



Belkıs Elyiğit

Fırat University, belkiselyigit@hotmail.com, Elazığ-Türkiye

Cevdet Emin Ekinci

Fırat University, cee@firat.edu.tr, Elazığ-Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2023.18.2.1A0485	
ORCID ID	0000-0002-2556-1862	0000-0002-7114-4832
Corresponding Author	Belkıs Elyiğit	

BETONARME YAPILARDA YAPISAL VE YAPISAL OLMAYAN HASARLAR VE HASAR TESPİTİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ÖZ

Bu çalışmanın amacı deprem sırasında ve sonrasında betonarme yapılarda meydana gelen yapısal ve yapısal olmayan hasarlar ve hasar tespitinde yapılması gereken konuların belirlenmesidir. Çalışmada yapısal hasarların etkisini daha da arttıran faktörler, deprem etkisi altındaki yapıda oluşan hasarların neden ve sonuçları, yapısal hasar türleri, betonarme yapılarda yapısal hasarlara neden olan hususlar ve depreme dayanıklı yapı tasarımı için yapılması gereken hususlar açıklanmıştır. Ayrıca binaların hasar tespitinde kullanılabilecek bir öneri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Hasar Tespiti, Yapısal Hasarlar, Yapısal Olmayan Hasarlar, Hasar Türleri

A RESEARCH ON STRUCTURAL AND NON-STRUCTURAL DAMAGES AND DAMAGE ASSESSMENT IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the structural and non-structural damages that occur in reinforced concrete structures during and after the earthquake and the issues that need to be done in damage assessment. In the study, the factors that increase the effect of structural damage, the causes and consequences of damage in the structure under the influence of earthquakes, types of structural damage, the issues that cause structural damage in reinforced concrete structures and the issues to be done for earthquake resistant structure design are explained. In addition, a proposal has been developed that can be used for damage assessment of buildings.

Keywords: Earthquake, Damage Assessment, Structural Damages, Non-Structural Damages, Damage Types

How to Cite:

Elyiğit, B. ve Ekinci, C.E., (2023). Betonarme Yapılarda Yapısal ve Yapısal Olmayan Hasarlar ve Hasar Tespiti Üzerine Bir Araştırma, 18(2):19-42, DOI: 10.12739/NWSA.2023.18.2.1A0485.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hasar, maddi ve manevi zararı içeren genel bir terimdir. TDK'ya göre hasar; bir malda kırılma, dökülme, bozulma gibi istek dışı nedenlerle ortaya çıkan zarardır [1]. İngilizce karşılığı "damage"dir. Hasarı nedeni, etkisi, düzeyi ve sonucu bakımından farklı şekillerde de tanımlamak mümkündür. Hasarların tanımlanması ve tespitinde dikkat edilecek kriterlerin bazıları şunlardır:

- Hasara hazır olma,
- Hasarın yapıda oluşum yeri,
- Hasar oluşumunun asıl nedeni,
- Hasar sonuçlarından ders alma,
- Hasarın yapıda bıraktığı nihai sonuç,
- Hasar sonuçlarının giderilebilirlik durumu,
- Hasarın ekonomik ve toplumsal sonuçları vs.dir.

Yapıda hasara neden olan etkenleri dış ve iç nedenler şeklinde iki ana başlık altında da toplanabilir. Dış nedenler arasında deprem başta olmak üzere rüzgâr, zemin özellikleri, mimari ve statik-betonarme sistem tasarımı ve çözümü, çevresel iklim şartları gibi hususlardır. İç nedenler arasında ise yapının kullanıcı kimliği ve kullanım amacı, kontrolsüz tadilat ve onarımlar, yapı malzemelerinin nitelik ve nicelikleri, yapı kullanım fonksiyon değişikliği gibi daha pek çok husus gösterilebilir.

Betonarme binalarda yapısal veya yapısal olmayan hasarları meydana getiren nedenlerin başında deprem gelmektedir. Deprem, yer kabuğu içindeki kırılmalardan dolayı ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları sarsma olayıdır. Bilindiği üzere depremler genellikle kırıkların (fay hatları) çatlamasıyla oluşur. Bunun yanı sıra volkanik faaliyetler, toprak kaymaları, mayın patlamaları veya nükleer testler sonucunda da depremler gerçekleşebilir [2 ve 3]. Depremin türü, etki şekli, şiddeti ve/veya büyüklüğüne göre yapıda ciddi hasarlar oluşabilmektedir.

Depremlerin neden olduğu fay kırılmaları, zemin hareketleri ve titreşimler yapı ve elemanlarında yıkılma, kırılma, dökülme, parçalanma ve bozulma neticesinde yapılarda yapısal veya yapısal olmayan hasarların oluşmasına neden olmaktadır.

Yapısal hasarlar temel, kolon, perde, taşıyıcı duvar, kiriş, çatı, döşeme gibi yapının taşıyıcı elemanlarda; yapısal olmayan hasarlar ise sıva, boya, bölme duvar, kapı, pencere, lento, kaplama, tesisat, parapet, harpušta gibi tamamlayıcı elemanlarda görülür.

Depremler oluşum ve sonuçlarına göre değişik türlerde de tanımlanabilir. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı oluşumlarına göre tektonik olan depremlerdir. Ülkemizdeki depremlerin büyük çoğunluğu bu grupta yer almaktadır.

Depremler dört grupta toplanmaktadır. Bunlar;

- Oluşumlarına göre depremler,
- Derinliklerine göre depremler,
- Uzaklıklarına göre depremler ve
- Büyüklüklerine göre depremlerdir [4].

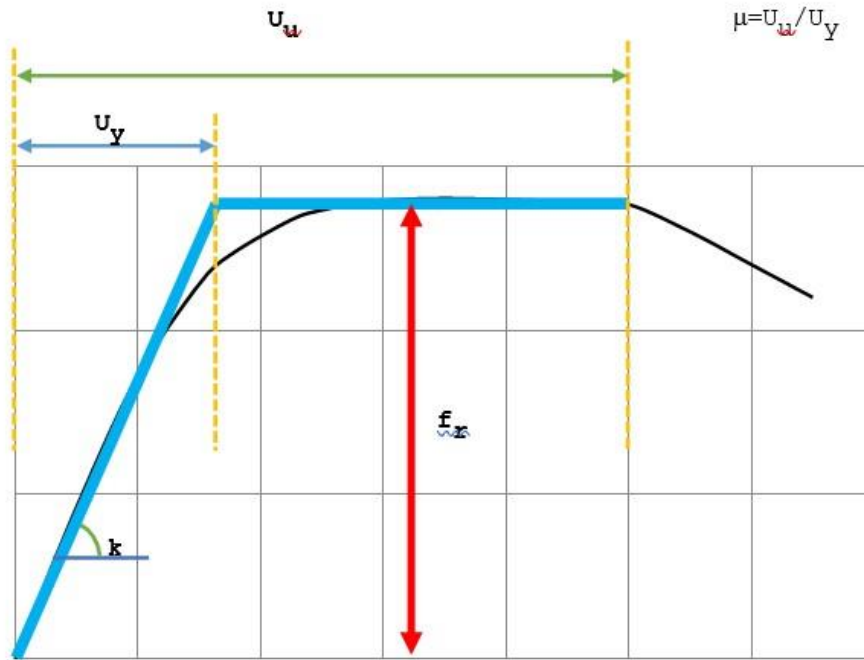
Depremler mühendislik yapılarına az veya çok hasar vermektedir. Oluşan bu hasarlar depremin büyüklüğüne, ülkenin veya depremden etkilenen bölgenin sosyo-ekonomik durumuna bağlı olarak değişmektedir. Türkiye'de yakın geçmişte yaşanan depremlerden sonra yapılan gözlem ve diğer araştırma sonuçlarına göre deprem hasar nedenleri üç gruba ayrılır. Bunlar;

- **Projelendirme Hataları:** Yumuşak kat, yetersiz yanal rijitlik, kısa kolon, güçlü kiriş-zayıf kolon bağlantı türü, düşey ve yatay doğrultuda düzensizlik vs.dir.

- **Donatı Hataları:** Yetersiz sargılama, düşüm noktalarında yetersiz veya eksik donatı düzenlemeleri, yetersiz veya yanlış kenetlenme vs.dir.
- **Yapım Hataları:** Kötü işçilik, kontrol ve denetim yetersizliği, düşük malzeme dayanımı, eksik veya yanlış etriye bağlantıları, yanlış düzenlenmiş kolon filizleri, vs. olarak sıralanabilir. Ayrıca, doğrudan zeminle ilgili sorunlar da pek çok yapısal hasarın nedeni olabilmektedir. Sıvılaşma, zeminde aşırı oturma ve kaymalar zeminden kaynaklanan hasar nedenlerine örnek olarak sayılabilir [5].

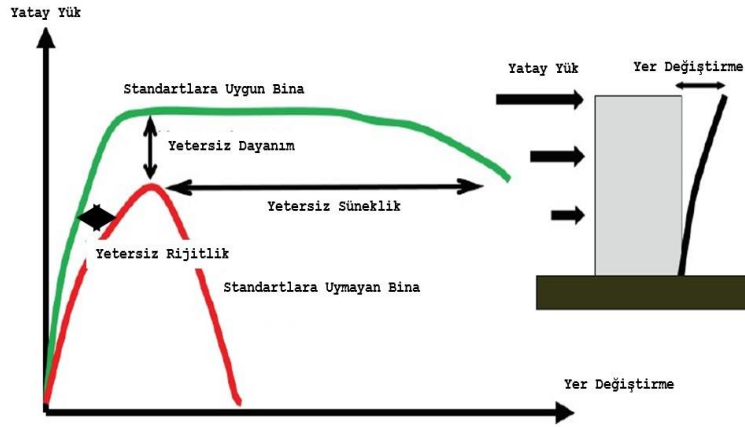
Deprem esnasında kolonlara gelen kesme kuvvetini karşılayacak yeterli etriye yoksa kolonda ani ve gevrek kırılma meydana gelebilir. Kolonlarda yaygın, genişlemiş kesme çatlakları ağır hasarın varlığına işarettir. Doğru yerleştirilmiş donatı, çatlağın genişlemesini önleyerek kılcal düzeyde kalmasını sağlar. Donatı, olabildiğince asal çekme gerilmeleri doğrultusunda yerleştirilmelidir. Kolonun depremde iyi bir davranış göstermesi için uçlarının sarılmasının yanı sıra, kesit boyutlarının da büyük seçilmesi gerekir [6].

Yapıların süneklik, dayanım ve rijitlik davranışı Şekil 1'de, standartlara uyan ve uymayan binaların genel özellikleri Şekil 2'de ve yapıların deprem etkileri altında davranışı Şekil 3'de verilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı üzere yapılarda deprem esnasında ve sonunda ortaya çıkabilecek durumlar bellidir. Bu bilgi ve bulgular ilgili tarafların elinde olmasına karşın yapıların ağır hasara uğraması ve can kayıplarının olması düşündürücüdür. Taşıyıcı sistem elemanlarında etriyelerin yeterli sıklıkta yerleştirilmesi ve düşük mukavemetli beton kullanımı büyük ve ciddi bir hatadır [7].

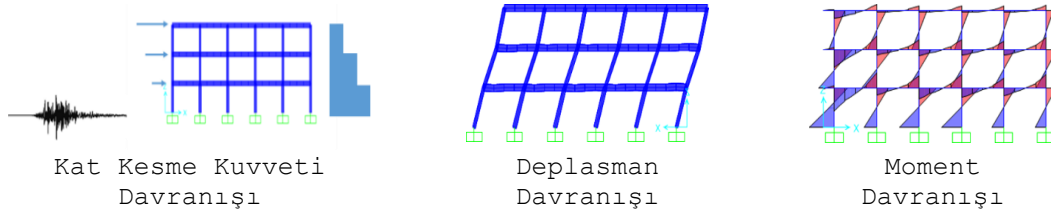


(Süneklik (μ), Dayanım (f_r), Rijitlik (k))

Şekil 1. Yapıların Süneklik, Dayanım ve Rijitlik Davranışı [8]
(Figure 1. Ductility, Strength and Rigidity Behavior of Structures)



Şekil 2. Standartlara Uyan ve Uymayan Binaların Genel Özellikleri [8]
(Figure 2. General Characteristics of Buildings Complying and Non-Conforming to Standards)



Şekil 3. Yapıların Deprem Etkileri Altında Davranışı [8]
(Figure 3. Behavior of Structures Under the Effects of Earthquakes)

Yapısal hasar türleri, nedenleri ve sonuçları gibi konu başlıklarında yapılan genel literatür incelemesinde ileri sürülen görüşlerden bazıları şunlardır.

Balyemez ve Berköz'e (2005) göre, hasar görülebilirlik analizleri deprem zararlarının azaltılması faaliyetlerinde önemli bir adımdır ve disiplinler arası bir çalışma gerektirir [9].

Şirin'e (2006) göre yapının statik sistemi, beton kalitesi, donatı çeliği, işçilik ve zemin kriterleri içerisinde işçilik dahi tek başına yapının güvenliği için son derece önemli bir unsurdur [7].

Güvel'e (2008) göre depremler hem fiziki kayıplar hem de ekonomik, sosyal ve psikolojik etkiler oluşturur. Depremlerin ekonomik etkileri, birincil (doğrudan) ve ikincil (dolaylı) olarak iki sınıfa ayrılır. Birincil etkiler depremin ulaşım, sanayi, enerji, konut ve altyapı gibi alanda yarattığı etkilerdir. İkincil etkiler ise birincil etkilerin sonucu meydana gelen makroekonomik değişimleri içermektedir [10].

Yüksel (2008) ve İlki ve diğ. (2023) deprem etkisi altındaki yapıda oluşan hasarların neden ve sonuçları konusunda öne çıkan başlıkların;

- Sıva çatlakları,
- Kiriş hasarları,
- Döşeme hasarları,
- Çerçeve hasarları,
- Dolgu duvarı hasarları,
- Perde duvarı hasarları,
- Düşüm noktası hasarları,
- Kirişlerde eğik çekme çatlakları ve
- Kolonlarda kesme ve basınç hasarlarının olduğunu ileri sürmektedirler [5 ve 8].

Baltacıoğlu ve diğ. (2010) ile İlki ve diğ. (2023) deprem nedeniyle yapıda oluşan hasarlar ve hasarın etkisini daha da arttıran pek çok faktör bulunduğunu ileri sürmektedirler. Özetle bunlar;

- Binanın yaşı,
- Sıvılaşma riski,
- Yapısal kusurlar,
- Bölme duvar cinsi,
- Yapı önem katsayısı,
- Aktif faylara uzaklık,
- Yapı davranış katsayısı,
- Çıkma durumu ve miktarı,
- Görünür işçilik kalitesi,
- Kat sayısı ve yüksekliği,
- Maksimum açıklık miktarı,
- Taşıyıcı sistem yeterliliği,
- Yapıdaki açıklıkların miktarı,
- Dilatasyon derzi ve uygunluğu,
- Daha önce tadilat ve onarım durumu,
- Deprem bölgesi ve yerel zemin sınıfı,
- Yapının kullanım amacı önem katsayısı,
- Döşeme tipi ve katlardaki döşeme sistemi,
- Bölgede daha önce oluşan en yüksek şiddetli,
- Binada proje dışında ilave veya eksiltme durumu,
- İlgili bölgede deprem sayısı ve şiddetlerinin ortalaması,
- Denize olan mesafe ya da bölgenin ortalama yıllık nem miktarı,
- Binanın nizam durumu-pozisyonudur [8 ve 11].

Koç (2016) deprem sonrası oluşan yapısal hasar türlerini yapısal sistem ve yapısal eleman başlığı altında şöyle sıralamaktadır:

- Yapısal Sistem Hasar Türleri:
 - o Yana yatma hasarı
 - o Yatayda tam kat çökmesi hasarı
 - o Üst üste yığılma yıkımı hasarı
 - o Yatayda bir bölümün çökmesi hasarı
 - o Yana yığılma (akordeon) yıkımı hasarı
 - o Düşey hiza boyunca bir bölümün çökmesi hasarı
- Yapısal Eleman Hasar Türleri:
 - o Kolon uç bölgesi hasarı
 - o Kolon düzlem dışı sıyrılması hasarı [12].

Yılmaz ve Umu'ya (2017) göre duvar çatlaklarını oluşturan dört neden vardır. Bunlar; temel oturması, deprem titreşimleri, çevreden gelen yapay titreşimler ve aşırı sehmdir [6].

Arslan'a göre depreme dayanıklı bir yapıdan beklenen; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi; orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir [13].

Demirbaş, Şahin ve Durucan (2021) tarafından incelenen binaların mevcut hasar durumları özellikle kat sayısı, yumuşak kat, ağır çıkma, çarpışma etkisi gibi kusurların etkili olduğu ileri sürmektedirler [14].

Gültekin'e (2022) göre de depreme dayanıklı bir yapı tasarlamak için başlıca dikkat edilmesi gereken konu sünekliktir [15].

Yapıların deprem gibi doğal afetlere karşı koyabilmesi için istenen rijitlik, süneklik ve dayanımı sağlayabilmesi, yapının planlama-tasarım aşamasından uygulama-inşaat aşamasına kadar geçen süreç içerisinde açıklanmış olan bütün tasarım ve yapım kurallarına uygunluğu ile mümkün olabilmektedir. Bu noktada sağlıklı yapılaşmanın temel ilkelerini içeren biyoharmolojik yapılaşmanın önemi ortaya çıkarmaktadır. Biyoharmolojik yapılaşmada mühendislik ve mimari özellikler birbirini tamamlamalı ve yapılar "Kullanıcı Kimliği ve Kullanım Amacı"na uygun tasarlanmalı ve inşa edilmesi temel ilkedir. Biyoharmolojinin kuramsal esaslarına göre güvenli ve sağlıklı bir yapı aşağıdaki özellikleri taşımalıdır. Özetle bunlar,

- Ekolojik ve sismolojik olaylara karşı dayanım ve dayanıklılığı,
- Malzemenin reolojik, fiziksel ve eskimezlik özelliğini
- koruyabilmesi,
- Psikolojik ve sosyolojik ihtiyaçlara uygunluğu,
- Biyolojik ve fizyolojik ihtiyaçları karşılaması,
- Kullanıcının antropometrik özelliklere uygunluğu,
- Epidemiyolojik ve sanitasyon oluşumlara karşı hassasiyeti,
- Değişen ihtiyaçlar durumunda işlevsellik ve fonksiyonelliğidir [22].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada betonarme yapılarda yapısal ve yapısal olmayan hasarlar, neden-sonuç ilişkisi ve hasar tespiti esasları ele alınmıştır. Çalışmada konu ile ilgili literatür taraması yapıldı. 2020 Ocak Sivrice-Elazığ ($M_w6.8$) ve 2023 Şubat Pazarcık-Elbistan ($M_w7.7$ ve $M_w7.6$) merkezli Kahramanmaraş depremi kapsamında Malatya İli özelinde yapılan saha çalışmalarındaki gözlem, teknik inceleme ve hasar tespiti çalışmaları sonucunda elde edilen bilgi ve bulgular sunulmuştur. Çalışma içeriğindeki hususlar mevcut durumun ortaya konulması ve gelecekte yapılacak benzer çalışmalara ışık tutabilecek niteliktedir.

Önemli Noktalar (Highlight):

- Binaların deprem davranışı
- Yapısal ve yapısal olmayan hasarlar
- Hasar tespiti teknik çalışmaları

3. BETONARME YAPILARDA YAPISAL HASARLAR

(STRUCTURAL DAMAGES IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES)

Binanın yapısal taşıyıcı elemanları kolon, kiriş, çatı, temel, zemin, taşıyıcı duvarlar, merdiven vs.dir. Bu elemanlar, bina ana-kütle yapısını destekleme, çevreleme ve koruma amacına hizmet eder.

Binalarda meydana gelen "rezonans" olayı, zemin hâkim periyodu (dolayısıyla frekansı) ile yapı doğal periyodunun (dolayısıyla frekansı) aynı olması durumunda, binaya salınım yaptıran aynı doğrultudaki iki kuvvetin birbirine eklenmesi ve bunun sonucunda binanın salınımının (genliğinin) dolayısıyla ivmesinin (dolayısıyla etkiyen kuvvetin) artması olayıdır. Rezonans sonucu yapılar büyük kuvvetlere dolayısıyla büyük hasarlara maruz kalırlar [16].

Deprem yükü altında duvarlar ise kesme kuvveti ile zorlanır. Deprem etkisi altında kirişlerin en fazla zorlanan kısımları mesnet bölgeleridir. Kolonlarda normal kuvvet hakim iken yön değiştiren eğilme momenti ve kesme kuvveti hasara neden olur. Narin kolonlarda büyük eğilme momenti normal kuvvetle beraber beton basınç bölgesinde ezilme ve parçalanmalara sebep olur. Kolon uç bölgelerinde etriyenin seyrek olması hasarın artmasına ve donatının burkulmasına sebep olur.

Donatının burkulması ve kolon başının dağılması kolonda bir kısalmaya neden olur.

Perde kolonlarda en çok rastlanan çatlak ve hasar türü X şeklindedir. Sünek olmayan ve eğik çekme gerilmelerinin oluşturduğu güç tükenmesine işaret eder. Perde uç bölgelerinin iyi düzenlenmiş olması durumunda bu hasara rağmen perde eğilme momenti taşımaya devam eder. Kat yüksekliği fazla olan yapılarda özellikle zemin ve zemine yakın katlarda bulunan perdelerde hasar ya da hasar riski daha fazla olur.

Döşeme çatlakları ise döşemenin altında açıklıkta ve kirişle birleştiği yerde üstte mesnette görülür. Büyük döşeme boşluklarının bulunması durumunda köşelerde gerilme yığılımları nedeni ile çatlaklar, kirişsiz döşemenin kolona veya perdeye birleştiği bölgeler aşırı zorlanır ve çatlaklar gözlenebilir. Bu durum; donatının yetersiz olmasına, donatı yüksekliğinin sağlanamadığına, kalıbın erken alındığına işaret eder. Özellikle deprem esnasında yapı zemininde en çok karşılaşılan ve en karmaşık zemin hareketi sıvılaşmadır. Zemin sıvılaşma sonucu yarı sıvı bir kıvama ulaşır. Bu esnada üzerinde bulundurduğu yapı batma, devrilme ve hatta hafif yükselme ve çökme eğilimi gösterir [17].

Deprem oluşturduğu titreşimlerin etkisiyle gevşek, suya doymuş durumdaki taneli zeminlerin taşıma kapasitelerini kaybederek sıvı gibi davranış göstermesine geoteknik literatüründe zemin sıvılaşması denilmektedir. Zemin sıvılaşma sonucu zemin yarı sıvı gibi davranmaya başlar ve zemin üzerinde bulunan nesnelere zeminin içine gömülür, binalar belirgin şekilde bir tarafa doğru yatar hatta devrilir veya hafif yapılar da yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gösterebilir. Bir zeminin sıvılaşması esas olarak gevşek bir yerleşime sahip olmasına, daneler arasındaki bağı ve boşluk suyunun drenajının engellenmesine bağlıdır. Sıvılaşma, deprem sırasında ve akabinde görülebilen ve sonuçları son derece hasar verici olabilen bir zemin problemidir [6].

Deprem hasarı sebepleri Tablo 1'de, hasar sembolü ve tipleri Tablo 2'de, deprem kaynaklı olmayan hasar çeşitleri Tablo 3'de, tekli ve çoklu etki hasar şekilleri Şekil 4'de, eleman kapasite davranışı Şekil 5'de, eğilme ve kesme eleman kapasite davranışı da Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 1. Deprem Hasarı Sebepleri
(Table 1. Causes of Earthquake Damage)

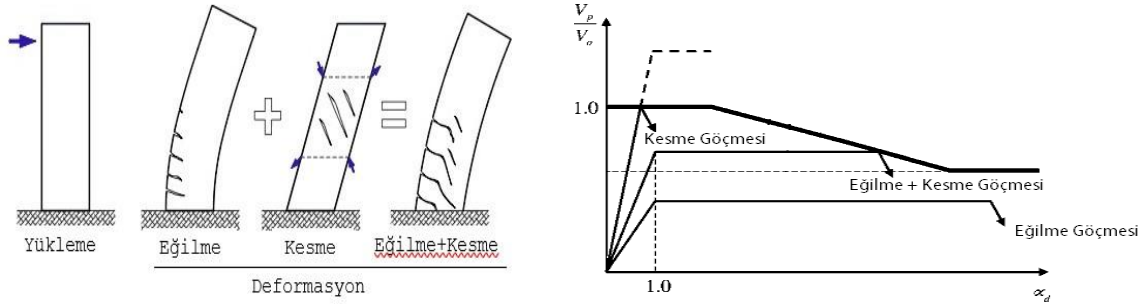
Tekli Etki Hasarları	Çoklu Etki Hasarları
Eğilme hasarı	Eğilme ve kesme etkisi
Kesme hasarı	Kesme ve eksenel yük etkisi
Eksenel yük hasarı	

Tablo 2. Hasar Sembolü ve Tipleri [8]
(Table 2. Damage Symbol and Types)

Hasar Sembolü	Hasar Tipi	Çatlak Genişliği	Basınç Hasarı Biçimi
O	Hasarsız	-	-
A	Hafif	$w \leq 0.5\text{mm}$	-
B	Orta	$0.5\text{mm} < w < 3\text{mm}$	Kabuk ezilmesi
C	Ağır	-	Kabuk atması
D	Çok Ağır	-	Donatı burkulması-çekirdek ezilmesi

Tablo 3. Deprem Kaynaklı Olmayan Hasar Çeşitleri [8]
(Table 3. Types of Non-Earthquake Damages)

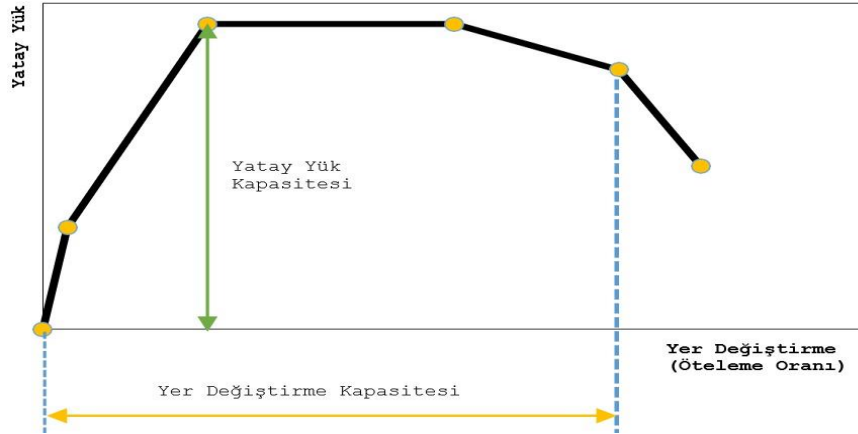
Yapı Elemanları	Tesisat Elemanları	Yangın	Tefriş Elemanları
<ul style="list-style-type: none">• Bacalar• Duvarlar• Kaplamalar• Asma tavanlar• Çıkma balkonlar• Giydirme Cepheler• Kapı ve pencereler• Sirkülasyon elemanları• Parapet ve harpuştalar• Çatı ve kalkan duvarlar	<ul style="list-style-type: none">• Elektrik• İletişim• Doğal gaz• Gaz tankları• Sıvı tankları• HVAC sistemleri• Soğuk ve sıcak su	<ul style="list-style-type: none">• Söndürme sistemleri• Donanım malzemeleri	<ul style="list-style-type: none">• Sabit elemanlar• Hareketli elemanlar



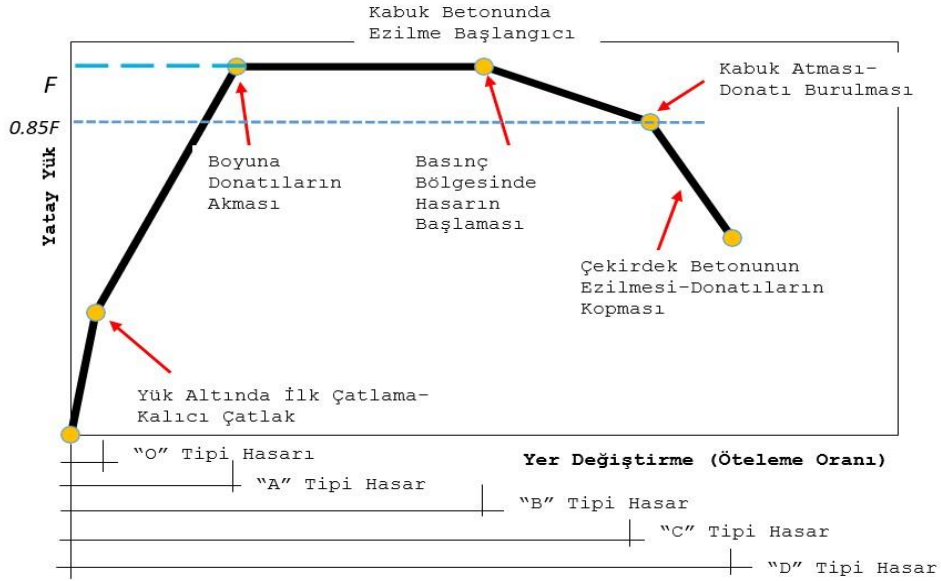
Tekli Etki

Çoklu Etki

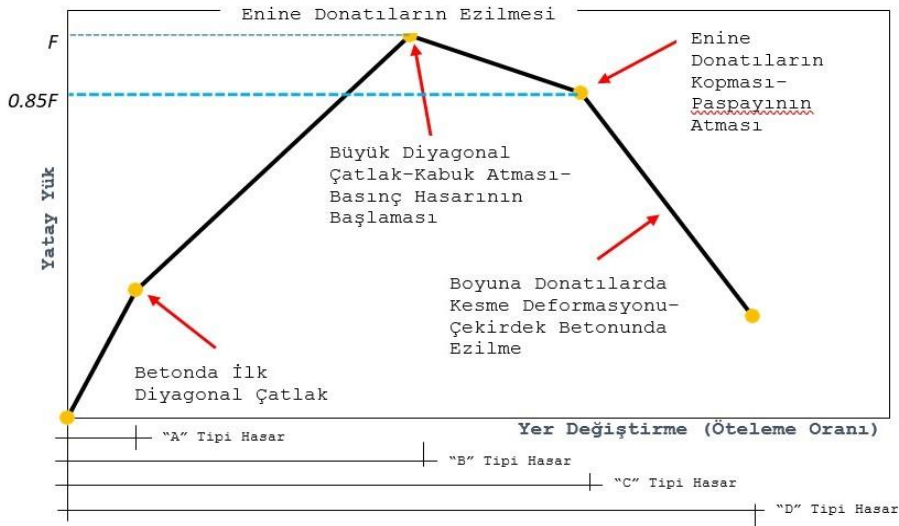
Şekil 4. Tekli ve Çoklu Etki Hasarları [8]
(Figure 4. Single and Multiple Impact Damages)



Şekil 5. Eleman Kapasitesi Davranışı [8]
(Figure 5. Element Capacity Behavior)



Şekil 6. Eğilme Davranışında Eleman Kapasitesi [8]
(Figure 6. Element Capacity in Bending Behavior)



Şekil 7. Kesme Davranışında Eleman Kapasitesi [8]
(Figure 7. Element Capacity in Shear Behavior)

Betonarme yapılarda yapısal hasarlara neden olan hususlar aşağıda liste halinde verilmiş olup bu listedeki hususlar Elazığ ve Malatya'daki depremler sonrasında da gözlemlenmiştir. Hasarlara ilişkin bazı resimlerde Resim 5'de (R1-R12) topluca verilmiştir.

- Kesme kapasitesi yetersizliği (R1)
- Eğilme kapasitesi yetersizliği (R2)
- Yumuşak kat uygulaması (R3)
- Zayıf kolon-güçlü kiriş uygulaması (R4)
- Düşey taşıyıcı süreksizliği (R5)
- Kısa kolon uygulaması (R6)
- Yetersiz enine donatı uygulaması (R7)
- Ankraj hataları (R8)
- Kötü zemin şartları (R9)
- Düşük beton kalitesi (R10)



- Beton birleşim sorunları (R11)
- Beton yerleştirme hataları (R12)
- Döşeme süreksizliği
- Zemin etüdü hataları
- Zayıf kat uygulaması
- Tali kiriş uygulaması
- KAKS (emsal) hataları
- Kiriş tasarım hataları
- Narin kiriş uygulaması
- Mimari tasarım hataları
- Düzensiz kütle dağılımı
- Planda çıkıntı uygulaması
- Agregada gradasyon hataları
- Döşeme tipi seçimi hatası
- Paspayı uygulaması hatası
- Dilatasyon-derz uygulaması
- Saplama kiriş uygulamaları
- Temel tipi seçimi hataları
- Stabilite kararlılığı hatası
- Taşıyıcı sistem seçimi hatası
- Konsol kiriş uygulaması hatası
- Yetersiz bindirme boyu uygulaması
- Enine donatı tipi ve yetersizliği
- TAKS'a göre yetersiz kolon yüzdesi
- Boyuna donatı tipi ve yetersizliği
- Kanca boyu ve açısı uygulaması hatası
- Taşıyıcı olmayan ağır eleman uygulaması
- Temelde farklı oturma derz uygulama hatası
- Yapı elemanında yeterli sönüm yapamama hatası
- Perde duvarların plandaki konum ve düzensizliği
- Enine donatısız kolon-kiriş birleşim bölgesi uygulaması hatası
- Kütle ve rijitlik merkezi sorunu
- Kirişsiz döşeme hataları.



R1



R2



R3



R4



R5



R6



R7



R8



R9



R10



R11



R12

Resim 1. Betonarme Yapılarda Yapısal Hasar Örnekleri [8]
(Photo 1. Examples of Structural Damage in Reinforced Concrete Structures)

4. BETONARME YAPILARDA YAPISAL OLMAYAN HASARLAR (NON-STRUCTURAL DAMAGES TO REINFORCED CONCRETE STRUCTURES)

Yapısal olmayan elemanlar, binanın taşıyıcı sistemi haricindeki bütün kısımları ve binanın içindeki unsurlardır. Diğer bir deyişle, kolon, kiriş, perde, duvar, çatı ve temel haricindeki elemanlardır. Bunların en yaygın olarak tanımlananları asma tavanlar, ışıklandırmalar, dolaplar, boşluk elemanları (kapı, pencere vs.), ofis ekipmanları, bilgisayarlar ve duvara asılan malzemelerdir. Bir deprem sırasında bu mimari ayrıntılar yerinden çıkabilir, düşebilir veya devrilebilirler. Bu durumda yaralanmalar ve hayati kayıplar, önlenemeyecek zararlar ve iş kayıpları meydana gelebilir.

Betonarme yapılarda yapısal olmayan elemanlar üç ana grup altında değerlendirilir. Bunlar;

- **Mimari Elemanlar:** Bölmeler, tavanlar, pencereler, kapılar, aydınlatma, iç veya dış süslemeler, dış paneller, kaplama ve parapetler vb.
- **Bina Yardımcı Sistemler:** Mekanik ve elektrikli ekipman ve dağıtım sistemleri, su, gaz, elektrik ve kanalizasyon boruları, yangın söndürme sistemleri, asansörler veya yürüyen merdivenler, HVAC sistemleri ve çatıya monte güneş panelleri vb.
- **Bina İçerik Elemanları:** Bilgisayar ve iletişim ekipmanı, kayıt ve malzeme depolama için dolaplar ve raflar, kütüphane yiğınları, mutfak ve çamaşırhane, mobilya, hareketli bölümler, dolaplar ve otomatlardır [16].

Betonarme yapılarda yapısal olmayan elemanlarda hasarlara neden olan bazı hususlar aşağıda liste halinde verilmiştir. Hasarlara ilişkin bazı resimler de Resim 2'de topluca verilmiştir.

- Sıvada çatlak oluşumu (R13)
- Çerçeve duvarlarında çatlak oluşumu (R14)
- Duvar-lento birleşim çatlakları (R15)
- Duvar-duvar birleşim ve/veya kesişim yeri çatlakları (R16)
- Bölme duvarlarda çatlak oluşumu (R17)
- Kolon-duvar ayrılması (R18)
- Soğuk derz ayrılması (R19)
- Rötire çatlaklarının büyümesi (R20)
- Elektrik tesisat hattı çatlağı (R21)
- Dilatasyon derz ayrılması (R22)
- Korozyon oluşan yerlerde kabuk kopması (R23)
- Sıvada kesme çatlağı (R24)
- Asma tavan düşmesi
- Yer seramik kaplamaların kırılması
- Büyük açıklıklı pencere camların kırılması
- Sabit tefriş elemanlarının yerlerinden kopması
- İç düşey duvar kaplamaların yerlerinden kopması
- Merdiven kaplamalarının bozulması
- Mutfak raflarının düşmesi
- Alçı esaslı sıvaların çatlaması
- Mozaik ve paradyen kaplamalarının kırılması
- Su tesisatında sızıntı ve kaçakların oluşması
- Kapıların düşey şekülünün bozulması [3, 8 ve 18].



Resim 2. Betonarme Elemanlarda Yapısal Olmayan Hasar Örnekleri [8]
(Photo 2. Examples of Non-Structural Damage in Reinforced Concrete Elements)

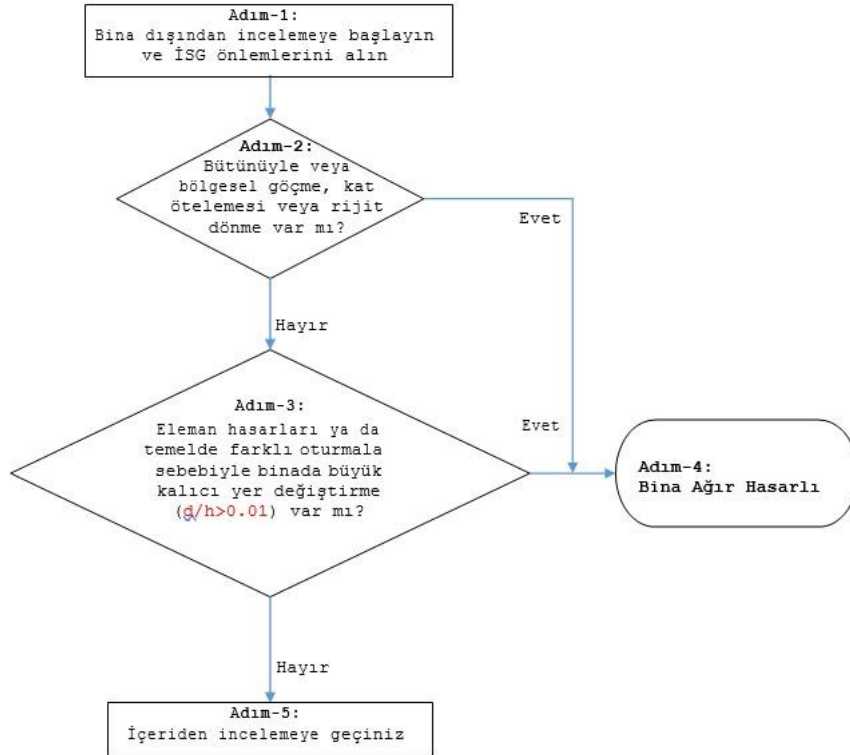
5. BETONARME YAPILARDA HASAR TESPİTİ VE ESASLARI (DAMAGE ASSESSMENT AND PRINCIPLES IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS)

Hasar tespiti dışarıdan ve içeriden olmak üzere iki aşamalı teknik incelemeyi gerektirmektedir. Binada belirgin bir göçme (kısmen veya tümünden), belirgin kalıcı kat ötelemesi veya rijit dönme varsa hasar düzeyine yalnızca dışarıdan teknik inceleme sonucu karar verilmelidir. Saha güvenliği için hasar tespitine başlamadan önce

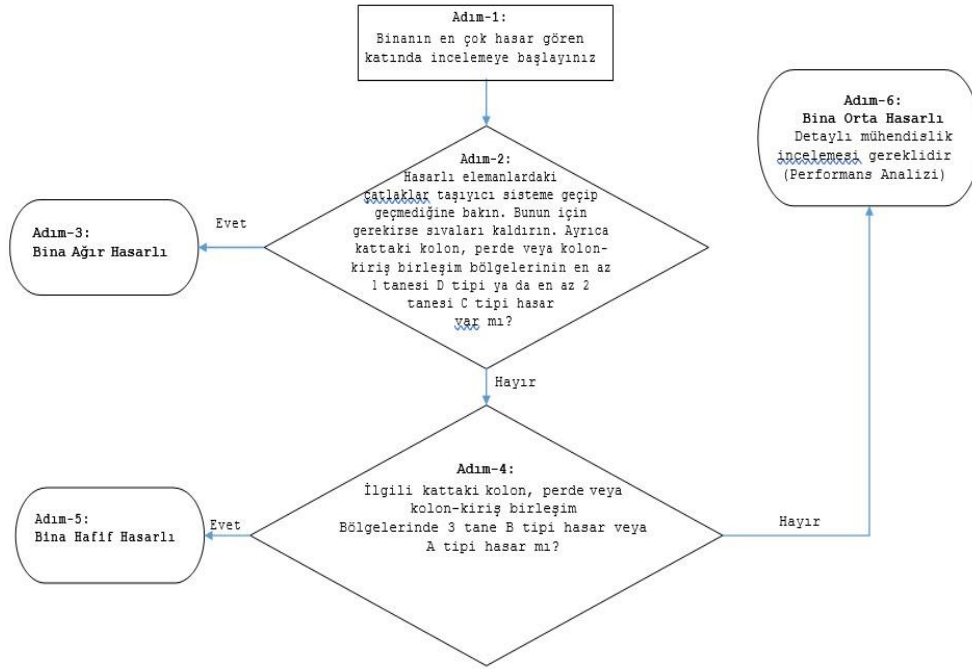
yapıların dıştan gözlemsel olarak incelenmesi gerekir. Henüz düşmeyen fakat artçılar sırasında düşebilecek konumda olan çatı, parapet, baca veya kalkan duvarı varsa bunların etkisiz duruma getirilmesi için ilgililere haber verilmeli ve önlemler alınmalıdır. Dışarıdan inceleme ile karar verilememesi durumunda en çok hasar gören katta (öncelik sırasına göre bodrum, zemin ve normal kat) içeriden teknik incelemesi yapılmalıdır. Bina hasar düzeyine dışarıdan teknik inceleme ile karar verilememesi durumunda içeriden teknik inceleme yapılır [8]. Hasar teknik inceleme adımları ve karar süreci Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

Hasarlı binalarda hasar gelişimi ve neden-sonuç amaçlı çalışmalarda;

- Bina önce dıştan gözlemsel olarak incelenip çökme ihtimali olup olmadığına karar verilir.
- Eğer çökme ihtimali olmadığına karar verilirse binanın dışarıdan ve içeriden detaylı olarak incelenmesine geçilir.
- Hasar tespitinde detaylı incelemeye sırasıyla bodrum, zemin ve normal katlarda yapılmalıdır. Eğer yapı ağır hasarlı ise diğer katların incelenmesine gerek yoktur.
- Eğer zemin kat hasarsız veya az hasarlı tespit edilmişse, diğer katların da hasar durumu incelenip ayrı ayrı tespit edilmelidir.
- Hasarlı elemanlardaki çatlakların taşıyıcı sisteme geçip geçmediğinin tespiti için de sıvanın mutlaka kırdırılması gerekir.
- Mantolanma, lambri vb. yöntemlerle örtü-kaplama altında olan taşıyıcı elemanların durumunun incelenmesi için örtüler en azından kritik olabileceği düşünülen katlarda ve bölgelerde kaldırılarak gözlenmesi gereklidir [8].



Şekil 8. Hasarlı Yapının Genel Dış Teknik İnceleme Adımları [8]
(Figure 8. General External Technical Inspection Steps of the Damaged Structure)



Şekil 9. Hasarlı Yapının Özel İç Teknik İnceleme Adımları [8]
(Figure 9. Special Internal Technical Inspection Steps of Damaged Structure)

Tablo 4. Yapılarda Hasar Gelişimi Aşamaları, Tipleri ve Sonuçları
(Table 4. Stages, Types and Results of Damage Development in Structures)

Tip	Eğilme Hasarı Aşamaları	Kesme Hasarı Aşamaları
O	Eğilme hasarı görülmedi	Kesme hasarı görülmedi
A	0.5mm eğilme çatlak oluşumu Donatı akması	0.5mm diyagonal çatlak oluşumu
B	Kabuk betonda ezilme	Enine donatıların akması
C	Kabuk betonun atması	Basınç bölgesinde ezilme Çatlak büyümesi ve kabuk atması
D	Çekirdek betonunun ezilmesi Basınç donatısında burkulma	Enine donatıların kopması Çekirdek betonunda ezilme Boyuna donatılarda kesme deformasyonu

Hasarlı bina incelemesi karar süreci ve tanımlamalar ise şunlardır:

- **Hasarsız Binalar (O):** Deprem nedeniyle herhangi bir hasar meydana gelmeyen binadır (Depremden önce oluşan binadaki hasarlar ve Kusurlar değerlendirilmez). Binanın kullanılmasında bir sakınca yoktur.
- **Az Hasarlı Binalar (A):** Deprem nedeniyle binanın boyasında, sıvalarında ve duvarlarında oluşan ince çatlaklar ile duvarlardan düşen sıvaların olduğu binalardır (Depremden önce oluşan binadaki hasarlar ve kusurlar değerlendirilmez). Binanın kullanılmasında bir sakınca yoktur.
- **Orta Hasarlı Binalar (B):** Deprem nedeniyle binanın duvarlarındaki yarıklar ile taşıyıcı elemanlardaki ince çatlakların olduğu binalardır. Depremden önce oluşan binadaki hasarlar ve kusurlar değerlendirilmez. "Orta" hasarlı yapıda taşıma gücündeki azalma giderilmeden (yapı onarılmadan) ya da güçlendirilmeden yapı kullanılmamalıdır. Eşyaların tahliyesi gerçekleştirilebilir. Binada hasarların giderilmesi için

kullanıcıya bir yıl hukuki süre verilir bu süre içerisinde hasarların giderilmemesi durumunda orta hasar hükmü ağır hasara dönüştürülür. Bu bilgi binanın tapu bilgilerine kayıt edilir ve bina ağır hasırlı binanın yıkılması için kullanıcıya ilave bir ay daha süre verilir ve binanın yıkılması sağlanır.

- **Ağır Hasarlı Binalar (C):** Deprem nedeniyle binanın taşıyıcı elemanlarındaki geniş ve yaygın kesme kırılmalarının veya ayrılmalarının olduğu binalardır. "Ağır" hasarlı yapıların onarılmaz taşıma gücü kaybı ve geri (dayanım ve ekonomik açısından) alınamaz hasarları olan binalar olarak tanımlanır. Bina yıkım işlemleri için kullanıcıya bir ay süre verilir.
- **Çok Ağır Hasarlı (Acil Yıkılacak Binalar) (D):** Deprem nedeniyle binanın taşıyıcı elemanlarının büyük oranda kalıcı yer değiştirerek kısmen veya tamamen yıkıldığı binalardır. Hiçbir şekilde kullanılması mümkün olmayan bu binaların içine girilemez ve eşyaların tahliyesi gerçekleştirilemez. Genel artçı depremlerin bitiminde bu bina enkaz şeklinde kaldırılır [19].

6. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Betonarme yapılar faydalı servis ömürleri içinde değişik etkiler altında hasara uğrarlar. Bu etkilerin bazıları ise aşırı yüklenme, deprem, yangın, korozyon, zararlı kimyasal ve fiziksel etkiler vb. olabilir. Hasarlar etkinin şiddetine ve türüne bağlı olarak kılcal çatlaklar, dökülmeler ve bölgesel parça kopmalar şeklinde oluşabilir. Yapı hasarlarını belirlemek için yapıya bozucu olarak etkileyen etkilerin yapıda nasıl ve neden hasar oluşturduğu belirli bir sistem içerisinde incelenerek bunların analizi ve değerlendirilmesi yapılar [20].

Deprem nedeniyle gördüğü hasar bakımından güçlendirme gerektirecek derecede hasar gören binalara hasarlı bina denilir. Hasar tipi için Tablo 4 verileri dikkate alınır. Bu tür binaların güçlendirme yapılmadan kullanılmasına izin verilmemelidir.

Binanın taşıyıcı sistemi kararlı durumdan çok az miktarda sapsması durumunda bina aniden göçer. Bu durumu da Stabilite kırılması denir. Stabilite kriteri θ ile gösterilir. Şayet θ , 0.1'den küçük ise sistem kararlıdır. $0 < \theta < 0.2$ ise ikinci mertebe momentler hesapta kullanılır. Eğer $\theta > 0.2$ 'den büyükse sistemin kararlılığın sağlanması güçtür [3].

Sönüm oranı literatürde taşıyıcı sisteme bağlı olarak verilmektedir. Yapıda meydana gelebilecek plastik şekil değiştirmelerin büyük olması taşıyıcı olan veya olmayan elemanlarda çatlakların artması sönümü artırmaktadır. Betonarme yapılar için belirlenen sönüm oranı %5'dir. Fakat günümüzde nihai sönümün hesaplanması mümkün değildir.

Kirişte kesme açıklığı (a) ve faydalı yükseklik (d) oranı kirişin kırılma davranışını etkileyen önemli bir parametredir. Kirişlerin kırılma davranışlarında eğilme kırılması, kesme kırılması, kesme-basınç kırılması ve derin kiriş kırılması türleri görülmektedir. Örneğin; $a/d > 6.5$ olması durumunda kirişte eğilme kırılması ve taşıma gücü kaybı meydana gelir. Kirişte a/d oranının $2.5 < a/d < 6.5$ olması durumunda kiriş taşıma gücünü kesme kırılmasıyla kaybeder ve kesme kırılması meydana gelir. Kirişte a/d oranının $1 < a/d < 2.5$ olması durumunda eğilme çatlağı oluşur ve çatlak basınç bölgesine ilerler. Betonun bu bölgesi ani patlar. Kirişte a/d oranının $a/d < 1$ olması durumunda ise derin kiriş kırılması davranışı meydana gelir.

Düzenli taşıyıcı sistem seçimi, öncelikle mimari tasarım ile ilgilidir. Gerek planda ve gerekse düşey doğrultuda, mimari tasarımın olabildiğince karmaşıklıktan uzak, basit ve sürekli taşıyıcı



sistemlerin kullanılabilmesine olanak verecek biçimde düzenlenmesi depreme karşı başarılı bir yapısal tasarımın ilk koşuludur.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (2018) yapıların depreme dayanıklılığını, yapının deprem enerjisini tüketmesi ile korunmasını ve bu amaçla yapının yeterince sünek olmasını ister. Yönetmeliğin amacı, çok şiddetli depremlerde dahi yapının tamamen yıkılmamasıdır. Bu yaklaşım üç aşamalı bir yapısal davranış esasına dayanır:

- Sık oluşabilecek hafif şiddetteki depremlerde yapıların elastik davranması, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
- Orta sıklıkta oluşabilecek orta şiddetteki depremlerde yapıların elastik limitine yaklaşması, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması,
- Seyrek olarak oluşabilecek şiddetli depremlerde ise yapıların plastik davranması, can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen göçmesini önlemektir [19].

Deprem yönetmelikleri çerçevesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı, yukarıda tanımlanan üçüncü aşama esas alınarak yapılır. Bu aşama için kullanılan "çok şiddetli deprem" belirli bir zaman dilimi içinde, ilgili coğrafi bölge için öngörülen belirli büyüklükteki bir depremin belirli bir olasılıkla oluşabileceği esasına göre tanımlanır. Yönetmeliklerde bu şekilde tanımlanan depreme göre yapılan yapı tasarımının ilk iki aşamada öngörülen yapı davranışını güvenli bir biçimde sağlayacağı kabul edilir.

Yönetmeliklerde tanımlanan çok şiddetli depremin etkisi altında yapının göçmeksizin ayakta kalabilmesi, yapıda belirli bir dayanımın bulunmasıyla birlikte, önemli ölçüde enerji yutabilme kapasitesinin sağlanmış olmasına bağlıdır. Bu iki yapısal özellik, yukarıda ikinci aşamada belirtilen yapısal davranış için de gereklidir. Birinci aşama için öngörülen doğrusal elastik davranış ise tümüyle yapı elemanlarının yeterli dayanımı ile sağlanır.

Önemle vurgulanması gereken husus, dayanım ve süneklik özelliklerinin birbirlerinden bağımsız olmadıkları, aksine birbirlerinin tamamlayıcısı oldukları hususudur. Çok şiddetli deprem altında yapının göçmesini önlemek için zorunlu olan süneklik özelliğinin sağlanabilmesi için, büyük ölçülerde enerji yutması beklenen yapı elemanlarının aynı zamanda yeterli bir dayanıma da sahip olmaları gerekir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için yapılması gereken bazı hususlar şunlardır;

- Düzensiz formda yapılaşmalardan kaçınılmalıdır.
- Bitişik nizam yapılar arasında dilatasyon derz uygulaması yapılmalıdır.
- Simetrik olmayan binalar deprem derzleri ile simetrik olan bloklara dönüştürülmelidir.
- Yapılar arasındaki mesafe, çarpma düzeyinde, soldaki ve sağdaki yapıların yanal ötelenmelerinin toplamından daha büyük olmamalıdır.
- Kolonların bir aks sistemine yerleştirilmesine özen gösterilmelidir.
- Aks sistemine yerleşmeyen düzensiz ve dağınık kolonlardan kaçınılmalıdır.
- Aks aralıklarının olabildiğince eşit ve eşite yakın olmalıdır.
- Kolonlar planda olabildiğince cephelere dik olarak yerleştirilmelidir.

- Kolonların iki eksen doğrultusunda eşit sayıda yerleştirilmesine gayret edilmelidir.
- Her iki doğrultuda rijitlikler arasında önemli fark olmamasına özen gösterilmelidir.
- Kolonlar her iki doğrultuda birbirine etkileri aktaracak kirişlerle bağlanmalıdır.
- Kolon boyutlarının minimum ölçülerden az olmaması gerekir.
- Minimum kolon genişliği $b_w=300$ mm'den az olmamalıdır.
- Kolonların planda düzgün dağılımının sağlanmasına özen gösterilmelidir.
- Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında eksantrisite varsa, bu minimum tutulmalıdır.
- Yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışmalı ve en fazla eksantrisite, doğrultusundaki yapı boyutunun %5'inden fazla olmamalıdır.
- Perdeli taşıyıcı sistemlerde de kolonlu sistemlerde olduğu gibi perdelerin bir aks sistemine göre yerleşmesine dikkat edilmelidir.
- Perdeli sistemlerde de aks aralığı birbirine eşit veya eşite yakın olmalıdır.
- Perdeler akslara oturtulmalıdır. Aksa oturmayan dağınık yerleştirilmiş perdelerden mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır.
- Perdeler cephelere dik olarak yerleştirilmelidir.
- Cephelere dik olarak yerleştirilmemiş perdeli sistemde inşaat hataları 2. mertebe momentlerinin oluşmasına sebep olacağından mümkünse kaçınılmalıdır.
- Perdelerin iki doğrultuda eşit sayıda yerleştirilmesine özen gösterilmelidir.
- Perdeler iki doğrultuda kirişler ile birbirine bağlanmalıdır.
- Perde genişliği minimum ölçülerden az olmaması gerekir.
- Perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200mm'den az olmamalıdır.
- Rijitlik ve kütle merkezi çakışmalıdır.
- Kesitte bulunan tüm donatı ve donatının dağılımı kapasite hesabında dikkate alınmalıdır.
- Perdelerde eğik asal basınç gerilmesi altında betonda ezilme (kesme kırılması) oluşmamalıdır.
- Perdelerde oluşabilecek maksimum kesme kuvveti ve perdelerin kesme dayanımı bilinmeli, kesme kırılması eğilme kırılmasından önce oluşmamalıdır.
- Perdelerin yanal ötelenme rijitliklerinde ani değişimlerden kaçınılmalıdır.
- Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasına bindirilmesine kesin olarak izin verilmemelidir.
- Üst kattaki perdenin her iki ucundan altta kolonlara bindirilmesi durumunda, bu kolonlarda düşey yükler de depremin ortak etkisinde oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 arttırılarak uygulamaya konulabilir.
- Perdeleri bağlayan bağ kirişlerinin sünek olması sağlanmalıdır.
- Derin bağ kirişleri yapılması halinde gevrek kayma gerilmesi oluşması engellenmelidir.
- Kiriş içine çapraz donatının yerleştirilerek kiriş sünekliliği arttırılmalıdır.
- Çapraz donatılar boydan boya etriye kafesi içine alınmalıdır.

- Derin kirişin içine yerleştirilecek çapraz donatı tersinir deprem etkisinde yük taşıma kapasitesinin artması sağlanmalıdır.
- Döşemelerde büyük boşluklar diyafram görevini yapan döşemenin zayıflaması yanal rijitlikleri zayıflatacağından bırakılmamalıdır.
- Katta devam etmeyen kiriş uygulaması yapılmamalıdır.
- Aks doğrultusundaki kiriş boyutları değiştirilmemelidir.
- Taşıyıcı kirişlerin diğer taşıyıcı kirişlere oturtulması (saplama kiriş) imkan nispetinde yapılmamalıdır.
- Çok uzun tek yönlü döşeme uygulamasından kaçınılmalıdır.
- Konsolların ucunda alın kirişi yapılmalıdır.
- Kolonlar, yapı yüksekliğince sürekli olmalıdır.
- Binanın herhangi bir kolonunun konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna bindirilmesine hiçbir şekilde izin verilmemelidir.
- Süreklilik göstermeyen kiriş uygulamasına yer verilmemelidir.
- Kuvvetli kiriş ve zayıf kolonlar kullanılarak kolonda plastik mafsallık oluşumu ile kolon kırılma mekanizmasına yol açan durumlar kesinlikle teşkil edilmemelidir.
- Kolonlar rijit, kirişler nispeten daha zayıf teşkil edilerek kirişte mafsallık tercih edilmelidir.
- Yumuşak kat oluşumundan kaçınılmalıdır.
- Dolgu duvarlar binaların taşıyıcı sisteminin bir parçası değildir. Bu nedenle dolgu duvarların nereye ve nasıl yerleştirildiği çok iyi planlanmalıdır.
- Dolgu duvarlar çerçeve sistem içerisinde sıkıştırılarak yerleştirilmelidir. Duvarlarda kama uygulaması çaprazlı (duvarın her iki tarafından) şekilde uygulanmalıdır.
- Bina kabuğundaki dolgu duvarlar en az 30cm kalınlığında olmalıdır.
- İç mekan dolgu duvarları 20cm olmalıdır.
- Dolgu duvarlar tek parça halinde 300cm'den büyük olmamalıdır.
- Şayet 300cm'den yüksek duvar kullanılacaksa ara lentosu kullanılmalıdır.
- Sandviç duvarlar hem yatayda hem de düşeyde 100cm aralıklarla ankrajlanmalıdır.
- Düşey yönde rijitlik süreksizliğe neden olan zayıf kat uygulamasından kaçınılmalıdır.
- Taşıyıcı elemanlarda beton sınıfı en az C30/37 olmalıdır.
- Zemin kat yüksekliği üst kat yükseklikleriyle aynı olmalıdır.
- Yığma dolgu duvarlar, betonarme taşıyıcı sisteminin iç kuvvet hesabında kesinlikle göz önüne alınmamalıdır.
- Ara kat uygulaması yapılmamalıdır.
- Döşemelerde süreksizliklere izin verilmemelidir. Döşemelerin rijit diyafram olarak çalışması sağlanmalı. Özellikle merdiven ve asansör boşlukları dahil boşluk alanlarının toplamı kat brüt alanının 1/3'den fazla olmayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Yapının dinamik hesapları kontrol edilerek yapı ile zemin periyotları kontrol edilip gerekli önlemler alınmalıdır.
- Değişik seviyede ve değişik türde temel yapılmasından kaçınılmalıdır.
- Temelde kademe yapılmasının zorunlu olması halinde, bodrum katların çevresi perde ile çevrilerek tavanı ve temeli ile rijit bir kutu kesit oluşturularak, temelin kademeli olmasından dolayı

titreşimler emilerek, üst yapıya düzgün olmayan titreşimlerin iletilmesi önlenmelidir.

- Temellerin rijit bağ kirişleri ile bağlanması sonucu birlikte deplasman yapması sağlanmalıdır.
- Temel derinliği don etkisinde kalmayacak şekilde yapının yapıldığı rakıma bağlı olarak zemin cinsi ve yapı yüksekliği göz önünde bulundurularak tespit edilmelidir.
- Eğimli arazide değişik düzlemlerde temel yapılması durumunda kolonlar aynı uzunlukta olmalıdır.
- Kolonların sarılma bölgeleri için optimum enine donatı ve yerleştirme koşulları kısa kolonun tüm kat yüksekliğince uygulanmalıdır.
- Kolonlar arasında kolondan kolona uzanan pencere boşlukları bırakılmamalıdır. Veya dolgu duvar betondan tecrit edilmelidir.
- Kolon yüksekliği boyunca sık etriyelerle iyice sarılmalıdır.
- Taşıyıcı olmayan rijit elemanlar, kolonun depremdeki doğal davranışını bozacağından, kaçınılmalıdır.
- Kısa kolon oluşumu önlenmelidir.
- Kolonun serbest şekil değiştirmesi sağlanmalıdır.
- Betonarme yapıda donatı hiçbir zaman gereğinden fazla konulmamalıdır.
- Kolon boyuna donatısı etriyelerle yeterli sıklıkta bağlanmalı ortaya gelen donatı etriyelerle karşı çubuklara bağlanmalıdır.
- Kolon üst ve alt başlarında ayrıca, kiriş yüksekliği boyunca etriyeler sıklaştırılmalıdır.
- Kiriş-kolon birleşiminde beton iyice sarılmalı, birleşim noktasının moment aktarma görevini tam yapabilmesi sağlanmalıdır.
- Kiriş ve kolonlarda sık etriye düzeni kullanılarak, betonun hem dayanımını hem de sünekliği artırılmalıdır.
- Yapılarda zeminin farklı oturmasına izin verilmemelidir. Zemin iyileştirilerek gerekli tedbirler alınmalıdır.
- Betonarme binalar üzerine sonradan yığma katlar yapılmamalıdır.
- Çerçeve sistemli dört katlı binalarda kolon miktarı TAKS alanının ≥ 2.5 olmalıdır [3, 7, 8, 21, 22, 23 ve 24].

7. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Ülkemiz üç önemli deprem fay hattı üzerindedir. Yani bir deprem ülkesidir. Son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremlerde yapılarda oluşan hasarlar binlerce insanımızın hayatına mal olmuş ve milyar dolarla ifade edilen maddi zararlara neden olmuştur [7]. Bina yapısal hasar riskini en aza indirmek için bulunulan yerdeki deprem tehlikesini göz önüne alarak taşıyıcı sistemini depremde hasar görebilme olasılığı en az olacak şekilde tasarlanmalı, projelendirmeli ve inşa edilmelidir [25].

Bütün yapılar faydalı servis ömürlerinde en az bir kez deprem olayı yaşar. Mimari ve mühendislik özellikleri ve denetim süreci bakımından yetersiz yapılar ilk deprem olayı neticesinde "**C=Ağır**" veya "**D=Çok Ağır**" hasarlarla karşı karşıya kalır. Bu durum Ocak 2020 ve Şubat 2023'de yaşanan Elazığ ve Kahramanmaraş depremlerinde çok net olarak görülmüştür.

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de de görüldüğü üzere, yapılar deprem esnasında süneklik, dayanım ve rijitlik davranışı sergiler. Burada en önemli davranış yapının süneklik davranışdır. Süneklik davranışı yeterli olan yapılarda daha az yapısal hasarlar meydana

gelir. Ayrıca en büyük kat kesme kuvveti, deplasman ve moment davranış ise yapının en alt bölümlerinde oluşur.

Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de sınıflandırılan ve Şekil 4'de verilen yapının ağır hasar almasına neden olan davranışlar eğilme ve kesme davranışlarıdır. Burada en kritik davranış eğilme davranışdır.

Şekil 5'de eleman kapasite davranışı, Şekil 6 ve Şekil 7'de eğilme ve kesme eleman kapasite davranışlarından deprem esnasında ve sonunda yapıda meydana gelebilecek hasar ve düzeyleri değerlendirilebilir. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de en önemli husus yapının "O=Hasarsız" ve "A=Az Hasarlı" davranış sergileyebilmesi için tasarım, projelendirme, tekniğine göre uygulama ve denetim süreçlerindeki ilgili tarafların sergileyecekleri meslek kültürü, iyi niyet, kararlılık ve sorumluluk duyguları ile doğru orantılıdır.

Hasarlı yapılarda meydana gelen eğilme ve kesme hasar düzeyi tespit süreci Şekil 8 ve 9'da verilen esaslara göre yapılmalıdır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler 3. ve 4. bölümde açıklanan hususlar ve Tablo 4'deki veriler ışığında sonuçlandırılır.

2020 Ocak Sivrice (M_w 6.8) merkezli Elazığ ve 2023 Şubat Pazarcık-Elbistan (M_w 7.7 ve M_w 7.6) merkezli Kahramanmaraş depremi kapsamında Malatya İli özelinde yapılan saha çalışmalarındaki gözlem, teknik inceleme ve hasar tespiti çalışmaları sonucunda elde edilen bilgi ve bulgular ışığında betonarme yapılarda yapısal hasar oluşumunun önlenmesi, bina servis ömrünün uzatılması, can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi için bazı öneriler neden-sonuç ilişkisiyle açıklanmıştır:

- Kolon-kiriş düğüm noktalarının yeterli rijitlikte olmaması durumu zayıf kolon ve güçlü kiriş etkisi oluşturmuş, göçme meydana gelmiş ve tüm katların üst üste yığılması şeklinde yapısal hasar yaşanmıştır.
- Kolon-kiriş düğüm noktasındaki kopma ve ayrılma sonucu donatı çeliğinin nervürlü donatı olmaması nedeniyle donatının standart gerilme değerlerini aşarak çelik donatıda akma olayları meydana gelmiştir.
- Donatı çeliği olarak özellikle düz demir kullanılması, enine ve boyuna donatı yetersizliği, sargı bölgesi oluşturulmaması, tam kapalı etriye ve çiroz etriye kullanılmaması, paspayı miktarına dikkat edilmemesi ilgili yapı elemanında meydana gelen eğilme ve kesme kuvvetleri telafisi zor ve ciddi yapısal hasarların oluşmasına neden olmuştur.
- Blok başı veya ikiz nizam dar cephe, bodrumsuz çok katlı yapılar devrilmeye karşı zayıf rijitlik göstermiştir.
- Blok başında bulunan yapılarda çekiçleme etkisi devrilmeye neden olmuştur.
- Bant pencere kenarlarındaki kısa kolonlar özellikle deprem esnasında binada oluşan gerilmeleri alır ve kesme ve/veya basınç kırılması şeklinde ağır hasarların oluşmasına neden olmuştur.
- Kolon-kiriş düğüm yerinde meydana gelebilecek mafsallaşma sonucu tüm katlar üst üste yığılarak göçmüştür.
- Taşıyıcı betonarme yapı elemanlarından alınan karot numuneleri sonucunda beton mukavemet değeri özellikle 1990 yılı öncesi inşa edilen binalarda C10 seviyelerinde çıkmıştır.
- Düğüm noktalarında usulüne uygun enine donatıların yerleştirilmesi yani kolonda etriye sıklaştırması yapılmalı ve etriye sürekliliğine devam edilmelidir.
- Taşıyıcı betonarme yapı elemanlarının S/Ç oranı en fazla 0.50 ve dayanım sınıfı en az C30/37 olan hazır betonlar tercih

edilmemiş, tekniğine uygun yerleştirilmeli, olgunluk ve kür şartlarına dikkat edilmelidir.

- Dar cepheli köşe başı parsellerde yapı izni verilmemeli veya bu dar cepheli parseller komşu parseller ile birleştirilerek devrilmeye karşı cephesi daha geniş ve daha rijit yapılar şeklinde uygulamalar yapılmalıdır.
- Yapının temel derinliği yapı yüksekliği $\geq 1/6$ 'sı kadar olmalıdır.
- Bodrumsuz bina inşaatına izin verilmemelidir. Binada bodrum katı bulunmayan, cephesi çok dar ve yüksekliği çok fazla olan yapı devrilmeye karşı koyamaz.
- Zemin kat kolonunda yapılan gusseler statik sistemde düzensizlik meydana getirir. Bağlı olduğu kolonun ağır hasar almasına neden olacağı için gusse uygulamalarına izin verilmemelidir.
- Binanın dış cephesine, cephe boyunca çıkıntı teşkil ederek yerleştirilen kolonlar kat kesme kuvvetlerine karşı yeterli dayanım gösteremez. Burkularak kırılmaları kaçınılmaz olduğu için bu tür uygulamalara izin verilmemelidir.
- Asmolen yapılarda yatay ötelenmeler daha fazla olacağından, bu yatay ötelenmeyi karşılamak için her iki yönde $H_k/2$ ölçüsünde perde kolonlar simetrik olarak yerleştirilmelidir.
- Kolon yüksekliğinden iki kat daha uzun kiriş tasarım ve uygulamasına izin verilmemelidir.
- Temel mimarlık ve mühendislik eğitimi almayan kişilerin yüklenici (müteahhit) olmaları engellenmelidir. Mimarlık ve
- Mühendislikte yetkinlik getirilmeli ve her 5 yılda bir yetkinlik düzeyi mesleki sınavlarla doğrulanmalıdır.
- Mesleki yeterlilik ve ustalık belgesi olmayanların inşaatlarda görev almasına ve çalışmasına izin verilmemelidir.
- İnşaat alanında temel İSG önlemleri alınmalıdır.
- İnşaatla ilgili uyarı, bilgilendirme ve yönlendirme görselleri yetersizlikleri giderilmelidir.
- Binanın temel tabanına yüzeysel suların girmemesi için nitelikli su yalıtımı yapılmalıdır.
- Tuğla ve/veya briketle yapılan duvarların yatay (12mm) ve düşey (10mm) derzlerinde nitelikli harç kullanılmalıdır (1 hacim çimento / 3 hacim kum (1/3)).
- Duvarların narinlik (yükseklik/kalınlık) oranı en fazla 15 olmalıdır.
- Duvarlar diyafram ve/veya deformasyon yapmaması için duvarlar en az 1m'de bir kama ile sıkıştırılmalıdır.
- İnşaatların ilgili yapı denetimi kuruluşu tarafından daha ciddi ve tutarlı yaklaşımlarla bina yapım süreci izlenmeli ve denetlenmelidir.
- Çatı kalkan duvarları yatay ve düşey hatıllarla desteklenmelidir [3, 7, 25, 26 ve 27].

Sonuç olarak, yapıların faydalı servis ömürlerini uzatmak, milli serveti korumak, can ve mal güvenliğini temin etmek, sağlıklı, konforlu ve güvenli binalar inşa edebilmek için biyoharmolojik binalar tasarlanıp inşa edilmelidir. Binaların kullanıcı kimliği ve kullanım amacı bakımından uyumlu olmalıdır [28 ve 29]. Bu özelliklere sahip yapılarda yapısal ve yapısal olmayan hasarlar oluşması önemli ölçüde önüne geçilmiş olunur. Yapısal ve yapısal olmayan hasarların oluşmasında mimari tasarım, statik-betonarme sistem çözümleri, beton kalitesi, donatı çeliği, tekniğine göre uygulama, zemin özellikleri, denetim ve mesleki sorumluluk duygusu biyoharmolojik yapılar için son derece önemli unsurlardır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar bu çalışma için çıkar çatışması bildirmemiştir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FÜBAP TEKF.23.04 protokol numarası ile finanse edilmiştir.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Makalenin yazarları bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] TDK, (2023). Türkçe Sözlük. <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 15.02.2023).
- [2] AFAD, (2019). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/depremedir> (Erişim Tarihi: 15.02.2023).
- [3] Ekinçi, C.E., (2021). Bordo Kitap: Mimar ve Mühendisin İnşaat El Kitabı (10. Baskı). Ankara: Data Yayınları.
- [4] Göker, Ş. ve Karaşin, A., (2015). Depremde hasar gören kırsal yapılar için bir yapısal hasar değerlendirmesi. DÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 6(1): 31-38.
- [5] Yüksel, İ., (2008). Betonarme Binaların Deprem Sonrası Acil Hasar Değerlendirmeleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24(1-2):260-276.
- [6] Yılmaz, G. ve Umu, S.U., (2017). Yapılarda Hasar. <http://w3.bilecik.edu.tr/insaat-en/wp-content/uploads/sites/118/2017/10/5-YAPILARDA-HASAR-BETONARME-YAPI-HASARLARI.pdf>. (Erişim Tarihi: 15.02.2023).
- [7] Şirin, C., (2006). Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri ve Nedenleri ve Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Teknikleri ile Bir Yapının Güçlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] İlki, A., Demir, C., Cömert, M. ve Halıcı, Ö.F., (2023). Betonarme ve yığma binalarda deprem kaynaklı hasarlar ve hasar tespiti. <https://www.elektriktesisatportali.com/betonarme-ve-yigma-binalarda-deprem-kaynakli-hasarlar-ve-hasar-tespiti.html> (Erişim Tarihi: 15.02.2023).
- [9] Balyemez, S. ve Berköz, L., (2005). Hasar görebilirlik ve kentsel deprem davranışı. İTÜ Dergisi/a Mimarlık, Planlama, Tasarım, 4(1):3-14.
- [10] Güvel, E.A., (2008). Türkiye'de depremin ikincil (makroekonomik) etkilerinin ekonometrik analizi. Sosyal Çalışma Dergisi, 1(2): 1-15.
- [11] Baltacıoğlu, A.K., Yavaş, A., Civalek, Ö., Öztürk, B. ve Akgöz, B., (2010). Yapıların deprem hasarlarının hızlı tespitinde bulanık kural tabanlı uzman sistemlerin kullanımı, BAÜ FBE Dergisi, 12(1): 65-74.
- [12] Koç, V., (2016). Deprem sonrası ağır hasarlı bina hasarlarının sınıflandırılması. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 2(1): 46-65.
- [13] Arslan, M.E., (?). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri. <https://deprem.duzce.edu.tr/Dokumanlar/deprem/Dosyalar/Mehmet%20Emin%20Arslan.pdf> (Erişim Tarihi: 15.02.2023).
- [14] Demirbaş, N., Şahin, H. ve Durucan, C., (2021). Betonarme yapılarda deprem sonrası yapısal hasarların tahmini için kullanılan hızlı değerlendirme yöntemlerinin etkinliklerinin belirlenmesi. F.Ü. Fen Bilimleri Dergisi. 33(2): 125-134.

- [15] Gültekin, B., (2022). Betonarme Yapılarda Yapısal ve Yapısal Olmayan Hasarların Derin Öğrenme İle Tespiti (Yüksek Lisans Tezi). Konya: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [16] Kara, O.A., (2021). Yapısal olmayan elemanların davranışlarının incelenmesi. TÜYAK Yangın Güvenliği Dergisi, (16):22-28.
- [17] Nas, H., (2019). Yapılarda Hasar Tespiti. [https://www.siirt.edu.tr/dosya/personel/yapilarda-hasar-tespiti-ders-notu-\(pdf\)-siirt-201951613414198.pdf](https://www.siirt.edu.tr/dosya/personel/yapilarda-hasar-tespiti-ders-notu-(pdf)-siirt-201951613414198.pdf). (Erişim Tarihi: 15:02.2023).
- [18] Altı, S., (2010). Yapısal Olmayan Elemanların Depremdeki Davranışı ve Alınacak Önlemler (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018 (<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>) (Erişim Tarihi: 18.02.2023).
- [20] Sevük, F., (2000). Yapı Hasarları ve Hasarların İyileştirilmesi Üzerine Bir İnceleme (Doktora Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] URL-1, (2017). Yapısal hasarlar. <http://w3.bilecik.edu.tr/insaat-en/wp-content/uploads/sites/118/2017/10/3-YAPILARDA-HASAR-DEPREME-DAYANIKLI-YAPILARIN-M%C4%B0MAR%C4%B0-TASARIM-%C4%B0LKELER%C4%B0.pdf>. (Erişim Tarihi: 15.02.2023).
- [22] Ekinici, C.E. ve Elyiğit, B., (2022). Kentsel Dönüşüm. Ankara: Data Yayınları.
- [23] Doğangün, A., (2020). Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. İstanbul: Birsen Yayın Dağıtım.
- [24] Celep, Z., (2018). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. İstanbul: Beta Yayıncılık.
- [25] Aydınoğlu, M.N., (2021). Deprem ve Binalarımız: Deprem Tehlikesi Altında Binalarımızın Hasar Riski Tasarım ve Yapım Sorunları. İMO İstanbul Bülteni, Sayı:167.
- [26] Ekinici, C.E., (2021). Yapı (2.Baskı). Ankara: Data Yayınları.
- [27] Çambel, E. ve Özgan, E., (2020). Bazı Taşıyıcı Yapı Elemanların Tasarımında Mimarlardan Kaynaklanan Farklılıkların İstatistiksel Analizi, Bolu Örneği, Engineering Sciences (NWSAENS), 15(1):15-26, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.1.1A0447.
- [28] Elyiğit, B., (2013). Alışveriş merkezlerinin yaz şartları için biyoharmolojik özelliklerinin incelenmesi. Technological Applied Sciences, <http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2013.8.4.2A0083>.
- [29] Ekinici, C.E., (2007). Biyoharmoloji. Ankara: Data Yayınları