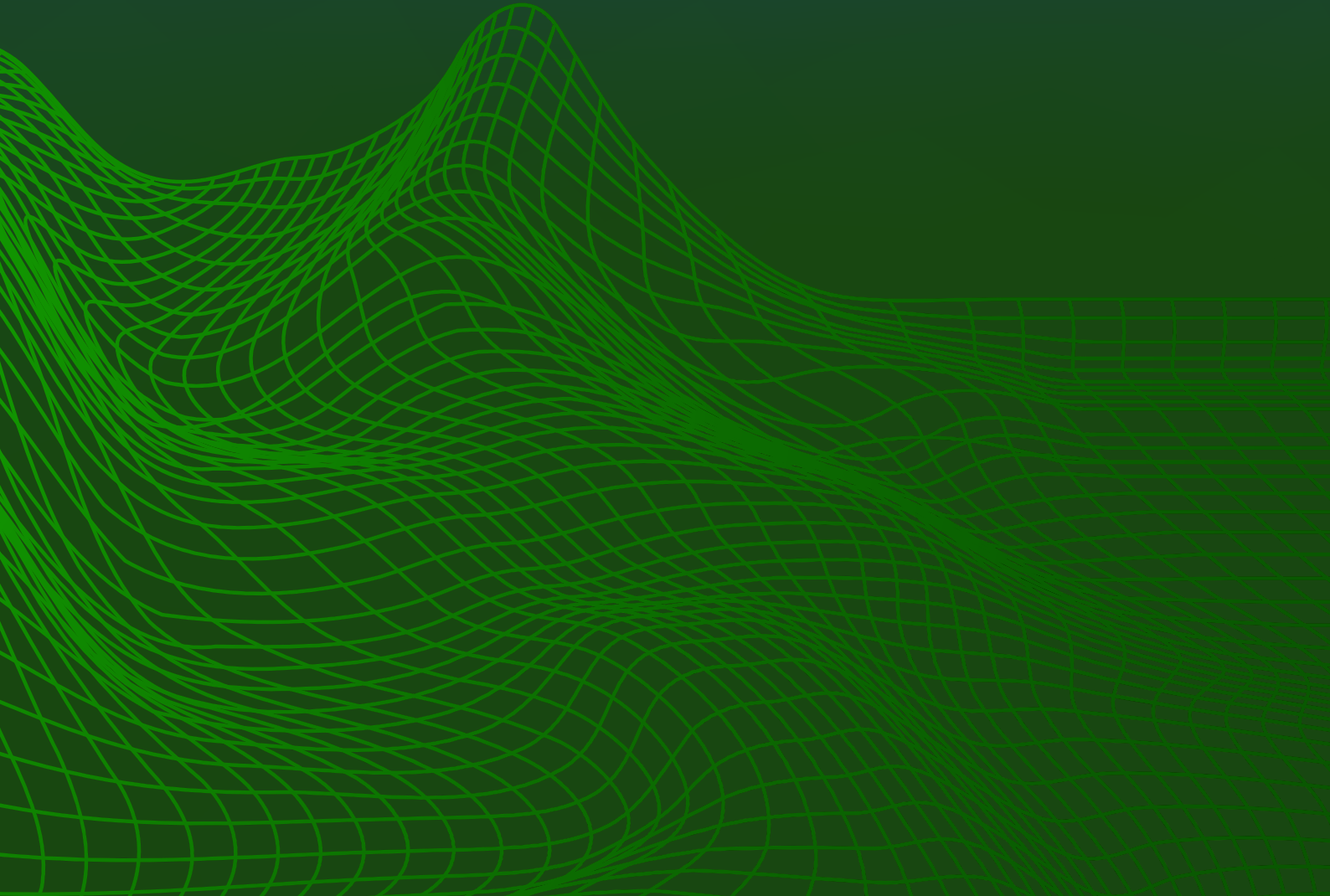


TUSIAD

SANAYİ YAPILARINDA
DEPREM RİSKİNİN BELİRLENMESİ
VE AZALTILMASI KILAVUZU



Sanayi Yapılarında Deprem Riskinin Belirlenmesi ve Azaltılması Kılavuzu

Dr. Müh. Cüneyt Tüzün

Şubat 2025
(Yayın No. TÜSİAD - T/2025-02/646)

Meşrutiyet Caddesi, No: 46 34420 Tepebaşı/İstanbul
Telefon: (0 212) 249 07 23 * Telefax: (0 212) 249 13 50
www.tusiad.org

© 2025, TÜSİAD

Tüm hakları saklıdır. Bu eserin tamamı ya da bir bölümü, 4110 sayılı Yasa ile değişik 5846 sayılı FSEK uyarınca, kullanılmadan önce hak sahibinden 52. Maddeye uygun yazılı izin alınmadıkça, hiçbir şekil ve yöntemle işlenmek, çoğaltılmak, çoğaltılmış nüshaları yayılmak, satılmak, kiralanmak, ödünç verilmek, temsil edilmek, sunulmak, telli/telsiz ya da başka teknik, sayısal ve/veya elektronik yöntemlerle iletilmek suretiyle kullanılamaz.

ISBN 978-605-165-081-4

Yazar: Dr. Müh. Cüneyt Tüzün

Yayına Hazırlayanlar: Ceren Aydın Ergün, Zeynep Yalçın

Dizgi ve Sayfa Uygulama: Maske Medya Reklam ve İletişim Hizmetleri Limited Şirketi

Kapak Tasarımı: Maske Medya Reklam ve İletişim Hizmetleri Limited Şirketi

Basım: Ritim Matbaacılık ve Ambalaj Sanayi Ticaret Limited Şirket

Önsöz

TÜSİAD, özel sektörü temsil eden sanayici ve iş insanları tarafından 1971 yılında, Anayasamızın ve Dernekler Kanunu'nun ilgili hükümlerine uygun olarak kurulmuş, kamu yararına çalışan bir dernek olup gönüllü bir sivil toplum örgütüdür.

TÜSİAD, insan hakları evrensel ilkelerinin, düşünce, inanç ve girişim özgürlüklerinin, laik hukuk devletinin, katılımcı demokrasi anlayışının, liberal ekonominin, rekabetçi piyasa ekonomisinin kurum ve kurallarının ve sürdürülebilir çevre dengesinin benimsendiği bir toplumsal düzenin oluşmasına ve gelişmesine katkı sağlamayı amaçlar.

TÜSİAD, Atatürk'ün öngördüğü hedef ve ilkeler doğrultusunda, Türkiye'nin çağdaş uygarlık düzeyini yakalama ve aşma anlayışı içinde, kadın-erkek eşitliğini, siyaset, ekonomi ve eğitim açısından gözeten iş insanlarının toplumun öncü ve girişimci bir grubu olduğu inancıyla, yukarıda sunulan ana gayenin gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla çalışmalar gerçekleştirir.

TÜSİAD, kamu yararına çalışan Türk iş dünyasının temsil örgütü olarak, girişimcilerin evrensel iş ahlakı ilkelerine uygun faaliyet göstermesi yönünde çaba sarf eder; küreselleşme sürecinde Türk rekabet gücünün ve toplumsal refahın, istihdamın, verimliliğin, yenilikçilik kapasitesinin ve eğitimin kapsam ve kalitesinin sürekli artırılması yoluyla yükseltilmesini esas alır.

TÜSİAD, toplumsal barış ve uzlaşmanın sürdürüldüğü bir ortamda, ülkemizin ekonomik ve sosyal kalkınmasında bölgesel ve sektörel potansiyelleri en iyi şekilde değerlendirerek ulusal ekonomik politikaların oluşturulmasına katkıda bulunur. Türkiye'nin küresel rekabet düzeyinde tanıtımına katkıda bulunur, Avrupa Birliği üyeliği sürecini desteklemek üzere uluslararası siyasal, ekonomik, sosyal ve kültürel ilişki, iletişim, temsil ve işbirliği ağlarının geliştirilmesi için çalışmalar yapar. Uluslararası entegrasyonu ve etkileşimi, bölgesel ve yerel gelişmeyi hızlandırmak için araştırma yapar, görüş oluşturur, projeler geliştirir ve bu kapsamda etkinlikler düzenler.

TÜSİAD, Türk iş dünyası adına, bu çerçevede oluşan görüş ve önerilerini Türkiye Büyük Millet Meclisi'ne, hükümete, diğer devletlere, uluslararası kuruluşlara ve kamuoyuna doğrudan ya da dolaylı olarak basın ve diğer araçlar aracılığı ile ileterek, yukarıdaki amaçlar doğrultusunda düşünce ve hareket birliği oluşturmayı hedefler.

TÜSİAD, misyonu doğrultusunda ve faaliyetleri çerçevesinde, ülke gündeminde bulunan konularla ilgili görüşlerini bilimsel çalışmalarla destekleyerek kamuoyuna duyurur ve bu görüşlerden hareketle kamuoyunda tartışma platformlarının oluşmasını sağlar.

TÜSİAD, deprem konusunu üyelerinin gündeminde sürekli olarak tutabilmek, özel sektörün depreme hazırlığı konusunda farkındalık oluşturmak, iyi örnekler yaratmak ve paylaşmak amacıyla çalışmalar yürütmektedir. Deprem Proje Grubu çalışmaları kapsamında Dr. Müh. Cüneyt Tüzün tarafından hazırlanan kılavuz; depremle ilgili parametreler, depreme dayanıklı bina tasarımı ve deprem riskinin belirlenmesi ile azaltılması süreçlerine dair, gerek bina gerekse sanayi yapılarında bilinmesi gereken araçlar ve izlenmesi gereken temel süreçleri içermektedir.

Kılavuz, TÜSİAD Genel Sekreter Yardımcısı Ceren Aydın Ergün, Uzman Zeynep Yalçın ve Dijital Strateji ve Proje Geliştirme Direktörü Kadir Yusuf Öztürk tarafından yayına hazırlanmıştır. Araştırma sürecinde verdikleri destek ve yönlendirmelerden dolayı TÜSİAD Deprem Proje Grubu üyeleri Bora Akdoğanlar, Sencer Bediz, Cumhur Bilgili, Dr. Ceyhan Eren, Bülent Gök ve Rahmi Kınıklı'ya teşekkürlerimizi sunarız.

Özgeçmiş

Cüneyt Tüzün, 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi'nden İnşaat Mühendisliği lisans, 1999 yılında yine aynı üniversiteden Yapı Mühendisliği yüksek lisans ve 2007 yılında Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden Deprem Mühendisliği alanında doktora derecesini almıştır. 2007-2019 yılları arasında Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümünde uzman araştırmacı ve öğretim üyesi olarak görev almıştır.

İlgi alanları arasında kentsel deprem riski belirlenmesi, performansa dayalı tasarım, yüksek yapı tasarımı, deprem yalıtımlı binaların tasarımı, yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve binaların deprem güçlendirmesi sayılabilir.

Dr. Tüzün 2019 yılından itibaren Yaşar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Dr. Tüzün ayrıca "Betonarme Binaların Performansa Dayalı Tasarımı" ve "Deprem Yalıtımlı Binaların Tasarımı" başlıklarında yüksek lisans ve doktora düzeyinde misafir öğretim üyesi olarak ders vermekte, uygulamada yapısal deprem mühendisliği alanında danışmanlık hizmeti vermektedir.

Dr. Tüzün 2007 ve 2018 "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" hazırlama komisyonlarında aktif görev almış ve Deprem İzolasyon Derneği yönetim kurulu üyesidir.

İçindekiler

1. Deprem Temel Kavramları	10
1.1. Deprem Nedir?	11
1.2. Deprem Temel Parametreleri	11
1.3. Türkiye Deprem Tehlikesi	13
1.4. Tehlike ve Risk Kavramları	15
1.5. Deprem ile İlgili Doğrular ve Yanlışlar	16
2. Binaların Deprem Tasarım Yaklaşımı	17
2.1. Binaların Deprem Tasarımı	18
2.2. Depreme Dayanıklı Bina Nedir?	18
2.3. Binaların Deprem Güvenliği Belirleme Süreçleri	19
2.3.1. Binaların Mevcut Durumlarının Deprem Güvenliği Belirleme Süreci	19
2.4. Binaların Deprem Güvenliği ile İlgili Doğrular / Yanlışlar	20
3. Binaların Deprem Tasarımında Yeni Yaklaşımlar	21
3.1. Binaların Yeni Deprem Tasarımı Yaklaşımı	22
3.1.1. Binaların Performansa Dayalı Deprem Tasarım Yaklaşımı	22
3.1.2. Günümüzdeki Deprem Tasarım Yaklaşımı Sorunları	24
3.1.3. Problemin Tanımı ve Çözüm Önerisi	26
3.2. Yapısal ve Yapısal Olmayan Sistemler	26
3.2.1. Yapısal Sistemler	26
3.2.2. Yapısal Olmayan Sistemler	27
3.2.3. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Davranışı	28
3.2.4. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Riski Belirlenmesi	30
3.2.5. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Riski Önlenmesi	30
3.3. Binaların Deprem Tasarımında Yenilikçi Sistemlerin Kullanılması	32
3.3.1. Deprem Tasarımında Yenilikçi Sistemler	32
3.3.2. Deprem Yalıtımı Uygulaması	32
3.3.3. Deprem Sönümleyicileri Uygulaması	33
3.3.4. Deprem Riskinin Azaltılmasında Özel Bağlantı Eleman ve Sistemlerin Uygulaması	34

4. Sanayi Yapılarında Deprem Riskinin Belirlenmesi	36
4.1. Sanayi Yapılarının Deprem Riski	37
4.1.1. Endüstriyel Binaların Bileşenleri	37
4.2. Sanayi Yapılarında Deprem Riski Belirleme Yöntemleri	38
4.2.1. Deprem Riski Belirleme Aşamaları	38
4.3. Ekonomik Kayıp ve İş Sürekliliği Kavramları	39
Genel Değerlendirme	44
Ekler	47
Kaynakça	56

Kısaltmalar

AFAD	T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ASCE	Amerika İnşaat Mühendisleri Derneği (American Society of Civil Engineers)
ASTM	Amerikan Malzeme ve Testler Derneği (American Society for Testing and Materials)
ATC	Uygulamalı Teknoloji Konseyi (Applied Technology Council)
ATC-13	Deprem Hasarı Değerlendirme Verileri (Earthquake Damage Evaluation Data for California)
EC-8	Eurocode 8
FEMA	Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (Federal Emergency Management Agency)
KAF	Kuzey Anadolu Fay Hattı
MMI	Modifiye Mercalli Şiddeti (Modified Mercalli Intensity)
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PML	Muhtemel Maksimum Kayıp (Probable Maximum Loss)
SEL	Senaryo Beklenen Kayıp (Scenario Expected Loss)
SUL	Senaryo Üst Kayıp (Scenario Upper Loss)
TBYD	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

Şekiller

Şekil 1.	Deprem Temel Parametreleri	11
Şekil 2.	Deprem Büyüklüğü ve Enerji İlişkisi	12
Şekil 3.	Deprem Büyüklüğü Ölçeği	12
Şekil 4.	Deprem Büyüklüğü - Şiddet İlişkisi	13
Şekil 5.	Anadolu Platosunun Dünya Aktif Plakalarına Göre Konumu	13
Şekil 6.	Anadolu Platosu Aktif Fay Haritası	14
Şekil 7.	Güncel Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası (2018)	14
Şekil 8.	Risk ve Tehlike İlişkisi	15
Şekil 9.	Farklı Deprem Düzeylerinde Binaların Farklı Deprem Tasarım Yaklaşımları	18
Şekil 10.	Binaların Deprem Güvenliği Belirleme Süreci Akış Şeması	20
Şekil 11.	Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Belirtilen Bina Performans Düzeyi Tanımları	22
Şekil 12.	Performansa Dayalı Tasarım Matrisi	23
Şekil 13.	Bina Yenileme Maliyeti – Yeniden Kullanım Süresi – Deprem Performansı İlişkisi	24
Şekil 14.	Deprem Tasarımında Kullanılan Farklı Yöntemler ve Kriterlerin Etkisi	25
Şekil 15.	Tipik Bir Yapı İçindeki Yapısal Elemanların Oluşturduğu Taşıyıcı Sistem	27
Şekil 16.	Tipik Bir Yapı İçindeki Yapısal Elemanlar (sol) ve Yapısal Olmayan Elemanlar (sağ)	27
Şekil 17.	Bina Kullanım Türüne Göre Yapısal Olmayan Elemanların Maliyet Oranı	28
Şekil 18.	Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Etkisi Altındaki Olası Davranışları	29
Şekil 19.	Yapısal Olmayan Elemanların Bina Yüksekliği Boyunca Davranış Değişimi	29
Şekil 20.	Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Riski Azaltma Yöntemleri	31
Şekil 21.	Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Tasarım Prosedürü (Güvenlik / Ekonomi İlişkisi)	31
Şekil 22.	Klasik ve Deprem Yalıtımlı Binanın Davranış Farkı	32
Şekil 23.	Deprem İzolatör Birimleri Türleri	32
Şekil 24.	Deprem Tasarımında Sönümleyici ile Titreşim Kontrolü	33
Şekil 25.	Sanayi Yapılarında Deprem Sönümleyici Uygulaması (Promer Müh.)	33
Şekil 26.	Yangın Sistemleri Deprem Koruması	34
Şekil 27.	Asma Tavan Sistemleri Koruması	34
Şekil 28.	Basıncılı Boruların Koruması (sol), Titreşim Yaratan Sistemleri Koruması (orta), Büyük Boru Sistemlerinin Koruması (sağ)	34
Şekil 29.	Yapısal Olmayan Elemanların Sınıflandırması	38
Şekil 30.	Deprem Riski Belirleme Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi	40
Şekil 31.	FEMA P-58 Yönteminde Bina Kayıp Oranını Deprem Parametre İlişkisi	41
Şekil 32.	FEMA P-58 Yönteminde Bina Güçlendirme Süresi Deprem Parametresi İlişkisi	42
Şekil 33.	FEMA P-58 Yöntemi Genel Akış Şeması	43

Deprem Temel Kavramları

1. Deprem Temel Kavramları

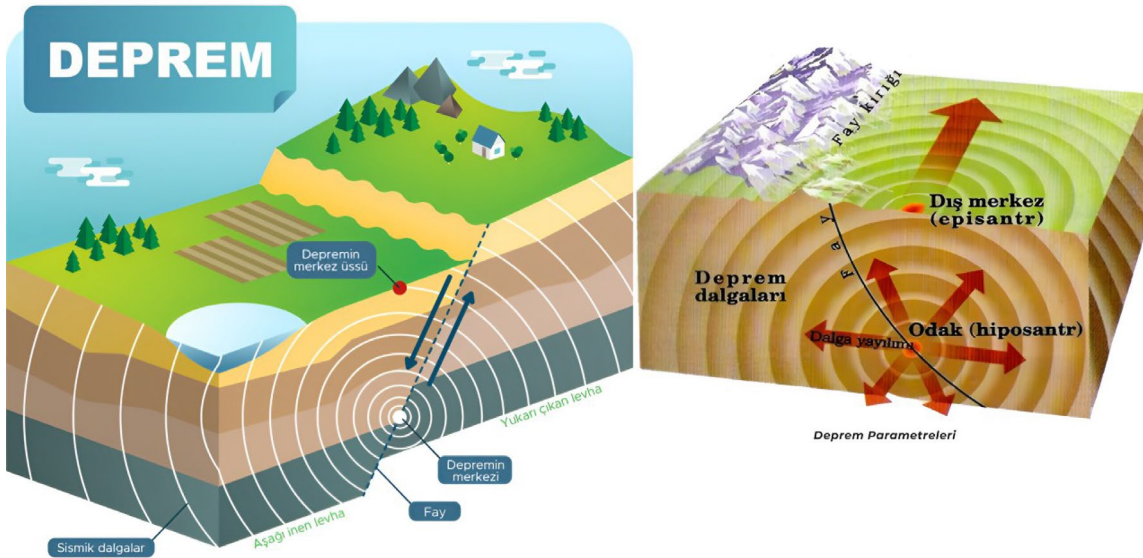
1.1. Deprem Nedir?

Deprem yer kabuğunu oluşturan levhaların fay olarak adlandırılan bölgelerinde meydana gelen ani kırılmalar dolayısı ile hareket etmesidir. Depremlerin meydana gelmesinin başlıca nedenleri şunlardır:

- Tektonik levha hareketleri,
- Volkanik patlamalar,
- Yeraltındaki büyük boşluklarda meydana gelen çöküntüler.

Bir depremin doğru bir şekilde tanımlanabilmesi için üç ana parametre belirlenmelidir:

- **Odak (Hiposantr):** Yer içerisinde deprem enerjisinin açığa çıktığı noktadır ve hiposantr olarak da adlandırılır.
- **Dış merkez:** Odak noktasının yeryüzündeki izdüşümü yani en yakın yeryüzü noktasıdır. Aynı zamanda depremden en fazla zarar gören ve depremi en kuvvetli hisseden bölgedir.
- **Odak derinliği:** Odak noktası ile dış merkez arasındaki en kısa mesafedir.



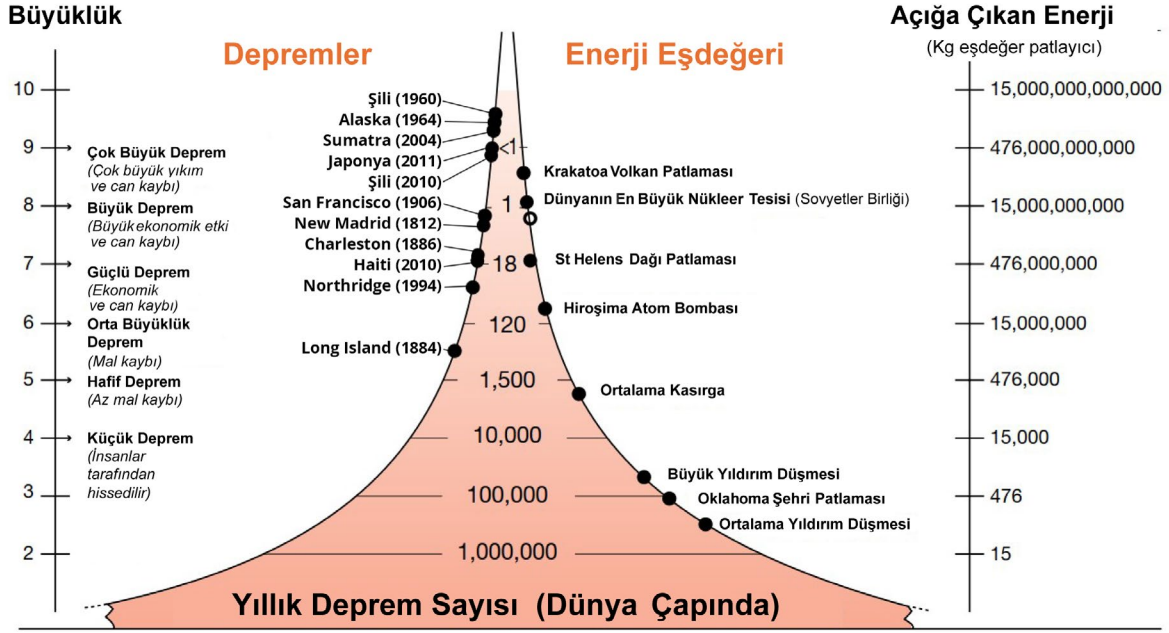
Şekil 1. Deprem Temel Parametreleri

1.2. Deprem Temel Parametreleri

Depremin büyüklüğü, deprem sonucu açığa çıkan enerji hakkında bilgi veren bir ölçüdür. Depremin büyüklüğü, hangi noktada ölçüldüğüne bağlı olarak değişmez. Depremin şiddeti ise, depremin yer yüzeyinde, özellikle belirli bir bölgede meydana getirdiği sarsıntının yapılar üzerindeki etkisini ifade eder.

Günümüzde depremlerin büyüklüğü farklı parametreler kullanılarak ölçülür ve bu ölçümler, deprem sırasında elde edilen verilere göre çeşitli türlerde tanımlanır. Meydana gelen deprem sırasında ölçülen parametrelere bağlı olarak 4 temel büyüklük türü vardır:

- Yerel büyüklük (M_L),
- Cisim Dalgası Büyüklüğü (M_B),
- Yüzey Dalgası Büyüklüğü (M_S),
- Moment büyüklüğü (M_W).



Şekil 2. Deprem Büyüklüğü ve Enerji İlişkisi

Depremin şiddeti ise herhangi bir büyüklükte meydana gelen depremin yeryüzünde insanlar, çevre ve doğa üzerinde meydana getirdiği etkilerin derecelendirilmesidir. Depremin şiddeti sadece gözlem yoluyla belirlenebilen bir parametredir. Depremin şiddeti, depremin büyüklüğüne, derinliğine, uzaklığına ve yapıların depreme karşı dayanıklı olup olmamasına göre değişkenlik gösterir.

Bununla birlikte, depremin şiddeti ile deprem büyüklüğü hakkında net bir bilgi sağlayamayız. Örneğin, büyüklüğü küçük olan bir deprem, zayıf yapıların bulunduğu bir bölgede büyük hasara yol açarak yüksek şiddet olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, depremin meydana geldiği bölgede bir mühendislik yapısı yok ise o bölgede şiddetten söz edilemez.

DEPREM BÜYÜKLÜĞÜ ÖLÇEĞİ



Şekil 3. Deprem Büyüklüğü Ölçeği

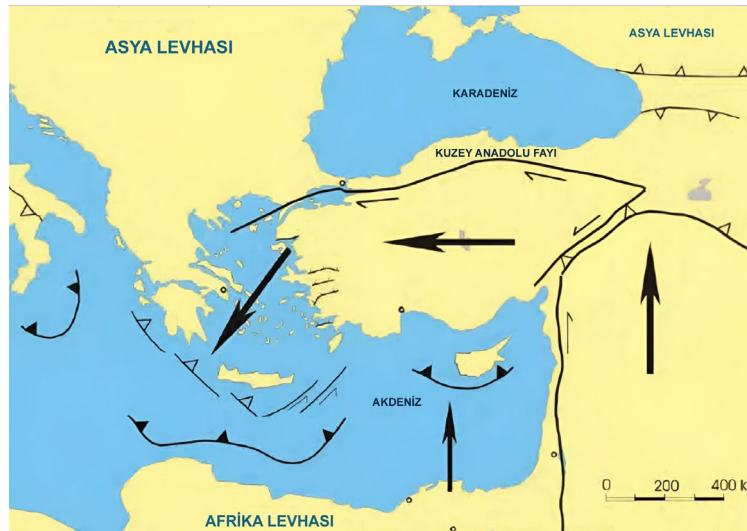
Büyüklik	Şiddet	Açıklama
1.0 - 3.0	I	Hemen hemen hiç hissedilmez.
3.0 - 3.9	II	Özellikle üst katlardaki bazı insanlar tarafından hissedilebilir.
	III	Binalarda bulunanlar, özellikle üst katlarda yaşayanlar açıkça hissederler. Birçok insan sarsıntının deprem olduğunu farkedemez. Duran araçlar hafifçe sallanır. Sarsıntı, büyükçe bir kamyonun geçişi sırasındaki sarsıntıyı andırır. Başlama ve bitişi insanlar tarafından hissedilebilir.
4.0 - 4.9	IV	Gündüz vakti binalarda bulunan hemen herkes tarafından hissedilir, dışarda bulunanların çok azı sarsıntıyı hisseder. Gece vakti bazıları uykudan uyandırır. Tabaklar, pencereler ve kapılar sarsıntının etkisi ile titreşime geçer; duvarlardan çatlıyormuşçasına sesler gelir. Büyük bir tırın binaya çarpmasına benzer bir etki uyandırır. Duran araçlar görünür bir şekilde sallanır.
	V	Hemen hemen herkes tarafından hissedilir ve gece vakti çoğu insanı uykusundan uyandırır. Dengesiz nesnelere devrilir. Sarkaçlı saatler durabilir.
5.0 - 5.9	VI	Herkes tarafından hissedilir ve korku verir. Bazı ağır mobilyalar hareket eder; sıvalarda dökülmeler gözlenir. Genel olarak hafif hasarlar sonuçlanır.
	VII	Tasarımı ve inşaatı çok iyi olan yapılarda gözardı edilebilecek bir hasarlara yol açarken; iyi inşa edilmiş sıradan binalarda hafif ya da orta ölçüde hasar gözlenir; kötü malzeme kullanılmış ya da kötü tasarlanmış binalarda önemli ölçüde hasara neden olur. Bazı bacalar yıkılır.
6.0 - 6.9	VIII	Özel olarak tasarlanmış binalarda hafif hasar; normal yapılarda orta hasar zayıf binalarda ise oldukça büyük hasara yol açar. Bacalar devrilir, üst üste yerleştirilmiş malzemeler devrilir, duvar ve kolonlar yıkılır. Ağır mobilyalar devrilir.
	IX	Özel olarak tasarlanmış binalarda orta ölçekte hasar oluşurken; iyi dizayn edilmiş kafes yapılar ekseninden kayar. Normal binalarda büyük hasar oluşur ve yer yer yıkılmalar gözlenir. Binalar temellerinden kayarlar.
7.0 veya daha büyük	X	İyi inşa edilmiş ahşap yapılardan bazıları yıkılırken; taş ve kafes yapıların büyük bir çoğunluğu temelleriyle birlikte yıkılır. Demiryolları eğilir.
	XI	Birkaç yapı (özellikle taş) dışında tüm binalar ve köprüler yıkılır. Demiryolları büyük oranda eğilir ve bükülür.
	XII	Binaların büyük bölümü yerle bir olur. Ufuk çizgisi oynak bir yüzeye dönüşür.

Şekil 4. Deprem Büyüklüğü-Şiddet İlişkisi

1.3. Türkiye Deprem Tehlikesi

Ülkemiz dünyadaki önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer almaktadır. Ülkemizin karmaşık jeolojik yapısı ve jeodinamik konumu nedeniyle çok sayıda aktif fay bulunmaktadır. Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, 1987 yılında aktif fayların haritalanması ve deprem potansiyelinin belirlenmesine yönelik bir proje başlatmış ve bu projede yer alan faylar hakkında deprensellik açısından özelliklerini tanımlayan bir rapor hazırlamıştır. 1992 yılında ise Türkiye Diri Fay Haritası yayımlanmış ve 2014 yılında başlayan bir proje ile AFAD tarafından yönetilen ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından uygulamada kullanılan yönetmeliklere esas olan Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası (Şekil 6) 2018 yılında yenilenmiştir.

Ülkemizin bulunduğu Anadolu Platosu, yer kabuğunu oluşturan üç ana levha arasında yer alır: Avrasya, Arap ve Afrika levhaları (Şekil 5). Arap ve Afrika levhalarının kuzey yönlü hareketine bağlı olarak Anadolu Platosu da kuzeybatı yönünde hareket etmektedir. Söz konusu hareket yılda 25 mm olarak ölçülmektedir.



Şekil 5. Anadolu Platosunun Dünya Aktif Plakalarına Göre Konumu

1.4. Tehlike ve Risk Kavramları

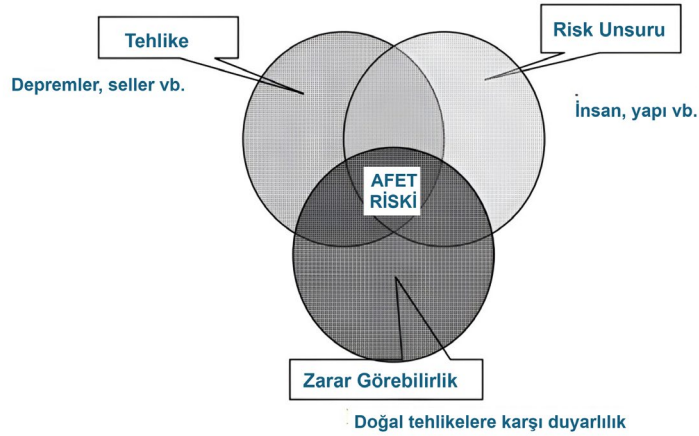
Özellikle deprem konusunda “tehlke” ve “risk” çoğu zaman birbirine karıştırılan kavramlardır ve bu da halk arasında yanıltıcı bilgilere yol açmaktadır.

Tehlike, kayıplara neden olma potansiyeli bulunan ve doğal veya insan kaynaklı olarak oluşan bir olay veya süreçtir. Risk, insani değer taşıyan bir şeyin tehlikeye gerçek maruziyetidir ve genellikle olasılık ile kaybın bir sonucu olarak değerlendirilir.

Dolayısıyla tehlike (veya nedeni), insanların ve mallarının, kurdukları medeniyetlerin karşı karşıya olduğu potansiyel tehditleri ifade ederken, risk (veya sonucu) de tehlikenin meydana gelme ve kayıplara neden olma olasılığı olarak tanımlanabilir.

Tehlike genelde bireylere zararlı olacak konuları ifade ederken, risk ifadesi ise tehlikelerin oluşma olasılığını anlatır. Tehlike ve risk ifadelerinin eş ifadeler olmadığı fakat birbirleri ile ilişkili olduğu görülmektedir. Risk, bir tehlikenin gerçekleşme olasılığı ve bu tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak etkilerin büyüklüğünün birleşimidir.

Deprem afeti özelinde ise tehlike hasar ve can kaybı yaratacak büyüklükte bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belirli bir yerde ve belirli bir zamanda oluşma olasılığı, deprem riski ise deprem tehlikesinin gerçekleşmesi durumunda, fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıpların meydana gelme olasılığıdır.



Şekil 8. Risk ve Tehlike ilişkisi

Deprem afeti tehlikenin kendisi değil, bu hareketin yol açtığı kayıplar veya olumsuz sonuçları olarak tanımlanmıştır. Buna göre;

$$\text{AFET} = \text{TEHLİKE} \times \text{ZARAR GÖREBİLİRLİK}$$

Bu bağıntıya göre tehlike ne kadar büyük olursa olsun, zarar görebilirlik küçükse afet o kadar küçük boyutta yaşanacaktır, aksine tehlike küçük de olsa, zarar görebilirlik yüksekse afetin sonuçları şiddetli olacaktır.

Bu denklemin ana bileşenlerden biri olan Zarar Görebilirlik, bir toplumun, yapının veya hizmetin, bir tehlike gerçekleştiğinde karşılaştığı hasar veya zararın ölçüsüdür. Yani, tehlikeye maruz kalan unsurların (insan, yapı, yaşam, sosyo-ekonomik düzen gibi) bu tehlike gerçekleştiğinde görebileceği, fiziksel, sosyal veya ekonomik kayıp ve zararların büyüklüğüdür. Zarar görebilirlik üç ana grupta incelenebilir:

- Fiziksel zarar görebilirlik,
- Sosyal zarar görebilirlik,
- Ekonomik zarar görebilirlik.

Fiziksel zarar görebilirlik insan eliyle oluşturulmuş yapı, alt yapı, çevre, tarım, sanayi, üretim vb. fiziksel unsurların zarar görebilirlikleri ile insan topluluklarının fiziksel kapasitelerini kapsar. Ölçülebilme ve sayısal hale getirilmesi mümkündür. Tanım olarak belirli bir bölgede, belirli bir büyüklükte bir tehlikenin meydana gelmesi halinde, bir fiziksel unsurun veya unsurlar grubunun göreceği hasar derecesidir.

Sosyal zarar görebilirlik toplumların nüfus yoğunluğu, yaş ve cinsiyet oranları, eğitim düzeyleri gibi faktörleri içerir. Ölçülebilmesi ve sayısallaştırılması daha zor olan bir kavramdır. Ancak fiziksel zarar görebilirlik düzeyinin ve başa çıkma kapasitelerinin sosyal gruplar arasında farklılık göstermesi ve geçmişte yaşanan olayların analizinde yaşlıların, çocukların ve engelli bireylerin olaylardan daha fazla etkilenmeleri ve başa çıkma kapasitelerinin daha az olduğunun görülmesi, böyle bir zarar görebilirlik tanımına ihtiyaç doğurmuştur.

Ekonomik zarar görebilirlik ise, toplumların ekonomik yapısını, geçim kaynaklarını ve kapasitelerini ifade eder. Geçmiş afetlerde ekonomik olarak dezavantajlı bölgelerle fiziksel zarar görebilirlik arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmüştür. Ekonomik olarak dezavantajlı kesimlerin ekonomik sebeplerle daha tehlikeli bölgelerde (örneğin, dere yatakları, heyelana müsait yamaçlar, depreme dayanıklı olmayan binalar gibi) yaşadığı ve bu nedenle afetlerden daha fazla etkilendikleri gözlemlenmiştir.

Zarar Görebilirlik Analizi, olası bir depremde veya diğer afetlerde zarar görebilirlik düzeylerini belirlemek için yapılan temel çalışmadır. Bu analiz, tehlike analizinden elde edilen verilerle, fiziksel, sosyal ve ekonomik zararları sayısal hale dönüştürür. Ardından, bu verilerle toplulukların afetle başa çıkabilme kapasitesini belirlemek için kaynak analizi yapılır. Böylece, topluluğun afetle mücadele için sahip olduğu kapasite ve kaynaklar değerlendirilir.

1.5. Deprem ile İlgili Doğrular ve Yanlışlar

Ülkemizde depremle ilgili halk arasında doğru olduğu düşünülen birçok bilgi, aslında hatalı veya eksik bilgilerden kaynaklanmaktadır. Bu yanlış bilgilerin yayılması, halkın deprem güvenliği konusunda yanıltılmasına yol açabilir. Bazı yaygın yanlış inanışlar şu şekilde sıralanabilir:

- *“Deprem önceden tahmin edilebilir.”*

Depremlerin önceden tahmin edilmesi, dünya genelinde birçok araştırmaya konu olmuş olsa da bilimsel olarak kabul edilen ve onaylanmış bir tahmin yöntemi bulunmamaktadır.

- *“Deprem belirli saat ve mevsimlerde olur.”*

Geçmiş depremler incelendiğinde, depremlerin belirli bir saat veya mevsimde meydana geldiğine ilişkin bir düzen gözlemlenmemektedir.

- *“Deprem insan tarafından gerçekleştirilebilir.”*

Yeryüzündeki yapılara zarar verecek ölçeklerde depremin insanlar tarafından meydana getirilmesi teknik olarak mümkün değildir. Sadece dünyanın belirli bölgelerinde doğal gaz ve petrol çıkarılması sonucunda çok küçük depremler meydana gelebilmektedir.

- *“Sert zeminde olmak depremde güvenlidir.”*

Deprem dalgaları içinden geçtikleri zemin katmanlarında davranışları değişebilir. Sert zeminlerde deprem dalgaları daha az etkili olmaktadır ancak sadece sert zeminde bir binada olmak depremde güvende olduğu anlamına gelmez. Zemin özellikleri ve parametresi binaların deprem davranışında önemlidir ancak binanın diğer özellikleri de binanın deprem güvenliğine etki eder.

Binaların Deprem Tasarım Yaklaşımı

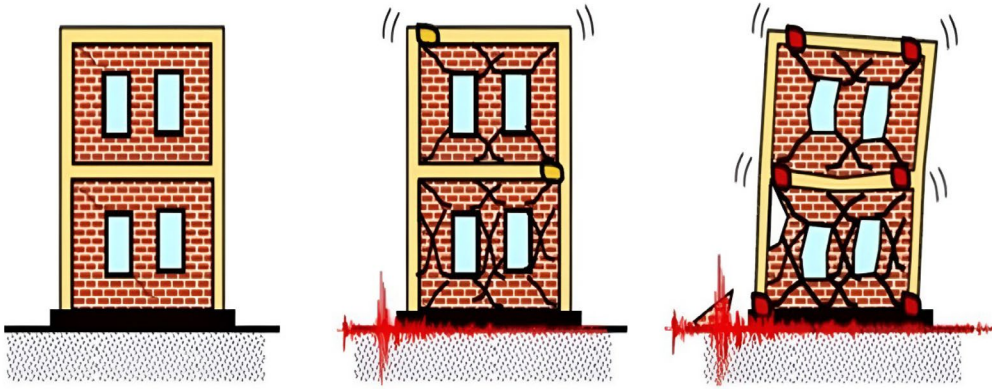
2. Binaların Deprem Tasarım Yaklaşımı

2.1. Binaların Deprem Tasarımı

Günümüzde yapıların depreme dayanıklı tasarımındaki temel amaç, bina içinde yaşayanların can güvenliğini korumaktır. Bununla birlikte, bu tasarım yaklaşımı belirli bir bölgede beklenen deprem koşullarına uygun olarak, deprem sonrası insanların binadan sağ çıkabilmesini sağlamayı hedefler.

Bu yaklaşım dünyada deprem tehlikesinin yüksek olduğu tüm ülkelerdeki modern deprem tasarım yaklaşımlarının ortak hedefidir. **Modern deprem tasarımının ana felsefesi bir depremde yapıların onarılabilir düzeyde hasar görmesi ancak yapı içinde yaşayanların can güvenliğini sağlamaktır.**

Sık gerçekleşen depremler sırasında yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmemesi; daha az sık gerçekleşen depremlerde ise yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda sınırlı ve onarılabilen hasarların oluşması ve seyrek gerçekleşen depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda kalıcı olmayan hasarlar meydana gelmesi ve can güvenliğinin sağlanması temel yaklaşımlardır.



Şekil 9. Farklı Deprem Düzeylerinde Binaların Farklı Deprem Tasarım Yaklaşımları

2.2. Depreme Dayanıklı Bina Nedir?

Ülkemizde ev sahibi olmak isteyen kişiler, evin depreme dayanıklılığını mutlaka sorgulamalıdır. Bir evin mimari ve fonksiyonel özellikleri önemli olsa da kullanım ömrü boyunca en az bir kez yaşanacak bir depremde sağlam kalabilmesi ve içinde yaşayanların can güvenliğini koruyabilmesi çok daha önemlidir. Geçmiş depremlerde binaların yalnızca tasarımda öngörülen seviyede hasar görmesinin bile deprem sonrasında binaları kullanılamaz hale getirdiği gözlemlenmiştir. Deprem yönetmeliğinde belirtilen minimum standartlarda tasarlanan binalarda bile binaların içinde yaşayanlar, deprem sonrası evlerini kullanamamaktadır.

- Depreme Dayanıklı Bina Tanımı:

Günümüzde bina sahiplerinin ve yeni ev alacak kişilerin en çok eksik bilgiye sahip olduğu konulardan biri "depreme dayanıklı bina" tanımıdır.

Depreme dayanıklı bina tanımı ile halkın depreme dayanıklı bina algısı arasında büyük bir farklılık vardır. Mühendislik hizmeti almış ve ilgili yıldaki deprem yönetmeliği kurallarına minimum düzeyde uyularak tasarlanan ve inşa edilen "depreme dayanıklı bina," deprem etkisi altında yapısal elemanlarında (kolon, kiriş vb.) onarılabilir

düzeyde hasar meydana gelen, ancak bina bütünlüğünün korunarak, içinde yaşayanların can güvenliğinin sağlandığı bir yapıdır.

Deprem yönetmeliğine göre yapılmış binaların deprem sırasında hasar görmesi beklenebilir bir durum olup **özel bir talep olmadıkça binalar depremde hasar görmeyecek şekilde tasarlanıp inşa edilmez.**

Ancak, binaların deprem sonrası belirli ölçüde hasar göreceği şekilde tasarlandığı bilgisi, çoğu zaman son kullanıcılar arasında mevcut değildir.

2.3. Binaların Deprem Güvenliği Belirleme Süreçleri

Özellikle büyük depremlerden sonra bina sahipleri binalarının depreme dayanıklılığını sorgulamaktadır. Uygulamada bu sorunun yanıtı için birçok yaklaşım bulunmaktadır. Ancak, güvenilir ve resmi yanıtı almak için, Türkiye’de yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019) kapsamında belirtilen çalışmaların gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu çalışmalar, TBDY 2019 kapsamında detaylı olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmalar temel olarak iki ana başlık altında toplanabilir:

1. Saha Çalışmaları
2. Mühendislik Analizleri

2.3.1. Binaların Mevcut Durumlarının Deprem Güvenliği Belirleme Süreci

Bir binanın deprem güvenliğinin belirlenmesi için gerçekleştirilecek çalışmalar TBDY 2019 kapsamında ele alınarak aşağıdaki adımlarla özetlenebilir:

- **Bina ile ilgili belgelerin elde edilmesi**

İlk adım, binaya ait mimari ve statik projelerin temin edilmesidir. Bu projeler, genellikle binanın kayıtlı olduğu belediye arşivlerinden elde edilebilir. Binaya ait projelerin ilgili birimlerden elde edilememesi durumunda ise teknik bir ekip tarafından yerinde inceleme ve ölçüm yapılarak binanın taşıyıcı sistem detayları belirlenir.

- **Mevcut malzeme ve zemin özelliklerinin belirlenmesi**

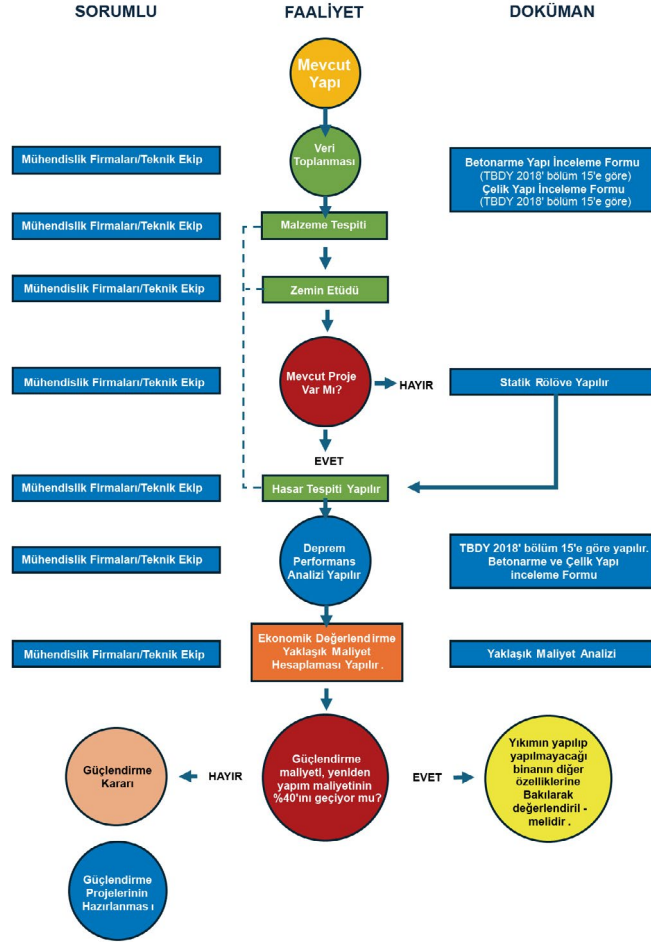
Yapı malzemesinin türüne (betonarme/çelik/yığıma) bağlı olarak binanın taşıyıcı elemanlarından örnekler alınarak laboratuvar ortamında dayanım analizleri yapılır. Alınacak örnek sayısı TBDY 2019’da belirtilmiştir.

Ayrıca, binanın bulunduğu zeminin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla saha ölçümleri ve deneyler gerçekleştirilir.

- **Mühendislik Analizi**

Binaya ait tasarım ve uygulama çizimleri ile alınan örneklerden elde edilen veriler, TBDY 2019’da belirtilen kurallara göre analiz edilir. Bu analizlerle, binaya etkiyen deprem düzeyine bağlı olarak taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelmesi beklenen hasar düzeyi ve dağılımı hakkında bilgi edinilir.

Eğer hasar düzeyi ve dağılımı TBDY 2019’da belirtilen sınırlar içinde kalıyorsa, binanın beklenen deprem davranışını sağladığı kabul edilir. Ancak, belirlenen hasar sınırları aşarsa, uygun güçlendirme yöntemi ile istenen deprem davranışının sağlanması için bina taşıyıcı sistemine farklı yöntemler ile müdahale edilerek binanın deprem dayanımı artırılabilir. Bu güçlendirme yönteminin uygunluğuna, binanın fonksiyonunu sürdürmesi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesiyle karar verilir.



Şekil 10. Binaların Deprem Güvenliği Belirleme Süreci Akış Şeması

2.4. Binaların Deprem Güvenliği ile İlgili Doğrular / Yanlışlar

- *"Binanın mevcut malzeme dayanımı yüksekse, yapı güvenlidir."*

Binadan alınan örneklerin malzeme dayanımının yüksek olması olumlu bir sonuçtur, ancak tüm binanın güvenliğini belirlemek için yeterli bir bilgi değildir.

- *"Binanın mevcut zemin özellikleri iyi ise, bina güvenlidir."*

Binanın bulunduğu zeminin iyi olması olumlu bir faktördür, ancak bu tek başına binanın deprem güvenliğini garanti etmez.

- *"Binalardan örnek almak binaların dayanımını azaltır."*

Binalardan alınacak örneklerin sayısı, yeri ve boyu tecrübeli mühendisler tarafından belirlenmektedir. Ayrıca, örnek alınan bölgeler daha daha iyi ve dayanımı yüksek malzeme ile doldurulmaktadır.

- *"Tecrübeli bir mühendis bizim binayı inceledi ve sorun olmadığını söyledi."*

Binaların sadece gözlem ve tahribatsız testlerle güvenli olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu gibi incelemeler, mevcut durumu değerlendirmede yardımcı olabilir, ancak sadece bu gözlemlerle bir binanın tamamen güvenli olduğunu söylemek yanıltıcı olabilir.

Binaların Deprem Tasarımında Yeni Yaklaşımlar

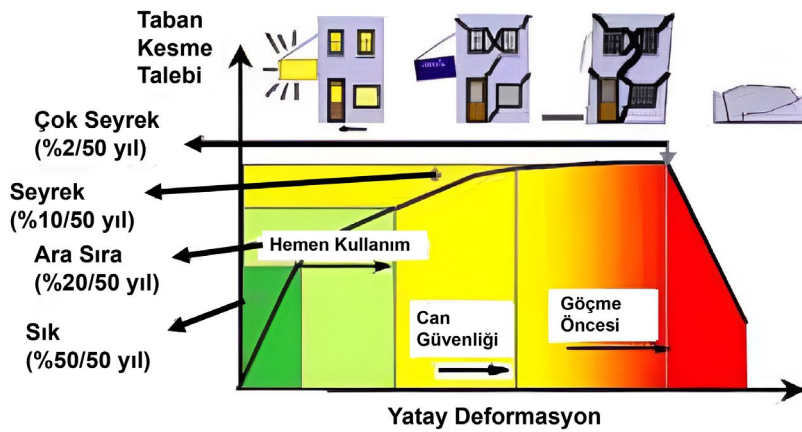
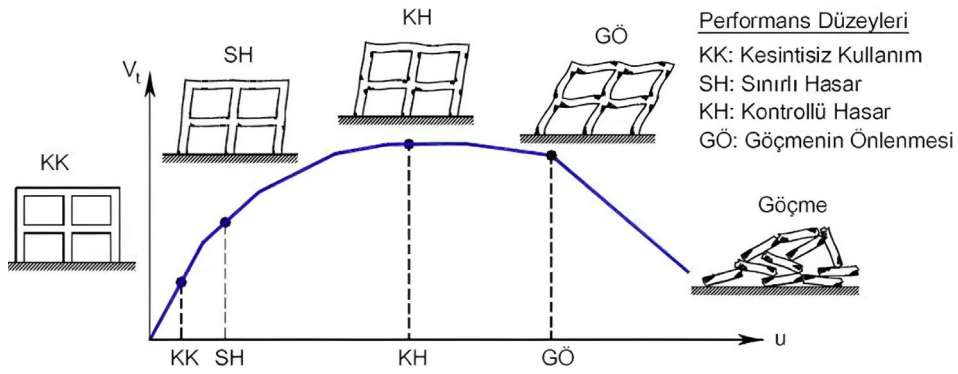
3. Sanayi Yapılarında Deprem Riskinin Belirlenmesi

3.1. Binaların Yeni Deprem Tasarımı Yaklaşımı

3.1.1. Binaların Performansa Dayalı Deprem Tasarım Yaklaşımı

Klasik bina tasarımının temel felsefesi, yapı içindekilerin can güvenliğini sağlamaktır. Bu yaklaşımda, belirli bir oranda yapısal elemanlarda hasara bilerek izin verildiği konusu raporun önceki bölümlerinde ele alınmıştır.

Ancak, gelişen teknoloji ve artan yatırımlar sonucunda, sadece yapının içindekilerin can güvenliğini sağlamak amacıyla inşa edilen yapılar, günümüzün ihtiyaçlarına yeterli bir tasarım felsefesi olarak kabul edilmemektedir. Bu bağlamda, deprem mühendisliği kapsamında alternatif bir yaklaşım olarak "performansa dayalı tasarım" geliştirilmiştir. 2000 yılı itibarıyla dünya genelinde yapıların deprem tasarımında yeni yaklaşımlar yönetmeliklere girmeye ve uygulanmaya başlanmıştır. Performansa dayalı tasarım olarak adlandırılan bu yaklaşım, farklı bina türlerinin farklı deprem düzeylerinde farklı davranışlar sergilemesini hedefleyen bir anlayışa sahiptir.



Şekil 11. Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Belirtilen Bina Performans Düzeyi Tanımları

Ülkemizde, performansa dayalı tasarım yaklaşımı 2007 yılı Deprem Yönetmeliği'nde mevcut binalar için yer almış, 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBYD 2018) ile hem yeni yapılacak hem de mevcut binalar için bu yaklaşım genişletilmiştir. Bu yönetmelik, tasarımcı ve yatırımcıya alternatif tasarımlar sunarak, deprem güvenliğini belirlemek için performansa dayalı tasarımı esas alır.

TBDY 2018 kapsamında, tasarım ve mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınan “Deprem Performans Hedefleri ve Tanımları” aşağıda sıralanmıştır:

- Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği ya da hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı durumu ifade eder.

- Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, yani doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyini tanımlar.

- Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak amacıyla bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılabilir kontrollü hasarların meydana geldiği durumdur.

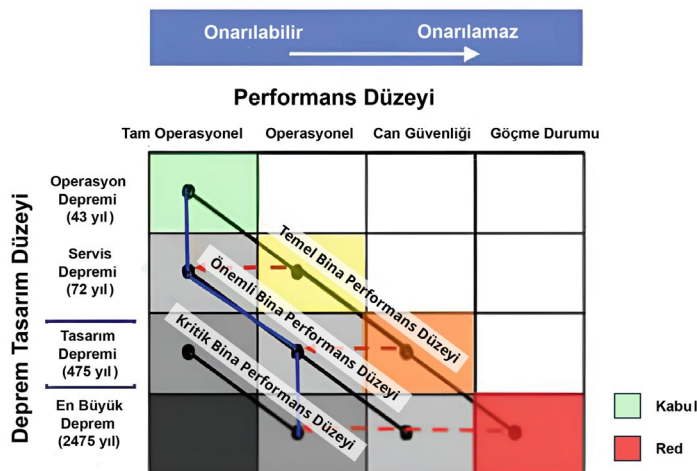
- Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği, göçme öncesi durumu ifade eder. Binanın kısmi ya da tamamen göçmesini önleyecek önlemler alınır.

Bu tasarım felsefesi, deprem etkisi altındaki yapının davranışını daha önceden belirleyen bir sistem değildir; aksine, yatırımcı ve tasarımcının birlikte çalışarak, belirli bir deprem etkisi altında beklenen yapısal davranış hedeflemeleri için gerekli çalışmaların yapılmasını sağlar.

Bu tasarım felsefesi, hedeflenen davranışa göre yalnızca yapıdaki taşıyıcı elemanları değil, aynı zamanda yapısal olmayan elemanların davranışlarını da kapsayan belirli tasarım yaklaşımlarını içermektedir. Böylece, yapıda yalnızca yapısal elemanlardan kaynaklanan hasarlardan değil, yapısal olmayan elemanlardan doğacak can ve mal kayıplarının da önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Bir binanın minimum deprem performansının belirlenmesinde iki ana kriter bulunmaktadır: bunlardan ilki bina türü, diğeri ise deprem sıklığıdır. Bu deprem tasarım felsefesinde, binaların deprem sonrası kullanım önceliği ve bu binaların kullanım ömürleri boyunca maruz kalacakları depremlerin sıklığı dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım, performansa dayalı tasarımın temeli olan bina türü – deprem sıklığı – deprem davranışı (performansı) ilişkisini içeren performans matrisi ile ifade edilmiştir.



3.1.2. Günümüzdeki Deprem Tasarım Yaklaşımı Sorunları

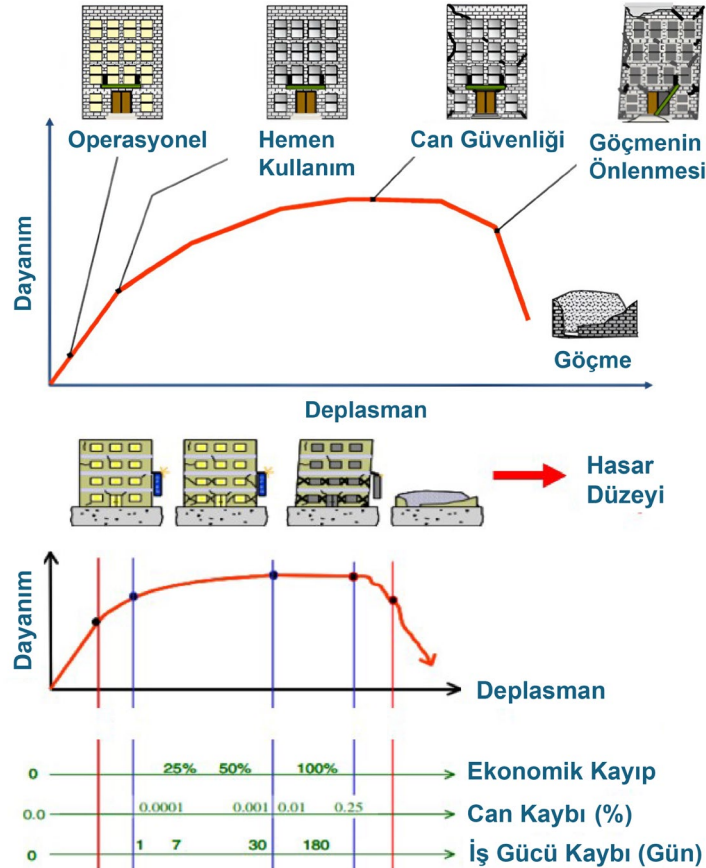
Günümüzde şehirlerin hızla büyümesi ve sanayinin gelişmesiyle birlikte, yatırımların maliyetleri artmakta ve teknoloji hızla ilerlemektedir. Bu değişimler hem konutlarda hem de sanayi yapılarında değerli ve hassas elemanların maliyetlerini yükseltmektedir. Bunun yanı sıra, deprem sonrası bu elemanlarda oluşacak hasarların onarım maliyetleri de önemli bir yük getirmektedir. Bu nedenle, yalnızca bina içinde yaşayanların can güvenliğini hedefleyen klasik deprem tasarımı günümüz koşullarında yeterli bir çözüm olarak görülmemektedir.

Klasik deprem tasarımı sonucunda, binanın taşıyıcı sisteminde kaçınılmaz olarak meydana gelen yapısal hasar, binanın deprem sonrası kullanımı açısından ciddi bir olumsuzluk yaratmaktadır. Ayrıca, binalarda bulunan yapısal olmayan elemanların da hasar görmesi, yalnızca can kaybına değil, aynı zamanda önemli ekonomik kayıplara da yol açmaktadır.

Klasik deprem tasarımı sonucunda dört temel kayıp meydana gelmektedir:

- Yapısal hasardan dolayı can kaybı ve ekonomik kayıplar,
- Yapısal olmayan elemanlardaki hasardan dolayı can kaybı ve ekonomik kayıplar,
- Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen hasar sonucu yenileme/güçlendirme maliyetleri,
- Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen hasar sonucu binanın kullanım dışı kalması maliyeti.

Özellikle yatırımcıların yukarıda sıralanan hasarlar hakkında bina tasarım aşamasında bilgi sahibi olması daha rasyonel ve uygun deprem tasarımına olanak tanıyacaktır. Bu sayede, deprem sonrası sadece yapının hasar görmemesi değil, içindeki elemanların da işlevlerini sürdürebilmesi sağlanabilir. Deprem yönetmeliği, bu



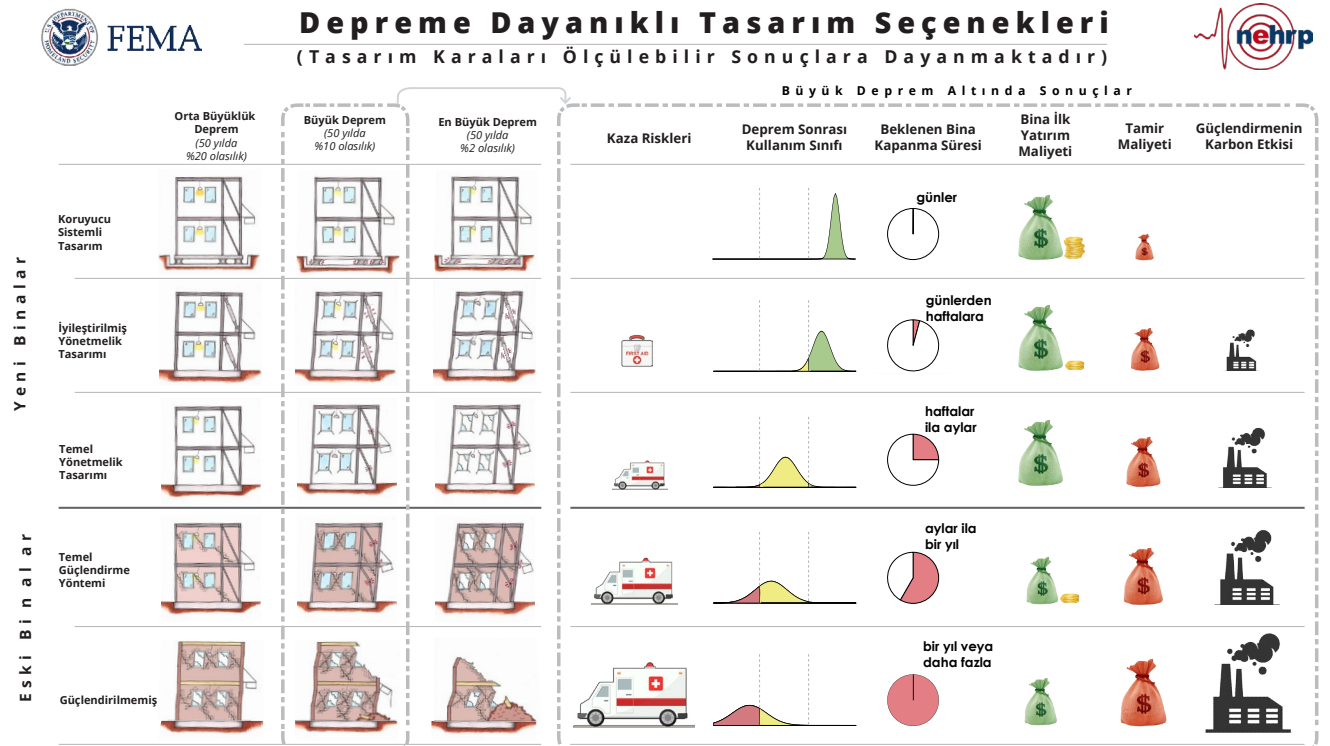
Şekil 13. Bina Yenileme Maliyeti - Yeniden Kullanım Süresi- Deprem Performansı İlişkisi

deprem performansını “kesintisiz kullanım” olarak tanımlar ve binanın beklenen deprem sonrası en kısa sürede işlevine devam etmesini hedefler. Bu performans hedefi, öncelikle iletişim merkezleri, sağlık merkezleri, üretim hatları, sanayi tesisleri gibi binalar için önem taşımaktadır. Elbette, bu bina türleri dışındaki binaların sahipleri ya da yatırımcıları da klasik deprem tasarımının ötesinde bir deprem tasarımı hedefleyebilirler.

Günümüzde binaların tasarımında, özellikle yatırım aşamasında, yatırımcılara daha anlamlı ve işlevsel tasarım kriterleri sunmak daha uygun olacaktır. Yatırımcılar için deprem sonrası binaların eski haline getirilebilmesi için gereken maliyet, binanın ne kadar süre sonra tekrar kullanılabilceği ve sanayi tesislerinde üretimin ne kadar sürede yeniden başlayacağı gibi bilgiler daha anlamlı ve yönlendirici olacaktır. Bu amaçla yapılan çalışmalar sonucunda, bina performans düzeyi, iyileştirme maliyeti ve yeniden kullanım süresi gibi kriterler yönetmeliklerde net bir şekilde tanımlanmıştır.

Son yıllarda, bu performansa dayalı yaklaşım ile deprem tasarımında farklı kriterler kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni tasarım anlayışında dikkate alınan kriterler arasında can kaybı, binanın ilk yatırım maliyeti, binanın deprem sonrası iyileştirme / güçlendirme maliyeti, binanın kullanılmama süresi ve bina hasarından dolayı oluşacak karbon etkisi yer almaktadır. Bu durum, binaların deprem tasarımında sadece inşa maliyetinin değil, sürdürülebilirlik, iyileştirme maliyetleri, iş sürekliliği ve çevresel etkilerin de göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.

Bu yaklaşım, özellikle sanayi yapıları için büyük önem taşımaktadır. Çünkü sanayi tesislerinin deprem sonrası sadece ayakta kalması yeterli değildir. Tesis içindeki sistemlerin hasar görmesi, üretimin durma süresi ve tesisin tekrar deprem öncesi durumuna getirmek için gereken bütçe ve süre oldukça büyük bir maliyet yaratacaktır. Dahası, iş sürekliliği sağlanmadığında sektördeki güvenilirlik kaybı ve pazar payındaki azalma kaçınılmazdır. Bu sebeple, sanayi yatırımlarında deprem sonrası hasarın minimuma indirilmesi ve iş sürekliliğinin sağlanması için sanayi tesislerinde deprem tasarımının bu yeni yaklaşım doğrultusunda değiştirilmesi en rasyonel adım olacaktır.



Şekil 14. Deprem Tasarımında Kullanılan Farklı Yöntemler ve Kriterlerin Etkisi

3.1.3. Problemin Tanımı ve Çözüm Önerisi

Ülkemizde, klasik deprem tasarımı kriterlerinin izlenmesiyle son yıllarda, özellikle büyük şehirlerde artan yüksek maliyetli konut ve sanayi yatırımları, birçok soruyu gündeme getirmektedir:

- Bu yapıların deprem güvenliği nedir?
- Yatırımcılar ve son kullanıcılar bu konuda bilgi sahibi mi?
- Beklenen büyük bir deprem sonrası, bu yapılarda meydana gelecek hasar kabul edilebilir boyutta mı?
- Deprem sonrası oluşacak hasarı en aza indirmek mümkün mü?
- Çözümün maliyeti nedir?

Bu sorunlara etkin bir çözüm olarak, performansa dayalı deprem tasarımının yaygınlaştırılması önerilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, depremin doğrudan ve dolaylı etkileri tasarım aşamasında büyük ölçüde azaltılabilir ve gerekli önlemler alınmış olur.

Performansa dayalı deprem tasarımı uygulamasının sonunda elde edilecek temel kazançlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- **Artan Güvenlik:** Binaya etkiyen deprem yüklerinin büyük oranda azaltılmasıyla bina hasarının en alt düzeye inmesi.
- **Artan Yapısal Performans:** Tasarım sonucunda yapısal elemanlarda minimum hasar olması ve deprem sonrası iyileştirme / güçlendirme gereksiniminin ortadan kalkması.
- **Yapısal Olmayan Elemanların Korunması:** Azalan kat ivme ve deplasmanlar ile bina içindeki eşyaların hasar görmesinin engellenmesi.
- **Fonksiyon sürekliliği:** Hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlardaki minimum hasar ile binanın fonksiyonunun deprem sonrasında da devam edebilmesi.

Performansa dayalı yaklaşımın uygulamadaki en güncel yöntemleri ise yenilikçi çözümler olarak adlandırılan "deprem yalıtımı" ve "deprem sönümleyicileri" teknolojileridir. Bu teknolojiler, binaların deprem tasarımında performansa dayalı tasarım yaklaşımı çerçevesinde, "hemen kullanım" olarak tanımlanan performans düzeyinin sağlanabilmesi için kullanılacak en uygun yöntemlerdir. Söz konusu yöntemler hakkında detaylı bilgi Bölüm 3.3'te verilmiştir.

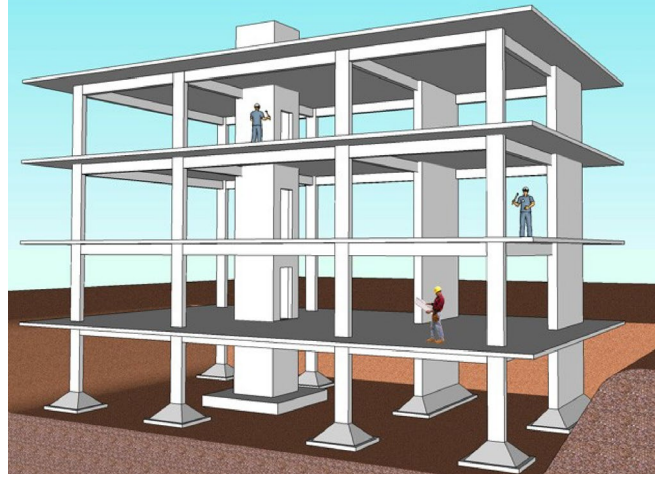
3.2. Yapısal ve Yapısal Olmayan Sistemler

Binaların deprem güvenliği ve performansının incelemesi kapsamında, bina içindeki farklı amaçlarla kullanılan sistemler öncelikle gruplandırılmalı, ardından da bu sistemlerin deprem davranışları değerlendirilmelidir.

3.2.1. Yapısal Sistemler

Bir binadaki yapısal sistemler, binaya etkiyen dış yükleri (eşya, mal, rüzgâr, deprem, vb) taşıyan iskelet yapısını oluşturur.

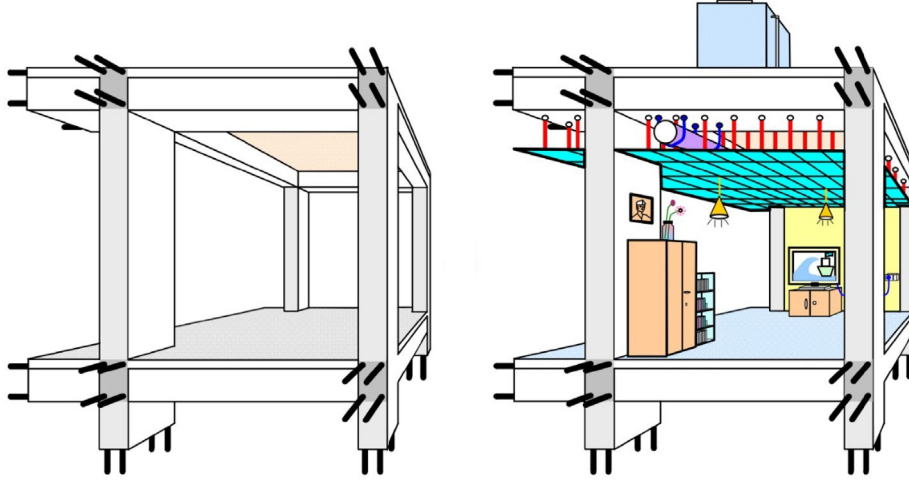
Yapısal sistemi oluşturan ve temel olarak kolon, kiriş ve perde olarak adlandırılan elemanların deprem davranışı ve deprem güvenliğinin belirlenmesi Bölüm 2'de özetlenmiştir. Yapısal sistem elemanlarının deprem sonrası davranışları ve olası iyileştirme ve güçlendirme yöntemleri ise TBDY 2019'da ayrıntılı olarak belirtilmiştir.



Şekil 15. Tipik Bir Yapı İçindeki Yapısal Elemanların Oluşturduğu Taşıyıcı Sistem

3.2.2. Yapısal Olmayan Sistemler

Bir binadaki yapısal sistemi oluşturan elemanların dışında kalan tüm sistemler “yapısal olmayan sistemler” olarak adlandırılır. Bu sistemler, elektrik, mekanik, tesisat, kablolar, duvarlar, eşyalar gibi unsurları içerebilir.

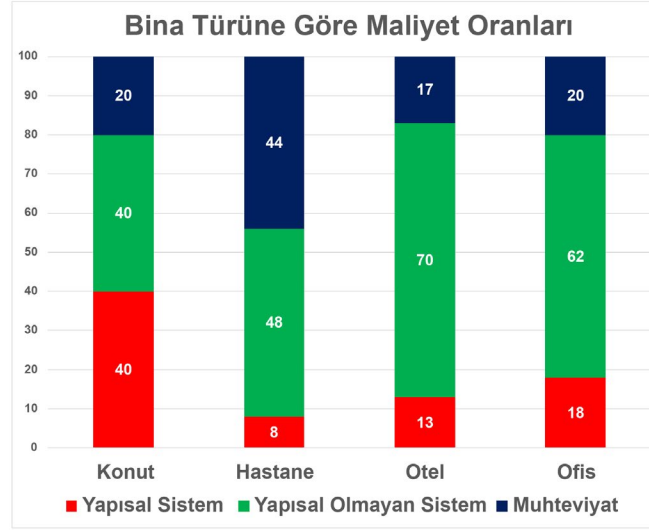


Şekil 16. Tipik Bir Yapı İçindeki Yapısal Elemanlar (Sol) ve Yapısal Olmayan Elemanlar (Sağ)

Günlük yaşantımızı kolaylaştıran ve yapıya ait olmayan elemanlar, deprem sırasında binanın sarsılması nedeniyle düşebilir, kayabilir, dökülebilir veya devrilebilir. Bu tür eşyaların, orta ve üzeri büyüklükteki herhangi bir sarsıntıda yer değiştirmesi ise aşağıdaki faktörlerle ilişkilidir:

- Boyut
- Ağırlık
- Donanım
- Bulunduğu yer

Ayrıca, yapısal olmayan elemanların farklı bina türleri içindeki dağılımı incelendiğinde, bu unsurların bina toplam maliyeti içinde oldukça büyük bir maliyeti olduğu görülmektedir. Bu durum, yapısal olmayan elemanlardaki deprem hasarının ciddi sonuçlar doğuracağı anlamına gelmektedir. Sanayi yapıları özelinde ise durum daha da kritik hale gelmektedir. Çünkü sanayi yapıları içindeki yapısal olmayan sistemlerin boyutları ve ağırlıkları büyük olduğundan, sadece doğrudan hasar değil, aynı zamanda yangın gibi ikincil afetleri de tetikleyebilirler. Yapısal olmayan sistemlerdeki hasar doğrudan ekonomik kayba yol açmasının yanı sıra, sanayi tesisindeki üretimin durmasına da neden olarak ekonomik kaybı daha da artıracaktır.



Şekil 17. Bina Kullanım Türüne Göre Yapısal Olmayan Elemanların Maliyet Oranı

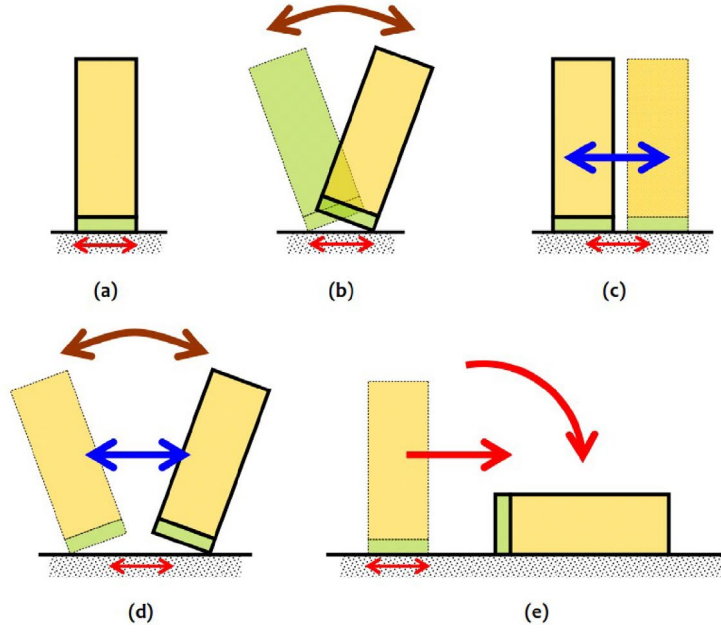
3.2.3. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Davranışı

Yapısal olmayan elemanlar, yer değiştirme ve devrilme eğilimleri nedeniyle depremlerde maddi kayıplara, yaralanmalara ve hatta ölümlere yol açabilir. Bu tür tehlike ve riskler "Yapısal Olmayan Riskler" olarak adlandırılmaktadır.

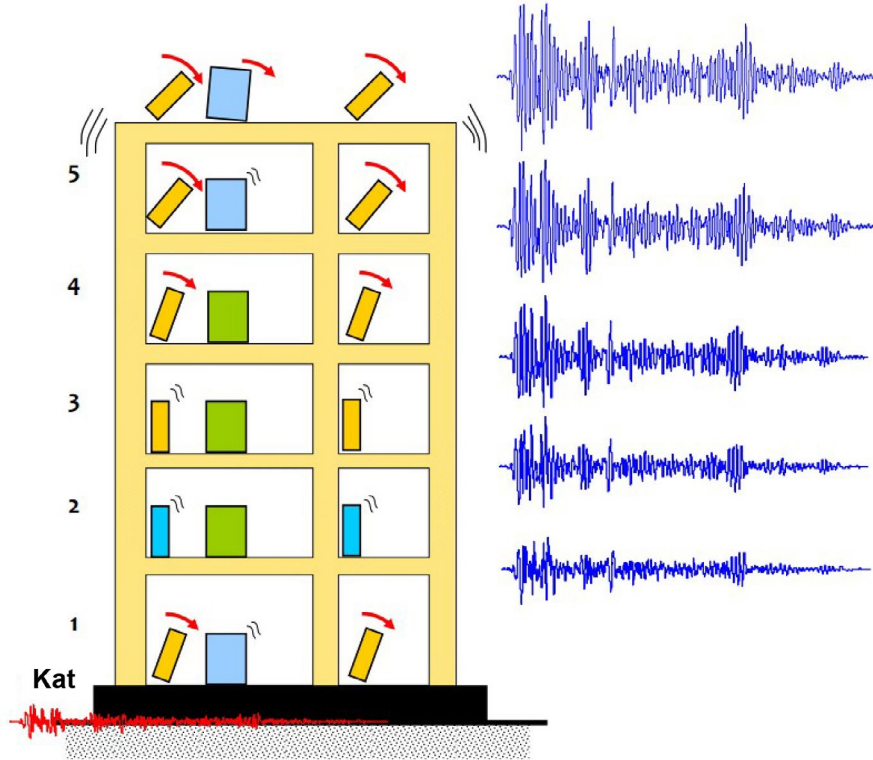
Olası bir depremde karşılaşılabilecek riskin büyüklüğü, yapısal olmayan elemanların deprem sırasında ne kadar zarar göreceğiyle doğru orantılıdır. 1999 Marmara Depremi sonrası yapılan gözlemler, yaşamını sürdüren insanların yaşadığı maddi kayıpların %30'unun, yaralanmaların %50'sinin, ölümlerin %3'ünün yapısal olmayan elemanlardan kaynaklandığını göstermektedir.

Marmara Depremi'nde hasar gören binaların sadece %3-5'i tamamen yıkılmıştır. Bu nedenle, öncelikli olarak yetkin mühendisler tarafından yapılacak yapısal kontroller sonrasında, deprem güvenliği belirlenen binadaki yapısal olmayan elemanların risklerini azaltılmaya yönelik uygun önlemler alınmalıdır.

Depreme dayanıklı olduğu belirlenen binanın yapısal olmayan elemanlarının zarar görmesi ve olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi, deprem güvenliği belirlenen binada mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle sanayi yapılarında, bu elemanların neden olacağı can kayıpları, ekonomik zararlar ve iş gücü kayıpları dikkate alınarak daha ayrıntılı bir inceleme yapılmalıdır.



Şekil 18. Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Etkisi Altındaki Olası Davranışları



Şekil 19. Yapısal Olmayan Elemanların Bina Yüksekliği Boyunca Davranış Değişimi

3.2.4. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Riski Belirlenmesi

Yapısal olmayan elemanların deprem riskinin belirlenmesi için binalarda bir risk belirleme çalışması yapılması gereklidir. Bu amaçla bir saha ziyareti gerçekleştirilerek devrilebilecek, düşebilecek, kırılabilir ve/veya kopabilecek eşyalar, cihazlar, tesisat vb. sistemlerin tespiti yapılmalıdır.

Bu amaçla yapısal olmayan risklerin belirlenmesi için bir uzman tarafından saha tespit formu hazırlanması gereklidir. Bu çalışma kapsamında örnek teşkil edebilecek bir form kılavuzun Ek-2 bölümünde görülebilir.

Yapılan saha çalışmaları sonucunda belirlenen risklerin azaltılması için yapılacak çalışmalar temel olarak şöyle sıralanabilir:

- Risk oluşturabilecek eşya, cihaz, sistemlerin daha az risk oluşturabilecek bir şekilde yerinin değiştirilmesi,
- Risk oluşturabilecek eşya, cihaz, sistemlerin uygun bir şekilde sabitlenmesi,
- Risk oluşturabilecek eşya, cihaz, sistemlerin birbirleriyle olan ilişki ve etkileşimlerinin önlenmesi.

Yapısal olmayan elemanların risklerin belirlenmesi sonucunda alınacak önlemler için bir mühendislik çalışmasının yapılması zorunludur. Bu amaçla TBDY 2019'da belirlenen kısımlar (Bölüm 6) ya da uluslararası yönetmeliklerin ilgili bölümleri kullanılabilir.

3.2.5. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Riski Önlenmesi

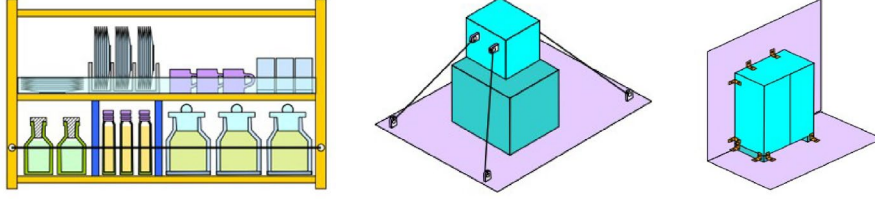
Dünyada yapısal olmayan elemanların deprem risklerinin belirlenmesi için yıllar içerisinde farklı bina türleri için farklı aşamalarda yönetmelikler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları FEMA 412 (2002); FEMA 413 (2004); FEMA 414 (2004); FEMA 577 (2007); FEMA-E74 (2011); GHI-GHS-SR (2009) olarak sıralanabilir.

Yapısal olmayan elemanların deprem riskinin azaltılması için temel olarak 3 yaklaşım önerilmektedir. Bunlardan ilki "**Mühendislik Dışı Uygulama**", ikincisi tasarım hesaplamalarına dayanmakta olup geçmiş depremlerden elde edilen deneyimlere dayalı olan "**Ön Mühendislik Uygulaması**" ve üçüncüsü resmi yönetmeliklere göre tasarımı esas alan "**Mühendislik Tasarım Uygulaması**" olarak adlandırılır.

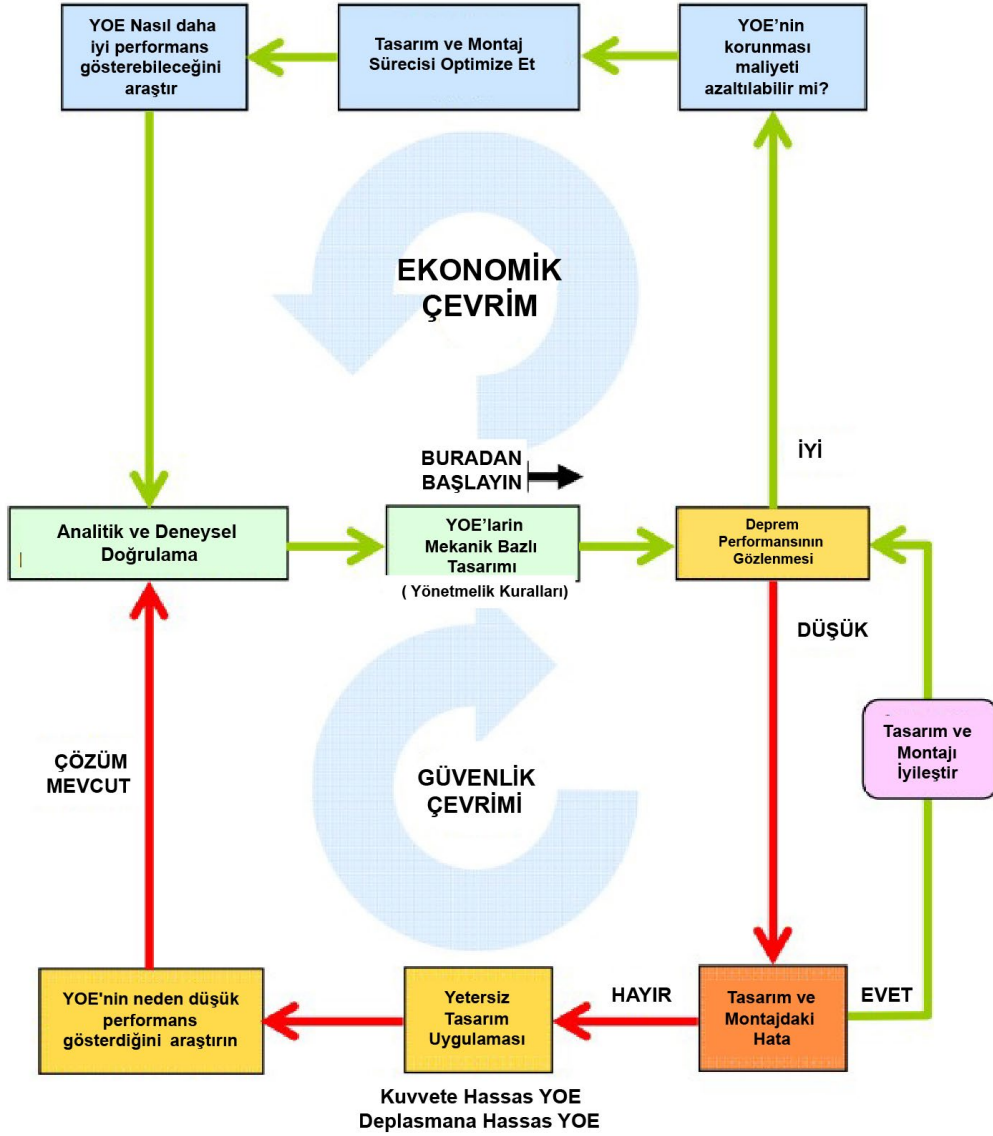
"Mühendislik Dışı Uygulama" küçük ve hafif yapısal olmayan elemanların deprem riskinin azaltılması için en basit ve yaygın olarak kullanılan yöntemler olup fiziksel olarak bağlanamayan küçük ve hafif eşya ve cihazlarda uygulanabilir.

"Ön Mühendislik Uygulaması" çerçevesinde jenerik fabrika yapılarında bulunan orta büyüklükteki yapısal olmayan elemanların deprem riskini azaltmak için kullanılan yöntemler, genellikle ofislerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, üreticilerin yaptığı hesaplamalara ve geçmiş depremlerden elde edilen verilere dayanarak belirlenmektedir.

"Mühendislik Tasarım Uygulaması" ise, ağır ve büyük yapısal olmayan elemanların deprem riskini azaltmak için mühendislik tasarımının yapılmasını gerektirir. Bu aşamada, yapısal olmayan elemanların bina içindeki konumu ve cihazın kuvvet veya yer değiştirme duyarlılığı göz önünde bulundurularak uygun hesaplama yöntemi belirlenir. Bu yöntemler, deprem yönetmeliklerinde belirtilmiştir. En önemli nokta ise, yapısal olmayan elemanların deprem riskini azaltmak amacıyla alınacak önlemlerin uygun malzeme ve bağlantı yöntemleriyle uygulanmasıdır.



Şekil 20 Yapısal olmayan elemanların deprem riski azaltma yöntemleri



Şekil 21. Yapısal Olmayan Sistemlerin Deprem Tasarım Prosedürü (Güvenlik / Ekonomi İlişkisi)

3.3. Binaların Deprem Tasarımında Yenilikçi Sistemlerin Kullanılması

3.3.1. Deprem Tasarımında Yenilikçi Sistemler

Son yıllarda, deprem etkisi altında hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanların hasarını azaltmak için farklı teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler şu şekilde sıralanabilir:

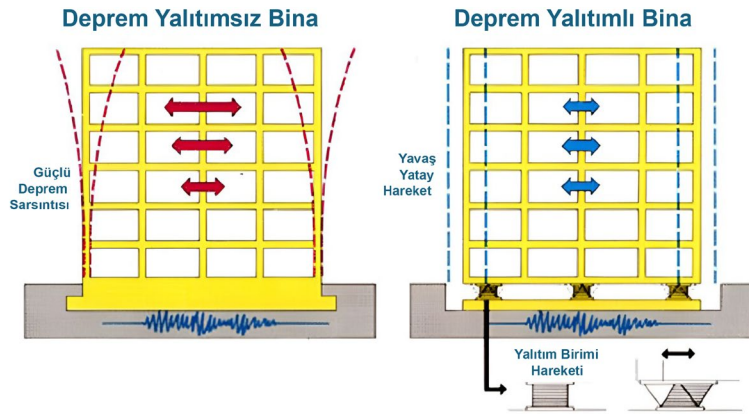
- Deprem yalıtımı
- Sönümleyiciler
- Özel bağlantı eleman ve sistemleri

Bu sistemlerin temel amacı, deprem sırasında binaya ve içindeki sistemlere etkiyen deprem kuvvetlerini ve binadaki yer değiştirmeleri azaltmaktır.

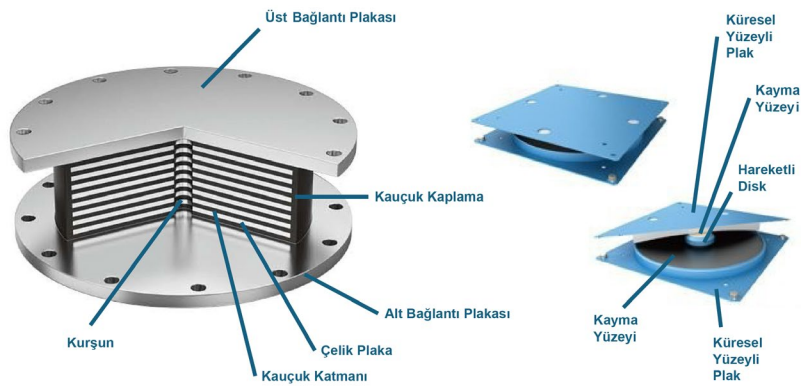
3.3.2. Deprem Yalıtımı Uygulaması

Yeni bir yaklaşım olan 'deprem yalıtımı' binanın belirli bir düzlemine yerleştirilen deprem yalıtım elemanları sayesinde deprem etkisini azaltarak hem bina hem de sanayi tesislerindeki deprem hasarını minimize etmeyi amaçlar. Ayrıca, bu uygulama bina içindeki sistemlerin hasar görmesini de engeller. Ülkemizde son 10 yılda, özellikle hastaneler olmak üzere, konut ve sanayi tesislerinde bu teknoloji kullanılmaktadır.

Deprem yalıtımı uygulamalarında, 'deprem izolatörü' olarak bilinen elemanlar, binanın belirli bölgelerine yerleştirildiğinde ek bir sönümlenme sağlar. Bu da yapısal ve yapısal olmayan elemanlara etkiyen ivme ve yer değiştirmeleri azaltır.



Şekil 22. Klasik ve Deprem Yalıtımlı Binanın Davranış Farkı

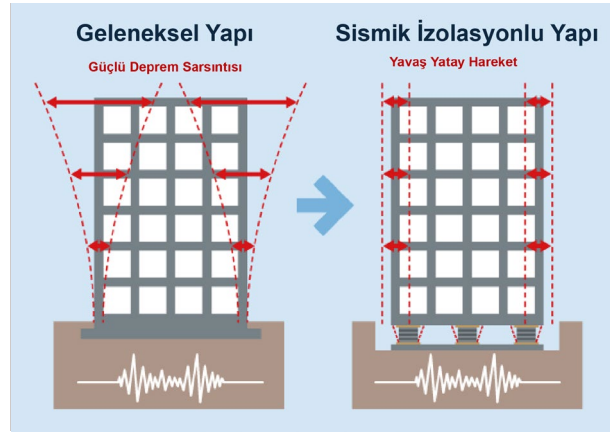


Şekil 23. Deprem İzolatör Birimleri Türleri

3.3.3. Deprem Sönümleyicileri Uygulaması

Deprem sönümleyicileri binanın uygun yerlerine yerleştirildiğinde, ek bir sönümlenme sağlayarak yapısal ve yapısal olmayan elemanlara etkiyen ivme ve yer değiştirmeleri azaltır.

Deprem sonrası 'Hemen Kullanım' performans hedefinin sağlanabilmesi için kullanılan bir diğer yenilikçi yöntem olan 'sönümleyiciler', binaların belirli bölgelerine yerleştirildiğinde, deprem sırasında oluşan enerjiyi bu sönümleyicilerde absorbe ederek binanın hasar görmesini engellemeye yardımcı olur. Sönümleyiciler, özellikle sanayi yapılarında daha yaygın kullanılmakta olup, yeni sanayi yapılarında olduğu gibi mevcut sanayi yapılarında da kullanılmaktadır.



Şekil 24. Deprem Tasarımında Sönümleyici ile Titreşim Kontrolü

Sönümleyici sistemler, özellikle son yıllarda ülkemizde sanayi tesislerinde mevcut yapıların deprem performansını iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Yenilikçi sistemlerin tasarım, üretim ve uygulama aşamalarına ilişkin ülkemizde yeterli bilgi ve birikim mevcuttur. Söz konusu sistemlerin deprem güvenliği açısından sağladığı faydalar göz önünde bulundurulduğunda, bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır.



Şekil 25. Sanayi Yapılarında Deprem Sönümleyici Uygulaması (Promer Müh.)

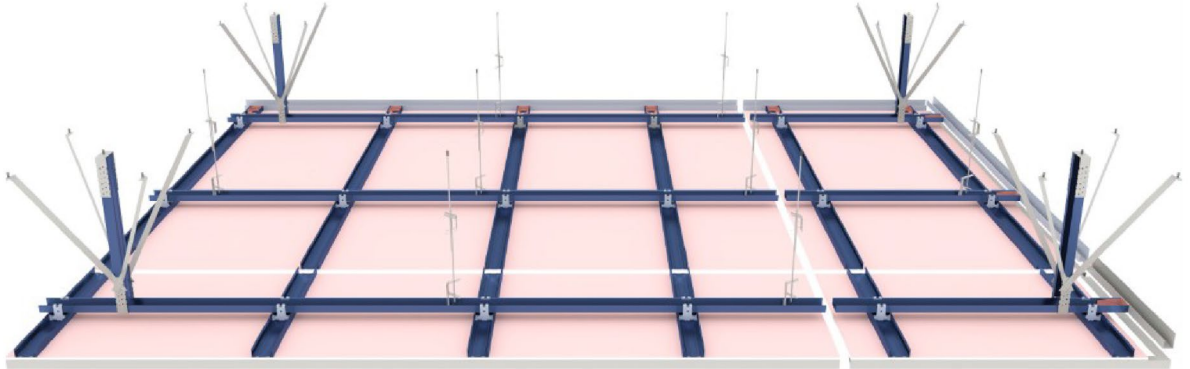
3.3.4. Deprem Riskinin Azaltılmasında Özel Bağlantı Eleman ve Sistemlerin Uygulaması

Binalar ve sanayi tesislerindeki yapısal olmayan elemanların deprem etkisini azaltmak için, bu elemanların türüne uygun bağlantı yöntemleri uygulanmaktadır.

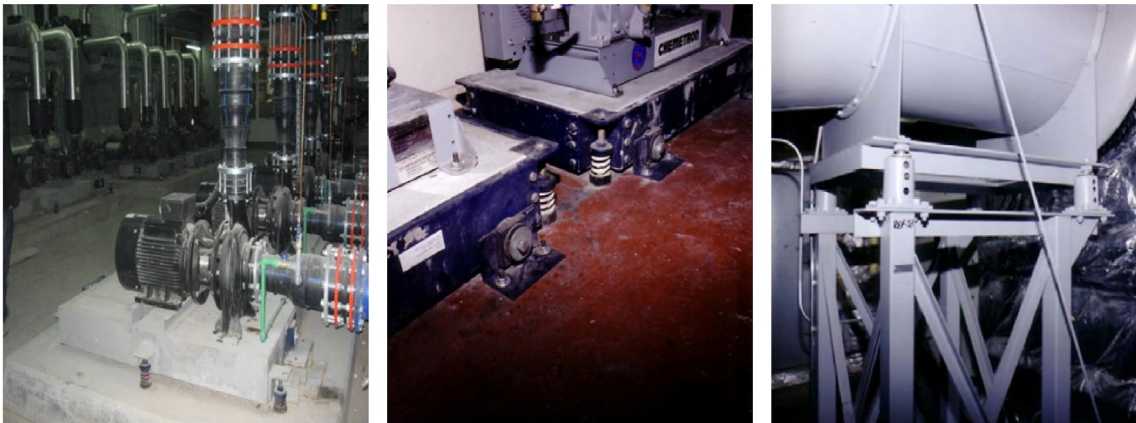
Burada vurgulanması gereken en önemli nokta, kullanılacak bağlantı elemanları ve sistemlerinin, yapısal olmayan elemanın türüne, binadaki konumuna ve etkileşim içinde olduğu diğer sistemlere göre değişiklik göstermesidir. Bu nedenle, yapılacak her uygulama için bir mühendislik çalışması gereklidir.



Şekil 26. Yangın Sistemleri Deprem Koruması



Şekil 27. Asma Tavan Sistemleri Koruması



Şekil 28. Basınçlı Boruların Koruması (sol), Titreşim Yaratıcı Sistemlerin Koruması (orta), Büyük Boru Sistemlerinin Koruması (sağ)

Yapısal olmayan elemanların türüne göre yapılacak deprem koruması için gerçekleştirilecek mühendislik çalışmaları, yapılacak analizler ve tasarım kriterleri, TBDY 2019 Bölüm 6 ve ASCE 7-23 gibi yönetmeliklerde tanımlanmıştır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, mühendislik tasarımını yapan firma ile uygulamayı gerçekleştirecek firmanın farklı olmasıdır. Ayrıca, uygulamada kullanılacak malzemelerin gerektiğinde deprem deneylerine tabi tutulması ve onaylı malzemelerin kullanılması büyük önem taşır.

Sanayi Yapılarında Deprem Riskinin Belirlenmesi

4. Sanayi Yapılarında Deprem Riskinin Belirlenmesi

4.1. Sanayi Yapılarının Deprem Riski

Ülkemizdeki sanayi yatırımlarının bulunduğu bölgeler dikkate alındığında, neredeyse tüm sanayi bölgelerinin yüksek deprem riski altında olduğu bir gerçektir. Geçmiş deprem tecrübeleri de göstermektedir ki, sanayi yapılarının deprem güvenliği genellikle oldukça düşüktür.

Depremler sonrasında sanayi yapılarında yaşanan can ve mal kayıplarının yanı sıra, büyük iş gücü kayıpları da meydana gelmiştir. Bu kayıpların başlıca nedeni sadece yapısal sistemlerin yetersizliği değil, aynı zamanda sanayi yapıları içindeki yapısal olmayan elemanların depreme dayanıklı olarak tasarlanmamış olmasıdır.

Endüstriyel tesislerde binaların yanı sıra, isale hatları, depolar, tanklar, silolar, kreynler, trafolar, konveyörler ve konteynerler gibi elemanlar da yer almaktadır. İnşaat mühendisliği açısından endüstriyel tesisler üç ana grupta ele alınabilir:

- **Normal bina tipi yapılar:** Ofis, üretim alanı veya depolama amaçlı kullanılan yapılar,
- **Yapısal elemanlar:** Kreyn, tank, silo ve kule gibi bina sınıfına girmeyen kısmen veya tamamen yapısal elemanlar,
- **Yapısal olmayan birimler:** Mimari, mekanik ve elektrik amaçlarla kullanılan elemanlar.

4.1.1. Endüstriyel Binaların Bileşenleri

Türkiye'deki endüstriyel bina stoğunu oluşturan her türlü betonarme, çelik veya prefabrik yapılar, inşa edilirken deprem yönetmeliklerine uymak zorundadır. Bu yapılar arasında Türkiye'de en yaygın olarak tercih edilenler prefabrik ve çelik yapılardır. Yabancı yatırımcılar tarafından projelendirilmiş endüstriyel tesislerde, tasarımda ASCE 7-23 ve EC-8 gibi uluslararası deprem yönetmelikleri de kullanılmaktadır. Güçlendirilmesi gereken yapılarda ise TBDY 2019 Bölüm 5 ve Bölüm 15'in yanı sıra, ASCE 7-23 veya EC-8 gibi standartlara başvurulmaktadır.

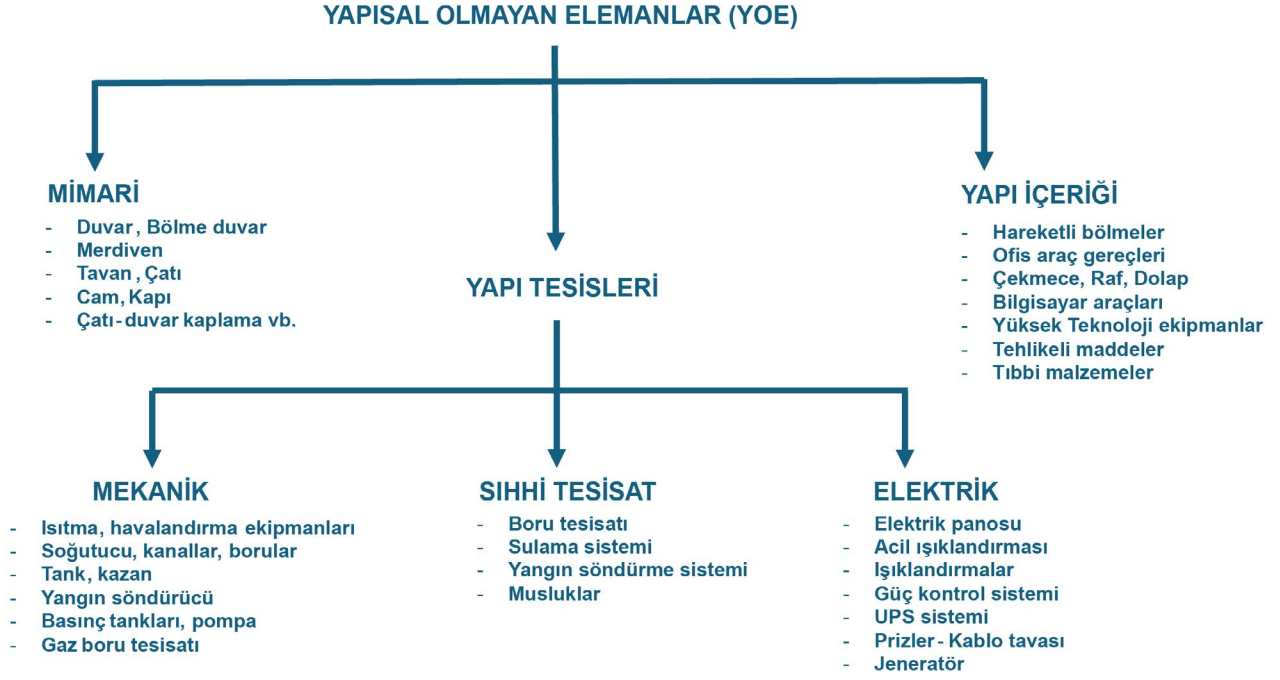
Endüstriyel binalarda deprem riski altındaki bileşenler şu şekilde sıralanabilir;

- **Bina Dışı Endüstriyel Yapılar**

Tanklar, depolar, basınçlı küreler, silolar, bacalar, kuleler, kafes kuleler, soğutma bacaları, ters pandül yapılar ve dolum tesisleri gibi bina sınıfına girmeyen yapılardır. Bu yapılar, deprem sonrası yüksek hasar ve ekonomik kayıp yaratma potansiyeline sahiptir. Özellikle sıvı tanklar, basınçlı tanklar, silolar, bacalar, soğutma bacaları, ters pandül ve depolar bina sınıfına girmediğinden, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamı dışında kalır. Bu tür sistemler, deprem güvenliği açısından ayrı projelendirilmekte ve ilgili yönetmelikler uyarınca tasarlanmaktadır.

- **Yapısal Olmayan Elemanlar**

Dış cephe kaplamaları, bölme duvarları, asansörler, klima, ısıtma gibi mekanik ve elektrikli sistemler yapısal olmayan mimari elemanlar sınıfına girer. Yapısal olmayan elemanlar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019)-Bölüm 6'da ele alınmıştır. ABD'de ise, yapısal olmayan elemanların deprem tasarımı kriterleri ASCE ve FEMA yönetmelikleriyle belirlenmektedir. Bu yönetmeliklerde mimari elemanlar ile mekanik ve elektrikli elemanlar ayrı olarak ele alınmaktadır.



Şekil 29. Yapısal Olmayan Elemanların Sınıflandırması

4.2. Sanayi Yapılarında Deprem Riski Belirleme Yöntemleri

Sanayi yapılarında deprem riskinin belirlenmesinde genellikle uluslararası yönetmelikler olan ASCE 7-23, ATC-13, FEMA E-74 ve FEMA 354 kullanılmaktadır. Bu yönetmelikler, sanayi yapılarındaki deprem riskini belirlemek amacıyla üç aşamalı bir inceleme süreci öngörmektedir.

Bir sanayi tesisinde deprem riskinin belirlenmesi için izlenen yaklaşım aşağıdaki üç aşamadan oluşur:

- Aşama 1: Saha gezisi
- Aşama 2: Ön mühendislik analizleri
- Aşama 3: Detaylı mühendislik analizi

Risk belirleme süreçleri, ATC-13, ATC-14 ve FEMA -74, FEMA-450, ASCE 7-23 yönetmelikleri ve TBDY 2019 kapsamında gerçekleştirilebilir.

4.2.1. Deprem Riski Belirleme Aşamaları

Mevcut binaların deprem riskinin belirlenmesi sürecinin ilk adımı, binanın veya sanayi yapısının belirli özellikleri doğrultusunda değerlendirilmesi ve gerekli bilgilerin toplanmasıdır. Saha çalışmalarında yapılacak faaliyetler ve toplanacak bilgilerin kapsamı şu şekilde sıralanabilir:

- i. Bina lokasyon bilgisi,
- ii. Bina deprem tasarım parametreleri,
- iii. Binanın mimari ve statik projeleri,
- iv. Bina taşıyıcı sistemi özellikleri,
- v. Bina zemin bilgileri,
- vi. Binadaki yapısal olmayan sistemler.

Saha çalışmaları, deprem riskinin belirlenmesinde ilk adımdır ve bu aşama, ilerleyen çalışmalarda yapılacak analizlerin türü ve içeriğini belirleyebilmek açısından kritik öneme sahiptir.

Uluslararası alanda yaygın olarak kullanılan deprem yönetmeliklerinden biri olan ASCE 7-23, bu konuda en detaylı ve güncel yöntem ve değerlendirmeleri içermektedir. Aşama 1 olarak belirtilen saha verisi toplama çalışmasında kullanılabilecek örnek bir form ise Ek-2'de yer alan "Saha Verisi Toplama Formu"nda hazırlanmıştır.

Aşama 2, Aşama 1'de elde edilen verilere dayalı olarak yapılan mühendislik hesaplamaları ve analizlerini içerir. Bu aşama, çok detaylı bir mühendislik çalışması yapmadan, binanın temel deprem tasarım parametrelerini ve kapasitesini karşılaştırarak yapısal olmayan elemanların deprem riski için niceliksel bir ön değerlendirme yapmayı hedefler. Bu süreç sonunda, zaman içinde etkinliği ve yeterliliği görülen temel önlemler uygulanır. Bu aşamada yapılacak hesaplamalar ve analizler ASCE 7-23'te belirtilen yöntemlere dayanır.

Aşama-3 ise, tüm tesisin yapısal ve yapısal olmayan elemanları üzerinde yapılan risk değerlendirmeleri sonucunda belirlenen yetersizliklerin, ASCE 7-23 ve/veya TBDY 2019 kapsamında detaylı olarak incelenmesi ve gerekli önlemlerin belirlenmesini içerir. Bu aşama, ilgili bina veya sanayi tesisindeki yapısal ve yapısal olmayan elemanlardan detaylı veri toplanmasını gerektirir. Bu veriler doğrultusunda, belirtilen yönetmeliklere uygun olarak detaylı mühendislik analizleri yapılır. Bu analizler sonucunda, yapısal ve yapısal olmayan elemanların deprem riskini azaltmak için özel tasarımlar yapılır ve uygun malzemelerin kullanılması belirlenir.

Tüm bu aşamalar kapsamında en önemli nokta, saha çalışmalarının teknik bir ekip tarafından yapılması gerekliliğidir. Bu çalışmalar, tesisi yönetenlere güvenilir ve nicel veriler sağlayarak gerekli deprem riski azaltma çalışmalarının önemli bir girdisini oluşturur. Ayrıca, iş sürekliliği analizi de firmaların gelecekte karşılaşılabileceği risklerin belirlenmesinde önemli bir veri kaynağıdır.

4.3. Ekonomik Kayıp ve İş Sürekliliği Kavramları

Sanayi yapıları gibi deprem sonrasında doğrudan ve dolaylı olarak ciddi ekonomik kayıplara yol açma riski taşıyan tesislerde deprem öncesi yapılacak en rasyonel çalışmalardan biri ekonomik kayıp ve iş sürekliliği kaybı analizidir.

Bu çalışmalar söz konusu tesisi yönetenlere güvenilir ve nicel bir veri sağlamış olur ve gerekli deprem riski azaltma çalışmaları için önemli bir girdidir. Diğer yandan iş sürekliliği analizi de sektörler olarak firmanın gelecekte karşılaşılabileceği riski de belirlemede önemli bir veridir. Uluslararası alanda bu konuda birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın kullanılanlar ATC 13 ve FEMA P-58 yöntemleridir.

Bir depremde bir binanın göreceği hasarı tam olarak belirlemek oldukça zordur. Bunun temel nedeni, depremlerin doğasındaki karmaşıklık ve çeşitliliğidir. Aynı şekilde, depremlerden kaynaklanan kayıpları tahmin etmek de zorlayıcıdır. Bu nedenle tüm kayıp tahmin çalışmaları, belirli bir olasılık altında yapılmaktadır. Çünkü kayıplar, bireysel mal sahiplerinin, sigortacıların, tasarım mühendislerinin, inşaat yetkililerinin ve müteahhitlerin deprem öncesi ve sonrası davranışlarına bağlıdır. Bu bağlamda, yatırımcıların da yapacakları risk değerlendirmeleri oldukça önemlidir. Deprem risk değerlendirme raporları, bu konuda en uygun ve yeterli bilgileri içermektedir.

Yapı sahipleri, yatırımcılar, kredi verenler ve sigortacılar için deprem riskini tanımlamanın en uygun yolu, Muhtemel Maksimum Kayıp (PML), Senaryo Beklenen Kayıp (SEL) ve Senaryo Üst Kayıp (SUL) gibi deprem risk belirleme yöntemlerinin uygulanmasıdır. Bu yöntemler, bir binanın satın alınıp alınmayacağı, finanse edilip edilmeyeceği veya sigortalanıp sigortalanmayacağı gibi mali kararların alınmasında belirleyici faktörlerdir. Ancak karar vericilerin, bu değerlerin ne anlama geldiği, hangi koşullara göre hazırlandığı ve farklı yöntemlerle elde edilen değerler arasındaki geniş farklar hakkında yeterli bilgiye sahip olmamaları mümkündür.

Yeni ya da mevcut yatırımların deprem ve diğer doğal afetler altındaki riskinin belirlenmesi için gerekli en temel çalışma, deprem risklerine karşı önlem alınması beklenen ticari yatırımlar için kredi ya da sigorta yapan firmaların talep ettiği PML raporlarıdır. Sigorta sektörü, PML'nin değiştirilmiş bir tanımını benimsemiştir; bu tanımda 475 yıllık deprem düzeyi etkisi altında bina yenileme maliyetinin bir kısmı dikkate alınmaktadır.

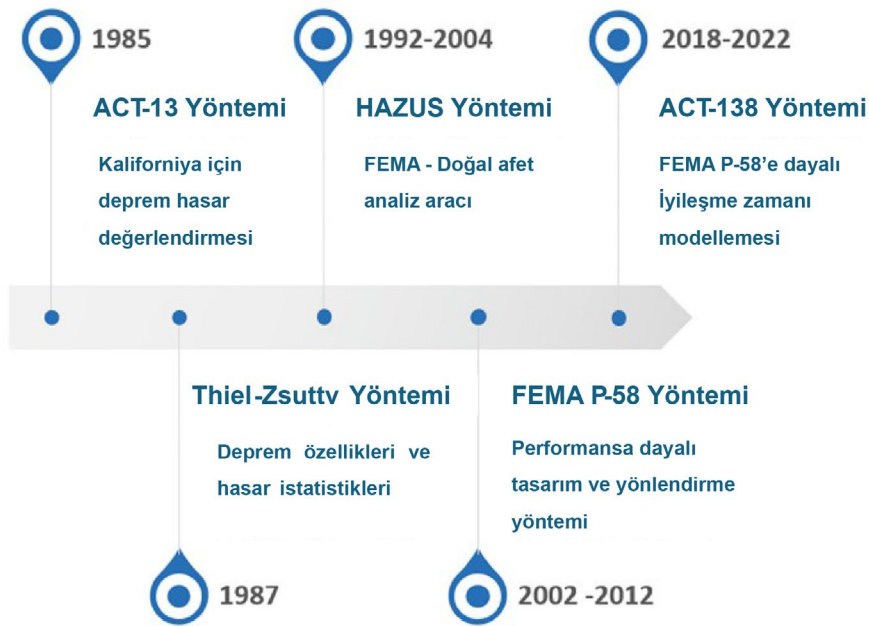
Artan yatırım maliyetleri sonrasında sigortacılar ve kredi verenler, bu yaklaşımın oldukça yüksek kriterlere sahip olması nedeniyle çok az binanın krediye uygun hale geldiğini belirtmektedir. Bu nedenle, daha sık, daha az şiddetli depremler için PML belirlemek amacıyla, tasarım depremi olarak adlandırılan ve %10 aşılma olasılığına sahip deprem etkileri yerine ortalama kayıp değerleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni kriterlerle birlikte, Senaryo Beklenen Kayıp (SEL) ortalama kayıp tahminini, Senaryo Üst Kayıp (SUL) ise %10'luk kayıp tahminini ifade etmektedir.

Risk mühendisliği ve yatırımlardaki farklılaşma, her geçen yıl yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. ASTM tarafından PML raporlarının üretilmesine yönelik standartlar yayınlanmış ve bunlardan ASTM E2557 ve ASTM E2026, değerlendirme düzeylerini, değerlendirici nitelikleri ve standart terminolojiye ilişkin kriterleri belirlemiştir.

Günümüzde geçmişten gelen farklı yöntemlerin uygulanması mümkündür. Her bir yöntemin kullandığı veriler ve yaklaşım tarzı farklı olduğu için, bu yöntemlerin birbirlerine göre üstünlük ya da avantajları hakkında doğrudan karşılaştırmalar yapmak çok anlamlı değildir. Uygulamada en çok kullanılan üç yöntemin temel yaklaşımları şu şekildedir:

- **ATC-13 Yöntemi**

1985 yılında, Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) tarafından desteklenen Uygulamalı Teknoloji Konseyi (ATC), Kaliforniya'da yayınlanan ATC-13 (Deprem Hasarı Değerlendirme Verileri) ile, resmi karar vericilere büyük bir deprem sonrasında potansiyel bölgesel kayıpları değerlendirebilecek bir araç sağlamayı amaçlamıştır. Bu yöntem, günümüzde bireysel binalar için PML çalışmalarında kullanılmakta ve bazı özel yöntemlerin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 30. Deprem Riski Belirleme Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi

ATC-13 yönteminin değerlendirme farkı, bina tiplerinin (ahşap, yığma, betonarme, prefabrik, çelik, vb.) Modifiye Mercalli Şiddeti (MMI) ve diğer deprem parametrelerine göre aşılma olasılığını kullanarak, deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak deprem hasar onarım maliyet oranını göstermesidir.

- HAZUS Yöntemi

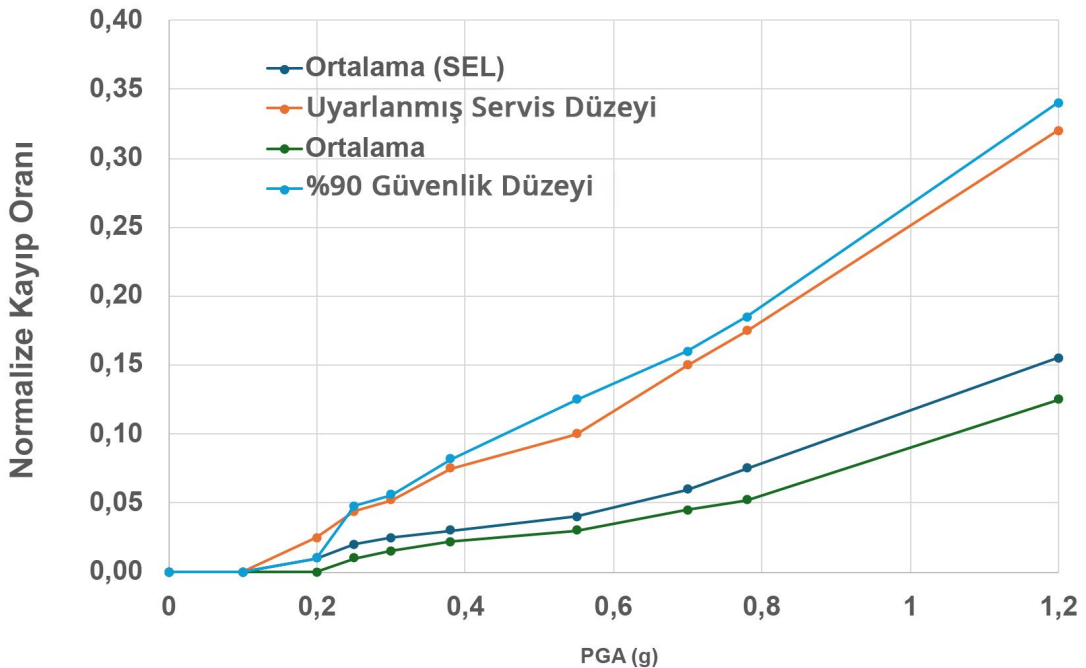
HAZUS, FEMA tarafından önerilen ve tekil binalardan ziyade büyük bir bölgedeki bina stoğunun deprem kayıplarını tahmin etmeye yönelik bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle il, ilçe veya organize sanayi bölgeleri gibi belirli sayıda ve belirli tipte binanın bulunduğu alanlarda, bina topluluklarının hasar dağılımı ve ekonomik kayıp belirleme çalışmaları için kullanılmaktadır. Ülkemizde de farklı ölçeklerde ve farklı yerlerde bu yöntem uygulanmaktadır.

HAZUS'un önemli özelliği, tekil bina yerine büyük bina popülasyonlarının deprem riski ve kayıp analizlerinde kullanılmasının yanı sıra, karar vericilere deprem riski için alınacak önlemlerin boyut ve kapsamını belirleme ve önceliklendirmede önemli bir rehberlik yapmasıdır.

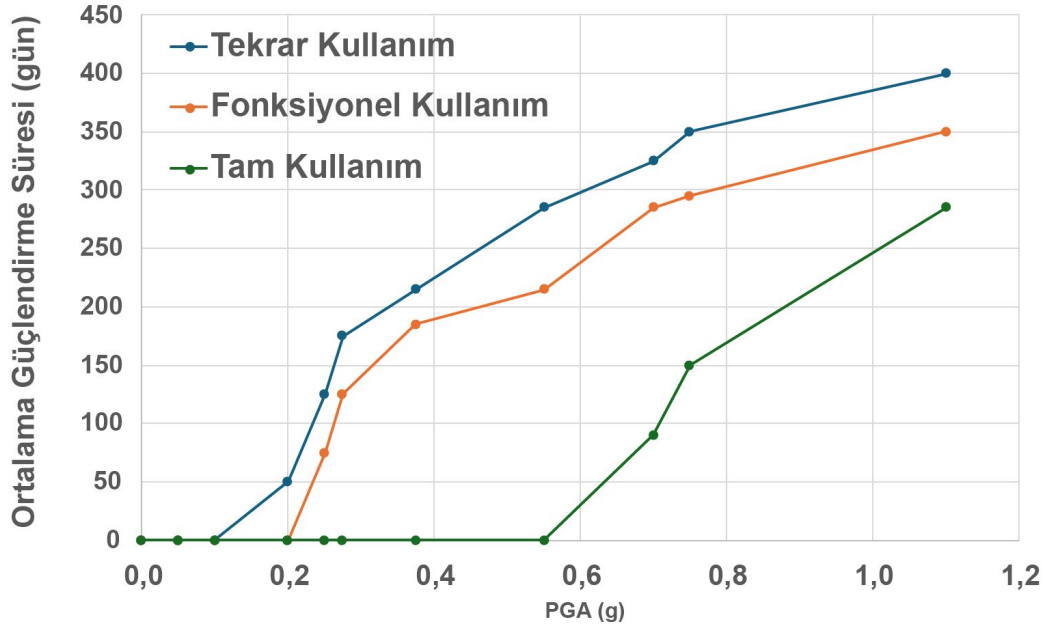
- FEMA P-58 Yöntemi

Son yıllarda geliştirilen FEMA P-58 yöntemi, FEMA desteği ile ATC tarafından, mevcut deprem risk değerlendirme yöntemlerinin eksiklerini gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Bu geliştirme, özellikle akademik ve uygulamadaki uzmanların katkılarıyla, deprem mühendisliği alanındaki gelişmelere paralel olarak diğer yaklaşımlardaki belirsizlik ve yetersizlikleri gidermiştir.

FEMA P-58, yeni binaların performansa dayalı tasarımında, mevcut binaların güçlendirilmesinde ve binaya özel deprem risk değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Bu yöntem, binadaki yapısal sistemin görebileceği hasarın yanı sıra, yapısal olmayan elemanların da hasarını dikkate alır. Deprem sonrası oluşacak hasarın kayıp oranı ve bina güçlendirme süresi, deprem parametreleriyle ilişkilendirilerek, farklı bina türleri için FEMA-P58 kapsamında tanımlanmaktadır. Böylece, binaya özgü yapısal ve yapısal olmayan elemanlar düzeyinde hasar tahmini yapılır; bu da bireysel varlıkların daha iyi risk değerlendirmesine olanak tanır ve daha bilinçli tasarım kararlarının alınmasını sağlar.



Şekil 31. FEMA P-58 Yönteminde Bina Kayıp Oranını Deprem Parametre İlişkisi



Şekil 32. FEMA P-58 Yönteminde Bina Güçlendirme Süresi Deprem Parametresi İlişkisi

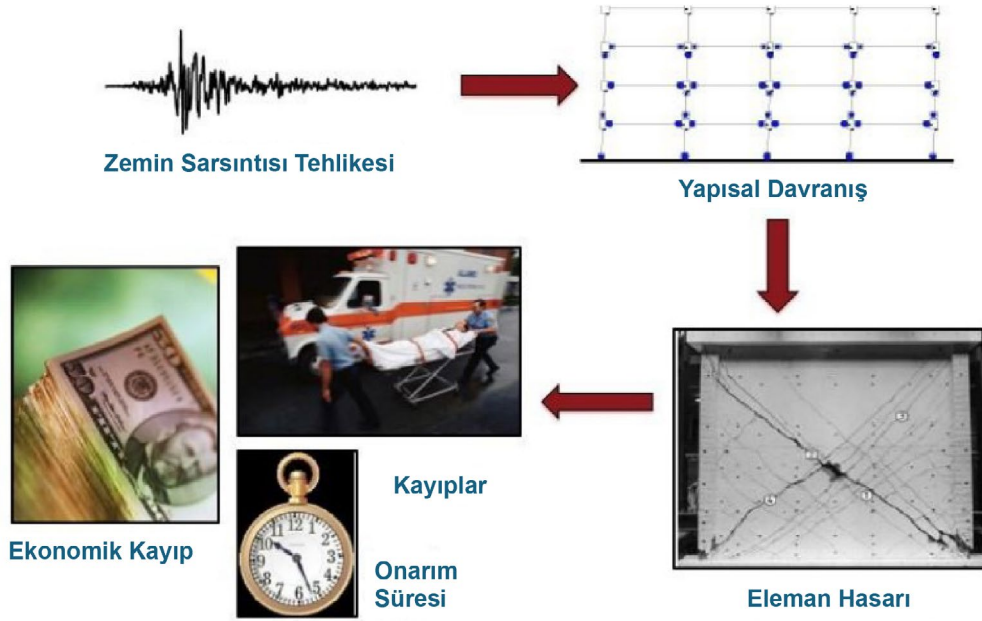
FEMA P-58 yöntemi, aynı zamanda binanın yeniden kullanım süresi, işlevini yeniden kazanma süresi, tam onarım süresi ve deprem sonrası kullanım olasılığı gibi iyileşme sürelerini de belirlemeye olanak tanır. Bu yöntem, yalnızca yapısal hasar tahmini değil, aynı zamanda binanın deprem sonrası toparlanma sürecine dair kapsamlı bir değerlendirme yapabilme imkanı sunar.

Bu yöntem, özellikle sanayi yapılarının deprem riskinin belirlenmesi için uygulanabilecek en uygun ve rasyonel yaklaşımdır. Bunun en önemli nedeni, FEMA P-58'in en güncel teknik ve yöntemleri kullanmasının yanı sıra, yatırımcılar ve karar vericiler için daha anlamlı olan parametreleri (ekonomik kayıplar, güçlendirme maliyetleri ve iş sürekliliği kaybı gibi) dikkate alarak deprem riski tanımlamasıdır.

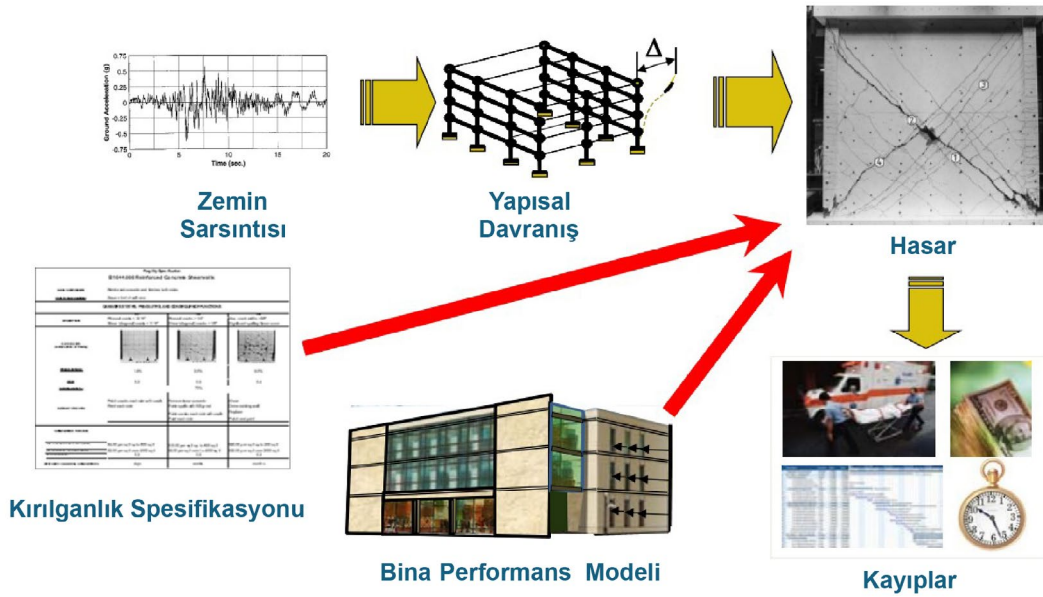
Deprem riski belirleme yönetmeliklerinin gelişimi incelendiğinde, kullanılan yöntemlerin genellikle bireysel binalardan ziyade, bina sınıflarının riskini değerlendirmeye yönelik olarak geliştirildiği görülmektedir. Ancak, bu sınıfa dayalı yöntemlerin iki ana sorunu bulunmaktadır. Birincisi, PML kayıp oranlarının "ortalama" binalara dayalı olmasıdır; bu, her bir binaya özgü olmamakta ve genelleştirilmiş sonuçlar sunmaktadır. İkinci sorun ise, PML sonuçlarının aynı tür binalar içinde tüm binalar için uygulanamaması ve tekrarlanamamasıdır.

FEMA P-58 analiz yöntemi, onarım maliyetleri ve kurtarma süreleri için daha spesifik bir deprem risk analizi sağlamayı amaçlamaktadır. Bu yöntem, bina sınıfına dayalı modellerle ilişkili hataları ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. FEMA P-58'in sonuçları, mühendislerin görüşlerine dayanmaktan ziyade, mühendislik analizine dayalı olduğu için, sağlayıcılar arasında tutarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesini sağlar.

2012 yılında literatüre giren FEMA P-58 yöntemi, 2014 yılından bu yana ticari ve akademik alanda kullanılmaktadır. Yöntem, artık tüm yaygın bina türlerini ve yüksekliklerini kapsayacak şekilde geliştirilmiş ve yıllar içinde ilerleyen bilgi ve yöntemlere paralel olarak güncellenmiştir.



Yeni Nesil Değerlendirme Süreci



Şekil 33. FEMA P-58 Yöntemi Genel Akış Şeması

Sonuçlar, deprem verileri ve diğer tarihsel yöntemlerle karşılaştırılarak doğrulanmış ve son on yılda yapı mühendisliğinde aktif olarak kullanılmış ve incelenmiştir. 2024 yılı itibarıyla, binaya özgü daha etkili bir deprem risk değerlendirme yöntemi bulunmamaktadır. 1980'lerde kullanılan sınıfa dayalı yöntemlerden, mevcut binaya özel FEMA P-58 Yöntemi'ne geçiş, ticari kredi verenler, yatırımcılar, sigortacılar, mal sahipleri ve diğer paydaşlar için dayanıklılık ve risk konusunda daha bilinçli kararlar almayı mümkün kılmaktadır.

Genel Değerlendirme

5. Genel Değerlendirme

Deprem riski belirleme çalışmaları temel olarak üç ana bileşene sahiptir:

1. Veri toplama
2. Mühendislik çalışması
3. Uygulama

Bu üç aşamadan en kritik olanı, veri toplama aşamasıdır.

Çünkü, bina ile ilgili mevcut veya toplanacak verinin kalitesi, yapılacak çalışmaların kapsamını ve güvenilirliğini doğrudan etkiler. Geçmiş deneyimler göstermektedir ki, bina ya da sanayi yapılarının mevcut durumlarına dair proje, bilgi ve dokümanlar sıklıkla eksik olmaktadır. Özellikle, yapıların tasarımına dair projeler ile kullanım aşamasında yapılan değişiklikler çoğu zaman kaydedilmemiş ve belgelenmemiştir.

Sanayi yapıları özelinde, yıllar içinde kapasite artışı, lojistik ihtiyaçlar ve diğer nedenlerle tesis içindeki birimlerde gerek yapısal gerekse yapısal olmayan sistemlerde çeşitli değişiklikler yapılmaktadır. Bu değişikliklerin yeri, kapsamı ve detayları genellikle kaydedilmektedir. Bu nedenle, her tesiste veri toplama ve saklama işlemlerini yöneten bir birimin bulunması, sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir. Bu verilerin düzenli olarak derlenmesi ve saklanması, gelecekteki çalışmaların daha hızlı, daha düşük maliyetli ve daha etkili bir şekilde yapılmasına olanak tanıyacaktır. Tüm sanayi tesisi sahiplerine, tesislerinin mevcut durumunun projelendirilmesi ve veri toplama çalışmalarına en kısa sürede başlanması, bu bilgileri düzenli aralıklarla ve belirli bir formatta arşivleneceği bir sistemin kurulması önerilebilir.

İkinci aşama, mühendislik çalışmasıdır.

Bu aşama, sanayi tesisi sahiplerinin genellikle dışarıdan alacağı hizmetlerle yapılmaktadır. Geçmiş deneyimler ışığında, bu aşamada karşılaşılan en büyük problem, alınacak mühendislik hizmetinin maliyetinin karar verme aşamasında tek kriter olarak değerlendirilmesidir. Bu aşamada yapılacak en rasyonel aksiyon, deprem riski belirleme çalışmasının teknik içeriğinin belirlenmesi ve hizmet vermeye aday firmalardan kapsam çerçevesinde hizmet bedeli talep etmektir. Ayrıca, bu aşamada yapılacak diğer bir önemli adım, alınan mühendislik hizmetinin tesis sahibi adına başka bir mühendis tarafından kontrol edilmesidir. Özellikle deprem riski belirleme çalışmalarında, tesis sahiplerinin alacakları teknik müşavirlik desteği, hem yapılan çalışmanın amacına ulaşmasını sağlar hem de zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesine yardımcı olur. Sanayi yapıları için yatırım ve iş sürekliliği kayıplarının ekonomik boyutu göz önünde bulundurulduğunda, alınacak müşavirlik hizmeti maliyetinin önemi oldukça küçülmektedir. Ayrıca, sanayi tesisi sahiplerinin kendi vizyon, misyon ve hedefleri doğrultusunda deprem riski belirleme ve azaltılma çalışmalarında en uygun teknik yöntem ve ekiple çalışması en rasyonel yaklaşım olacaktır.

Son aşama, uygulama aşamasıdır.

Deprem riskini azaltma amacıyla yapılacak uygulamalar, dikkat edilecek belli başlı noktalara sahiptir. İlk olarak, gerek yapısal gerekse yapısal olmayan elemanlar için yapılacak olan deprem risk azaltma uygulamalarının, tasarımı yapan mühendis ya da firmadan farklı bir mühendis veya firma tarafından yapılması gerekmektedir. Geçmiş deneyimler, ülkemizde bu tür çalışmaların mühendislik tasarımı ve uygulamasının aynı firma ya da kişi tarafından yapılmasının genellikle sorunlara yol açtığını göstermektedir. İlk etapta hızlı ve düşük maliyetli gibi görünen bu yaklaşım, çoğu zaman istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenle, sanayi tesisi sahipleri uygulama aşamasında da ayrı bir uygulama müşavirliği olarak, kullanılan malzemenin uygunluğunun ve yerindeki uygulamanın proje aşamasındaki tasarımla uyumlu olduğunu denetlemelidir.

Özetle, bu kılavuz; deprem, depremle ilgili parametreler, depreme dayanıklı bina tasarımı ve deprem riskinin belirlenmesi ile azaltılması süreçlerine dair, gerek bina gerekse sanayi yapılarında bilinmesi gereken araçlar ve izlenmesi gereken temel süreçleri içermektedir. Kılavuzda vurgulanan temel fikir, deprem riski belirleme çalışmalarının son derece teknik bir konu olduğudur ve bu çalışmaların uzman bir ekip tarafından gerçekleştirilmesi gerektiğidir. Sanayi yapıları gibi yüksek yatırım ve işletme maliyetlerine sahip yapılarda kısa ve uzun vadede alınması gereken önlemleri genel hatlarıyla ele alan bu dokümanın yatırımcılara yol göstermesi amaçlanmaktadır.

Ekler

EK 1: Binaların Mevcut Durumunun Belirlenmesi Aşamaları

Aşama-1: Sahaya Özel Deprem Tehlikesi Analizi Çalışması

Bu çalışma kapsamında, binanın bulunduğu konumda yer alan Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası kullanılarak deprem parametreleri belirlenecektir. Ayrıca, binanın bulunduğu bölgeyi etkileyecek fay sistemleri ve zemin koşulları dikkate alınarak, bu konuma özgü beklenen deprem parametreleri de belirlenebilir.

Bu çalışma için gerekli veriler aşağıdaki gibidir:

- Binanın coğrafi lokasyon bilgisi (enlem / boylam),
- Binanın bulunduğu bölgeye ait zemin etüdü raporları.
- Mevcut binalar için zemin etüdü çalışmaları arşivlerden elde edilebilir. Eğer bu bilgi mevcut değilse, yeni bir zemin etüt çalışması yapılması gerekmektedir.

Aşama-2: Bina Mevcut Durum Bilgilerinin Elde Edilmesi

Binanın mevcut durum bilgileri aşağıdaki gibidir:

- Bina geometrisi,
- Bina taşıyıcı sistemi,
- Bina malzeme bilgisi.

Binanın geometrisi ve taşıyıcı sistem bilgileri:

- Bina sahibi veya belediye arşivinden temin edilebilir,
- Yerinde minimum 2 kişilik bir ekip ile ölçüm (röleve) yapılarak elde edilebilir.

Binanın mevcut malzeme bilgileri:

- Binanın belirli bölümlerinden alınacak örnekler ve laboratuvar testleri ile elde edilebilir,
- Alınacak örnek sayısı, bina sahipleriyle yapılacak görüşmelerle netleştirilebilir,
- Ancak, çalışma resmî kurumlara sunulacaksa, alınacak örnek sayısı TBDY 2019 kapsamında belirlenen kriterlere göre yapılacaktır.

Aşama-3: Deprem Performans Analizi

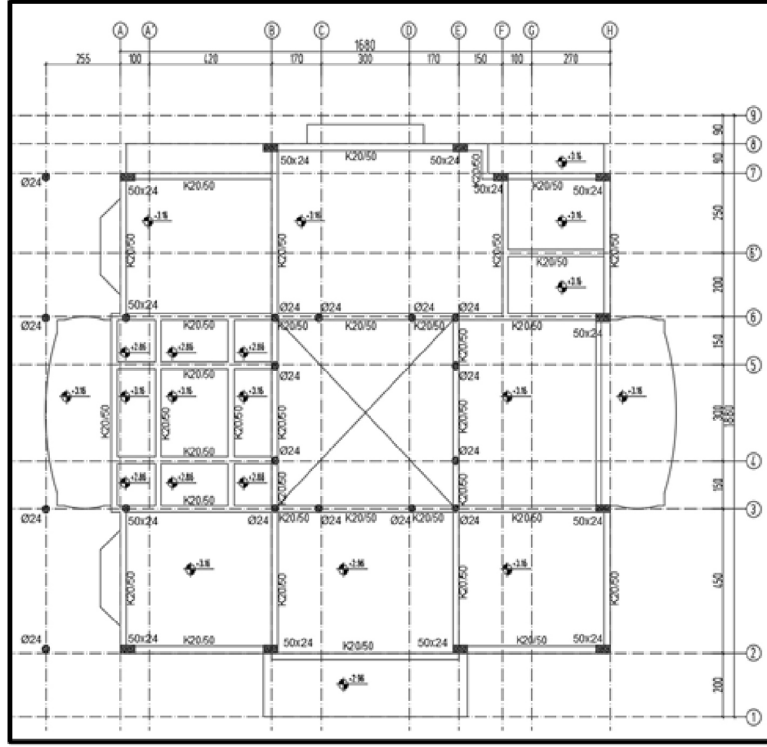
Binanın geometrisi, taşıyıcı sistemi, malzeme bilgisi belirlendikten sonra mühendislik analizlerine geçilir.

Bu aşamada, yapılan çalışma binanın mevcut durumunun, belirlenen deprem etkisi altında nasıl bir performans sergileyeceğini ve ne kadar hasar göreceğini analitik olarak belirlemeye odaklanır.

Mühendislik analizleri, TBDY 2019 kapsamında yapılabileceği gibi, önceden hazırlanacak özel bir teknik şartnameye de dayanabilir.

Analizler sonucunda, binada meydana gelmesi beklenen hasarın seviyesi (hafif, orta, ağır) ve bina içindeki dağılımı (kolon, kiriş, vb.) belirlenir.

Bu belirlemeler, binanın deprem öncesi haline getirilmesi için gerekli olan ekonomik kayıp değerinin hesaplanmasına olanak sağlar.



Bina Geometrisi ve Taşıyıcı Sistemi Statik / Mimari Proje



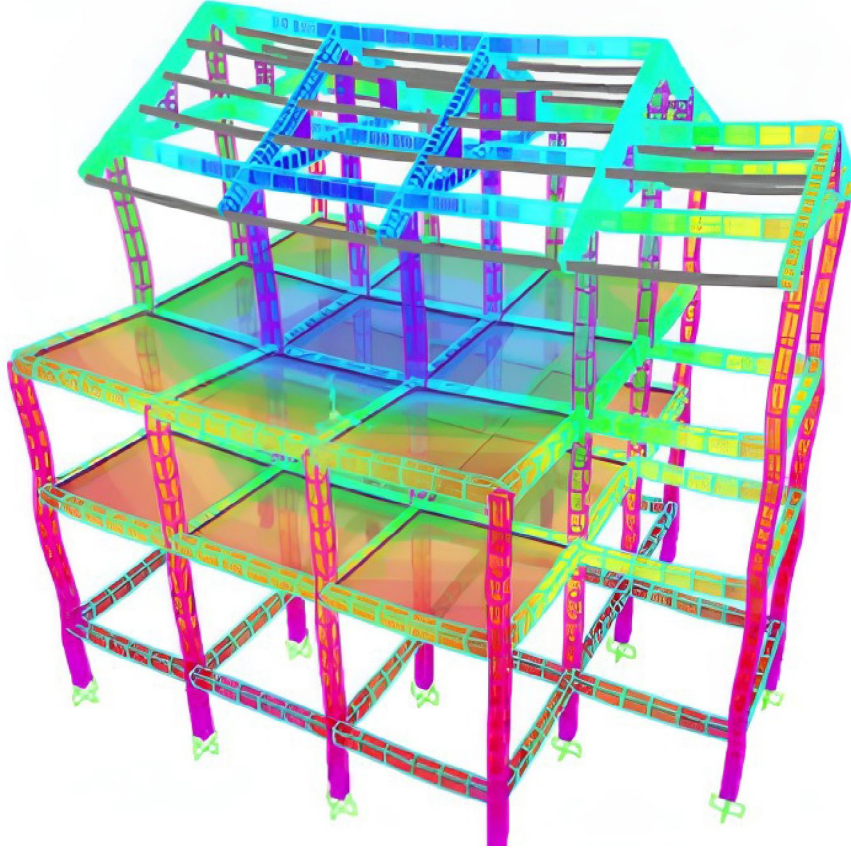
Malzeme Örnek Alınması



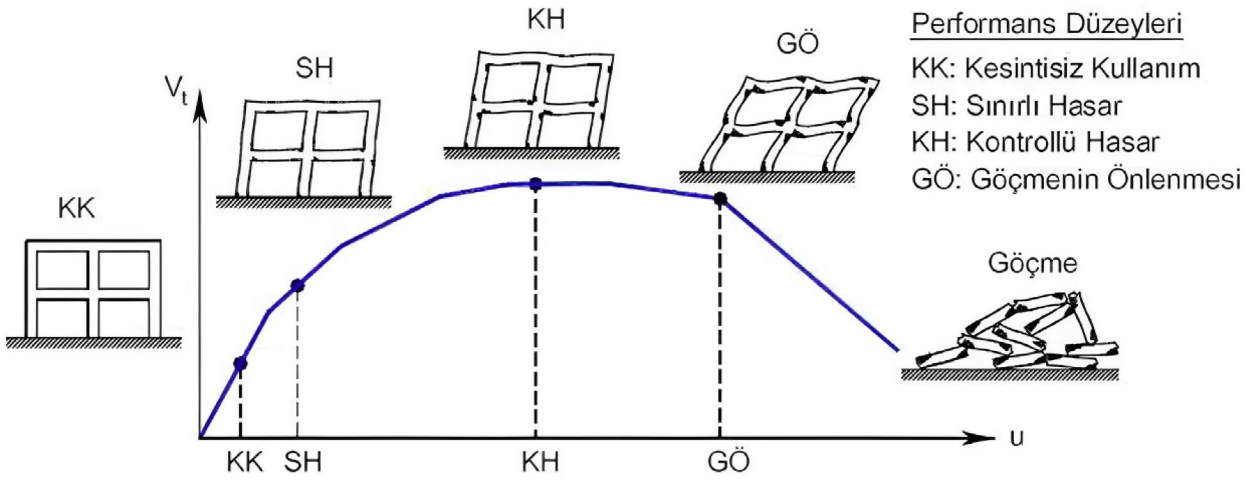
Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi



Deprem Parametresinin Belirlenmesi



Yapısal Deprem Analizi



Hasar Düzey ve Dağılımın Belirlenmesi

EK 2: Sanayi Yapıları Deprem Riski Belirleme Saha Çalışması Değerlendirme Formu

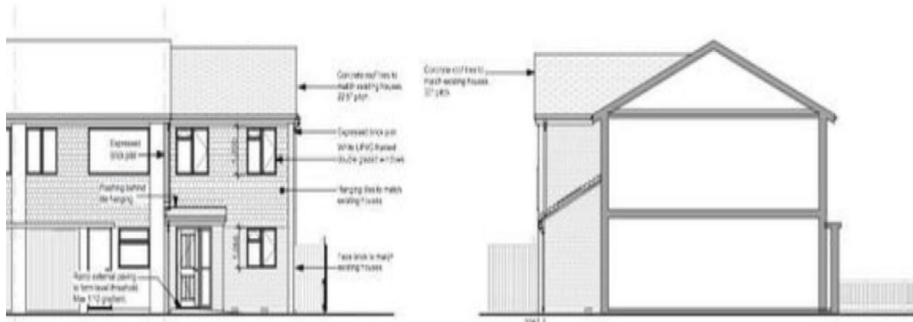
(Sanayi Tesisi İçindeki Tüm Ayrık Binalar için Hazırlanacaktır)

A. Bina Genel Bilgileri

Tesis Adı	
Tesis Hizmet Alanı	
Tesis Adresi	
Tesis Kullanım Amacı	
Tesis Coğrafi Koordinatı	Enlem _____ Boylam _____
Tesis Bina Sayısı	
Tesis Toplam Alanı	_____ (m ²)
Tesis Yapım Yılı	
Tesis Toplam Çalışanı	

B. Bina Geometrik Bilgileri

Tesis Bina - 1	
Plan Boyutları	Lx _____ (m) _____ Ly _____ (m)
Toplam Kat Sayısı	Bodrum : Zemin Kat : Normal Kat : Çatı Katı :
Kat Yükseklikleri	Bodrum : _____ (m) Zemin Kat : _____ (m) Normal Kat : _____ (m) Çatı Katı : _____ (m)
Coğrafi Koordinatı	Enlem _____ Boylam _____
Plan ve Kesiti	



C. Bina Dokümantasyon Bilgileri

Tesis Bina - 1		
Mimari Proje	<input type="checkbox"/> Var	<input type="checkbox"/> Yok
Statik / Betonarme Proje	<input type="checkbox"/> Var	<input type="checkbox"/> Yok
Zemin Etüt Raporu	<input type="checkbox"/> Var	<input type="checkbox"/> Yok
Güçlendirme	<input type="checkbox"/> Var	<input type="checkbox"/> Yok
*Güçlendirme Yılı		
*Mimari Proje (Güçlendirme)	<input type="checkbox"/> Var	<input type="checkbox"/> Yok
*Statik / Betonarme Proje (Güçlendirme)	<input type="checkbox"/> Var	<input type="checkbox"/> Yok
*Mevcut Malzeme Deney Raporu	<input type="checkbox"/> Var	<input type="checkbox"/> Yok

(*) Güçlendirme yapılmış ise bu bilgiler girilecektir.

D. Bina Deprem Tasarım Bilgileri

Tesis Bina - 1		
Tasarım Yılı		
Tasarım Yılı Deprem Yönetmeliği		
Tasarım Yılı Zemin Türü		
Tasarım Yılı Deprem Parametresi (A_0)		
Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası (2019) Parametreleri		
DD-1 Deprem Düzeyi	<input type="checkbox"/> S_s	<input type="checkbox"/> S_1
DD-2 Deprem Düzeyi	<input type="checkbox"/> S_s	<input type="checkbox"/> S_1
DD-3 Deprem Düzeyi	<input type="checkbox"/> S_s	<input type="checkbox"/> S_1
DD-4 Deprem Düzeyi	<input type="checkbox"/> S_s	<input type="checkbox"/> S_1
Zemin Türü (TBDY 2019 / Tablo 16.1)		
Güçlendirme Yılı Deprem Yönetmeliği		
Güçlendirme Yılı Zemin Türü		
Güçlendirme Yılı Deprem Parametresi (A_0)		

E. Bina Deprem Davranış Parametreleri

Tesis Bina - 1	
Taşıyıcı sistem düzensizliği	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Planda çıkıntılarının olması (TBDY 2019, Bölüm 3.6.2.2)	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Döşeme düzensizliği (TBDY 2019, Bölüm 3.6.2.2)	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği (TBDY 2019, Bölüm 3.6.2.4)	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Zayıf kat düzensizliği	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Yumuşak kat düzensizliği	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Burulma düzensizliği	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Kütle düzensizliği	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Komşu bina ilişkisi	<input type="checkbox"/> Bitişik <input type="checkbox"/> Ayrık <input type="checkbox"/> Köşe
Bitişik bina kat seviyesi	<input type="checkbox"/> Aynı <input type="checkbox"/> Farklı
Zemin oturması	<input type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Bina görünür inşaat kalitesi	<input type="checkbox"/> Kötü <input type="checkbox"/> Orta <input type="checkbox"/> İyi
Genel Değerlendirme (Bina deprem davranışının olumlu / olumsuz yönleri hakkında)	

F. Bina Yapısal Olmayan Sistem Bilgileri

Tesis Bina - 1	
Cephe sistemleri bağlantıları	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Asma tavan sistemleri bağlantıları	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Bölme duvarların durumu	<input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Ağır
Parapet / Baca	<input type="checkbox"/> Yüksek <input type="checkbox"/> Ağır
Tehlikeli madde içeren boru bağlantıları	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Doğalgaz / Sıcak su vb. boru bağlantıları	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Esnek boru bağlantısı	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Elektrik ve güç sistemleri bağlantıları	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Titreşim cihazları bağlantıları	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Raf sistemleri bağlantıları	<input type="checkbox"/> Yeterli <input type="checkbox"/> Yetersiz
Genel Değerlendirme (Binadaki yapısal olmayan elemanların deprem sırasında davranışının olumlu/olumsuz yönleri hakkında)	

G. Bina Yapısal ve Yapısal Olmayan Sistem Fotoğrafları / Çizimleri

Bölüm F ve Bölüm G kapsamında belirtilen konu ve başlıklar ile ilgili resimler çekilmelidir.

Benzer şekilde Bölüm F ve Bölüm G kapsamında belirtilen konu ve başlıklar ile ilgili çizim ve projeler de elde edilmelidir.

Kaynakça

Kaynakça

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.
- Applied Technology Council. (1985). *ATC-13 Earthquake Damage Evaluation Data for California*. Redwood City, CA.
- Applied Technology Council. (1987). *ATC 14 : A Methodology for the Seismic Evaluation of Existing Buildings*. Redwood City, CA: Applied Technology Council.
- Applied Technology Council. (1988). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazard: A Handbook*. Redwood City, CA: Applied Technology Council.
- Applied Technology Council. (1989). *ATC 22: Handbook for the seismic evaluation of existing buildings*. Redwood City, CA: Applied Technology Council.
- Applied Technology Council. (2012). *FEMA E-74, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage — A Practical Guide*. Redwood City, CA: Applied Technology Council .
- Applied Technology Council. (2018). *FEMA P-58, Development of Next Generation Performance-Based Seismic Design Procedures for New and Existing Buildings*. Redwood City, CA: Applied Technology Council.
- Arnold, C., Kircher, C. A., Reitherman, R. K., & Whitman, R. V. (1997, November). Estimation of Earthquake Losses to Buildings. *Earthquake Spectra*.
- Büyükkaragöz, A., & Cantürk, R. (2018). Sanayi Yapılarındaki Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (Part C: Tasarım ve Teknoloji)*, 6(2).
- Çay, B. (2023). Endüstri Yapılarında Yapısal Olmayan Sistemlerin Tasarımı ve Deprem Davranışları. *Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu*. Gebze Teknik Üniversitesi.
- EN-1998-3. (2005). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*. Brussels: European Committee for Standardization.
- Ergünay, O. (2002). *Afete Hazırlık ve Afet Yönetimi*. Türkiye Kızılay Derneği Genel Müdürlüğü Afet Operasyon Merkezi .
- Eskişehir Teknik Üniversitesi İş Yeri Sağlık ve Güvenlik Birimi. (n.d.). *Tehlike ve Risk*. Retrieved from Eskişehir Teknik Üniversitesi İş Yeri Sağlık ve Güvenlik Birimi: <https://isgb.eskisehir.edu.tr/tr/Icerik/Detay/tehlike-ve-risk>
- Federal Emergency Management Agency. (2004). *FEMA 414: Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe*. Federal Emergency Management Agency.
- Federal Emergency Management Agency. (2007). *FEMA 577: Design Guide for Improving Hospital Safety in Earthquakes, Floods and High Winds*. Federal Emergency Management Agency.

Federal Emergency Management Agency. (2020). *FEMA 412 Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment*. Federal Emergency Management Agency.

Kalafat, E. (2005, Kasım). Mekanik Tesisatlarda Deprem Koruması ve Titreşim Yalıtımı. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği*.

Kalafat, E. (2005). Tesisatlarda Deprem Güvenliği. *Tesisat Dergisi*, 116.

Kalafat, E. (2005). Tesisatlarda Sismik Koruma: Türkiye'den Uygulama Örnekleri. VII. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi*. İzmir: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.

Kircher, C. A., Nassar, A. A., Kustu, O., & Holmes, W. T. (1997, November). Development of Building Damage Functions for Earthquake Loss Estimation. *Earthquake Spectra*.

Murty, C., Goswami, R., Vijayanarayanan, A., Mehta, V., & Ramancharla, P. (2012). *Introduction to Earthquake Protection of Non-Structural Elements in Buildings*. Gandhinagar: Gujarat State Disaster Management Authority.

Okutan, C. (2005). Yapıda Sismik Önlemler. *Tesisat Dergisi*, 114.

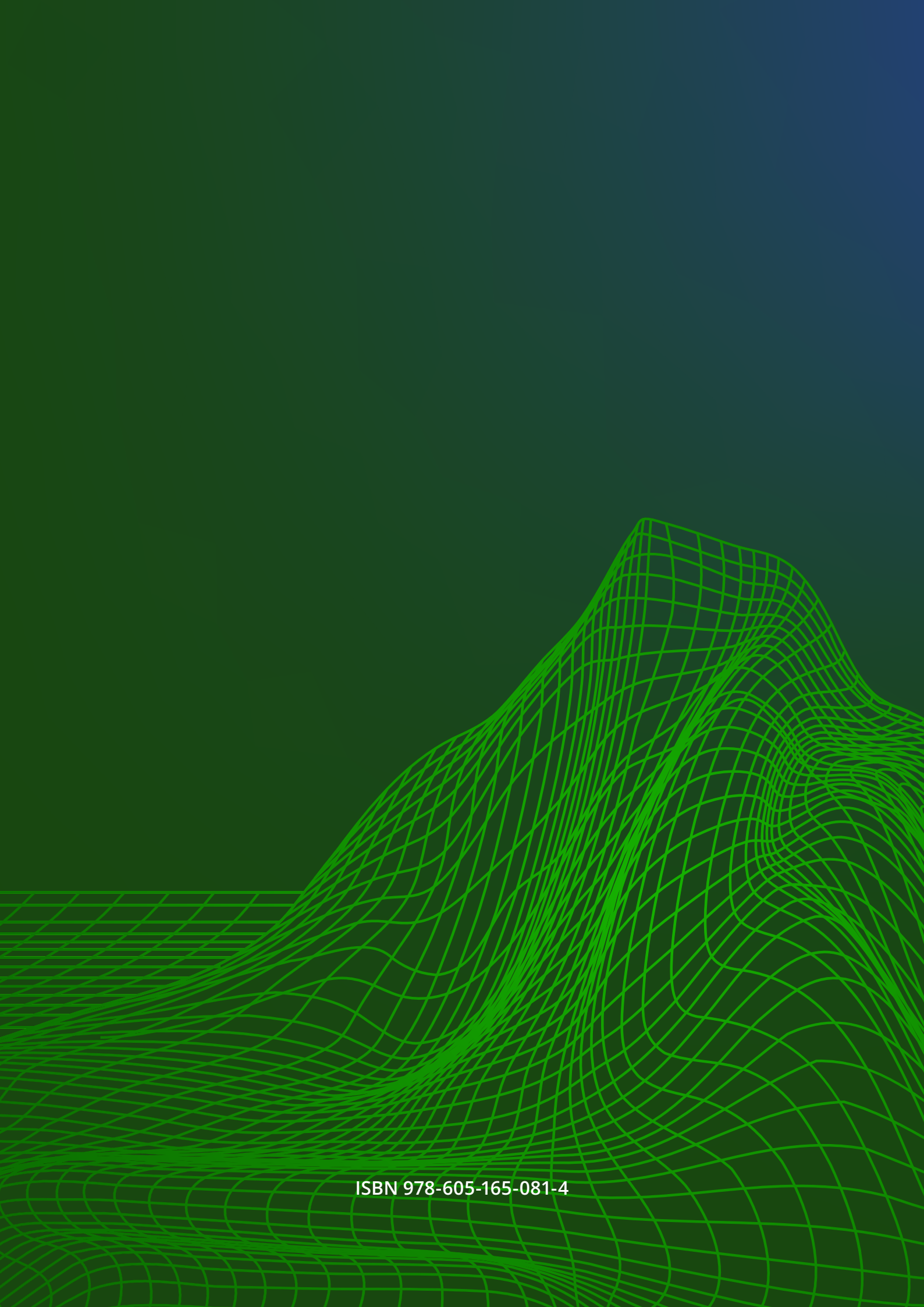
Özdikmen, T. (2014). *Afet ve Acil Durum Yönetimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Özkul, B., & Karaman, E. (2007). Doğal Afetler için Risk Yönetimi. *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.

Uçkan, E., & Erdik, M. (2013). Earthquake Damage and Fragilities of Industrial Facilities. *DeDIF Conference*. RWTH Aachen University.

Uçkan, E., Erdik, M., & Durukal, E. (2008). Earthquake Risk to Industry in Istanbul and Its Management. *Natural Hazards*.

Virtual University for Small States of the Commonwealth. (n.d.). *Course Manual: Introduction to Disaster Management*. Vancouver: Virtual University for Small States of the Commonwealth.



ISBN 978-605-165-081-4