



Project funded by  
EUROPEAN UNION



# The REDACt project Educational Hub

## Earthquake Damage to Structures and Infrastructure

**Deliverable No: D.T3.5.1e (TR)**

GA T3 Implementation of REDA system (pilot studies)

**Created by:**  
The International Hellenic University (TEICM/IHU)

### **CONTRIBUTING PARTNERS:**

- Institute of Engineering Seismology & Earthquake Engineering - Research Unit of Earthquake Planning & Protection Organization (ITSAK-EPPO)
  - Democritus University of Thrace (DUTH)
    - Gebze Technical University (GTU)
    - Ovidius University of Constanta (OUC)
- Institute of Geology and Seismology Moldova (IGS/MSU)

**PROJECT DETAILS:**

<b>Programme</b>	Black Sea Joint Operational Programme 2014-20
<b>Priority and Measure</b>	2. Promote coordination of environmental protection and joint reduction of marine litter in the Black Sea Basin
<b>Objective</b>	2.1 Improve joint environmental Monitoring
<b>Project Title</b>	Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium
<b>Project Acronym</b>	REDACt
<b>Contract No</b>	BSB-966
<b>Lead Partner</b>	The Legal Successor in rights and Duties of TEICM_SARF, IHU SARF, GREECE
<b>Total Budget</b>	974.860,00 Euro (€)
<b>Time Frame: Start Date - End Date</b>	01/07/2020 - 30/06/2023
<b>Project Coordinator</b>	Papatheodorou K. (IHU-TEICM)

**DELIVERABLE CONTRIBUTORS:**

Papatheodorou K. (TEICM), Kirtas E. (TEICM), Panagopoulos G. (TEICM), Theodoulidis N. (ITS AK-EPPO), Margaris B. (ITS AK-EPPO), Karakostas Ch. (ITS AK-EPPO), Papanikolaou V. (ITS AK-EPPO), Klimis N. (DUTH), Zulfikar C. (GTU), Osman K. (GTU), Ali Y. (GTU), Wilfrid D. (GTU), Toma-Danila D. (OUC), Vintila D. (OUC), Cardanet V. (IGS/MSU)

**Stakeholders:** BSB JOP 2014-20 eligible area

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	2 of 19

## RECORD OF REVISIONS

Issue/Rev	Date	Page(s)	Description of Change	Release
1	30.06.2023	17	First version	draft
2	31.07.2023	19	Final Version	v1.0

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	3 of 19

DOCUMENT RELEASE SHEET

Responsible Partner: International Hellenic University		
Approval	Emmanouil Kirtas	Signature  31.07.2023
Approval	Nikolaos Theodoulidis	Signature  31.07.2023
Approval	Nikolaos Klimis	Signature  31.07.2023
Approval	Can Zulfikar	Signature  31.07.2023
Approval	Dragos Vintila	Signature  31.07.2023
Approval	Vladlen Cardanet	Signature  31.07.2023
Approved by the Project Coordinator:	Konstantinos Papatheodorou	Signature  31.07.2023
Distribution:	ALL PARTNERS	

## İÇİNDEKİLER

<b>1. ÖNSÖZ</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1. AMAÇ VE KAPSAM</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1. İLGİLİ DUKÜMANLAR</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1.1. GİRDİLER</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1.2. ÇIKTILAR</b> .....	<b>7</b>
<b>2. DEPREM YER HAREKETİ VE ALTYAPI VE ÜSTYAPILARIN PERFORMANSI</b> .....	<b>8</b>
<b>3. ALTYAPILARIN VE ÜSTYAPILARIN SİSMİK TASARIMI</b> .....	<b>9</b>
<b>4. MEVCUT BİNALARIN VE ALTYAPILARIN DEPREM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ</b> .....	<b>10</b>
<b>5. BİNA TÜRÜ YAPILARDA DEPREM HASARLARI</b> .....	<b>12</b>
<b>6. ALTYAPILARDA DEPREM HASARI</b> .....	<b>16</b>
<b>7. REFERENCES</b> .....	<b>18</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>ŞEKİL 1. BİR DEPREME AİT İVME KAYDI (İVME-ZAMAN GEÇMİŞİ)</b> .....	<b>8</b>
<b>ŞEKİL 2. DEPREM ESNASINDA ALTYAPI VE ÜSTYAPIDA (A) ZEMİN DEFORMASYONU KAYNAKLI OLUŞAN ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER (B) YAPI ATALETİ KAYNAKLI OLUŞAN ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER</b> .....	<b>9</b>
<b>ŞEKİL 3. PERFORMANS SEVİYELERİNİN ŞEKİSEL OLARAK GÖSTERİMİ (FEMA 389, 2004).</b> .....	<b>10</b>
<b>ŞEKİL 4. BİNALAR İÇİN TİPİK KIRILGANLIK EĞRİLERİ (HAZUS-MH MR5, 2010)</b> .....	<b>11</b>
<b>ŞEKİL 5. AYNI DEPREM ETKİSİ ALTINDA FARKLI YÜKSEKLİKTEKİ BİNALARIN DAVRANIŞI (THEODOULİDİS, 2023).</b> .....	<b>13</b>
<b>ŞEKİL 6. (A) 3 KATLI BETONARME BİR BİNANIN YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ SONRASI GÖÇMESİ (ATİNA, 1999) (B) YALNIZCA BİR KÖŞESİNDE BETONARME PERDE DUVARLARI BULUNAN VE BURULMA RİJİTLİĞİ YETERSİZ BİR BİNANIN GÖÇMESİ (ATİNA, 1999) (C, D) YIĞMA BİNALARDAKİ DEPREM HASARI (THESSALY, 2022) (SARHOSİS ET AL., 2022), (E, F) YETERSİZ RİJİTLİĞE SAHİP ÇELİK YAPILARDA YENİLME (KATSUMİ KASAHARA/ASSOCIATED PRESS, MICHAEL ENGELHARDT)</b> .....	<b>14</b>
<b>FIGURE 7. (A) ASMA TAVAN UYGULAMASINDA DEPREM SIRASINDA HASAR OLUŞUMU (FERNER ET AL., 2014), (B) KÜTÜPHANEDE DEVRİLEN RAFLAR (NISEE-PEER), (C) BİR HASTANENİN DIŞ CEPHESİNDEKİ TABELANIN YIKILMASI, 1994, NORTHRIDGE DEPREMİ, USA (ROBERT REİTHERMAN), (D) YUNANİSTAN'IN OLYMPIA ARKEOLOJİ MÜZESİ'NDE PRAXİTELES'İN HERMES HEYKELİ. ÖNEMLİ TARİHİ ESERLERİN KORUNMASI İÇİN SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİNİN KURULUMU (MICHAEL CONSTANTİNOU).</b> .....	<b>15</b>

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>	Internal - Partners		
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	5 of 19

FIGURE 8. (A) ZEMİN SIVILAŞMASI KAYNAKLI BİNA ÇÖKMESİ, NİİGATA, 1994 JAPONYA DEPREMİ (JOSEPH PENZIEN), (B) BETONARME BİR BİNA TEMELİNDE FARKLI OTURMA, TÜRKİYE, 1999 KOCAELİ DEPREMİ 16

FIGURE 9. (A) DOĞAL GAZ SİSTEMİNDE MEYDANA GELEN HASAR (LOMA PRIETA DEPREMİ, 1998, USA) (BOB PEPPING/CONTRA COSTA TIMES) (B) DEMİRYOLU HATTINDA MEYDANA GELEN HASAR (KAHRAMANMARAŞ DEPREMİ, 2023, TÜRKİYE) (AP/FRANCİSCO SECO), (C) İÇMESUYU HATTINDA HASAR, TOHOKU DEPREMİ, 2011 JAPONYA (MİYAJİMA, 2012), (D) LİMAN YAPISINDA HASAR, KOBE DEPREMİ, 1995, JAPONYA (KAREN KASMAUSKİ), (E) KARAYOLUNDA MEYDANA GELEN HASAR, KEFALONİA DEPREMİ, 2014, YUNANİSTAN (ITSAK), (F) KÖPRÜ ÇÖKMESİ, LOMA PRIETA DEPREMİ, 1989, USA (USGS) 18

### TABLULAR LİSTESİ

TABLO 1. BU DOKÜMANA GİRDİ GÖREVİ GÖREN ÖNCEKİ ÇIKTILARIN LİSTESİ	7
TABLO 2. BU DOKÜMANIN GİRDİ OLDUĞU DİĞER ÇIKTILARIN LİSTESİ	7

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	6 of 19

## 1. ÖNSÖZ

### 1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Deprem yol açtığı krizler, tüm yapısal bileşenleri de dahil olmak üzere tüm toplumu harekete geçirir. Hem olay sırasında hem de sonrasında müdahale eylemlerinin dinamiklerini ve ilerleyişini güçlü bir şekilde etkileyen hizmetlerin operasyonel kapasitesini, müdahale verimliliğini ve nüfusun tepkisini test ederler.

Toplumun depremlere karşı gösterdiği davranış, iletişim seviyesi, riskleri anlama ve yanıt verebilme yetisi ve eğitimi ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Hazırlanan bu çıktı dokümanının kapsamı, REDACt Eğitim Merkezi'nin içeriği ve verilen kısa eğitimlerle birleştirilen basit rehberler sağlamak ve bu şekilde vatandaşların Devlet tarafından belirtilen kurallara uygun olarak kendi acil durum planlarını geliştirmelerine destek olmaktır. Bu belge, REDACt Eğitim Merkezi (Edu-Hub) projesinin bir parçasıdır. Ulusal ve Bölgesel düzeyde yetkili kurumlar tarafından yayınlanan ilgili kaynaklardan yararlanılmış ve proje sürecinde gerçekleştirilen araştırmalara ve uluslararası tanınmış ve geniş kabul görmüş prensiplere göre hazırlanmıştır.

International Hellenic Üniversitesinin yöneticiliğinde yürütülen çalışmalara ortak taraflar da veri, bilgi ve çevirilerle katkıda bulunmuşlardır.

### 1.1. İLGİLİ DUKÜMANLAR

#### 1.1.1. GİRDİLER

Tablo 1. Bu dokümana girdi görevi gören önceki çıktıların listesi

Doküman No	Açıklama
D.T.3.5.1	REDACt Projesi Eğitim Merkezi

#### 1.1.2. ÇIKTILAR

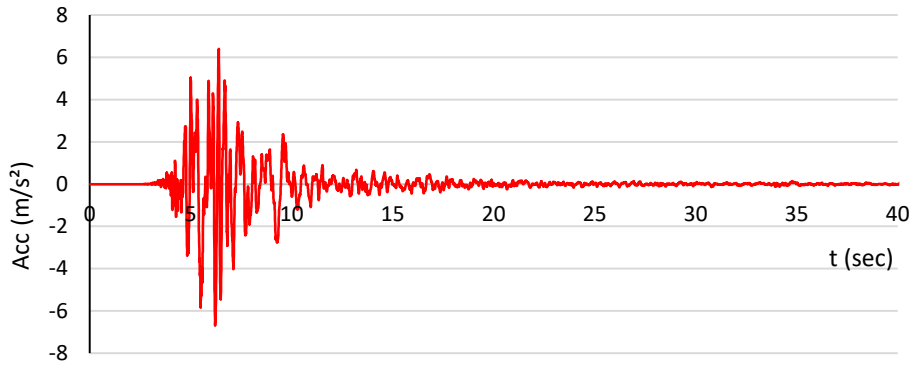
Tablo 2. Bu dokümanın girdi olduğu diğer çıktıların listesi

Doküman No	Açıklama
D.T3.1.	

## 2. DEPREM YER HAREKETİ VE ALTYAPI VE ÜSTYAPILARIN PERFORMANSI

Güçlü ve büyük bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar zemin ortamında yayılarak yüzeye ulaşır ve yoğun bir yer hareketine neden olur. Zemin yüzeyinin her bir noktasında, zaman bağlı olarak değişen sismik hareket, hız (m/s) veya ivme ( $m/s^2$  , genellikle yerçekimi ivmesinin (g) yüzdesi olarak ifade edilir) olarak kaydedilebilir. İlgili dinamik yer değiştirmeler elde edilen bu kayıtlar kullanılarak matematiksel (integral) bağıntılar ile dolaylı olarak hesaplanabilir.

Sismik kayıtlar ile elde edilmiş böyle bir titreşim kaydının örnek olarak görüntüsü Şekil 1'de verilmiş olup, burada serbest zemin yüzündeki ivmenin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1. Bir depreme ait ivme kaydı (ivme-zaman geçmişi)

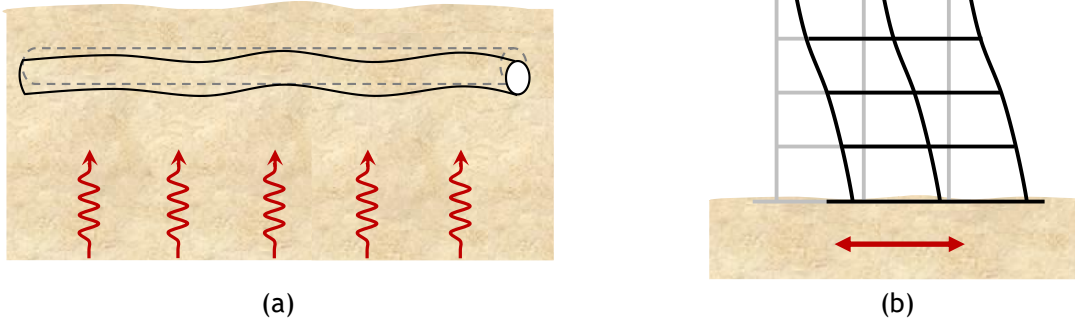
Bir deprem meydana geldiğinde fayın daha geniş bir alanında kaydedilen sismik hareketin mekânsal olarak dağılımı, 'From Earthquake Focus to induced Damage"' başlıklı eğitimde açıklanmaktadır.

Yoğun ve dinamik olarak değişen yer hareketi, aşağıda tanımlı maddelerle ilgili olarak üstyapılarda ve altyapılarda deformasyonlara ve gerilmelerin oluşmasına neden olur:

- büyük ve güçlü bir depremin meydana gelmesi ile birlikte, deprem anında zemin ortamında oluşan deformasyonlar altyapı ve yer altı yapılarında veya bunların zemin ile temas eden bölümlerinde deformasyonlar veya kalıcı zemin deformasyonları oluşabilir (Şekil 2a).
- yapıların ataletinden kaynaklı olarak dinamik etki sonucunda üstyapıda oluşan atalet kuvvetleri ilave deformasyon ve gerilme oluşturur. (Şekil 2b).

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>	<b>Internal - Partners</b>		
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	8 of 19





Şekil 2. Deprem esnasında altyapı ve üstyapıda (a) zemin deformasyonu kaynaklı oluşan şekil değiştirmeler (b) yapı ataleti kaynaklı oluşan şekil değiştirmeler

### 3. ALTYAPILARIN VE ÜSTYAPILARIN SİSMİK TASARIMI

Üstyapıların ve altyapıların tasarımı, teknik-ekonomik bir yaklaşımı takip ederek projenin gerekli güvenlik kriterlerini ek finansal harcamalar olmadan makul bir maliyetle sağlamayı amaçlamaktadır.

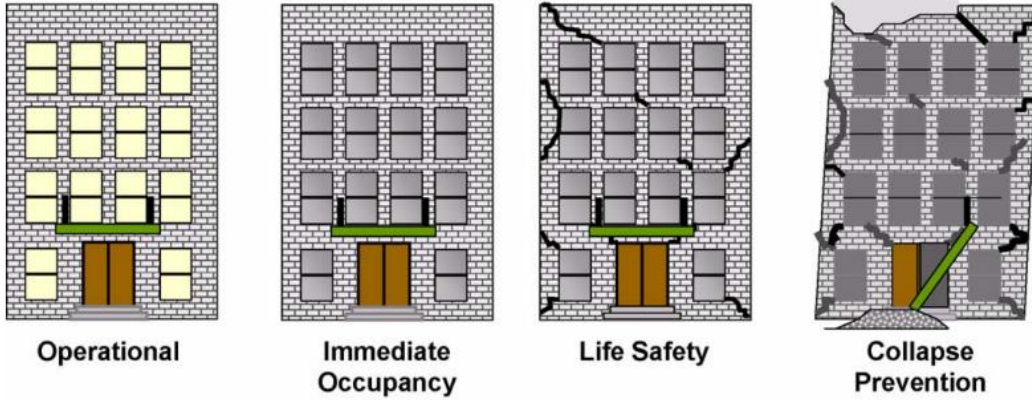
Sonuç olarak, amaç her düzeydeki dış yüke dayanabilecek bir proje inşa etmek değildir, zira doğal veya insan yapımı bir olayın neden olduğu maksimum düşünülen yükün aşılabileceğinin her zaman olasılığı bulunmaktadır. Projenin tasarımı nihayetinde toptan göçme nedeniyle can kaybını önlemeyi amaçlamakla birlikte meydana gelen birçok şiddetli depremde olduğu gibi beklenen olası depremlerin aşılması durumunda bazı güvenlik tedbirlerini de içerir.

Bu nedenle üstyapıların ve altyapıların depreme dayanıklı tasarımına ilişkin modern bakış açısına göre; ilgili yapıların performansıyla yani deprem esnasında sergileyecekleri davranışla ve belirli sismik yük seviyeleri için kabul edilebilir hasar seviyesiyle doğrudan ilgilidir. Günümüzde, bir yapıdan herhangi bir deprem sonrasında beklenen hasar durumu için Şekil 3'te verilen performans seviyeleri uluslararası alanda kabul görmüştür.

(HAZUS-MH MR5, 2010, FEMA 389, 2004):

- Kesintisiz kullanım (O): hasarsız veya çok az hasar
- Hemen kullanım (IO): yapısal olmayan elemanlarda sınırlı hasar
- Can güvenliği (LS): yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda önemli hasar
- Göçme öncesi (CP): onarım ve güçlendirmenin pratik açıdan çözüm olmayacağı ileri düzeyde hasar

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>	<b>Internal - Partners</b>		
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	9 of 19



Şekil 3. Performans seviyelerinin şekilsel olarak gösterimi (FEMA 389, 2004).

Konut, ofis vb. tipteki yapılar için Yunanistan'da Eurocode 8 ve EAK2000, Türkiye'de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) vb. gibi modern deprem yönetmeliklerinin gereksinimleri yapıların ekonomik ömrü boyunca (50 yıl) minimum kabul edilebilir tepkiyi dikkate almaktadır. Birçok bina türü için nispeten sık görülen depremlerde (tekrarlanma periyodu 72 yıl olan veya 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremler) hemen kullanım performans seviyesi öngörülür iken, nadir görülen depremler için (tekrarlanma periyodu 475 yıl olan veya 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler) ise can güvenliği performans seviyesini beklenmektedir. Dolayısıyla deprem etkisinin seviyesine bağlı olarak istenilen davranışta farklılık olduğu görülmektedir.

Her üstyapı veya altyapı projesi türü için, yapıların doğasına ve önem derecesine bağlı olarak potansiyel farklılıklar içeren benzer hükümler bulunmaktadır. Örneğin, önem derecesi yüksek projelerde (hastaneler, otoyollar, kritik altyapılar, vb.), beklenen teorik ekonomik ömür 50 yıldan 100 yıla çıkmaktadır. Çok daha kritik yapılar için (geniş açıklıklı köprüler, nükleer güç santralleri, vb.) daha katı kurallar geçerlidir.

#### 4. MEVCUT BİNALARIN VE ALTYAPILARIN DEPREM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mevcut binalarda ve altyapılarda deprem yükleri, daha önceki bölümde bahsedilen performans seviyelerine benzer şekilde az hasardan kısmi veya göçme durumuna kadar geniş bir aralıkta değişebilen hasar durumlarının oluşmasına neden olabilir.

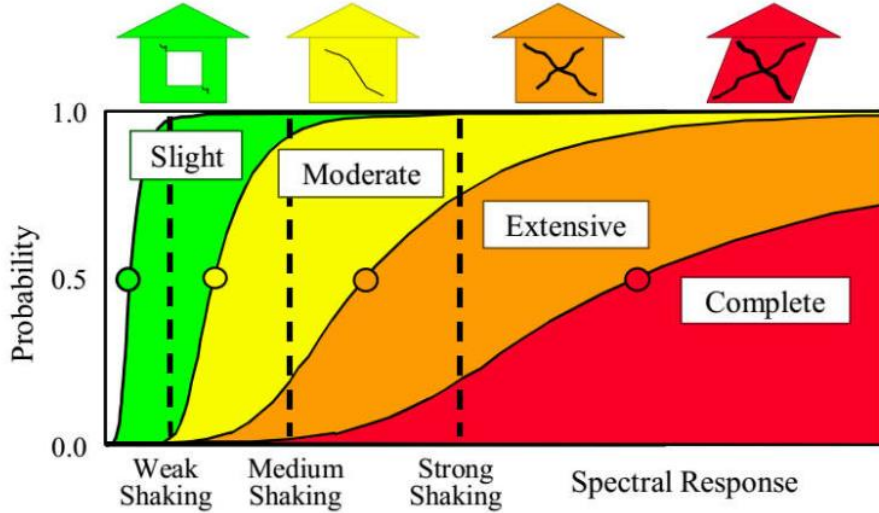
Mevcut bir yapının deprem performansının değerlendirilmesi ve beklenen davranışının tahmini genellikle aşağıda açıklanan yöntemlerden biriyle yapılır:

- Her bir yapının sismik davranışı ile doğrudan ilgili olan kendine özgü özelliklerinin (malzeme özellikleri, kat sayısı, yaşı vb.) değerlendirilmesi sonrasında, derecelendirme yöntemlerinin kullanılması.

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		Internal - Partners	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	10 of 19

b) belirli bir şiddet ölçüsü seviyesinde yapıda beklenen hasarın derecesini tahmin etmek için olasılıksal yaklaşımların (kırılgnalık eğrileri) uygulanması ve uygun hasar durumlarının belirlenmesi

Bilim camiası açısından son yıllarda özellikle ikinci yaklaşım önemli bir kabul görmüştür. Metodolojinin genel özellikleri, belirli farklılıklar ile birlikte binalar ve altyapılar için ortaktır. Bina türü yapılar için tipik bir kırılgnalık eğrisi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Binalar için tipik kırılgnalık eğrileri (HAZUS-MH MR5, 2010)

Deprem şiddetinin ölçüsünün değeri (makrosismik şiddet, ivme, yer değiştirme, vb.) göz önüne alındığında kırılgnalık eğrileri, yapının deprem sırasında belirli bir hasar seviyesi (az, orta, ağır ve toptan göçme) eğiğini aşma olasılığını tahmin eder. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kırılgnalık eğrilerinin genellikle belirli bir yapı/altyapı (bina, köprü, vb.) ile ilgili olmasıdır. Kent merkezleri gibi daha geniş bir alan çalışıldığında, kırılgnalık eğrileri genellikle belirli özelliklere sahip yapı gruplarını (modern yönetmeliklere göre tasarlanmış, orta yükseklikte, betonarme binalar vb.) ifade eder.

Yukarıda bahsedilen yaklaşımlara dayanarak, binalar ve altyapılar için deprem riski çalışmalarının geliştirilmesi mümkün hale gelmiştir. Burada amaç, kamu otoritesine beklenen kayıplar ile ilgili genel bir görüntü vermek ve olası büyük bir depremin sonuçlarını hafifletmek amacıyla deprem öncesi ve sonrası alınması gereken eylemlerin daha etkili bir şekilde önceliklendirilmesi ve organize edilmesi için gerekli verileri sağlamaktır.

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		Internal - Partners	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	11 of 19

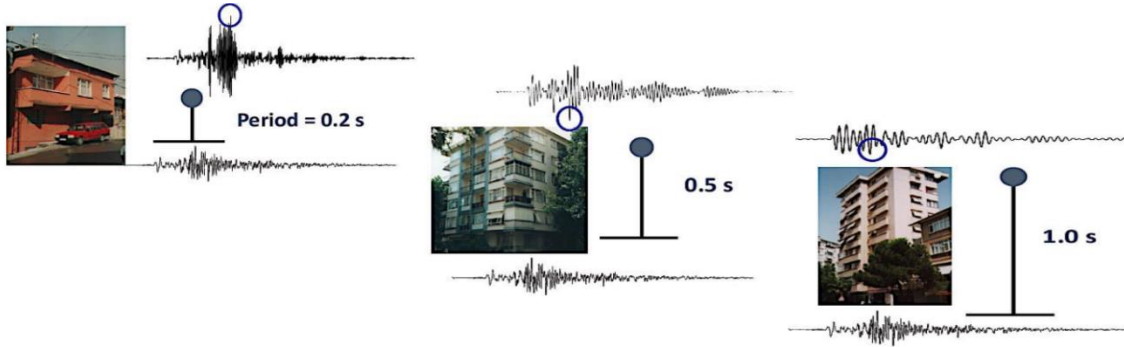
## 5. BİNA TÜRÜ YAPILARDA DEPREM HASARLARI

Büyük bir deprem anında binalarda meydana gelebilecek hasarlar, can ve mal güvenliğini doğrudan ilgilendirdiği için insanları en çok endişelendiren husustur.

Mevcut yapı stoku, deprem davranışları ve olası hasar biçimleri ile ilişkili farklı özelliklere sahip çeşitli tiplerdeki binalardan oluşmaktadır. Bu özelliklerin en temel olanları aşağıda şekilde özetlenebilir:

- Yapı **malzemesi**. Son yıllarda betonarme, Karadeniz ülkelerinin kentsel bölgelerinde baskın bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Bununla birlikte, bazı durumlarda (endüstriyel binalar, yüksek yapılar, vb.) çelik yapılarda sıkça tercih edilmektedir. Ayrıca, özellikle kırsal bölgelerde, hali hazırda önemli oranda yığma türü (taş duvarlı, tuğla duvarlı, vb.) eski yapı bulunmaktadır. Ek olarak, ahşap, kompozit yapılar, prefabrik binalar gibi diğer malzemelerden yapılmış binalar da küçük bir yüzde olmakla birlikte varlık göstermektedir.
- Binaların **yaşı**, tasarım **yönetmeliklerinin düzenleyici hükümleri** ile doğrudan ilişkilidir (inşaat sırasında geçerli deprem yönetmeliği). Sürekli olarak gelişen deprem yönetmelikleri, büyük depremler sonrasında gözlemlenen hasarların dağılımında belirleyici sonuçlar ortaya koymuş ve özellikle görece olarak eski yapıların hasar görebilirliğinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Modern deprem yönetmeliklerinde, binaların göçmeden önemli miktarda kalıcı deformasyon (hasar) yapabilme yeteneği (yüksek süneklik) ile ilgili konulara özel olarak önem verilmektedir.
- Güneydoğu Avrupa'da 20. yüzyılın ortalarından önce inşa edilen binalar deprem etkilerine karşı tasarlanmazken modern deprem yönetmeliklere (Eurocode 8) benzer düzenlemelerin ortaya çıkışı 1990'lı yılları bulmuştur.
- Yapıların **yüksekliği**, dinamik davranışı önemli ölçüde etkiler. Dolayısıyla, bir yapının dinamik özellikleri ile yer titreşimlerinin frekans içeriği arasındaki etkileşim, bazı depremlerin, alçak binaların aksine, yüksek binalar için rezonans nedeniyle önemli ölçüde daha ciddi tehditler oluşturmasına neden olabilir. Farklı depremler için tam tersi durum da ortaya çıkabilir (Şekil 5).

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	12 of 19



Şekil 5. Aynı deprem etkisi altında farklı yükseklikteki binaların davranışı (Theodoulidis, 2023).

- Planda ve/veya düşeyde **düzensizlik**. Bir binanın yapısal özelliklerindeki yoğun değişiklikler, yapının bazı bölgelerinde hasarların yoğunlaşmasına neden olabilir bu da yerel yenilmelere hatta toptan göçmeye yol açabilir.  
Çok katlı çerçeve binalardaki tipik bir yumuşak/zayıf kat mekanizması, bir katta (genellikle zemin kat) dolgu duvarların olmaması (genellikle otopark alanları veya büyük cephe pencereci dükkanlar oluşturmak için) ve kat yüksekliğinin farklı olması sonucunda katın rijitliğinin önemli ölçüde azalmasıyla ortaya çıkar. Sonuç olarak, bu katta diğer katlara göre önemli ölçüde daha fazla görece kat ötelemeleri meydana gelir (Şekil 6a).  
Planda kütle ve rijitlikteki ani değişiklikler, bazı binalarda yetersiz burulma rijitliği (Şekil 6b) gibi düzensizliğin diğer biçimleri ile ilişkilendirilebilir.
- Yapı malzemesine bağlı olarak **taşıyıcı sistemdeki ilave değişiklikler**, önemli ölçüde farklı deprem davranışına ve dolayısıyla hasar biçimlerine yol açabilir. Betonarme binalarda bu durum, betonarme perde duvarların sayısı, konumu ve şekli, yığma taşıyıcı binalarda diyaframların ve bölme duvarların varlığı ve türü (Şekil 6c,d) ve çelik binalarda yatay çaprazların yerleşimi (Şekil 6e,f) ile ilgili olabilir.

Bir yapıda deprem etkisi sonucu meydana gelen hasardan bahsederken, yapısal ve yapısal olmayan unsurlar arasında ayırım yapmak esastır. Bir binada deprem sırasında meydana gelebilecek öncelikli sorun, yapının taşıyıcı sisteminde hasarın oluşması ve ilerlemesidir. Bu, bina ağırlığı ve deprem kuvvetlerini taşımaktan sorumlu olan ve yapı tipine bağlı olarak değişkenlik gösteren taşıyıcı elemanlara bağlıdır. Betonarme yapılarıdaki kirişler, kolonlar ve perde duvarlar, çelik yapılarıdaki ilgili çelik taşıyıcı elemanlar ve yığma yapılarıdaki taşıyıcı duvarlar (taş veya tuğla duvar) örnek olarak gösterilebilir.

Özellikle yığma duvarların, yığma yapılarıda taşıyıcı sistemin elemanlarını oluşturduğunu ancak betonarme veya çelik yapılar içinde dolgu duvarlar (bölme duvarlar) olarak işlev gördüklerini ve aynı derecede önemli olmadığı unutulmamalıdır.

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	13 of 19



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 6. (a) 3 katlı betonarme bir binanın yumuşak kat düzensizliği sonrası göçmesi (Atina, 1999)  
(b) yalnızca bir köşesinde betonarme perde duvarları bulunan ve burulma rijitliği yetersiz bir binanın göçmesi (Atina, 1999) (c, d) yığma binalardaki deprem hasarı (Thessaly, 2022) (Sarhosis et al., 2022), (e, f) yetersiz rijitliğe sahip çelik yapılarda yenilme (Katsumi Kasahara/Associated Press, Michael Engelhardt)

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		Internal - Partners	
Issue: 1.0	Date: 31 July 2023	Page:	14 of 19

Ayrıca, deprem sırasında bina tipi yapılarda meydana gelen hasarlar sadece taşıyıcı sistem elemanları ile sınırlı kalmayıp bina içerisindeki eşya, araç-gereç vb. gibi kullanıma bağlı olarak değişen içerikle de ilgilidir. Bu tip hasarlar genellikle mobilyalarda, makinelerde, tesisatlarda (Şekil 7a, b) ve daha az önem değerine sahip çeşitli bileşenlerde (Şekil 7c) görünmektedir. Yapı taşıyıcı sistemi ciddi bir hasara uğramamış olsa bile, yapısal olmayan bu elemanların devrilmeleri ve/veya çökmeleri ciddi yaralanmalara veya can kayıplarına neden olabilir. Maddi bir değer biçilemeyen (kültürel mirası vb.) nesnelerin zarar görmemesi için uygun koruyucu önlemlerin uygulanması ve tedbirlerin alınması son derece önemlidir (Şekil 7d).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figure 7. (a) Asma tavan uygulamasında deprem sırasında hasar oluşumu (Ferner et al., 2014), (b) Kütüphanede devrilen raflar (NISEE-PEER), (c) Bir hastanenin dış cephesindeki tabelanın yıkılması, 1994, Northridge depremi, USA (Robert Reitherman), (d) Yunanistan'ın Olympia Arkeoloji Müzesi'nde Praxiteles'in Hermes Heykeli. Önemli tarihi eserlerin korunması için sismik izolasyon sisteminin kurulumu (Michael Constantinou).**

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: <b>31 July 2023</b>	Page:	<b>15 of 19</b>

Çoğu zaman depremlerden dolayı oluşan yapısal hasarlar, zeminin veya bina temelinin yenilmesi ile oluşmaktadır (Şekil 8). Temel sistemindeki meydana gelecek farklı oturmalar üst yapıda önemli hasara yol açabilirken, zemin sıvılaşması gibi daha kapsamlı olaylar yapının genel olarak yenilmesine neden olabilir.



(a)



(b)

**Figure 8. (a) Zemin sıvılaşması kaynaklı bina çökmesi, Niigata, 1994 Japonya depremi (Joseph Penzien), (b) Betonarme bir bina temelinde farklı oturma, Türkiye, 1999 Kocaeli depremi**

## 6. ALTYAPILARDA DEPREM HASARI

Altyapı kavramı, aşağıda tanımlanan temel kategorilere ait inşaat mühendisliği yapılarını içerir. (Pitilakis et al., 2014):

- Boru hatları: Su temini, kanalizasyon, doğalgaz, elektrik vb. her türlü ağı içerir. Doğal gaz tankları gibi bir şebekenin işletilmesiyle doğrudan ilişkili olan yapılar ilgili şebekeye dahil edilerek değerlendirilir.
- Karayolu ağı: Yollar, tüneller, köprüler, dolgular vb. sistemleri içerir.
- Demiryolu ağı: Demiryolu hatları, tüneller, köprüler, demiryolu hafriyatları vb. uygulamaları içerir.
- Liman tesisleri: Her türlü istinat duvarı, dolgu, ağır mekanik tesisatı (vinçler, tanklar vb.), bina (ofisler, depolar) vb. sistemleri içerir.

Çoğu durumda altyapılar, ulaşım sistemlerinde olduğu gibi yolların yanı sıra köprüler, tüneller ve dolgular gibi bir dizi farklı uygulamalardan oluşmaktadır. Bu nedenle her bir altyapı, içerdiği bileşenlerle doğrudan ilişkili olan farklı hasar ve yenilme mekanizmaları ortaya koyabilir. Benzer şekilde, her bir altyapı, işletmesini kesintiye uğratabilecek farklı kritik yapısal özelliklere sahiptir. Örneğin, doğal gaz boru hatlarında malzeme özellikleri, boru çapı ve bağlantı elemanları, deprem sırasında gelişen hasarın/yenilmenin seviyesini tahmin etmede önemli bir

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	16 of 19



rol oynar. Bir karayolu ağı söz konusu olduğunda ise, zemin davranışı (oturma, yanal yayılma, sıvılaşma) ön plana çıkmaktadır. Çünkü zeminde oluşabilecek bu farklı davranışlar, yol dolgularında çökmeye, kırılmaya veya diğer yenilme türlerine yol açabilir.

Özellikle doğal gaz boru hatları gibi çizgisel altyapı unsurları için kırılma eğrilerinin yaklaşımı farklılaşmaktadır. Bu eğriler bir binada olduğu gibi beklenen hasar seviyesinin aksine hattın birim uzunluğunda (genellikle km başına hesaplanır) meydana gelebilecek hasarların/yenilmelerin sayısını tanımlamaktadır.

Büyük depremler sonrasında altyapı sistemlerinde meydana gelmiş hasarlar, farklı altyapı türleri için Şekil 9'da verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	17 of 19



(e)



(f)

Figure 9. (a) Doğal gaz sisteminde meydana gelen hasar (Loma Prieta Depremi, 1998, USA) (Bob Pepping/Contra Costa Times) (b) Demiryolu hattında meydana gelen hasar (Kahramanmaraş depremi, 2023, Türkiye) (AP/Francisco Seco), (c) İçmesuyu hattında hasar, Tohoku Depremi, 2011 Japonya (Miyajima, 2012), (d) Liman yapısında hasar, Kobe depremi, 1995, Japonya (Karen Kasmauski), (e) Karayolunda meydana gelen hasar, Kefalonia depremi, 2014, Yunanistan (ITSAK), (f) Köprü çökmesi, Loma Prieta depremi, 1989, USA (USGS)

## 7. REFERENCES

European Committee for Standardization (CEN) (2004). EN 1998-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. Brussels.

Federal Emergency Management Agency (2004). FEMA 389 - Primer for Design Professionals: Communicating with Owners and Managers of New Buildings on Earthquake Risk, Risk Management Series.

Federal Emergency Management Agency. (2010). Hazus® -MH MR5 Technical Manual. U.S. Department of Homeland Security.

Ferner, H., Wemyss, M., Baird, A., Beer, A., Hunter, D., Seismic Performance of Non-Structural Elements Within Buildings. 2014 NZSEE Conference

Ministry of Environment Planning and Public Works, Greece (OASP) Organization for Earthquake Resistant Planning and Protection, Greek code for Seismic Resistant—EAK2000, 2000 and Enhanced in 2003

Pitilakis, K., Crowley, H., & Kaynia, A.M. (2014). SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk: Buildings, Lifelines, Transportation Networks and Critical Facilities. SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk.

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	18 of 19

Robert Reitherman, 2010, Nonstructural Earthquake Damage, adapted from the 2010 CUREE Calendar (check)

Sarhosis, V., Giarlelis, C., Karakostas, C. *et al.* Observations from the March 2021 Thessaly Earthquakes: an earthquake engineering perspective for masonry structures. *Bull Earthquake Eng* 20, 5483-5515 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01416-w>

Theodoulidis N. 2023, Rapid Earthquake Damage Assessment System (REDAS), presentation at the Stakeholders Seminar of the Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium (REDACT) project, in Thessaloniki

Turkish Building Seismic Code 2018, Prime Ministry, Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Ankara, 2018

Deliverable-No: <b>D.T3.5.1e_TR</b>		<b>Internal - Partners</b>	
Issue: <b>1.0</b>	Date: 31 July 2023	Page:	19 of 19