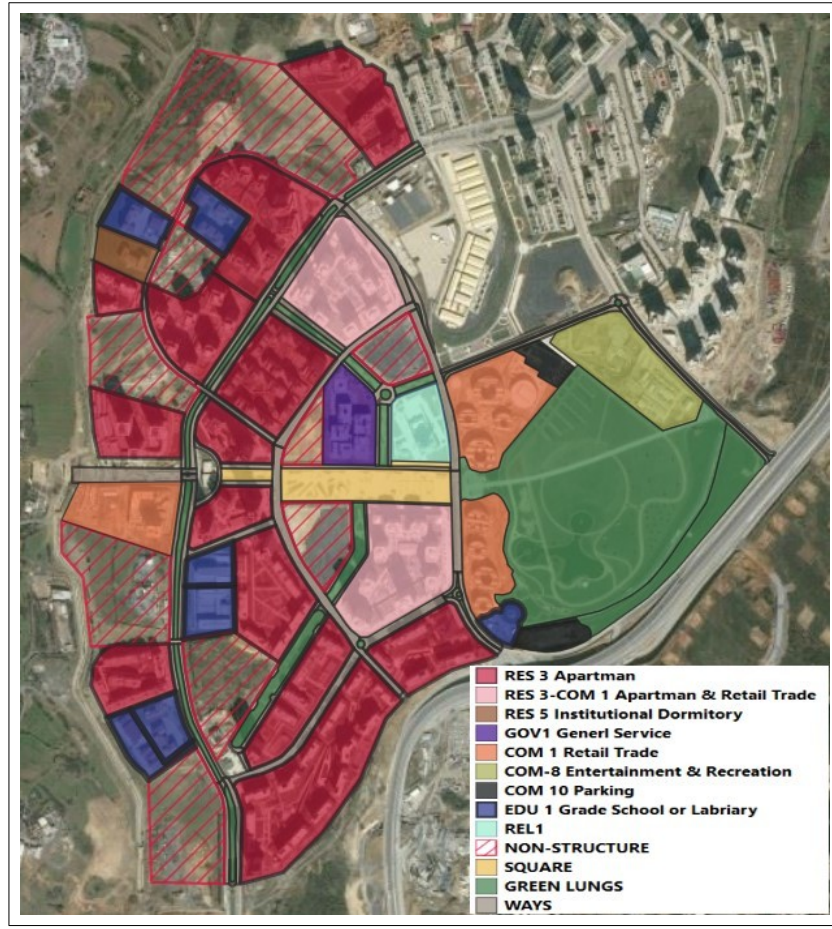


Şekil 4.4:  $41^{\circ} 5'47.64''\text{K}$ -  $41^{\circ} 4'57.20''\text{K}$  ile  $28^{\circ}39'31.93''\text{D}$ -  $28^{\circ}38'29.22''\text{D}$  koordinatları arasında yer alan İstanbul ili Başakşehir İlçesi Bahçeşehir 2. kısım Mahallesi 2. Pilot Bölge.

Mühendislik jeolojisi olarak çekmece formasyonu , çukurçeşme üyesine ait çok katı sert kil, ceylan formasyonuna ait orta derecede ayrılmış, parçalı kırıklı, zayıf-orta dayanımlı kilaşı gözlemlenmektedir [Dalgıç , 2009].

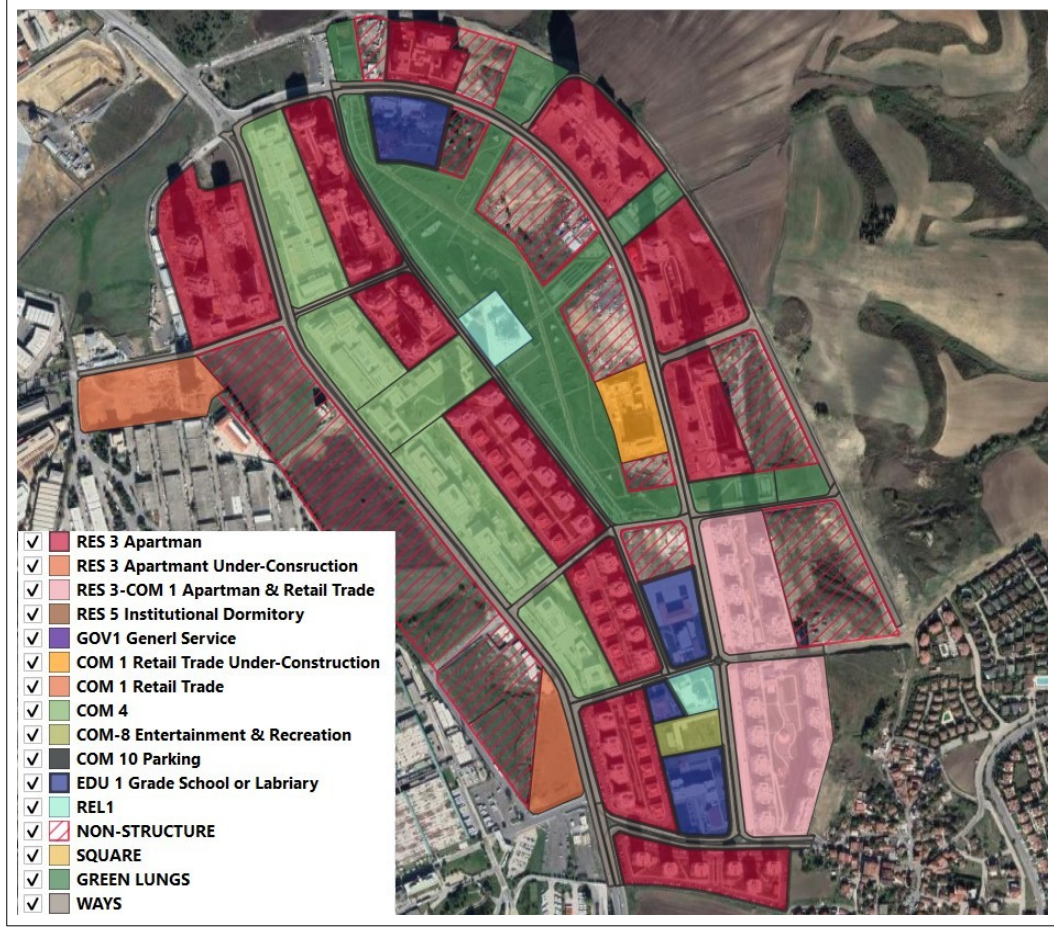
Şekil 4.5: Avrupa yakası jeolojik formasyonu.

Çalışma alanlarından 1. pilot bölge olan kayabaşı bölgesi için genel yapı dağılımına bakıldığında baskın olarak yerinde dökme betonarme yapıların mevcut olduğu görülür. Betonarme çerçeveli sistem veya çerçeveli sistem ile perdeli sistemlerin bir arada kullanıldığı, bina yüksekliği ortalamasının 25 m.'den fazla olduğu, kat adet ortalamasının 10 adetin üzerinde olduğu konut dağılımı gözlemlenmiştir. Bölge içerisinde genel yapı stokuna ve ticari ünitelerin dışında 4 adet eğitim tesisi, 1 adet dini tesis, 1 adet öğrenci yurdu, 1 adet halk kütüphanesi, 1 adet millet bahçesi ve inşaat yapım aşaması devam eden 1 adet yerel yönetim binası ile 1 adet alışveriş merkezi bulunuyor. Şekil 4.6'da 1. pilot bölge için HAZUS yapı önem sınıfına göre gruplanmış plan görseli verilmiştir.



Şekil 4.6: 1. Pilot Bölge HAZUS yöntemine göre yapı önem sınıflandırılması.

Çalışma alanlarından 2. pilot bölge olan Bahçeşehir 2. kısım bölgesi için genel yapı dağılımına bakıldığında ekseriyeti yerinde dökme betonarme yapıların olduğu görülmüştür. Betonarme çerçeveli sistem veya çerçeveli sistem ile perdeli sistemlerin bir arada kullanıldığı, gayri nizami yapılaşmanın görülmeyeceği, yığma ve kargir yapıların olmadığı gözlemlenmiştir. Bölge içerisinde genel yapı stokuna ve ticari ünitelerin dışında 2 adet dini tesis ve müstemilatı, 2 adet eğitim tesisi ve millet bahçesi bulunmaktadır. Şekil 4.7’de 2. pilot bölge için HAZUS yapı önem sınıfına göre gruplanmış plan görseli verilmiştir.



Şekil 4.7: 2. Pilot Bölge HAZUS yöntemine göre yapı önem sınıflandırılması.

Çalışmanın yapıldığı 1. pilot bölge içerisinde 7.175 adet konut ve 1.489 adet ticari ünite bulunmakla beraber toplam 8.664 adet bağımsız ünite mevcuttur. Ayrıca 5 adet eğitim tesisi ve 1 adet öğrenci yurdu, 1 adet dini tesis, 1 adet halk kütüphanesi, inşaat yapımı devam eden 1 adet spor tesisi ve 1 adet yerel yönetim hizmet binası mevcuttur.

2. pilot bölge içerisinde 1.463 adet inşaat yapımı devam eden toplamda 7.061 adet konut ve 157 adet inşaat yapımı devam eden toplamda 960 adet ticari ünite bulunmakla beraber toplam 8.021 adet bağımsız ünite mevcuttur. Ayrıca 2 adet inşaat yapımı devam eden toplamda 3 adet okul, 2 adet dini tesis ve 1 adet okul öncesi tesis bulunmaktadır.

#### 4.4. Çalışma Alanının Demografik Yapısı

Denize kıyısı olmayan Başakşehir, kuzeyde Arnavutköy, kuzeydoğuda Eyüp, doğuda Sultangazi ve Esenler, güneyde Bağcılar, Küçükçekmece ve Avcılar, güneybatıda ise Esenyurt ilçeleriyle çevrilidir. Yaklaşık 104,33 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır. Bölgede doğal zemin yapısı; “Eosen” kalkerlerinden oluşmuştur. (Web 6 2020) Çalışma alanları 1. pilot ve 2. pilot bölge İstanbul ili Başakşehir ilçesi sınırları içerisinde yer alır. Başakşehir ilçesi 22.03.2008 yılında 5747 sayılı kanun ile ilçe statüsüne ulaşmıştır. Ulaşım büyük oranda tem bağlantı yolu ve ilçe merkezinde yer alan raylı sistemler ile sağlanır. Başakşehir, ilçe statüsü kazandığı günden beri nüfusu ve yapı sayıları artmıştır [TUİK, 2019].

Başakşehir ilçesinin 2008 yılında adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarına bakıldığında yaklaşık 207 bin civarındadır. Nüfus artış hızı yıllık ortalama %10 bareminde olup yıllara göre değişiklik göstermektedir. 2019 yılına gelindiğinde adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarına göre nüfusu yaklaşık 253 bin artarak toplamda yaklaşık 460 bin olmuştur. Bu nüfus sayısı ile Başakşehir ilçesi Türkiye'nin 38 ilini nüfus sıralamasında geçmiştir.

Çalışmanın yapıldığı 1.pilot bölgenin içinde yer aldığı kayabaşı mahallesinin adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 2012 yılındaki nüfusu yaklaşık 48 bin civarındadır. Yıllık ortalama %20 nüfus artış hızına sahiptir. Kayabaşı mahallesi 2019 yılına gelindiğinde adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre nüfus yaklaşık 48 bin artarak toplamda 97 bin dolaylarına erişmiştir.

Çalışmanın yapıldığı 2. pilot bölgenin içinde yer aldığı Bahçeşehir 2. kısım mahallesi incelendiğinde adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 2012 yılındaki nüfusu yaklaşık 31 bin civarındadır. Yıllık ortalama % 6 nüfus artışı gösterir. Bahçeşehir 2. kısım mahallesi nüfusu 2019 yılına gelindiğinde yaklaşık 16 bin artarak toplamda 47 bin rakamına ulaşmaktadır. Nüfus verileri ışığında araştırma yapılan pilot bölgelerin hızla nüfusunun arttığı anlaşılmıştır.

#### 4.5. Bölüm Özeti

Bu bölümde çalışmanın yapıldığı pilot bölgelere dair coğrafi bilgileri verilmiştir. Pilot bölgelerde bulunan yapı grupları hakkında daha fazla ayrıntı elde

edebilmek için yapı grupları HAZUS yapı önem sınıflamasına göre gruplandırılmıştır. Bölgelerde yer alan konut/ticari ünitelerinin, eğitim tesislerinin, dini tesislerinin ve yerel yönetim binalarının sayılarına dair veriler paylaşılmıştır. Bölgenin nüfus sayıları geçmişe dönük aktarılmıştır.

## 5. VERİ TABANI HAZIRLANMASI

Çalışmanın yapıldığı bölgelerin deprem hasar tahminlerinin yapılmasında kullanılacak olan analiz programlar Earthquake Loss Estimation Routine ,ELER bir dizi veri hazırlanmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu verilerin merkezinde yapılar hakkında bilgilerin toplanması, derlenip ayrıştırılması ve program diline uyarlanması süreçleri bu bölümde aktarılmıştır.

### 5.1. Verilerin Derlenmesi

Deprem hasar tahmini analizi yapan programlar incelediğimizde Hazardous of U.S., HAZUS Amerikan hasar kayıpları tahmini metodolojisini kullandığını görürüz. Öncelikle deprem tehlikesinin oluşturulmasıyla başlanılan bu prosedür yapı envanteri bilgileri sonucunda elde edilen yapı kırılgenlik eğrilerini kullanır. Projemizde kullandığımız ELER programını ele aldığımızda da temeli HAZUS programında olduğu gibi aynı tekniğe dayanır. HAZUS metodolojisi veri toplama ve derleme işlemi için dayanak noktası, araştırma için bir altlık olarak kabul edilmiştir. Deprem hasar tahmini için gerekli olan yapı envanterine dair bilgiler HAZUS programına göre toplanmış ve çalışmada kullandığımız ELER programına uyarlanmıştır.

### 5.2. Arazi Çalışması

Arazi çalışmalarına ilk olarak araştırma konusu olan pilot bölgelerin yaya olarak gezilmesi ile başlandı. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan riskli yapılar için hazırlanan riskli bina tespit formundan yararlanılarak bina ön gözlem indirgenmiş form oluşturuldu. Ek 4'te sunulmuştur. Riskli yapılar için hazırlanan form birkaç bölümden oluşmaktadır. Yapının konumun bulunduğu yere ait genel bilgiler 1. kısım, mevcut taşıyıcı istem bilgilerinin, yapı kat adedinin, ortalama yapı yüksekliğinin yer aldığı 2. kısım, yapıdan alınan numunelerin yer aldığı 3. kısım ve performans analiz sonuçlarının yer aldığı 4. ve 5. kısımdan oluşmaktadır. Projemiz için hazırlanmış indirgenmiş ön gözlem formunda ise yapı

konumunun yer aldığı 1. kısım, mevcut taşıyıcı sisteminin, yapı kat adetinin, bina yüksekliğinin yer aldığı 2. kısımdan oluşmaktadır.

Ön gözlem çalışması ile araştırma alanlarından 1. pilot bölge olan kayabaşı bölgesinin betonarme yapı inşa türünün baskın olduğu gözükmemektedir. Yapım yılı olarak ortalama yaklaşık 2016-2017 yıllarda olduğu görülmür. Yer yer konvansiyonel betonarme çerçeve sistemler ile yer yer perde kalıp sistemler taşıyıcı sistemler olarak seçilmiştir. Cadde ve sokakların geniş, bölge meydanının ve bölge parkının geniş bir alanı kapsadığı görülmüştür. Yapılaşmanın planlı ve nizami olduğu gayri nizami veya bitişik nizam olmadığı da gözlemlenmiştir. Yapıların kat adetlerinin ortalamasının 10 olduğu ve yapı yükseklikleri ortalamasının yaklaşık 35 metre olduğu fark edilmiştir.

2. pilot bölge olan Bahçeşehir 2. Kısım için yapılan ön gözlem çalışması ile bölgenin yeni yerleşim bölgesi olarak yapı yapım yılı yaklaşık ortalama 2016-2017 yıllarında betonarme yapıların ağırlıkta olduğu görülmüştür. Bölge merkezine baktığımızda geniş bir alana kurulu yeşil alandan oluşmaktadır. Yeşil alan etrafına dağılmış konut blokları görülmektedir. Bölge içerisinde yer yer ticaret ofis blokları mevcuttur. Yapıların kat adetlerinin ortalamasının yaklaşık 10 olduğu ve yapı yükseklikleri ortalamasının yaklaşık 35 metre olduğu fark edilmiştir.

### **5.3. Çalışma Bölgesinin İncelenmesi**

Deprem hasar tahmini analiz programları için ihtiyaç duyulan bir dizi bilgiler vardır. Bu bilgileri detaylı sunmak gereklilik arz etmiştir. İhtiyaç duyulan bilgiler içerisinde ilk olarak yapı inşa yılına göre gruplara ayrılmıştır. Müteakiben yapı taşıyıcı sistem tiplerinin gösteren görseller ve tablolar verilmiştir. Son olarak yapı kat adetlerini ve yapı yüksekliklerinin verilmesi ile ihtiyaç olan bilgiler bir araya getirilip okuyucu ile paylaşılmıştır.

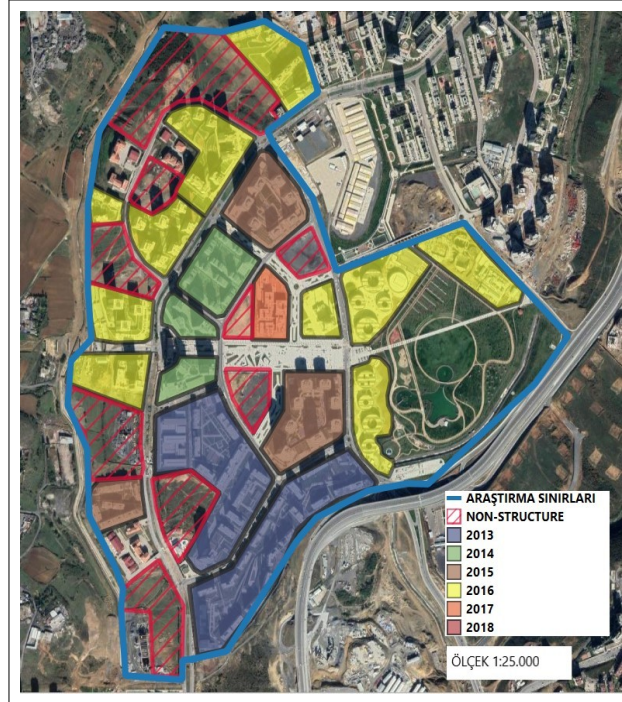
#### **5.3.1. Gruplara Ayrılması**

Deprem hasar tahmini değerlendirilmesi çalışmalarında inşaat yapım yılının bilinmesi büyük önem arz eder. Bu önem yapıların inşa edilmeden önce tasarımında aşamasında kullanılan yönetmeliği tespit edilmesi ile alakalıdır. Ülkemizde

günümüze kadar deprem yönetmelikleri, belirli zaman aralıklarında teknolojinin ve bilginin paylaşımının gelişmesi ile birlikte 7 kez revize olmuştur [Web 4 , 2020]. 1975, 1998 ve 2007 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmelikleri revize olmuş yönetmeliklerde sadece birkaçıdır. Son olarak 1 ocak 2019 yürürlüğe girmek üzere Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY,2018) adıyla yayınlanmıştır.

HAZUS deprem hasar tahmini metodolojisi yapı tasarım kodlarını yeni tasarım yönetmeliklerinden eski tasarım yönetmeliklerine doğru sırasıyla yüksek kod, orta kod, düşük kod ve kod öncesi olmak üzere 4 aşamaya ayırır. Çalışma alanları içerisinde TBDY,2018 yönetmeliğine göre tasarlanarak yapılmış yapı yoktur. Bunun içindir ki 2007 yönetmeliğine göre yapılmış yapılar *yüksek* tasarım koduna göre yapılmış yapılar olarak kabul edilmiştir. 2007 ile 2000 arası yapılmış yapılar *orta* tasarım koduna göre yapılmış yapılar olarak kabul edilmiştir. 2000 -1980 yılları arası yapılmış yapılar *düşük* tasarım koduna göre yapılmış yapılar olarak kabul edilmiştir. 1980 yılı öncesi yapılmış yapılar için tasarım *kod öncesi* yapılmış yapılar olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanlarından 1. pilot bölge olarak seçilen kayabaşı bölgesindeki yapı inşa yılları Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Tablo 5.1’de 1. pilot bölge için yıllara göre inşa edilen yapıların sayısal ve oransal dağılımı verilmiştir.

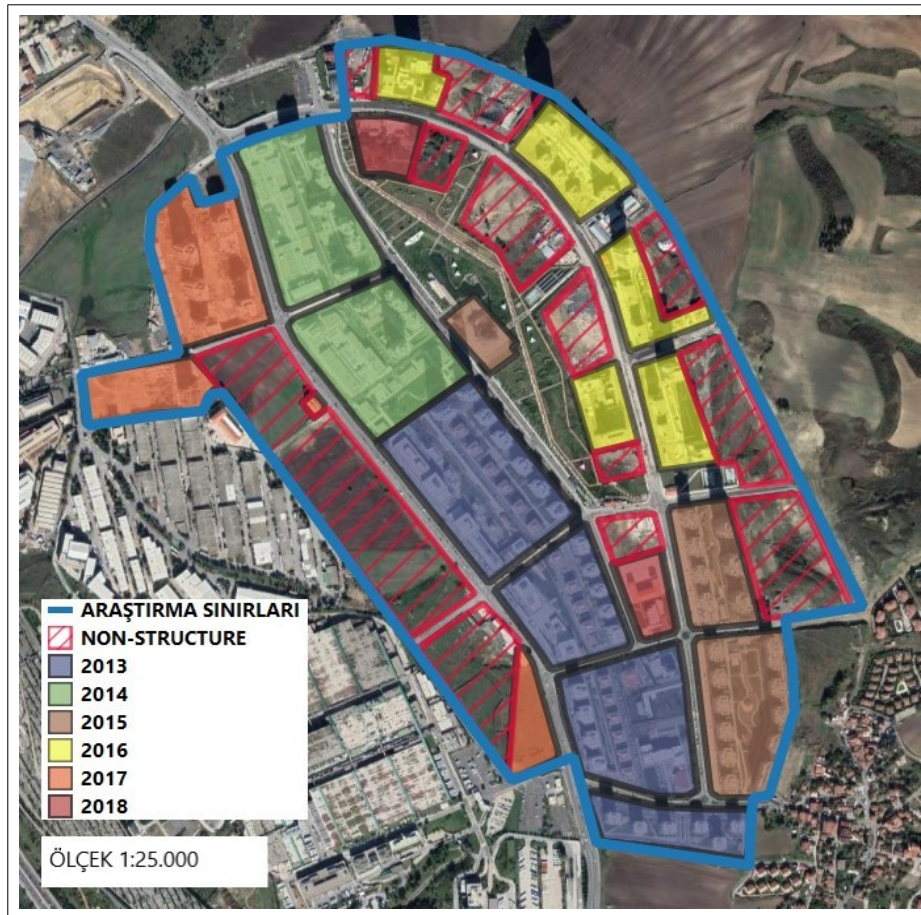


Şekil 5.1: 1. Pilot bölge yapı inşa yılları.

Tablo 5.1: 1. Pilot bölge yapı inşaat yılları.

| Yapı İnşaat Yılı | Yapı Adeti | Oranı (%)  | Yönetmelik | Tasarım Kodu Sınıflaması |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------------|
| 2013             | 33         | 20,12      | TDY-2007   | Yüksek                   |
| 2014             | 23         | 14,02      | TDY-2007   | Yüksek                   |
| 2015             | 55         | 33,54      | TDY-2007   | Yüksek                   |
| 2016             | 52         | 31,71      | TDY-2007   | Yüksek                   |
| 2017             | 1          | 0,61       | TDY-2007   | Yüksek                   |
| <b>Toplam</b>    | <b>164</b> | <b>100</b> |            |                          |

Çalışma alanlarından 2. pilot bölge olarak seçilen bahçeşehir 2. kısım bölgesindeki yapı inşa yılları Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Tablo 5.2’de 2. pilot bölge için yıllara göre inşa edilen yapıların sayısal ve oransal dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.2: 2. Pilot bölge yapı inşaat yılları.

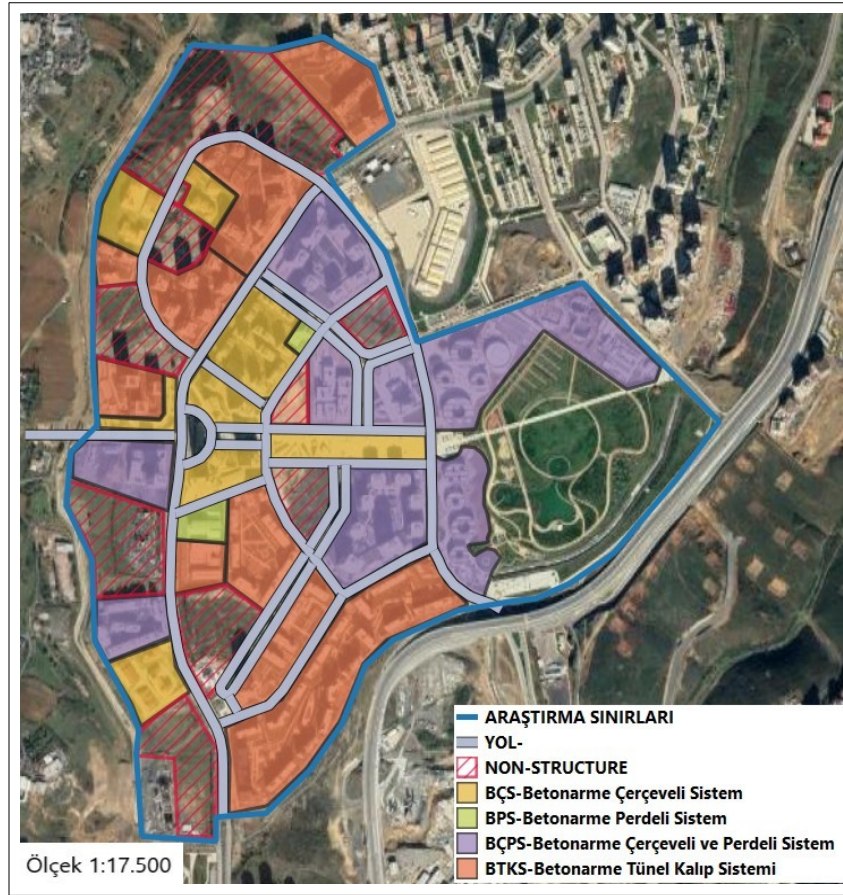
Tablo 5.2: 2. Pilot bölge için yapı inşa yılları.

| <b>Yapı İnşaat Yılı</b> | <b>Yapı Adeti</b> | <b>Yüzde (%)</b> | <b>Yönetmelik</b> | <b>Tasarım Kodu Sınıflaması</b> |
|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|
| 2013                    | 51                | 31,68            | TDY-2007          | Yüksek                          |
| 2014                    | 20                | 12,42            | TDY-2007          | Yüksek                          |
| 2015                    | 35                | 21,74            | TDY-2007          | Yüksek                          |
| 2016                    | 28                | 16,15            | TDY-2007          | Yüksek                          |
| 2017                    | 26                | 16,15            | TDY-2007          | Yüksek                          |
| 2018                    | 3                 | 1,86             | TDY-2007          | Yüksek                          |
| <b>Toplam</b>           | <b>163</b>        | <b>100</b>       |                   |                                 |

### 5.3.2. Yapı Envanteri

Yapı kırılma eğrilerini ulaşabilmemiz için elde edilmesi gereken diğer bir veri ise yapı taşıyıcı sisteminin bilinmesidir. HAZUS yapı kırılma eğrilerini yapı taşıyıcı sistemlerine göre de sınıflandırmıştır. Çalışma bölgelerinde ağırlıklı olarak betonarme çerçeve ve perde sistemler ile tünel kalıp taşıyıcı sistemlerin kullanıldığı yer yer betonarme çerçeve sistemlerin olduğu gözlenmiştir. Bölgelerde ki taşıyıcı sistemler betonarme çerçeve sistem (BÇS), betonarme perde sistem (BPS), betonarme çerçeve ve perde sistem (BÇPS), betonarme tünel kalıp sistemi (BTKS) olmak üzere 4 farklı grupta dağıldığı görülmüştür.

Çalışma alanlarından 1. pilot bölge olan kayabaşı bölgesi için coğrafi bilgi sistemi programlarından yararlanılarak yapı taşıyıcı sistemi gruplandırılması yapılmış ve Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Tablo 5.3’de 1. pilot bölge için yapı taşıyıcı sistem türlerinin sayısal ve oransal dağılımı verilmiştir.

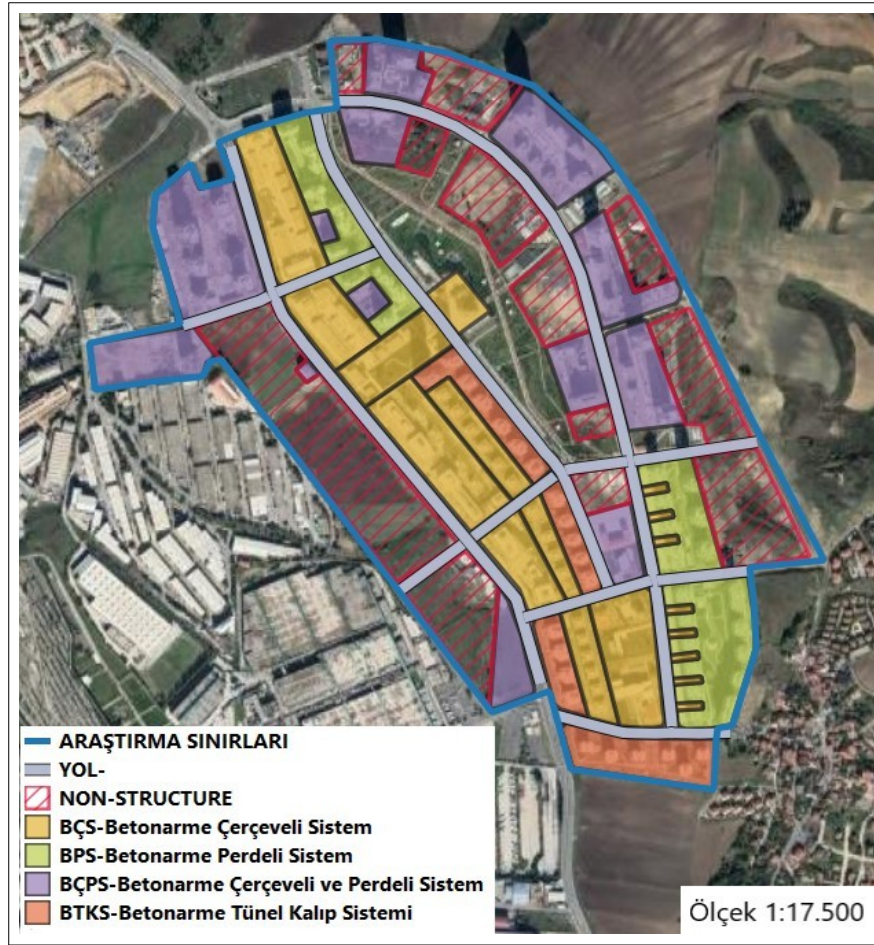


Şekil 5.3: 1. Pilot bölge taşıyıcı sistem dağılımı.

Tablo 5.3: 1. pilot bölge için yapı taşıyıcı sistem sayısal verileri.

| Taşıyıcı Sistem Tipi                         | Yapı Adeti | Oranı (%)  |
|----------------------------------------------|------------|------------|
| Betonarme Çerçevesi Sistem (BÇS)             | 34         | 20,73      |
| Betonarme Perdeli Sistem (BPS)               | 60         | 36,59      |
| Betonarme Çerçevesi ve Perdeli Sistem (BÇPS) | 5          | 3,05       |
| Betonarme Tünel Kalıp Sistemi (BTKS)         | 65         | 39,63      |
| <b>Toplam</b>                                | <b>164</b> | <b>100</b> |

Çalışma alanlarından 2. pilot bölge olan Bahçeşehir 2. kısım bölgesi için coğrafi bilgi sistemi programlarından yararlanılarak yapı taşıyıcı sistemi gruplandırılması yapılmış ve Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Tablo 5.4’de 1. pilot bölge için yapı taşıyıcı sistem türlerinin sayısal ve oransal dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.4: 2. Pilot bölge taşıyıcı sistem dağılımı.

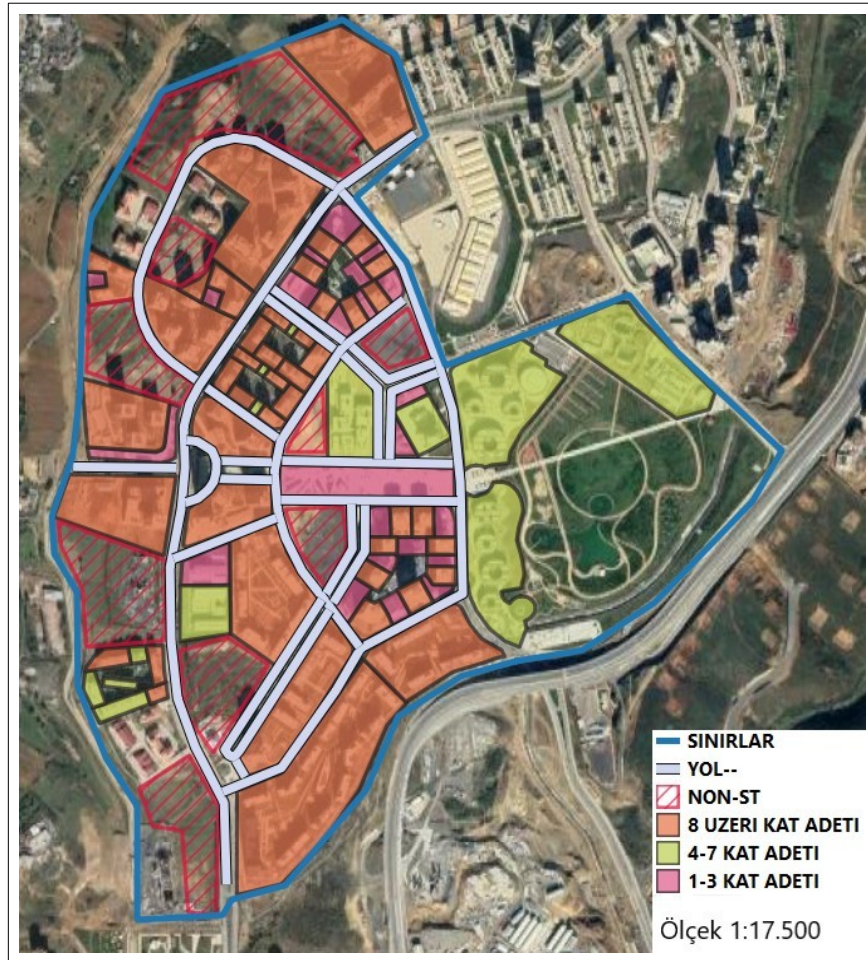
Tablo 5.4: 2. pilot bölge için yapı taşıyıcı sistem sayısal verileri.

| Taşıyıcı Sistem Tipi                         | Yapı Adeti | Oranı (%)  |
|----------------------------------------------|------------|------------|
| Betonarme Çerçevesi Sistem (BÇS)             | 49         | 30,06      |
| Betonarme Perdeli Sistem (BPS)               | 60         | 36,81      |
| Betonarme Çerçevesi ve Perdeli Sistem (BÇPS) | 32         | 19,63      |
| Betonarme Tünel Kalıp Sistemi (BTKS)         | 22         | 13,50      |
| <b>Toplam</b>                                | <b>163</b> | <b>100</b> |

### 5.3.3. Yapı Kat Adeti

Deprem hasar kayıpları tahmininin yapılmasında gerekli olan bir diğer husus ise bina kat adetleri ve yapı yüksekliğidir. HAZUS'a göre yapı kırılmalık değerleri 1-3 kat adeti, 4-7 kat adeti ve 8 kat ve üzeri olmak üzere 3 gruba ayırmıştır. Yapı kırılmalık eğrileri değerleri her bir yapı yükseklik grubu için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu gerekçe ile çalışma alanları kat adetleri ve bina yüksekliklerine göre gruplanmıştır.

1. pilot bölge olan kayabaşı için coğrafi bilgi sistemi programından yararlanılarak hazırlanmış yapı kat adetleri dağılımı Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Tablo 5.5'de 1. pilot bölge için kat adetleri dağılımının rakamsal ve oransal dağılımı verilmiştir. Bölge içerisinde yer alan yapıların %59,76'sı 8 kat üzeri, % 14,63'ü 4-7 kat adetlerinde, % 25,61'i 4 kat aşağısı olmak üzere müttesekkindir.

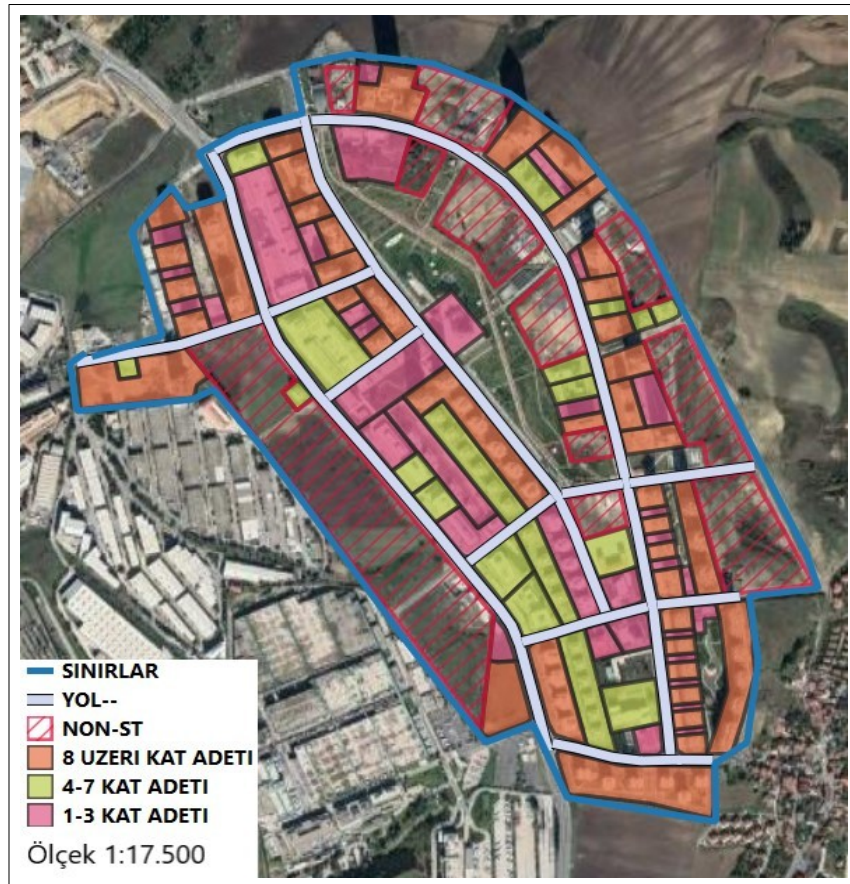


Şekil 5.5: 1. Pilot bölge kayabaşı kat adetleri dağılımı.

Tablo 5.5: 1. pilot bölge kayabaşı kat adetleri dağılımı.

| Kat Adetleri   | Yapı Adeti | Oranı (%)  |
|----------------|------------|------------|
| 8 kat ve üzeri | 98         | 59,76      |
| 4-7 kat arası  | 24         | 14,63      |
| 1-3 kat arası  | 42         | 25,61      |
| <b>Toplam</b>  | <b>164</b> | <b>100</b> |

2. pilot bölge olan Bahçeşehir 2. kısım için coğrafi bilgi sistemi programından yararlanılarak hazırlanmış yapı kat adetleri dağılımı Şekil 5.6'de gösterilmiştir. Tablo 5.6'de 2. pilot bölge için kat adetleri dağılımının rakamsal ve oransal dağılımı verilmiştir. Bölge içerisinde yer alan yapıların %52,76'sı 8 kat üzeri, % 20,25'ü 4-7 kat adetlerinde, % 26,99'u 4 kat aşağısı olmak üzere müteşekkildir.



Şekil 5.6: 2. pilot bölge Bahçeşehir 2. kısım kat adetleri dağılımı.

Tablo 5.6: 2. pilot bölge Bahçeşehir 2. kısım kat adetleri dağılımı.

| <b>Kat Adetleri</b> | <b>Yapı Adeti</b> | <b>Oranı (%)</b> |
|---------------------|-------------------|------------------|
| 8 kat ve üzeri      | 86                | 52,76            |
| 4-7 kat arası       | 33                | 20,25            |
| 1-3 kat arası       | 44                | 26,99            |
| <b>Toplam</b>       | <b>163</b>        | <b>100</b>       |

## 5.4. Nüfus Verileri

Tüik tarafından 2019 yılında yayınlanan İstatistiklerle Aile haber bülteninde Türkiye'nin illere göre hane halkı sayıları verileri açıklanmıştır [Web 8 , 2020].Tüik araştırması sonucunda Türkiye'nin hane halkı sayısı ortalama 3,35 olduğu tespit edilmiştir. İstanbul için ise hane halkı sayısı ortalaması 3,33 olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanlarından 1. pilot bölgede 7.175 hane sayısı vardır. 2. pilot bölgede 7.061 hane sayısı mevcuttur. İstanbul için hane halkı sayısı ortalaması ile araştırma alanlarındaki hane verilerini çarptığımızda 1. pilot bölgede yaklaşık 23.890 kişi, 2. pilot bölgede ise 23.513 kişi olduğu kabulü yapılmıştır.

## 5.5. Program Kullanımı

Araştırma esnasında birkaç bilgisayar programından faydalanılmıştır. Araştırma bölgelerinin detaylarını görsel olarak aktarabilmek için coğrafi bilgi sistemi programlarından kullanımı ücretsiz QGIS programından faydalanılmıştır. QGIS deprem hasar tahmini değerlendirilmesi yapabilmek için gerekli olan bilgisayar formatlarına dönüştürülmesinde fayda sağlamıştır. QGIS programı ile çalışma bölgeleri eş parçalara ayrılmıştır. Eş parçalar içerisindeki öz nitelik tablolarına yapı gruplamalarına göre yapı adetleri girilmiştir. Bölgeler için yapılan nüfus kabulü sayıları da deprem hasar tahmini programlarında kullanılabilmesi için QGIS programına girilmiştir.

Deprem hasar tahmini değerlendirilmesi için ELER programı kullanılmıştır. Deprem tehlike verilerinin oluşturulmasını ve depremin etkilerinin yapılar üzerine

yansıtılmasını sağlayan bu programlar ayrıca deprem hasar tahmini oranlarını da sunmaktadır. Yapılar için HAZUS'ta sunulan yapı kırılganlık eğrileri değerleri ELER programına tanımlanmıştır. Bu yapı kırılganlık değerleri ışığında yapılarda hasar durumları incelenmiştir.

Araştırma için belge ve tablolar kullanımı ücretsiz olan Libre office program kullanılarak hazırlanmıştır.

## **5.6. Bölüm Özeti**

Bu bölümde yapılan arazi gezileri ile edinilen gözlemler aktarılmıştır. Deprem hasar tahmini değerlendirilmesinde ihtiyaç duyulan verilerin neler olduğu, nasıl toplanıp derlendiği ve nasıl gruplara ayrıldığı hususlarında yapılan çalışmalara değinilmiştir.

## 6. ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER

Analiz için gerekli olan yapı envanteri arazi çalışmalarından elde edilmiştir. Araştırma bölgeleri ile diğer ilçeler arasında yapılan karşılaştırmalar için Betül Ergün Konukçu tarafından bilime sunulan Building damage analysis for updated building dataset of istanbul adlı makalesindeki veri setleri kullanılmıştır [Konukcu , 2016]. Veri setlerinde yer almayan proje alanları içerisinde ve proje alanı içerisinde yer almayıp Başakşehir sınırları içerisinde yer alan toplamda 617 adet yapı envanteri Başakşehir ilçesi veri setine kaydedilmiştir.

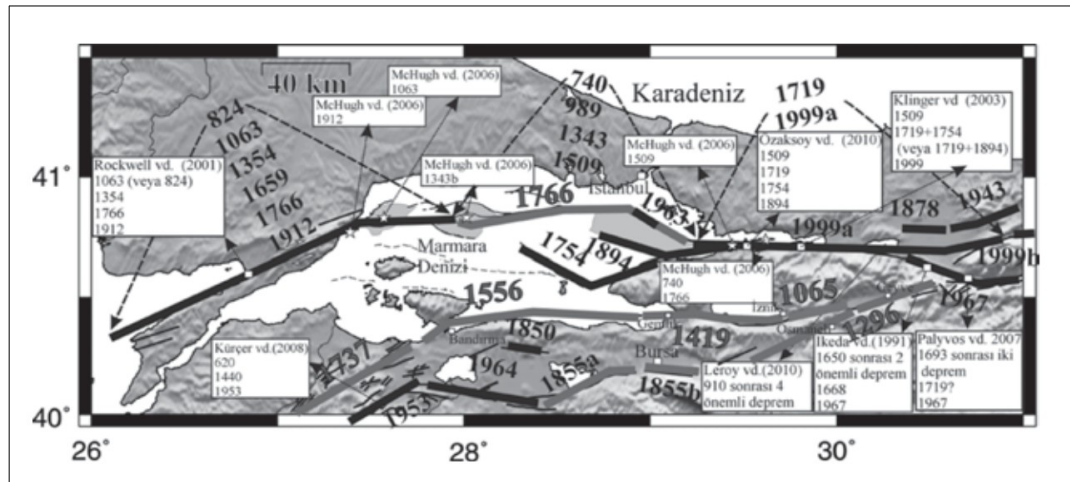
Bu bölümde deprem hasar tahmini kayıpları analizinde izlenilen yol haritası detaylandırılmıştır. Analizler ELER programı yardımıyla yapılmıştır. Analiz sonuçlarının aktarımı ve değerlendirilmesinde grafiklere başvurulmuştur.

### 6.1. Zemin Yapısı ve Sismik Durum Üzerine Değerlendirme

Marmara bölgesini etkileyen tarihsel dönem depremleri ve aletsel dönem depremleri kullanılarak 5 adet senaryo depremi oluşturulmuştur. Tablo 6.1’de sunulmuştur. Bu depremlerinin şiddetlerini tasvir etmek gerekirse 1509 depremi, kaynaklardan anlaşıldığına göre, İstanbul’un tarihî süreçte geçirdiği en büyük tabii âfetlerdendir. Bu sebeple Osmanlı tarihçileri olayı, kıyamet-i suğra (küçük kıyamet) olarak ifade edilmiştir [Ürekli ,2010]. Bu deprem, bir çok insanın hayatını yitirmesine ve İstanbul’da büyük yıkıma sebebiyet verdi. 1000’in üzerinde ev yıkılmış 4 ile 5 bin arasında insan hayatını kaybetmiştir. Yaralananlar’ın tahmini sayısı ise 10 bin’dir.1766 depreminin gerek büyüklüğü gerekse yıkıcılık vasfı bakımından 1509 depremine çok benzediği dört bine yakın insanın öldüğünü ve çok sayıda insanın da yaralandığını düşünülmektedir [Sezer , 1968] . Marmara bölgesine yıkıcı etkiler yaşatan 17 binden fazla insanın yaşamını yitirdiği 66 binden fazla evin ve 10 binden fazla iş merkezinin ağır hasar aldığı yaklaşık 9-13 milyar amerikan doları ekonomik kayıplara sebep olan 1999 yılında merkez üssü Kocaeli ili, Gölcük ilçesinde 7.4 büyüklüğünde gerçekleşen depremi göz önüne alınarak deprem hasar tehlikesi için senaryo bazlı depremler oluşturulmuştur [Konukcu , 2016][Utkucu , 2011],[Yaltrak , 2003].

Tablo 6.1: Tarihi deprem kayıtları.

| Sıra No. | Tarih      | Enlem | Boylam | Ms  | Mw   | Lokasyon |
|----------|------------|-------|--------|-----|------|----------|
| 1        | 10.09.1509 | 40.9  | 28.7   | 7.2 | -    | İstanbul |
| 2        | 22.05.1766 | 40.8  | 29.0   | 7.1 | 7.35 | Marmara  |
| 3        | 02.09.1754 | 40.8  | 29.2   | 6.8 | 7.16 | İzmit    |
| 4        | 10.07.1894 | 40.7  | 29.6   | 7.3 | 7.32 | İzmit    |
| 5        | 17.08.1999 | 40.7  | 29.9   | 7.4 | 7.43 | İzmit    |

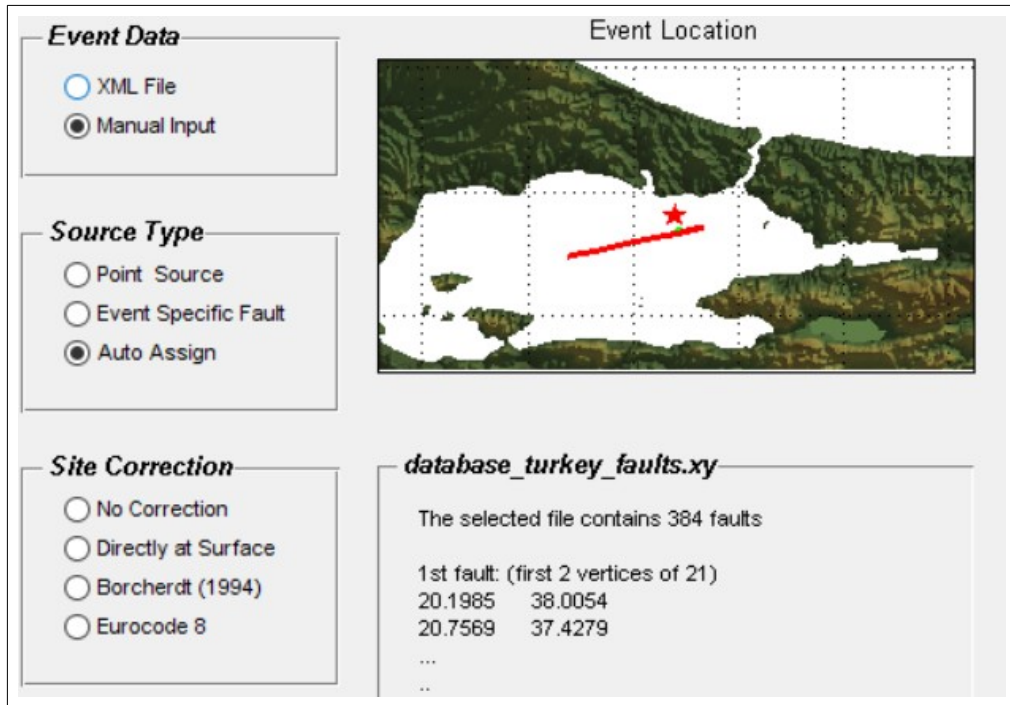


Şekil 6.1: Tarihsel depremler.

ELER programında Deprem Tehlike Analizi(DTA) modülü kullanılarak deprem hasar tehlikesi için Tablo 6.1’de sunulmuş tarihi deprem kayıtlarındaki lokasyonlara en yakın fayların kırılmaları ile açığa çıkan yer hareketleri hesaplanmıştır. Kullanılan 5 tarihi deprem için koordinatları ve depremin derinliği ELER DTA modülüne tanımlanmıştır. İlk deprem kaydı için kullanılan kayıtlar tablo 6.2 ‘de aktarılmıştır. ELER programı deprem kaynağını noktasal olarak atayabildiği gibi Türkiye Fay veri setlerini kullanarak işaretli koordinata en yakın fay yırtılma uzunluğunu da otomatik hesaplaya bilmektedir. ELER programı DTA modülüne girilen depremin fay kırılması Şekil 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2: Senaryo depremi karakteristik özellikleri.

| Karakteristik Özellikleri |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1509 Depremi Ms=7.2       |                               |
| Merkez kuzey(derece)      | 40.90                         |
| Merkez doğa(derece)       | 28.7                          |
| Büyüklik (Richter)        | 7.2                           |
| Fay Tipi                  | Doğrultu Atımlı (Strike Slip) |
| Fay Derinliği(km)         | 16                            |
| Fay Yırtılma Uzunluğu(km) | ~55                           |



Şekil 6.2: Koordinatları girilen merkez ve fay kırılımı.

Yapılar için sönüm oranı %5 olarak kabul edilmiştir. ELER programı, yer hareketlerinde kullanılan zemin etkileşimlerini, fay kaynağı özelliklerini ve 30. metredeki kesme hızını hesaplamalarını bünyesinde barındırır. Zemin(saha) düzeltmeleri doğrudan yüzeyde olacak şekilde ELER programı tarafından yapılabilmektedir. Yine bu minvalde 30. metredeki zemin kesme hızı İstanbul için ELER programı ayarları varsayılan olarak kabul edilmiştir. Yer hareketlerinin hesaplanmasında farklı algoritmaları bünyesinde barındıran ELER, bu çalışmada 2008 yılında Chiou&Young tarafından geliştirilen yer hareketi azalım ilişkisi

yaklaşımı kullanılmıştır. Depremi şiddeti için 1999 yılında Wald tarafından geliştirilen algoritma kullanılmıştır. 1. senaryo depremi olan 1509 yılı İstanbul depremi için ELER programı veri girişi Şekil 6.3’de verilmiştir.

**Event Data**

☐ XML File  
☒ Manual Input

**Source Type**

☐ Point Source  
☐ Event Specific Fault  
☒ Auto Assign

**Site Correction**

☐ No Correction  
☒ Directly at Surface  
☐ Borcherdt (1994)  
☐ Eurocode 8

**Vs-30 Grid**

☒ Default Vs-30 Grid  
☐ Custom Vs-30 Grid

**Ground Motion**

Chiou & Youngs, ...

**Instrumental Intensity**

Wald et al., 1999

**Event Location**

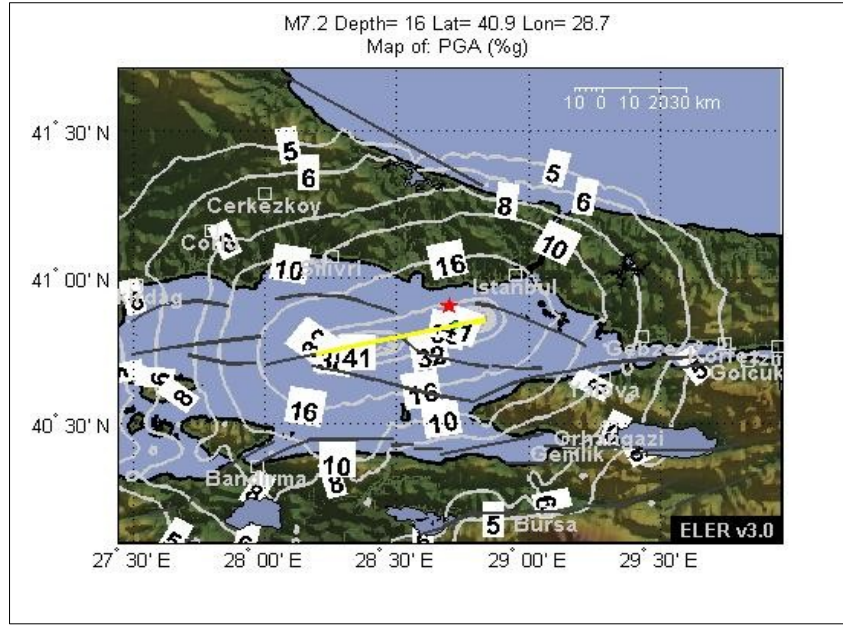
Ground Motion Calculated Successfully

Proceed to Level 2

New Calculation Clear All

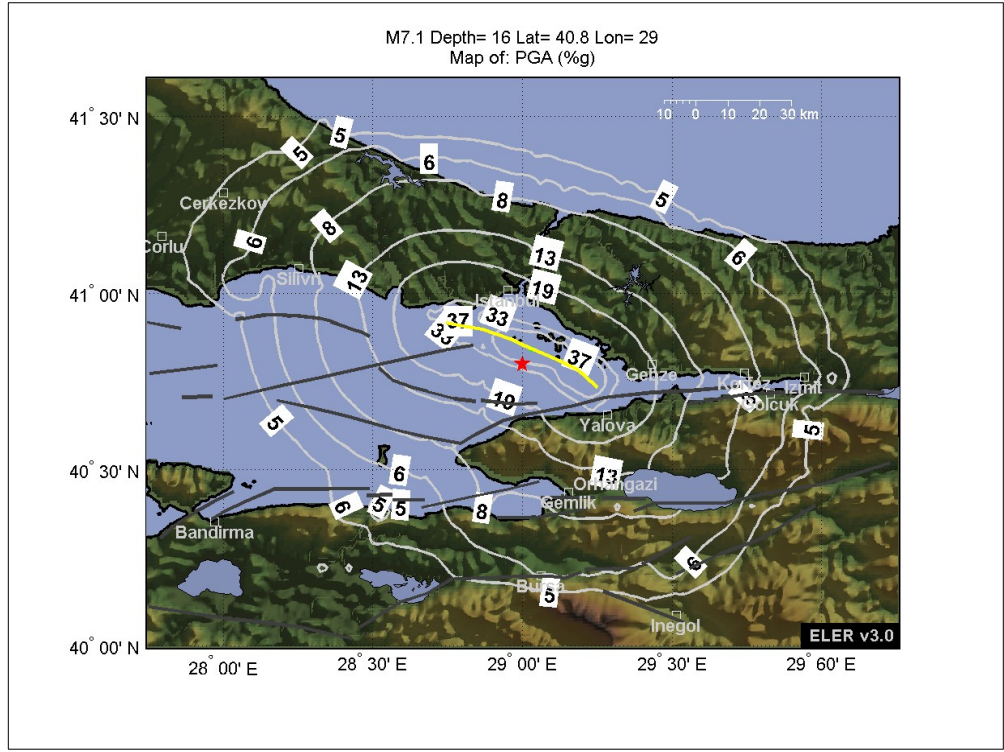
Şekil 6.3: 1509 Yılı İstanbul depremi ELER programı deprem tehlike analizi modülü.

ELER, deprem tehlike analizi hesaplamasında gerekli olan parametreler programa tamamlanmasından sonra ELER 0.2 sn. Ve 1.0 sn. ivme zaman ve pik yer ivmesi grafiklerini verir. 1. Senaryo depremi olan 1509 yılı İstanbul depremi Şekil 6.4’de pik yer ivmesi Marmara dağılımı sunulmuştur.

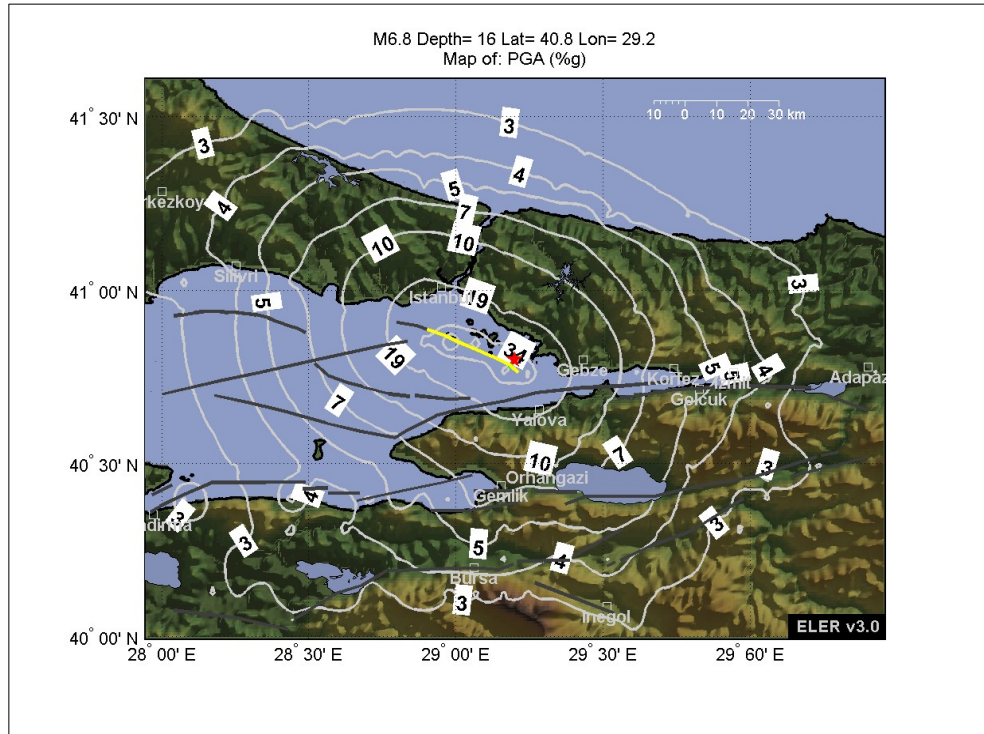


Şekil 6.4: ELER programı deprem tehlike analizi pik ivme hareketi İstanbul dağılımı 1509 yılı depremi.

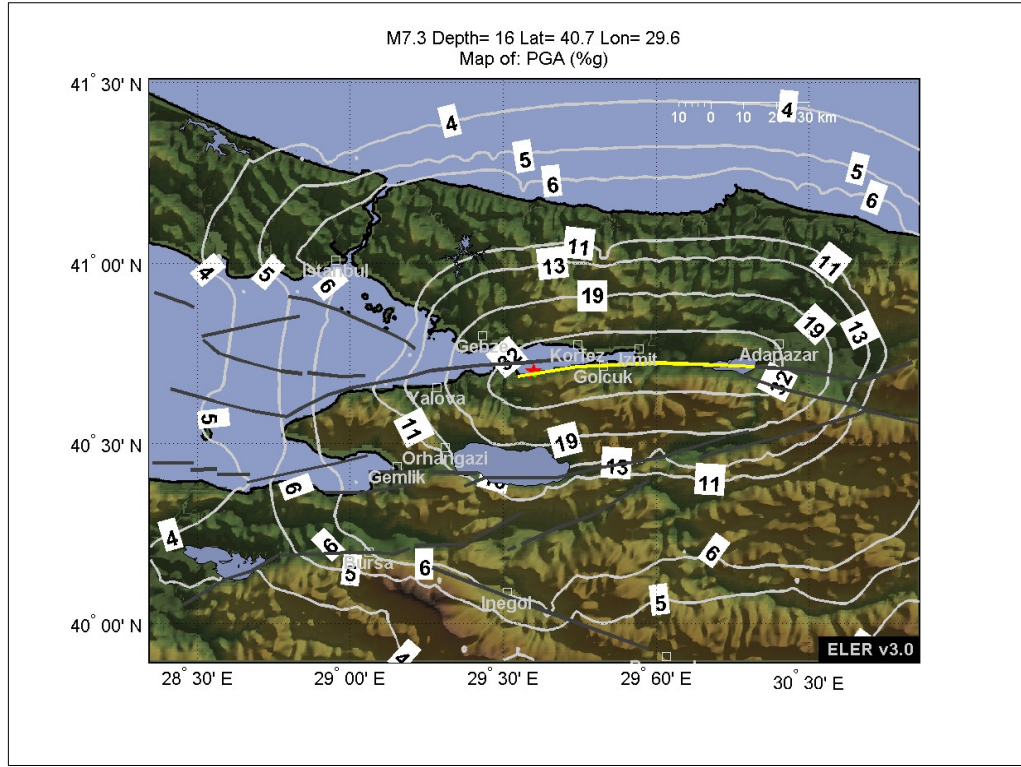
Deprem hasar tehlikesinin oluşturulmasında tüm senaryo depremleri ELER programı DTA modülü kullanılarak aynı vetire takip edilerek tekrarlanmıştır. Her bir senaryo depremi için ayrı ayrı koordinatlar girilmiş ve girilen koordinatlara yakın fay yırtılması ELER programı tarafından özdevinimsel olarak hesaplanmıştır. Diğer senaryo depremlerinin pik ivme dağılımları sırasıyla fay kırılma uzunluğu yaklaşık 50 km ile 1766 yılı Marmara depremi için Şekil 6.5’de yine fay kırılma uzunluğu yaklaşık 35 km ile 1754 yılı İzmit depremi için Şekil 6.6’de yine fay kırılma uzunluğu yaklaşık 70 km ile 1894 yılı İzmit depremi Şekil 6.7’de ve son olarak fay kırılma uzunluğu yaklaşık 80 km ile 1999 yılı İzmit, Gölçük depremi için pik ivme dağılımları Şekil 6.8’de sunulmuştur.



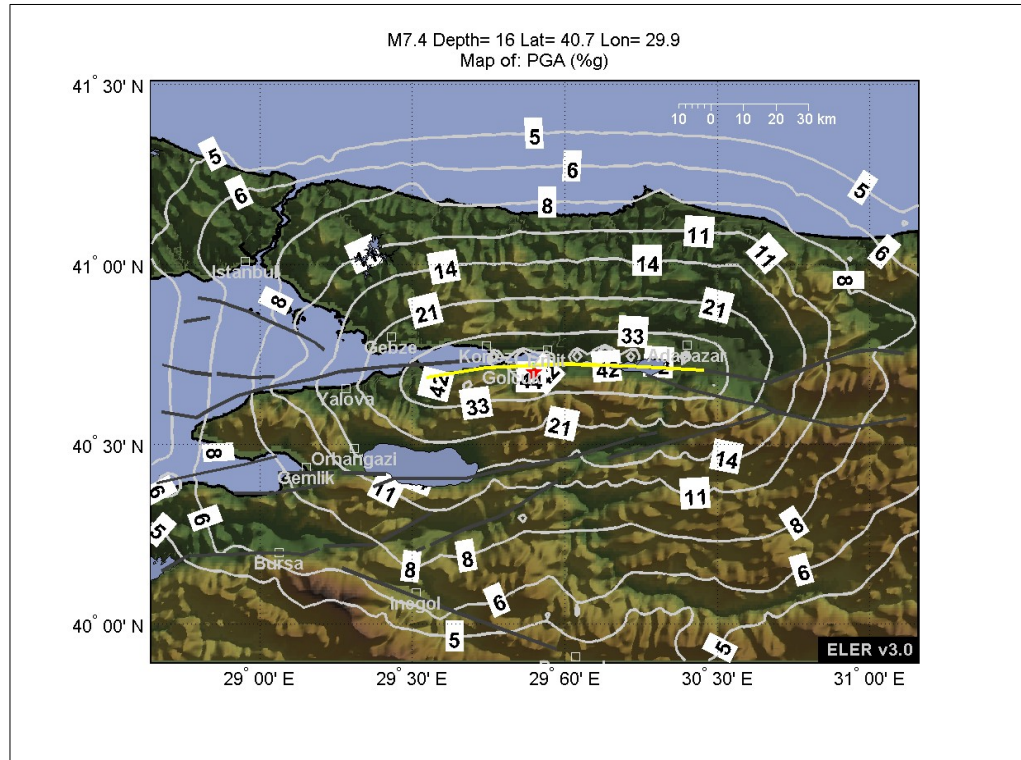
Şekil 6.5: 1766 Yılı Marmara depremi pik ivme dağılımı.



Şekil 6.6: 1754 Yılı İzmit depremi.



Şekil 6.7: 1894 Yılı İzmit depremi.



Şekil 6.8: 1999 Yılı İzmit Gölcük depremi.

## 6.2. Yapı Envanterinin Değerlendirilmesi

HAZUS metodolojisi, yapıları önem durumuna, taşıyıcı sistem türüne, bina kat adedine göre gruplara ayırdığı daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. HAZUS yapı sınıflarına göre kapasite eğrilerine, kırılgenlik eğrilerine ve bunun gibi kat sayılara açık erişim sağladığından çalışmamızda HAZUS yapı sınıflanması baz alınmıştır. Öyle ki HAZUS, 1-3 kat arasındaki betonarme çerçeve taşıyıcı sistemleri C1L olarak, 4-7 kat arasındaki betonarme çerçeve taşıyıcı sistemleri C1M olarak, 8 kat üzeri betonarme çerçeve taşıyıcı sistemleri C1H olarak tanımlanmıştır. Ek 2’de detaylı olarak sunulmuştur. Tablo 6.3’de HAZUS yapı sınıflanması hakkında örnek verilmiştir.

Tablo 6.3: HAZUS Yapı modelin türü.

| No. | Etiket | Tanımlama                  | Yükseklik |            |            |       |
|-----|--------|----------------------------|-----------|------------|------------|-------|
|     |        |                            | Aralık    |            | Tür        |       |
|     |        |                            | İsim      | Kat Sayısı | Kat Sayısı | Metre |
| 16  | C1L    | Betonarme Moment Çerçevesi | Alçak     | 1-3        | 2          | 6.09  |
| 17  | C1M    |                            | Orta      | 4-7        | 5          | 18.28 |
| 18  | C1H    |                            | Yüksek    | 8+         | 12         | 36.57 |

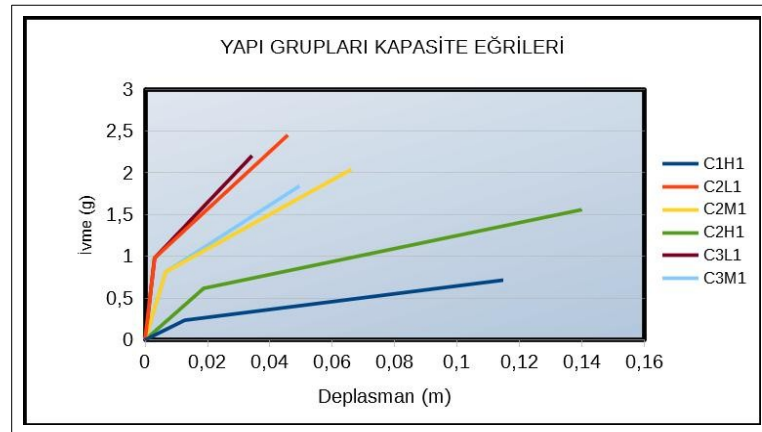
HAZUS programı yapım yılına göre yapım yönetmelik koduna göre 4 gruba ayırdığı bölüm 3’te detaylı olarak değinilmiştir. ELER programında analiz yapabilmek için yapı yapım yılına ve uygulandığı yönetmelik grubuna da ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda analiz için gerekli olan yapım yılına göre yönetmelik kod sınıflanması yapılmıştır. 1980 yılı öncesi yapılan yapılar için HAZUS’a göre kod öncesi tanımları yapılarak 1 numara verilerek kategorize edilmiştir. Aynı doğrultuda 1980-2000 yılları arasında ki yapılar için “2” numara (düşük kod), 2000-2007 yılları arasında yapılar için “3” numara (orta kod), 2007 yılı sonrası yapılar için “4” numara (yüksek kod) olarak kabul edilmiştir. Bu kabule dayanarak örneklemek gerekirse 1980 yılı öncesinde inşa edilen 2 katlı betonarme moment çerçevesi sistemin kategori ismi C1L1, 1980-2000 yılları arasında inşa edilen 2 katlı betonarme moment çerçevesi sistemin kategori ismi C1L2, 2000-2007 yılları arasında inşa edilen 2 katlı betonarme moment çerçevesi sistemin kategori ismi C1L3, 2007 yılı

sonrasında inşa edilen 2 katlı betonarme moment çerçevesi sistemin kategori ismi C1L4 olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamaya Yapı ELER Kategorileme (YEK) olarak adlandırılmıştır. Ek 5'te kod yapı sınıflamasının tümü detaylı olarak verilmiştir. Tablo 6.4'te yapı grupları ve yapım yılına göre yapılan kategorileme örneği sunulmuştur.

Tablo 6.4: Yapım yılı ve bina türü kodlanması örnek.

| Kod  | Yapı Tipi                | Kat Adeti | Yapım Yılı   |
|------|--------------------------|-----------|--------------|
| C1L1 | Betonarme Moment Çerçeve | 1-3       | 1980 öncesi  |
| C1L2 |                          | 1-3       | 1980-2000    |
| C1L3 |                          | 1-3       | 2000-2007    |
| C1L4 |                          | 1-3       | 2007 sonrası |
| C1M1 | Betonarme Moment Çerçeve | 4-7       | 1980 öncesi  |
| C1M2 |                          | 4-7       | 1980-2000    |
| C1M3 |                          | 4-7       | 2000-2007    |
| C1M4 |                          | 4-7       | 2007 sonrası |
| C2L1 | Betonarme Perde Duvar    | 1-3       | 1980 öncesi  |
| C2L2 |                          | 1-3       | 1980-2000    |
| C2L3 |                          | 1-3       | 2000-2007    |
| C2L4 |                          | 1-3       | 2007 sonrası |

Birkaç yapı ELER grubu için kapasite eğrileri Şekil 6.9'te verilmiştir. Yine birkaç yapı kırılma eğrileri de tablo 6.5'de verilmiştir. Yapı gruplarının kapasite eğrileri ve kırılma eğrileri ELER programının “exceltomat” modülü kullanılarak aktarılmıştır.



Şekil 6.9: Birkaç yapı gruplarının kapasite eğrileri.

Tablo 6.5: Birkaç yapı türünün yapı kırılma eğrileri.

|      | Kırılma Eğrileri |      |          |      |          |      |          |      |
|------|------------------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
|      | Hafif            |      | Orta     |      | Ağır     |      | Çok Ağır |      |
| Kod  | Medyan           | Beta | Medyan   | Beta | Medyan   | Beta | Medyan   | Beta |
| C1L4 | 0.02286          | 0.81 | 0.04572  | 0.84 | 0.13716  | 0.86 | 0.36576  | 0.81 |
| C1M4 | 0.0381           | 0.68 | 0.0762   | 0.67 | 0.2286   | 0.68 | 0.6096   | 0.81 |
| C1H4 | 0.05486          | 0.66 | 0.109728 | 0.64 | 0.329184 | 0.67 | 0.877824 | 0.78 |
| C2L4 | 0.01829          | 0.81 | 0.04572  | 0.84 | 0.13716  | 0.93 | 0.36576  | 0.92 |
| C2M4 | 0.03048          | 0.74 | 0.0762   | 0.77 | 0.2286   | 0.68 | 0.6096   | 0.77 |
| C2H4 | 0.04394          | 0.68 | 0.109728 | 0.65 | 0.329184 | 0.66 | 0.877824 | 0.75 |

Yapı envanterinin değerlendirilmesi ve diğer bölgeler ile karşılaştırılması yapmak için çalışma bölgelerinde ekseriyet teşkil eden yapı grupları kullanılmıştır. Tablo 6.6’te 1. pilot bölgede ve 2. pilot bölgede yer alan Yapı ELER Kategorilemesi (YEK) dağılımı verilmiştir. 1. pilot bölgede C2M4 yapı türü %50 rakamı ile bölgede ekseriyet teşkil etmektedir. Bu oranı %29 ile C2H4 takip etmiştir. 2. pilot bölge için bakıldığında C2H4 yapı grubu %49 ile bölge baskın iken, bu rakamı % 25 ile C1L4 yapı grubu takip etmektedir. Anlaşıyor ki her iki bölge içinde ekseriyet teşkil eden yapı grupları farklılık göstermektedir. Bu bağlamda analiz değerlendirilmesinde C2M4, C1L4 ve C2H4 yapılarının deprem etkisi altında hasar değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur.

Tablo 6.6: Pilot bölgelerin YEK dağılımı.

|                | YEK  | Adet | Yüzde(%) |
|----------------|------|------|----------|
| 1. Pilot Bölge | C1H4 | 11   | 6.71     |
|                | C1L4 | 1    | 0.61     |
|                | C1M4 | 7    | 4.27     |
|                | C2H4 | 48   | 29.27    |
|                | C2L4 | 13   | 7.93     |
|                | C2M4 | 83   | 50.61    |
| 2. Pilot Bölge | C1L4 | 41   | 25.15    |
|                | C1M4 | 8    | 4.91     |
|                | C2H4 | 81   | 49.69    |
|                | C2L4 | 16   | 9.82     |
|                | C2M4 | 17   | 10.43    |

Başakşehir ilçesinin tamamı ele alındığında YEK dağılımı biraz farklı göstermektedir. Analiz değerlendirme sonuçları Başakşehir ilçesi için ekseriyet oluşturan YEK üzerinden değerlendirilmiştir. Başakşehir ilçesinde %24.96 YEK kodu ile C3L2 yapı grubunun baskın yapı türü olduğu görülmektedir. Bu oranı %14.96 ile C1L2 ve %12.21 ile de C2L3 yapısı takip etmektedir.

Tablo 6.7: Başakşehir İlçesi YEK Dağılımı.

| YEK           | Adet          | Yüzde(%)      |
|---------------|---------------|---------------|
| C3L2          | 4.629         | 24.96         |
| C1L2          | 2.774         | 14.96         |
| C2L3          | 2.265         | 12.21         |
| C3M2          | 1.345         | 7.25          |
| C1L3          | 1.130         | 6.09          |
| C2H4          | 961           | 5.18          |
| C1L4          | 689           | 3.71          |
| C2M4          | 530           | 2.86          |
| C2H3          | 485           | 2.61          |
| Diğer         | 3.739         | 20.16         |
| <b>Toplam</b> | <b>18.547</b> | <b>100.00</b> |

Başakşehir ilçesi için hazırlanan YEK sınıfını gösteren tablo diğer ilçeler içinde yapılmıştır. Fatih, Şişli ve Sultangazi ilçelerinin YEK dağılımını gösteren tablo 6.8 'de sunulmuştur.

Tablo 6.8: İlçeler YEK Dağılımı.

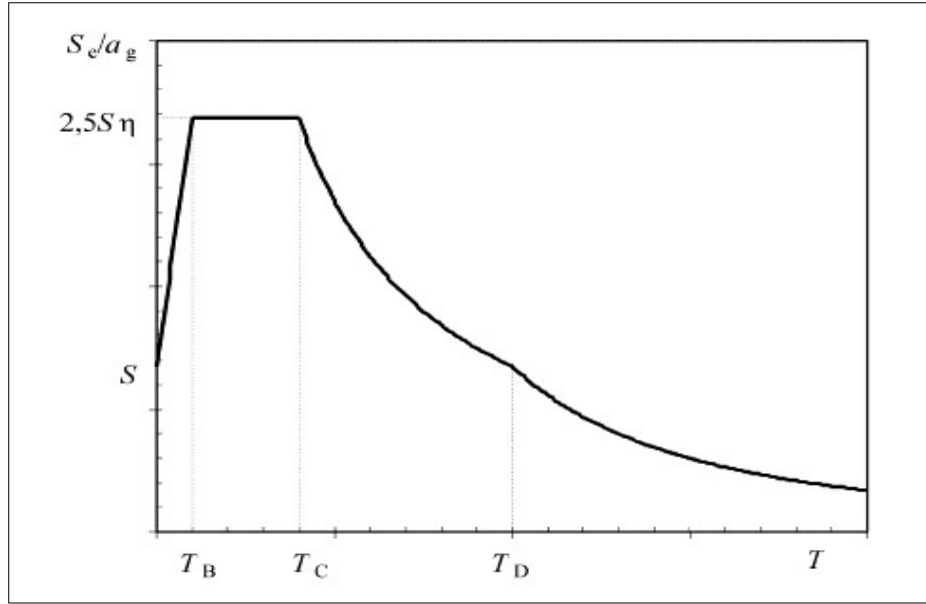
| YEK           | Fatih                 | Şişli                 | Sultangazi            |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|               | Adet-Yüzde            | Adet-Yüzde            | Adet-Yüzde            |
| C3M2          | 3.343-%11.56          | 3.520-%19.09          | 15.262-%47.30         |
| C3M1          | 12.241-%42.34         | 5.714-%30.99          | -                     |
| C3L2          | 1.330-%4.60           | 2.102-%11.40          | 4.807-%14.90          |
| C3L1          | 3.293-%11.39          | 1.477-%8.01           | -                     |
| C1L2          | 659-%2.28             | 679-%3.68             | 2.916-%9.04           |
| Diğer         | 8.045-%27.83          | 4947-%26.83           | 9.278-%28.76          |
| <b>Toplam</b> | <b>28.908-%100.00</b> | <b>18.441-%100.00</b> | <b>32.263-%100.00</b> |

### 6.3. Yapı Risk Durumlarının Değerlendirmesi

ELER, deprem hasar kayıplarının değerlendirilmesi için 4 adet tepki spektrumu yöntemi kullanımına imkan tanır. Bu yöntemler Kapasite Spektrum Yöntemi (Capacity Spectrum Method-CSM), Değiştirilmiş İvme-Yerdeğiştirme Spektrum Yöntemi (Modified Acceleration-Displacement Response Spectrum Method-MADRS), Azalım Faktörü Yöntemi (Reduction Factor Method-RFM), Katsayı Yöntemi(Coefficient Method-CM) olmak üzere değerlendirme için farklı yaklaşımlar sunar. Bu yaklaşımların temeli spektral deplasman tabanlı hasargörebilirlik değerlendirmesine dayanır. Deprem yer sarsıntısına karşı bina yapısının performansı, eşdeğer doğrusal olmayan tek serbestlik dereceli sistemlerin kapasite spektrumu ve deprem talep spektrumunun kesişiminde yer alan performans noktası tarafından tanımlanırlar. Performans noktasının elde edilmesinden sonra, hasar, kırılganlık eğrilerinin aracılığıyla elde edilir. Kırılganlık eğrileri, hasar seviyesine eşitliği veya aşımının olasılığını hasarın log-normal dağılımı varsayımıyla hesaplar.

Deprem talebi % 5-sönümlü elastik tepki spektrumuyla gösterilir. ELER, tepki spektrumunun şeklinin yapımı için iki seçenek sağlar. Birincisi Euro Code 8 Spektrumu, ikincisi IBC 2006 Spektrum olarak belirtilmiştir. Analiz aşamasında IBC 2006 kullanılmıştır.

IBC 2006, yer hareketlerinin yatay bileşenleri için iki tipte elastik ivme tepki spektrumu önermiştir: Tip 1 ve Tip 2. Elastik Tepki Spektrumunun şekli, deprem hareketinin iki seviyesi için de aynı alınmıştır [Gulati , 2006].



Şekil 6.10: Yatay Doğrultu Elastik Tepki Spektrumunun şekli- IBC 2006.

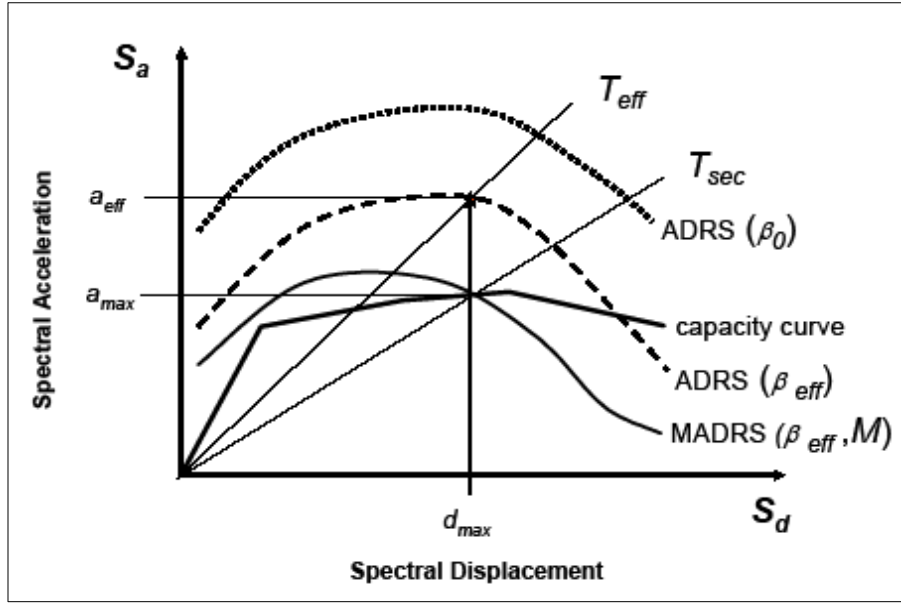
Yatay elastik tepki spektrumu şu şekilde tanımlanır:

- $a_g$  : A tipi zemindeki tasarım yer ivmesi
- $T_B, T_C$  : Sabit spektral ivme bölgesinin sınır periyotları
- $T_D$  : Spektrumun sabit yerdeğiştirme bölgesinin başlangıcını tanımlayan periyot
- $S$ : Zemin faktörü
- $\eta$  : Sönüm düzeltme faktörü

Kullanılacak her bir zemin tipi ve spektrum tipi (şekli) için  $T_B, T_C, T_D$  ve  $S$  değerleri, aynı zamanda farklı sönüm seviyeleri için sönüm düzeltmeleri, IBC 2006' de verilmiştir.

Değerlendirme için değiştirilmiş ivme-yerdeğiştirme spektrum yöntemi(MADRS) kullanılmıştır. MADRS metodu doğrusal olmayan bir sistemin maksimum yerdeğiştirmesini, efektif periyot ( $T_{eff}$ ) ve efektif sönüm ( $\beta_{eff}$ ) değerlerini kullanarak eşdeğer doğrusal sistemde belirler. Efektif doğrusal parametreleri, kapasite spektrumu, uygun doğal periyot ve sönüm değerleriyle süneklik talebi ( $\mu$ ) değerlerinin fonksiyonlarıdır.

Efektif periyot ve sönümün kullanılması, radyal efektif periyot çizgisiyle ADRS talebinin çakışma noktasına denk gelen bir maksimum yerdeğiştirme yaratır. Kesişim noktası  $a_{max}$  ve  $d_{max}$  ile gösterilir [FEMA 440 , 2005] .



Şekil 6.11: Modifiye edilmiş ivme-yer değiştirme tepki spektrum grafiği.

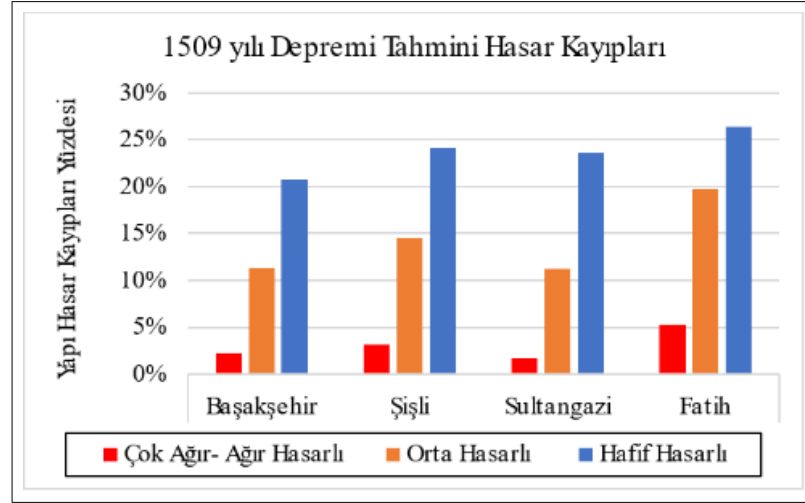
#### 6.4. Yapı Türlerinin Hasar Durumları

Araştırma bölgeleri içerisinde ekseriyet teşkil eden yapı grupları bölüm 6.2.’de değinilmiştir. Tablo 6.1’de belirtilen senaryo depremleri etkisi altında tümdengelim yapılarak 4 ilçenin Başakşehir, Fatih, Şişli ve Sultangazi ilçelerin genel deprem hasar analizleri yapılmıştır. Müteakiben Başakşehir ilçesinin genelinde ekseriyet teşkil eden yapılar üzerinde tahmini deprem hasar analizi yapı kodu sınıflamasına göre incelenerek yapılmıştır. Son olarak da araştırma pilot bölgelerinin deprem hasar analizleri yapılmıştır. Tümdengelim yapılarak eski yerleşim yerlerinden yeni yerleşim yerlerine doğru deprem hasar analizlerinin yapılması, kıyaslanması sağlanmıştır.

Senaryo depremlerine göre ayrı ayrı yapı hasar tahmini analizleri yapıldığında açığa çıkan bulgular Tablo 6.9’da 1509 yılı İstanbul senaryo depremine göre 4 ilçe için analiz sonuçları aktarılmıştır. Şekil 6.12’de yine 1509 yılı tarihsel İstanbul senaryo depremi için grafik paylaşımı yapılmıştır.

Tablo 6.9: 1509 yılı İstanbul depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi, Fatih ilçesi yapı hasar dağılımı.

| 1509 yılı İstanbul Senaryo Depremi Tahmini Hasar Kayıpları |              |              |              |              |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                            | Başakşehir   | Şişli        | Sultangazi   | Fatih        |
| Çok Ağır- Ağır Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                      | 421-%2,27    | 585-%3,17    | 559-%1,73    | 1.535-%5,31  |
| Orta Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                                | 2.097-%11,31 | 2.666-%14,46 | 3.610-%11,19 | 5.710-%19,75 |
| Hafif Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                               | 3.859-%20,81 | 4.460-%24,19 | 7.613-%23,60 | 7.621-%26,36 |

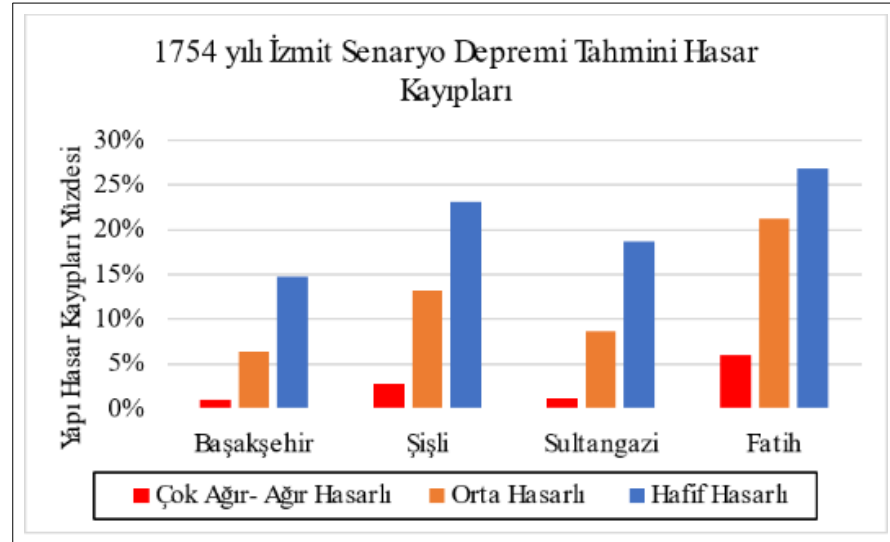


Şekil 6.12: 1509 Yılı depremi tahmini hasar kayıpları.

Analiz süreçleri diğer senaryo depremlerinden biri olan 1754 yılı İzmit depremi için de tekrarlanmıştır. Tablo 6.10’de 1754 yılı İzmit senaryo depremi etkisi altında 4 ilçe için yapı hasar analizi sonucu olan bulgular aktarılmıştır. 1754 tarihsel senaryo depremi için hazırlanan grafik Şekil 6.13’de sunulmuştur.

Tablo 6.10: 1754 Yılı İzmit Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi, Fatih ilçesi yapı hasar dağılımı.

| 1754 yılı İzmit Senaryo Depremi Tahmini Hasar Kayıpları |              |              |              |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                         | Başakşehir   | Şişli        | Sultangazi   | Fatih        |
| Çok Ağır- Ağır Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                   | 186-%1,00    | 524-%2,84    | 391-%1,21    | 1.750-%6,05  |
| Orta Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                             | 1.178-%6,35  | 2.449-%13,28 | 2.799-%8,68  | 6.151-%21,28 |
| Hafif Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                            | 2.734-%14,74 | 4.270-%23,15 | 6.034-%18,70 | 7.756-%26,83 |

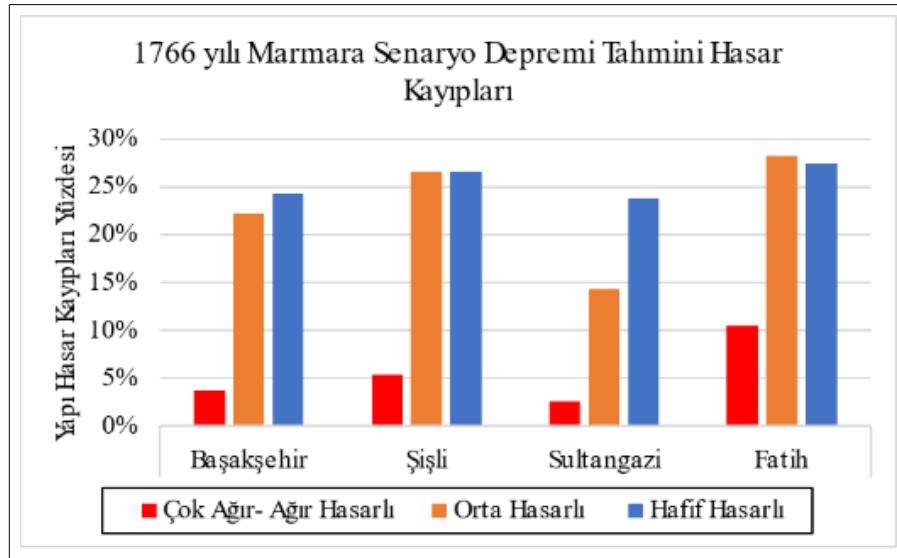


Şekil 6.13: 1754 yılı İzmit senaryo depremi tahmini hasar kayıpları.

Aynı deprem hasar tahmini analiz vetireleri adım adım diğer senaryo depremleri içinde tekrarlanmıştır. Tablo 6.1’de bulunan senaryo depremlerinden 3. sırada yer alan 1766 yılı Marmara depremi için analiz yapılmıştır. Tablo 6.11’de 1766 yılı Marmara senaryo depremi etkisi altında 4 ilçe Başakşehir, Şişli, Sultangazi, Fatih için yapı hasar analizi sonucu olan bulgular aktarılmıştır. Rakamsal verilerin grafiklere dönüştürülmüş durumu Şekil 6.13’de verilmiştir.

Tablo 6.11: 1766 Yılı Marmara Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi, Fatih ilçesi yapı hasar dağılımı.

| 1766 yılı Marmara Senaryo Depremi Tahmini Hasar Kayıpları |              |              |              |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                           | Başakşehir   | Şişli        | Sultangazi   | Fatih        |
| Çok Ağır- Ağır Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                     | 685-%3,69    | 981-%5,32    | 821-%2,54    | 3.012-%10,42 |
| Orta Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                               | 4.110-%22,16 | 4.911-%26,63 | 4.612-%14,29 | 8.146-%28,18 |
| Hafif Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                              | 4.501-%24,27 | 4.911-%26,63 | 7.658-%23,74 | 7.930-%27,43 |

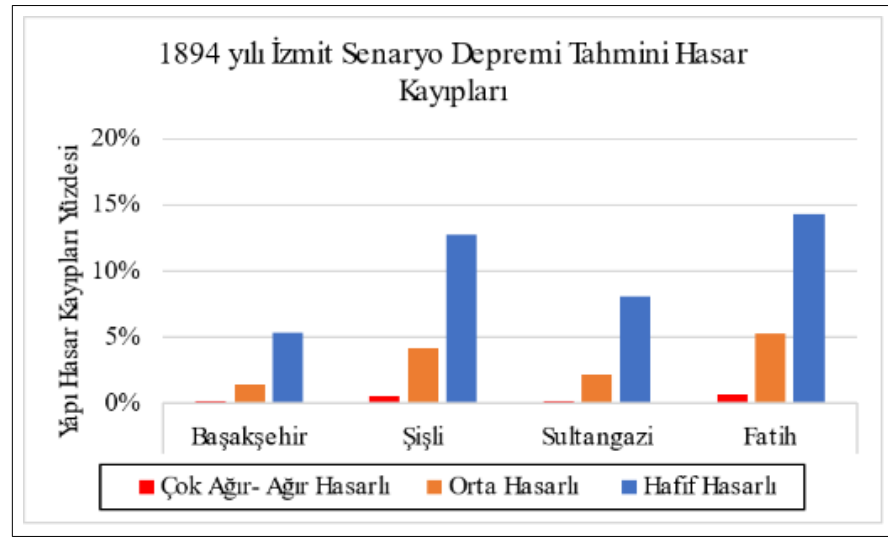


Şekil 6.14: 1766 yılı Marmara senaryo depremi tahmini hasar kayıpları.

Tablo 6.12’de 1894 yılı İzmit senaryo depremi etkisi altında 4 ilçe için yapı hasar analizi sonucu olan bulgular aktarılmıştır. Aynı analiz süreçleri tekrarlanması ile elde edilen verilerin grafiğe dönüştürülmüş hali Şekil 6.15’de verilmiştir.

Tablo 6.12: 1894 Yılı Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi, Fatih ilçesi yapı hasar dağılımı.

| 1894 yılı İzmit Senaryo Depremi Tahmini Hasar Kayıpları |            |              |             |              |
|---------------------------------------------------------|------------|--------------|-------------|--------------|
|                                                         | Başakşehir | Şişli        | Sultangazi  | Fatih        |
| Çok Ağır- Ağır Hasarlı(Adet)-(Yüzde)                    | 26-%0,14   | 98-%0,53     | 61-%0,19    | 204-%0,71    |
| Orta Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                             | 268-%1,44  | 769-%4,17    | 713-%2,21   | 1.512-%5,23  |
| Hafif Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                            | 992-%5,35  | 2.349-%12,74 | 2.616-%8,11 | 4.135-%14,30 |

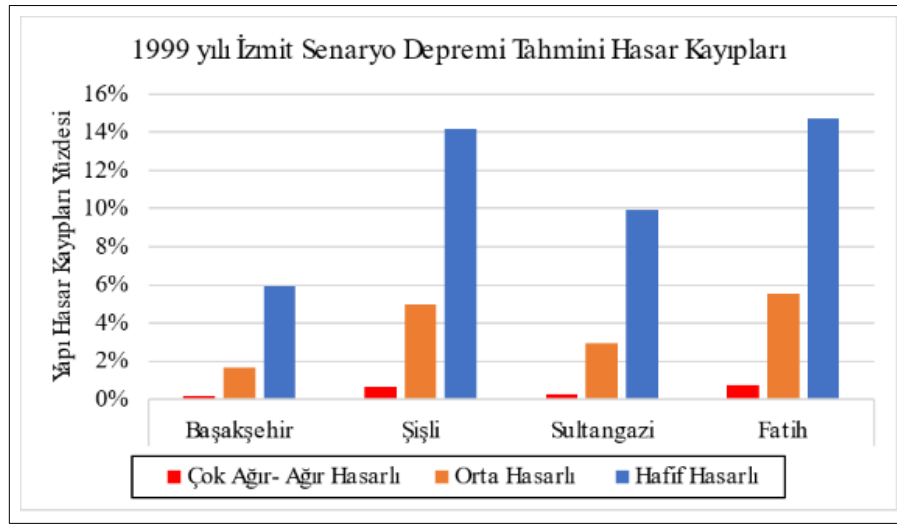


Şekil 6.15: 1894 yılı İzmit senaryo depremi tahmini hasar kayıpları.

Tablo 6.13’de 1999 yılı İzmit senaryo depremi etkisi altında 4 ilçe için yapı hasar analizi sonucu olan bulgular aktarılmıştır. Son olarak deprem hasar tahmini değerlerinin elde edilmesi için 1999 yılı İzmit depreminin analizi yapılmış ve sonuçlarından açığa çıkan bulgular Şekil 6.16’te grafiğe dönüştürülmüştür.

Tablo 6.13: 1999 Yılı İzmit Depremi Başakşehir, Şişli, Sultangazi, Fatih ilçesi yapı hasar dağılımı.

| 1999 yılı İzmit Senaryo Depremi Tahmini Hasar Kayıpları |             |              |             |              |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                                                         | Başakşehir  | Şişli        | Sultangazi  | Fatih        |
| Çok Ağır- Ağır (Adet)-(Yüzde)                           | 30-%0,16    | 123-%0,67    | 83-%0,26    | 223-%0,77    |
| Orta Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                             | 305-%1,64   | 918-%4,98    | 951-%2,95   | 1.602-%5,54  |
| Hafif Hasarlı (Adet)-(Yüzde)                            | 1.102-%5,94 | 2.616-%14,19 | 3.193-%9,90 | 4.248-%14,69 |



Şekil 6.16: 1999 yılı İzmit senaryo depremi tahmini hasar kayıpları.

İlçelerin hasar durumlarını genel olarak analiz edildikten sonra araştırma bölgelerini içinde barındıran Başakşehir ilçesi yapı ELER kategorileme ölçütü dikkate alınarak analizler tekrarlanmıştır. Tablo 6.1’de belirlenen senaryo depremleri etkisi altında Başakşehir ilçesi için analiz yapılmıştır. Tablo 6.13’de Başakşehir’ de ekseriyet teşkil eden yapı grupları için senaryo depremleri analizleri sonucu ortaya çıkan tahmini yapı hasar kayıpları aktarılmıştır.

Tablo 6.14: Senaryo Depremlerine Başakşehir YEK göre tahmini hasar kayıpları.

|               | Ağır & Çok Ağır Hasarlı |                      |                    |                    |                    |
|---------------|-------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               | 1509 yılı<br>İstanbul   | 1766 yılı<br>Marmara | 1754 Yılı<br>İzmit | 1894 Yılı<br>İzmit | 1999 Yılı<br>İzmit |
| YEK           | Adet-Yüzde              | Adet-Yüzde           | Adet-Yüzde         | Adet-Yüzde         | Adet-Yüzde         |
| C3L2          | 240-%5.16               | 366-%7.87            | 109-%2.34          | 15-%0.32           | 18-%0.39           |
| C1L2          | 49-%1.76                | 99-%3.56             | 15-%0.54           | 1-%0.37            | 1-%0.37            |
| C2L3          | 28-%1.24                | 49-%2.16             | 12-%0.53           | 1-%0.35            | 1-%0.35            |
| C3M2          | 14-%1.04                | 27-%2.00             | 5-%2.00            | 1-%0.09            | 1-%0.09            |
| C1L3          | 12-%1.06                | 23-%2.03             | 4-%0.35            | 0-%0.00            | 1-%0.07            |
| C2H4          | 0-%0.00                 | 1-%0.12              | 0-%0.00            | 0-%0.00            | 0-%0.00            |
| C1L4          | 2-%0.33                 | 5-%0.82              | 1-%0.16            | 0-%0.00            | 0-%0.00            |
| C2M4          | 0-%0.00                 | 0-%0.00              | 0-%0.00            | 0-%0.00            | 0-%0.00            |
| C2H3          | 1-%0.21                 | 3-%0.62              | 0-%0.00            | 0-%0.00            | 0-%0.00            |
| Diğer         | 75-%18.12               | 112-%16.35           | 40-%21.50          | 8-%30.00           | 8-%26.6            |
| <b>Toplam</b> | <b>421-%100.00</b>      | <b>685-%100.00</b>   | <b>186-%100.00</b> | <b>26-%100.00</b>  | <b>30-%100.00</b>  |

Yeni yerleşim bölgelerinin senaryo depremleri etkisi altındaki davranışlarını daha detaylı keşfedebilmek için 1. Pilot bölge kayabaşı bölgesi içinde yer alan tüm yapı gruplarının deprem hasar tahmini analiz yapılmıştır. Analiz ışığında çıkan hasar durumlarını gösteren analiz sonuçları tablo 6.15’de sunulmuştur.

Tablo 6.15: 1 Pilot bölge (Toplam 164 yapı) kayabaşı bölgesi deprem hasar tahmini sayıları.

|                          | 1. Pilot Bölge Başakşehir Kayabaşı Bölgesi |                      |                    |                    |                    |
|--------------------------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                          | 1509 yılı<br>İstanbul                      | 1766 yılı<br>Marmara | 1754 Yılı<br>İzmit | 1894 Yılı<br>İzmit | 1999 Yılı<br>İzmit |
|                          | Adet                                       | Adet                 | Adet               | Adet               | Adet               |
| Çok Ağır-Ağır<br>Hasarlı | 0                                          | 0                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| Orta Hasarlı             | 4                                          | 8                    | 2                  | 0                  | 0                  |
| Hafif Hasarlı            | 28                                         | 39                   | 20                 | 6                  | 7                  |

Araştırma bölgelerinden 2. pilot bölge olan bahçeşehir 2. kısım bölgesi için senaryo depremi etkisi altında deprem tahmini hasar değerlendirilmesi analizi ELER programı tarafından yapılmıştır. Tablo 6.16’de senaryo depremleri etkisi altında gerçekleştirilen analizler sonucunda açığa çıkan veriler aktarılmıştır.

Tablo 6.16: 2. Pilot bölge (Toplam 163 yapı) Bahçeşehir 2. kısım deprem hasar durumları.

|                          | 2. Pilot Bölge Başakşehir Bahçeşehir 2. kısım Bölgesi |                      |                    |                    |                    |
|--------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                          | 1509 yılı<br>İstanbul                                 | 1766 yılı<br>Marmara | 1754 Yılı<br>İzmit | 1894 Yılı<br>İzmit | 1999 Yılı<br>İzmit |
|                          | Adet                                                  | Adet                 | Adet               | Adet               | Adet               |
| Çok Ağır-Ağır<br>Hasarlı | 0                                                     | 0                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| Orta Hasarlı             | 7                                                     | 10                   | 1                  | 0                  | 0                  |
| Hafif Hasarlı            | 40                                                    | 47                   | 16                 | 4                  | 6                  |

Pilot bölgelerin senaryo depremleri etkisi altındaki davranışları yapı kodu düzeyinde de ayrıca incelenmiştir. Bu incelemenin amacı, yapı kodlarının senaryo depremleri etkisi altında ne düzeyde hasar oluşacağının eksiksiz idrak edilmesinin sağlanmasıdır.

Araştırma bölgelerinden 1. Pilot bölge olan Kayabaşı bölgesinde yer alan yapılar senaryo depremleri tesiri altında deprem hasar analizleri yapılarak incelenmiştir. 1. Pilot bölge için tüm senaryo depremleri etkisi altında yapılan analizler sonucunda ağır ve çok ağır hasarlı yapı meydana gelmemiştir. Analizler sonucunda 1. pilot bölge için orta ve hafif hasarlı yapılar oluşmuştur. Analizler sonucu elde edilen bulgular orta ağır hasarlı yapılar için tablo 6.17’de aktarılmıştır. Analizler sonucunda tespit edilen hafif hasarlı yapı sayısı tablo 6.18’de aktarılmıştır.

Tablo 6.17: 1. Pilot bölge Kayabaşı YEK Orta hasarlı yapı sayısı.

|               | Orta Hasarlı          |                      |                    |                    |                    |
|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               | 1509 yılı<br>İstanbul | 1766 yılı<br>Marmara | 1754 Yılı<br>İzmit | 1894 Yılı<br>İzmit | 1999 Yılı<br>İzmit |
| YEK Kodu      | Adet                  | Adet                 | Adet               | Adet               | Adet               |
| C1H4          | 1                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C1L4          | 0                     | 0                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C1M4          | 0                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C2H4          | 1                     | 3                    | 1                  | 0                  | 0                  |
| C2L4          | 1                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C2M4          | 1                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| <b>Toplam</b> | <b>4</b>              | <b>7</b>             | <b>1</b>           | <b>0</b>           | <b>0</b>           |

Tablo 6.18: 1 Pilot bölge kayabaşı YEK hafif hasarlı yapı sayısı.

|               | Hafif Hasarlı         |                      |                    |                    |                    |
|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               | 1509 yılı<br>İstanbul | 1766 yılı<br>Marmara | 1754 Yılı<br>İzmit | 1894 Yılı<br>İzmit | 1999 Yılı<br>İzmit |
| YEK Kodu      | Adet                  | Adet                 | Adet               | Adet               | Adet               |
| C1H4          | 3                     | 4                    | 2                  | 1                  | 1                  |
| C1L4          | 1                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C1M4          | 2                     | 3                    | 1                  | 0                  | 0                  |
| C2H4          | 13                    | 18                   | 9                  | 3                  | 4                  |
| C2L4          | 4                     | 6                    | 3                  | 1                  | 1                  |
| C2M4          | 5                     | 7                    | 3                  | 1                  | 1                  |
| <b>Toplam</b> | <b>28</b>             | <b>39</b>            | <b>18</b>          | <b>6</b>           | <b>7</b>           |

Araştırma bölgelerinden 2. Pilot bölge olan Bahçeşehir 2. kısım bölgesinde yer alan yapılar senaryo depremleri tesiri altında deprem hasar analizleri yapılarak incelenmiştir. 2. Pilot bölge için tüm senaryo depremleri etkisi altında yapılan analizler sonucunda ağır ve çok ağır hasarlı yapı oluşmamıştır. Analizler sonucunda 2. pilot bölge için orta ve hafif hasarlı yapılar oluşmuştur. Analizler sonucu elde edilen bulgular orta ağır hasarlı yapılar için tablo 6.19’de aktarılmıştır. Analizler sonucunda tespit edilen hafif hasarlı yapı sayısı tablo 6.20’de aktarılmıştır.

Tablo 6.19: 2. Pilot bölge Bahçeşehir 2. kısım orta hasarlı yapı.

|               | Orta Hasarlı          |                      |                    |                    |                    |
|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               | 1509 yılı<br>İstanbul | 1766 yılı<br>Marmara | 1754 Yılı<br>İzmit | 1894 Yılı<br>İzmit | 1999 Yılı<br>İzmit |
| YEK Kodu      | Adet                  | Adet                 | Adet               | Adet               | Adet               |
| C1L4          | 1                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C1M4          | 2                     | 3                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C2H4          | 2                     | 4                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C2L4          | 0                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| C2M4          | 0                     | 1                    | 0                  | 0                  | 0                  |
| <b>Toplam</b> | <b>5</b>              | <b>10</b>            | <b>0</b>           | <b>0</b>           | <b>0</b>           |

Tablo 6.20: 2. Pilot bölge Bahçeşehir 2. kısım hafif hasarlı yapı .

|               | Hafif Hasarlı         |                      |                    |                    |                    |
|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               | 1509 yılı<br>İstanbul | 1766 yılı<br>Marmara | 1754 Yılı<br>İzmit | 1894 Yılı<br>İzmit | 1999 Yılı<br>İzmit |
| YEK Kodu      | Adet                  | Adet                 | Adet               | Adet               | Adet               |
| C1L4          | 3                     | 3                    | 1                  | 0                  | 0                  |
| C1M4          | 11                    | 13                   | 4                  | 1                  | 1                  |
| C2H4          | 21                    | 24                   | 8                  | 3                  | 3                  |
| C2L4          | 3                     | 3                    | 1                  | 0                  | 0                  |
| C2M4          | 3                     | 3                    | 1                  | 0                  | 0                  |
| <b>Toplam</b> | <b>41</b>             | <b>46</b>            | <b>15</b>          | <b>4</b>           | <b>4</b>           |

## 6.5. Değerlendirme

Senaryo depremleri tehlikesi altında analizler sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesinde yine tündengelim uygulanarak ve yapı adeti 32.264 ile ilçeler arasında en büyük paya sahip Sultangazi ilçesi nazar-ı dikkate alınarak başlanmıştır.

Sultangazi ilçesi Başakşehir ilçesine komşu olarak Başakşehir ilçesine göre nispeten daha eski bir yerleşim yeridir. Bölüm 6.1 ‘de yer alan deprem tehlike ivme pik haritaları incelendiğinde görülür ki Başakşehir ilçesi ile yaklaşık aynı izdüşümde yer alır ve fay hatlarına yaklaşık denk uzaklıktadır. Sultangazi ilçesinde toplam

32.264 adet yapı mevcuttur. Sultangazi ilçesinde yer alan yapıları hasar durumlarına göre değerlendirildiğinde hasarlı yapıların durumu tablo 6.8 aktarılmıştır. 1509 yılı İstanbul depremi senaryo depremi etkisi altında, yapı hasar adetlerini mevcut yapı adetlerine göre dağılımı incelendiğinde ağır ve çok ağır hasarlı yapı oranı %1.73 , orta hasarlı yapıların oranı %11.19 ve hafif hasarlı yapı adeti % 23,60 olarak ortaya çıkmıştır. Hasarlı yapı oranı tüm hasar grupları için toplamda % 36.52 olmaktadır. Senaryo depremleri etkisi altında gerçekleşen yapı hasar adetlerinin ve oranlarının tamamı bölüm 6.4'te aktarılmıştır. 1766 Marmara depremi haricindeki diğer senaryo depremleri sonuçlarına bakıldığında Sultangazi ilçesinin toplam hasar oranının Başakşehir ilçesine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Sultangazi ilçesinin yapı hasar oranları, Şişli ilçesindeki ve Fatih ilçesindeki yapı hasar oranları ile karşılaştırıldığında Sultangazi ilçesinin yapı hasar oranlarının daha düşük olduğu görülür.

Analiz sonuçları Fatih ilçesi için değerlendirildiğinde fay hatlarına olan yakınlığı hasebiyle ve yapı yoğunluğunun fazla olması ve ayrıca yapı yaşı yüksek yapıların fazla olmasından dolayı 4 senaryo depremi etkisi altında hasar durumları en yüksek çıkan ilçe olmuştur. Fatih ilçesinin 1999 İzmit depremini gerçekteki deprem hasar rakamları ise 45 adet yapıda ağır hasarlı çıkmıştır. Bu tez kapsamında ise 1999 İzmit senaryo depremi için ağır ve çok ağır hasarlı yapı sayısı 223 adettir [Özmen , 2000].

Şişli ilçesi incelendiğinde fay hatlarına mesafesi nispeten Sultangazi ilçesi ve Başakşehir ilçesi ile denk olmasına rağmen yapı hasar durumları iki ilçeye göre yüksek çıkmıştır. Bunun oluşmasına etken olarak yapı yaş dağılımı ve bölgede bulunan yapı yoğunluğu işaret edilebilir.

Başakşehir ilçesine gelindiğinde uygulanan 4 senaryo depremi içinde yapı hasar durumları en az olan ilçe Başakşehir ilçesi olmuştur. Bu duruma sebep ise yapı yaş dağılımının diğer ilçelere nazaran nispeten daha düşük olması olabilir.

Araştırmanın yapıldığı 1. pilot ve 2. pilot bölgeleri değerlendirmeye alındığında bütün senaryo depremleri için herhangi bir ağır ve çok ağır hasarlı yapıların oluşmadığı gözlemlenmiştir. Araştırma bölgelerinde 1509 İstanbul depremi, 1766 yılı Marmara ,1754 yılı İzmit depreminde orta hasar alan sadece birkaç yapı mevcuttur. Diğer senaryo depremlerinde ise orta hasarlı yapının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Senaryo depremlerinin tamamında 2 pilot bölge içinde hafif hasarlı yapılar oluşmuştur (Tablo 6.17, Tablo 6.19).

1766 yılı Marmara senaryo depremi detaylı olarak incelendiğinde ilçeler üzerinde ve pilot bölgeler üzerinde en olumsuz etkilere sebep olan, en yüksek yapı hasar rakamlarına ulaşıldığı görülmüştür. Bu deprem büyüklüğünün yüksek ve İstanbul bölgesine yakın olması yapı hasar sayılarının diğer deprem durumlarına göre fazla oluşmasına sebep olmuştur.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Yapı teknolojilerinin gelişmesi ile depremler hakkında bilinenler her geçen gün çoğalmaktadır. Her yeni bir depremde yeni bir mefhumu daha berrak hale getirmektedir. Depremler akabinde açığa çıkan bilgiler ve yeni teknolojilerin sağladığı imkan ile yapılan uygulamalı deneyler neticesinde deprem ve yapı yönetmelikleri güncellenmektedir. Yönetmeliklerin güncellenmesi ile yapı tasarımını esas oluşturan noktalar ve inşa aşamasındaki nüanslarda güncellenmektedir. FEMA tarafından HAZUS programı için yapılan deneyler sonucunda yapı kırılma eğrilerinin yapı yaşına, taşıyıcı sistem türüne ve kat adetine göre değiştiği gözlenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen kırılma eğrilerinde yapı yaşı eskiden yeniye doğru 4 kod ile tanımlanmıştır. 4 kod ile kırılma eğrileri yapı yaşına göre artmaktadır. Bu sebeptir ki yapı yaşının az olması yapı sağlığı üzerinde ve hasar görülebilirlik olarak müspet etki yapmaktadır.

Araştırmanın hipotezinde Başakşehir ilçesinin yeni bir yerleşim yeri olması hasebiyle diğer yerleşim bölgelerine göre nispi ölçüde daha az hasar oluşması beklenmekteydi. Senaryo depremleri tesiri altında gerçekleştirilen tahmini deprem hasar analiz sonuçları incelendiğinde görülmüştür ki Başakşehir ilçesi gerçekleştirilen 5 senaryo depreminin 4'ünde yapı hasar oranları karşılaştırılan diğer ilçelere göre daha düşük çıkmıştır. Aynı senaryo depremleri araştırma pilot bölgeleri üzerinde de yinelenildiğinde araştırma pilot bölgelerin yapı hasar oranlarının Başakşehir ilçesine göre daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Pilot bölgeler tahmini deprem hasar analizleri sonuçlarını tüm senaryo depremler için ağır ve çok ağır hasarlı yapı çıkmamıştır. Orta hasarlı yapı sayıları için de son derece azdır (Tablo 6.16, Tablo 6.18). Bu sebeptir ki yapı sınıfı bazında hafif hasarlı yapılar değerlendirmek gerekirse her iki pilot bölge içinde hafif hasarlı yapı adeti C2H4 yapı ELER kodunda nispeten diğer yapı sınıflarına göre yüksektir (Tablo 6.18, Tablo 6.20).

## 7.2. Öneriler

Tahmini deprem hasar değerlendirilmesinde ELER programı kullanılmıştır. Yapı kırılmalık eğrilerinin ve kapasite değerlerinin programa aktarılmasında ise HAZUS açık kaynak verilerinden faydalanılmıştır. HAZUS yönteminin bir adımında yapıları taşıyıcı sistem davranışına göre gruplara ayırarak kapasite eğrilerini ve kırılmalık eğrilerini belirler. Bu bağlamda tez aşamasında araştırma bölgelerinde yapılar sınıflandırılırken yapı ruhsatlarında hem çerçeve hem de perdeli sistem yani karma taşıyıcı sistemler olarak belirtilen yapılar için hangi HAZUS sınıfına ait olduğu üzerine yoğun mesai harcanmıştır. Yoğun mesainin sebebi HAZUS yapıları çerçeve veya perdeli olmak üzere ayrı ayrı nitelendirmiştir. Karma taşıyıcı sistemler içinde kapasite eğrilerinin ve kırılmalık eğrilerinin tanımlanmalı ve kod sınıflamasının oluşturulmalıdır.

## 7.3. İleriki Araştırmalar

Araştırma ile birlikte Başakşehir ilçesi genelinde yapı envanterinde güncelleme yapılmıştır. Yapı envanterinde yapılan güncelleme ile birlikte Başakşehir ilçesi için farklı yaklaşımlar geliştirilmesine ve başka deprem hasar analiz yapan programlar tarafından kullanılabilir. Deprem hasar tehlikesi deterministik olarak tanımlanarak yapılmıştır. Deprem hasar tahmini analizleri olasılıksal olarak aynı programda veya farklı programlarda sonuçları kıyaslamak için tez kapsamında hazırlanan yapı envanterleri kullanılarak tekrarlanabilir. Deprem etkisi altında tahmin yapı hasar sonuçları göz önüne alınarak kentsel dönüşüme gerekli olan mahalle ve apartmanları öncelik verilerek detay incelemelere başlanabilir.

## KAYNAKLAR

Aksoylu C., Arslan M. H. (2019), “ Çerçeve Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının Farklı Ampirik Bağıntılara Göre İrdelenmesi Investigation of Periods of Frame Type Reinforced Concrete Buildings According to Different Empirical Approach.” , :BEU Fen bilimleri dergisi 8(2) 569–81.

Askan, A, Ugurhan B, Ün E.M. , Erberik M.A.. (2011), “Batı Marmara Bölgesi İçin Alternatif Yöntemlerle Deprem Hasar ve Kayıp Tahmini Çalışmaları.”, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1–9. Ekim

Can Ateş S., Tuncer H. (2005), “Mimari Tasarımda Deprem Faktörü.” Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu , Burdur , 7–9. Mayıs

Dalgıç, Süleyman, (2009), “İstanbul’un Avrupa Yakasındaki Zemin ve Kaya Koşullarının Bina Temellerine Etkisi.” , Uygulamalı Yer-bilimleri Dergisi 8(2): 47–70 , Ekim-Kasım

Duan X., Pappin J. W., (2008), “A Procedure For Establishing Fragility Functions For Seismic Loss Estimate Of Existing Buildings Based On Nonlinear Pushover Analysis.” , The 14th World Conference on Earthquake Engineering ,Beijing, China October

Dündar S., Karaahmetli C. (2017) , “Yapı Sönüm Oranının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi Theoretical and Experimental Investigation of the Method Used to Determine the Structural Damping Ratio.” , 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı , Ekim

ELER, (2010),“Deprem Kayıp Tahminleri Yazılımı,Teknik Kılavuz.” , Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü , Boğaziçi Üniversitesi , Türkiye

Eyidoğan H.(2003), “Tectonics and Earthquake Danger.” , Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,: 26–30 , İstanbul, Türkiye, 26-30 Mayıs

FEMA , (2005), “Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures.” FEMA 440, Federal Emergency Management Agency 440: 392, , Washington DC, USA

FEMA , (2012), “Multi-Hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model: Hazus-MH 2.1 User Manual.” : 863 , USA

Freeman R. J. (1932), Earthquake Damage and Earthquake Insurance : Studies of a Rational Basis for Earthquake Insurance, Also Studies of Engineering Data for Earthquake-Resisting Construction , First Edition, Mcgraw Hill Book Company

Gulati B. , (2006), “Earthquake Risk Assessment of Buildings: Applicability of HAZUS in Dehradun, Master Thesis, India.”

HAZUS., (2012), “Hazard-MH 2.1: Technical Manual.” Federal Emergency Management Agency: 718 , USA

İBB. (2009), “İstanbul’un Olası Deprem Kayıpları Tahminlerinin Güncellenmesi İşi (İstanbul Deprem Senaryosu Yönetici Özeti).”, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İBB, İstanbul, Türkiye

Işık E., Özdemir M.,(2017), “Normal Yüksekliğinin Farklı Olması Durumunda Yapı Performansının İncelenmesi Investigation of Building ’ S Performance for Changing Normal Floor Height.”, OHÜ Müh. Bilim. Dergisi 6(1): 98–106

Kale Ö.. (2017), “A Study Depending on the Probabilistic Seismic Hazard Analyses for Design Spectrum Parameters.” , Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers 28(4): 8077–8103.

Karamanoğlu, M, Ulay, G. (2017) , “Deprem Riski Yüksek Bölgelerde İç Mekân Düzenlemelerinin İncelenmesi (Tosya Örneği).” , Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 17(1): 45–45.

Konukcu B., Karaman H. , Şahin M., (2016), “Building Damage Analysis for the Updated Building Data set of Istanbul.”, Natural Hazards 84(3): 1981

Kundak S. (2008), “İstanbul’da Deprem Riski Analizi.”, İtüdergisi/a 6: 37–46.

Lin C.J., Chen W., Yeh C., (2007), “Application of Taiwan Earthquake Loss Estimation System ( TELES ) on Seismic Disaster Simulation ”, National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan

Morales A. , Montoya L., (2002), Geographical Urban Disaster Management : A Case Study of Earthquake Risk Assessment in Cartago, Costa Rica.

NORSAR (2015), Technical Manual, SELENA. “SELENA v6.5.” : 1–109, Norway

Özaydın K. (2018), Deprem Etkisi Altında Zemin Davranışı. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ nin Esasları Seminer Dizisi İstanbul Türkiye , Mayıs

Özmen B. (2000) , “17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi’ nin Hasar Durumu.” Türkiye Deprem Vakfı , Haziran

Sarabandi P., Pachakis D. D. , King S. A. , Kiremidjian A. S.. (2004) , “Empirical Fragility Functions From Recent Earthquakes.” 13th World Conference on Earthquake Engineering (1211): Paper No. 1211.

Hamiyet S. (1968). “1894 İstanbul Depremi Hakkında Bir Rapor Üzerine İnceleme.”

TBDY. , (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

UNISDR. (2017). “Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment.” International Strategy for Disaster Reduction (ISDR): 303.

Ürekli, F (2010). “Osmanlı Döneminde İstanbul’da Meydana Gelen Afetlere İlişkin Literatür.” Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi 16(İstanbul Tarihi Sayısı): 101–30.

Usuda T. , (2006). “Current Situations on Vibration Meteorology in Japan.” 18th IMEKO World Congress 2006: Meteorology for a Sustainable Development : 2439–43.3 January

Utkucu M. , (2011). “Marmara Bölgesinde ( KB Türkiye ) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma A Discussion on the Seismicity and Seismic Hazard of the Marmara Region .” 32(3): 187–212.

Villacis C., Cardona C. N. (1999). “Guidelines for the Implementation of Earthquake Risk Management Projects.” Geohazards International Palo Alto , California

Web 1 , (2020).<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Personel/comoglu/depremnedir/index.htm> (Erişim Tarihi: 09/01/2020).

Web 2 , (2020). <http://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> (Erişim Tarihi: 09/01/2020)

Web 3 , (2020). <https://www.afad.gov.tr/depremin-buyuklugu-ve-siddeti-ayni-kavramlar-midir> (Erişim Tarihi: 09/01/2020).

Web 4 , (2020). <https://www.dengeyalitim.com/proje/nem-rutubet-su-yalitimi> (Erişim Tarihi: 23/03/2020).

Web 5 , (2020). <https://depremezmin.ibb.istanbul/> (Erişim Tarihi: 23/03/2020).

Web 6 , (2020). <http://basaksehir.gov.tr/ilcemiz> (Erişim Tarihi: 6/04/2020).

Web 7 , (2020). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (Erişim Tarihi: 6/04/2020).

Web 8 , (2020). <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33730> (Erişim Tarihi: 7/05/2020).

Web 9 , (2020). <https://www.afad.gov.tr/turkiye-bina-deprem-yonetmeligi> (Erişim Tarihi: 7/05/2020).

Westen V., Cees, Kingma N., (2009). “Guide Book Session 5 : Vulnerability Assessment.” Guide book: 1–33.

Yadollahi M., Azlan A., Rosli Z.. (2012). “Seismic Vulnerability Functional Method for Rapid Visual Screening of Existing Buildings.” Archives of Civil Engineering 58(3): 363–77.

Yaltırak C., Erturaç M. K., Tüysüz O., Saki K. (2003). “Marmara Denizinde Tarihsel Depremler: Yerleri, Büyüklükleri, Etki Alanları ve Güncel Kırılma Olasılıkları.” İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü IV. Kuaterner Çalıştayı: 174–80. İstanbul, Türkiye

Yeh H. C., Loh C.-H., Tsai K.C., (2006). “Overview of Taiwan Earthquake Loss Estimation System.” Natural Hazards 37: 23–37.

## ÖZGEÇMİŞ

Volkan ERGEN 1991 yılında dünyaya geldi. Orta öğretimini Kartal Süleyman Demirel Lisesinde tamamladı. Lisans eğitimini Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde 2015 yılında tamamladı. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesinde yüksek lisans öğrencisi olarak kabul aldı. Lisan eğitimi sırasında çelik konstrüksiyon alanında özel bir firmada çalıştı. Lisans eğitiminin bitimine müteakip ikamet ettiği İstanbul'a döndü. Endüstriyel tesis statik projelendirme ve detaylandırma alanında özel bir kuruluştaki çalıştı. Halen konut geliştirme hizmeti sunan Emlak konut GYO A.Ş. 'inde ihale ve hakediş mühendisi olarak görev yapmaktadır.

## EKLER

### Ek A1.1:-HAZUS Yapı Önem Kategorileme

| Label              | Occupancy Class                                                                                                                          | Example Descriptions                     |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Residential</b> |                                                                                                                                          |                                          |
| RES1               | Single Family Dwelling                                                                                                                   | House                                    |
| RES2               | Mobile Home                                                                                                                              | Mobile Home                              |
| RES3               | Multi Family Dwelling<br>RES3A Duplex<br>RES3B 3-4 Units<br>RES3C 5-9 Units<br>RES3D 10-19 Units<br>RES3E 20-49 Units<br>RES3F 50+ Units | Apartment/Condominium                    |
| RES4               | Temporary Lodging                                                                                                                        | Hotel/Motel                              |
| RES5               | Institutional Dormitory                                                                                                                  | Group Housing (military, college), Jails |
| RES6               | Nursing Home                                                                                                                             |                                          |
| <b>Commercial</b>  |                                                                                                                                          |                                          |
| COM1               | Retail Trade                                                                                                                             | Store                                    |
| COM2               | Wholesale Trade                                                                                                                          | Warehouse                                |
| COM3               | Personal and Repair Services                                                                                                             | Service Station/Shop                     |
| COM4               | Professional/Technical Services                                                                                                          | Offices                                  |
| COM5               | Banks                                                                                                                                    |                                          |
| COM6               | Hospital                                                                                                                                 |                                          |
| COM7               | Medical Office/Clinic                                                                                                                    |                                          |
| COM8               | Entertainment &                                                                                                                          | Restaurants/Bars                         |

|                            |                               |                                |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                            | Recreation                    |                                |
| COM9                       | Theaters                      | Theaters                       |
| COM10                      | Parking                       | Garages                        |
| <b>Industrial</b>          |                               |                                |
| IND1                       | Heavy                         | Factory                        |
| IND2                       | Light                         | Factory                        |
| IND3                       | Food/Drugs/Chemicals          | Factory                        |
| IND4                       | Metals/Minerals<br>Processing | Factory                        |
| IND5                       | High Technology               | Factory                        |
| IND6                       | Construction                  | Office                         |
| <b>Agriculture</b>         |                               |                                |
| AGR1                       | Agriculture                   |                                |
| <b>Religion/Non/Profit</b> |                               |                                |
| REL1                       | Church/Non-Profit             |                                |
| <b>Government</b>          |                               |                                |
| GOV1                       | General Services              | Office                         |
| GOV2                       | Emergency Response            | Police/Fire Station/EOC        |
| <b>Education</b>           |                               |                                |
| EDU1                       | Grade Schools                 |                                |
| EDU2                       | Colleges/Universities         | Does not include group housing |

## Ek A1.2:- HAZUS Yapı Taşıyıcı Sistem Türü

| No | Label | Description                                                                         | Height    |         |         |      |
|----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|---------|------|
|    |       |                                                                                     | Range     |         | Typical |      |
|    |       |                                                                                     | Name      | Stories | Stories | Feet |
| 1  | W1    | Wood, Light Frame (5,000 sq. ft.) Wood, Commercial and Industrial (> 5,000 sq. ft.) |           | 1 - 2   | 1       | 14   |
| 2  | W2    |                                                                                     |           | All     | 2       | 24   |
| 3  | S1L   | Steel Moment Frame                                                                  | Low-Rise  | 1 - 3   | 2       | 24   |
| 4  | S1M   |                                                                                     | Mid-Rise  | 4 - 7   | 5       | 60   |
| 5  | S1H   |                                                                                     | High-Rise | 8+      | 13      | 156  |
| 6  | S2L   | Steel Braced Frame                                                                  | Low-Rise  | 1 - 3   | 2       | 24   |
| 7  | S2M   |                                                                                     | Mid-Rise  | 4 - 7   | 5       | 60   |
| 8  | S2H   |                                                                                     | High-Rise | 8+      | 13      | 156  |
| 9  | S3    | Steel Light Frame                                                                   |           | All     | 1       | 15   |
| 10 | S4L   | Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls                                 | Low-Rise  | 1 - 3   | 2       | 24   |
| 11 | S4M   |                                                                                     | Mid-Rise  | 4 - 7   | 5       | 60   |
| 12 | S4H   |                                                                                     | High-Rise | 8+      | 13      | 156  |
| 13 | S5L   | Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls                                  | Low-Rise  | 1 - 3   | 2       | 24   |
| 14 | S5M   |                                                                                     | Mid-Rise  | 4 - 7   | 5       | 60   |
| 15 | S5H   |                                                                                     | High-Rise | 8+      | 13      | 156  |
| 16 | C1L   | Concrete Moment Frame                                                               | Low-Rise  | 1 - 3   | 2       | 20   |
| 17 | C1M   |                                                                                     | Mid-Rise  | 4 - 7   | 5       | 50   |
| 18 | C1H   |                                                                                     | High-Rise | 8+      | 12      | 120  |
| 19 | C2L   | Concrete Shear Walls                                                                | Low-Rise  | 1 - 3   | 2       | 20   |
| 20 | C2M   |                                                                                     | Mid-Rise  | 4 - 7   | 5       | 50   |

|    |          |                                                                           |           |       |    |     |
|----|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|----|-----|
| 21 | C2H      |                                                                           | High-Rise | 8+    | 12 | 120 |
| 22 | C3L      | Concrete Frame with<br>Unreinforced<br>Masonry Infill Walls               | Low-Rise  | 1 - 3 | 2  | 20  |
| 23 | C3M      |                                                                           | Mid-Rise  | 4 - 7 | 5  | 50  |
| 24 | C3H      |                                                                           | High-Rise | 8+    | 12 | 120 |
| 25 | PC1      | Precast Concrete Tilt-Up<br>Walls                                         |           | All   | 1  | 15  |
| 26 | PC2L     | Precast Concrete Frames<br>with Concrete Shear Walls                      | Low-Rise  | 1 - 3 | 2  | 20  |
| 27 | PC2<br>M |                                                                           | Mid-Rise  | 4 - 7 | 5  | 50  |
| 28 | PC2H     |                                                                           | High-Rise | 8+    | 12 | 120 |
| 29 | RM1<br>L | Reinforced Masonry<br>Bearing Walls with Wood or<br>Metal Deck Diaphragms | Low-Rise  | 1-3   | 2  | 20  |
| 30 | RM1<br>M |                                                                           | Mid-Rise  | 4+    | 5  | 50  |
| 31 | RM2<br>L | Reinforced Masonry<br>Bearing Walls with Precast<br>Concrete Diaphragms   | Low-Rise  | 1 - 3 | 2  | 20  |
| 32 | RM2<br>M |                                                                           | Mid-Rise  | 4 - 7 | 5  | 50  |
| 33 | RM2<br>H |                                                                           | High-Rise | 8+    | 12 | 120 |
| 34 | URM<br>L | Unreinforced Masonry<br>Bearing Walls                                     | Low-Rise  | 1 - 2 | 1  | 15  |
| 35 | URM<br>M |                                                                           | Mid-Rise  | 3+    | 3  | 35  |
| 36 | MH       | Mobile Homes                                                              |           | All   | 1  | 10  |

**Ek A1.3:- Genelleştirilmiş PerformansBeklentisi (FEMA P-58, Bölüm 5, Table 6-1)**

| Performance Measure                                                          | Performance Expectation |          |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|
|                                                                              | Design EQ               | MCE      |
| <b>Risk Category II – Office</b>                                             |                         |          |
| Repair Cost                                                                  | 10%                     | 30%      |
| Repair Time                                                                  | 4days                   | 150 days |
| Casualty Rate                                                                | 1.0%                    | 2.0%     |
| Probability of Unsafe Placard                                                | 20%                     | 40%      |
| Repairability                                                                | 95%                     | 80%      |
| <b>Risk Category II – Healthcare (Medical Office Building or Laboratory)</b> |                         |          |
| Repair Cost                                                                  | 20%                     | 40%      |
| Repair Time                                                                  | 60 days                 | 180 days |
| Casualty Rate                                                                | 1.0%                    | 2.0%     |
| Probability of Unsafe Placard                                                | 20%                     | 40%      |
| Repairability                                                                | 85%                     | 65%      |
| <b>Risk Category IV – Office (Emergency Operations Center)</b>               |                         |          |
| Repair Cost                                                                  | 5%                      | 15%      |
| Repair Time                                                                  | 30 days                 | 75 days  |
| Casualty Rate                                                                | 0.5%                    | 1.5%     |
| Probability of Unsafe Placard                                                | 10%                     | 25%      |
| Repairability                                                                | 98%                     | 90%      |
| <b>Risk Category IV – Healthcare (Hospital)</b>                              |                         |          |
| Repair Cost                                                                  | 10%                     | 20%      |
| Repair Time                                                                  | 45 days                 | 100 days |
| Casualty Rate                                                                | 0.5%                    | 1.5%     |
| Probability of Unsafe Placard                                                | 10%                     | 25%      |
| Repairability                                                                | 95%                     | 85%      |

## Ek A1.4:-Arazi Çalışmaları Gözlem Raporu

### Arazi Çalışmaları Gözlem Raporu

#### I. GENEL BİLGİLER

Bina Niteleyici adı

Binanın Yapım Yılı:

Binanın adresi - İli/Belediyesi:

Ada No:

Parsel No:

#### II. MEVCUT TAŞIYICI SİSTEM BİLGİLERİ

Bina boyutları

(yaklaşık)(m)

Kat adedi

Ortalama kat

yüksekliği (m)

Taşıyıcı sistem tipi

(çerçeve, perde,

perde+çerçeve )

Döşeme sistemi

(kirişli, nervürlü,

kaset, mantar,

asmolen )

Temel Sistemi

(tekil,

mütemadi,

radye, kazıklı)

**Ek A1.5:-Bütün YEK Gösterimi**

| <b>KOD</b> | <b>Yapı Tipi</b>                            | <b>Kat Adeti</b> | <b>Yapım Yılı</b> |
|------------|---------------------------------------------|------------------|-------------------|
| W14        | Ahşap Çerçeve                               | 1                | 2007 Sonrası      |
| W24        | Ahşap Ticari                                | 2                | 2007 Sonrası      |
| S1L4       | Çelik Moment Çerçeve                        | 1-3              | 2007 Sonrası      |
| S1M4       |                                             | 4-7              | 2007 Sonrası      |
| S1H4       |                                             | 8+               | 2007 Sonrası      |
| S2L4       | Çelik Çaprazlı Çerçeve                      | 1-3              | 2007 Sonrası      |
| S2M4       |                                             | 4-7              | 2007 Sonrası      |
| S2H4       |                                             | 8+               | 2007 Sonrası      |
| S34        | Çelik Hafif Çerçeve                         | 8+               | 2007 Sonrası      |
| S4L4       | Yerinde Dökme Perde Duvar ile Çelik Çerçeve | 1-3              | 2007 Sonrası      |
| S4M4       |                                             | 4-7              | 2007 Sonrası      |
| S4H4       |                                             | 8+               | 2007 Sonrası      |
| S5L4       | Yığma Duvar ile Çelik Çerçeve               | 1-3              | 2007 Sonrası      |
| S5M4       |                                             | 4-7              | 2007 Sonrası      |
| S5H4       |                                             | 8+               | 2007 Sonrası      |
| C1L4       | Betonarme Moment Çerçeve                    | 1-3              | 2007 Sonrası      |
| C1M4       |                                             | 4-7              | 2007 Sonrası      |
| C1H4       |                                             | 8+               | 2007 Sonrası      |
| C2L4       | Betonarme Perde Duvar                       | 1-3              | 2007 Sonrası      |
| C2M4       |                                             | 4-7              | 2007 Sonrası      |
| C2H4       |                                             | 8+               | 2007 Sonrası      |
| C3L4       | Yığma Duvar ile Betonarme Çerçeve           | 1-3              | 2007 Sonrası      |
| C3M4       |                                             | 4-7              | 2007 Sonrası      |
| C3H4       |                                             | 8+               | 2007 Sonrası      |

|           |                                                              |     |              |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-----|--------------|
|           |                                                              |     |              |
| PC14      | Prekast Betonarme Duvar                                      | 1   | 2007 Sonrası |
| PC2L4     | Prekast Betonarme Çerçeve ile<br>Betonarme Perde Duvar       | 1-3 | 2007 Sonrası |
| PC2M4     |                                                              | 4-7 | 2007 Sonrası |
| PC2H4     |                                                              | 8+  | 2007 Sonrası |
| RM1L4     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ve Metal<br>Diyafram              | 1-3 | 2007 Sonrası |
| RM1M4     |                                                              | 4-7 | 2007 Sonrası |
| RM2L4     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ile<br>Prekast Betonarme Diyafram | 1-3 | 2007 Sonrası |
| RM2M4     |                                                              | 4-7 | 2007 Sonrası |
| RM2H4     |                                                              | 8+  | 2007 Sonrası |
| URML4     | Yığma Bina                                                   | 1-2 | 2007 Sonrası |
| URMM<br>4 |                                                              | 3+  | 2007 Sonrası |
| MH4       | Mobil Evler                                                  | 1   | 2007 Sonrası |
| W13       | Ahşap Çerçeve                                                | 1   | 2000-2007    |
| W23       | Ahşap Ticari                                                 | 2   | 2000-2007    |
| S1L3      | Çelik Moment Çerçeve                                         | 1-3 | 2000-2007    |
| S1M3      |                                                              | 4-7 | 2000-2007    |
| S1H3      |                                                              | 8+  | 2000-2007    |
| S2L3      | Çelik Çaprazlı Çerçeve                                       | 1-3 | 2000-2007    |
| S2M3      |                                                              | 4-7 | 2000-2007    |
| S2H3      |                                                              | 8+  | 2000-2007    |
| S33       | Çelik Hafif Çerçeve                                          | 8+  | 2000-2007    |
| S4L3      | Yerinde Dökme Perde Duvar ile Çelik<br>Çerçeve               | 1-3 | 2000-2007    |
| S4M3      |                                                              | 4-7 | 2000-2007    |
| S4H3      |                                                              | 8+  | 2000-2007    |

|           |                                                              |     |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-----|-----------|
| S5L3      | Yığma Duvar ile Çelik Çerçeve                                | 1-3 | 2000-2007 |
| S5M3      |                                                              | 4-7 | 2000-2007 |
| S5H3      |                                                              | 8+  | 2000-2007 |
| C1L3      | Betonarme Moment Çerçeve                                     | 1-3 | 2000-2007 |
| C1M3      |                                                              | 4-7 | 2000-2007 |
| C1H3      |                                                              | 8+  | 2000-2007 |
| C2L3      | Betonarme Perde Duvar                                        | 1-3 | 2000-2007 |
| C2M3      |                                                              | 4-7 | 2000-2007 |
| C2H3      |                                                              | 8+  | 2000-2007 |
| C3L3      | Yığma Duvar ile Betonarme Çerçeve                            | 1-3 | 2000-2007 |
| C3M3      |                                                              | 4-7 | 2000-2007 |
| C3H3      |                                                              | 8+  | 2000-2007 |
| PC13      | Prekast Betonarme Duvar                                      | 1   | 2000-2007 |
| PC2L3     | Prekast Betonarme Çerçeve ile<br>Betonarme Perde Duvar       | 1-3 | 2000-2007 |
| PC2M3     |                                                              | 4-7 | 2000-2007 |
| PC2H3     |                                                              | 8+  | 2000-2007 |
| RM1L3     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ve Metal<br>Diyafram              | 1-3 | 2000-2007 |
| RM1M3     |                                                              | 4-7 | 2000-2007 |
| RM2L3     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ile<br>Prekast Betonarme Diyafram | 1-3 | 2000-2007 |
| RM2M3     |                                                              | 4-7 | 2000-2007 |
| RM2H3     |                                                              | 8+  | 2000-2007 |
| URML3     | Yığma Bina                                                   | 1-2 | 2000-2007 |
| URMM<br>3 |                                                              | 3+  | 2000-2007 |
| MH3       | Mobil Evler                                                  | 1   | 2000-2007 |
| W12       | Ahşap Çerçeve                                                | 1   | 1980-2000 |

|       |                                             |     |           |
|-------|---------------------------------------------|-----|-----------|
| W22   | Ahşap Ticari                                | 2   | 1980-2000 |
| S1L2  | Çelik Moment Çerçeve                        | 1-3 | 1980-2000 |
| S1M2  |                                             | 4-7 | 1980-2000 |
| S1H2  |                                             | 8+  | 1980-2000 |
| S2L2  | Çelik Çaprazlı Çerçeve                      | 1-3 | 1980-2000 |
| S2M2  |                                             | 4-7 | 1980-2000 |
| S2H2  |                                             | 8+  | 1980-2000 |
| S32   | Çelik Hafif Çerçeve                         | 8+  | 1980-2000 |
| S4L2  | Yerinde Dökme Perde Duvar ile Çelik Çerçeve | 1-3 | 1980-2000 |
| S4M2  |                                             | 4-7 | 1980-2000 |
| S4H2  |                                             | 8+  | 1980-2000 |
| S5L2  | Yığma Duvar ile Çelik Çerçeve               | 1-3 | 1980-2000 |
| S5M2  |                                             | 4-7 | 1980-2000 |
| S5H2  |                                             | 8+  | 1980-2000 |
| C1L2  | Betonarme Moment Çerçeve                    | 1-3 | 1980-2000 |
| C1M2  |                                             | 4-7 | 1980-2000 |
| C1H2  |                                             | 8+  | 1980-2000 |
| C2L2  | Betonarme Perde Duvar                       | 1-3 | 1980-2000 |
| C2M2  |                                             | 4-7 | 1980-2000 |
| C2H2  |                                             | 8+  | 1980-2000 |
| C3L2  | Yığma Duvar ile Betonarme Çerçeve           | 1-3 | 1980-2000 |
| C3M2  |                                             | 4-7 | 1980-2000 |
| C3H2  |                                             | 8+  | 1980-2000 |
| PC12  | Prekast Betonarme Duvar                     | 1   | 1980-2000 |
| PC2L2 | Prekast Betonarme Çerçeve ile Betonarme     | 1-3 | 1980-2000 |
| PC2M2 |                                             | 4-7 | 1980-2000 |

|           |                                                              |     |             |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-----|-------------|
| PC2H2     | Perde Duvar                                                  | 8+  | 1980-2000   |
| RM1L2     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ve Metal<br>Diyafram              | 1-3 | 1980-2000   |
| RM1M2     |                                                              | 4-7 | 1980-2000   |
| RM2L2     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ile<br>Prekast Betonarme Diyafram | 1-3 | 1980-2000   |
| RM2M2     |                                                              | 4-7 | 1980-2000   |
| RM2H2     |                                                              | 8+  | 1980-2000   |
| URML2     | Yığma Bina                                                   | 1-2 | 1980-2000   |
| URMM<br>2 |                                                              | 3+  | 1980-2000   |
| MH2       | Mobil Evler                                                  | 1   | 1980-2000   |
| W11       | Ahşap Çerçeve                                                | 1   | 1980 öncesi |
| W21       | Ahşap Ticari                                                 | 2   | 1980 öncesi |
| S1L1      | Çelik Moment Çerçeve                                         | 1-3 | 1980 öncesi |
| S1M1      |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| S1H1      |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| S2L1      | Çelik Çaprazlı Çerçeve                                       | 1-3 | 1980 öncesi |
| S2M1      |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| S2H1      |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| S31       | Çelik Hafif Çerçeve                                          | 8+  | 1980 öncesi |
| S4L1      | Yerinde Dökme Perde Duvar ile Çelik<br>Çerçeve               | 1-3 | 1980 öncesi |
| S4M1      |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| S4H1      |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| S5L1      | Yığma Duvar ile Çelik Çerçeve                                | 1-3 | 1980 öncesi |
| S5M1      |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| S5H1      |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| C1L1      | Betonarme Moment Çerçeve                                     | 1-3 | 1980 öncesi |

|           |                                                              |     |             |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-----|-------------|
| C1M1      |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| C1H1      |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| C2L1      | Betonarme Perde Duvar                                        | 1-3 | 1980 öncesi |
| C2M1      |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| C2H1      |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| C3L1      | Yığma Duvar ile Betonarme Çerçeve                            | 1-3 | 1980 öncesi |
| C3M1      |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| C3H1      |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| PC11      | Prekast Betonarme Duvar                                      | 1   | 1980 öncesi |
| PC2L1     | Prekast Betonarme Çerçeve ile<br>Betonarme<br>Perde Duvar    | 1-3 | 1980 öncesi |
| PC2M1     |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| PC2H1     |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| RM1L1     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ve Metal<br>Diyafram              | 1-3 | 1980 öncesi |
| RM1M1     |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| RM2L1     | Donatılı Yığma Duvar Ahşap ile<br>Prekast Betonarme Diyafram | 1-3 | 1980 öncesi |
| RM2M1     |                                                              | 4-7 | 1980 öncesi |
| RM2H1     |                                                              | 8+  | 1980 öncesi |
| URML1     | Yığma Bina                                                   | 1-2 | 1980 öncesi |
| URMM<br>1 |                                                              | 3+  | 1980 öncesi |
| MH1       | Mobil Evler                                                  | 1   | 1980 öncesi |