



İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Betonarme Yapılarda Güçlendirme Yöntemleri ve Uygulamaları



LİSANS PROJESİ
2026 Bahar Dönemi

Projeyi Hazırlayan Öğrenciler:
Sinem Sultan Yalçın
Adem Özkul
Yusuf Yücer

İçindekiler

Bölüm 1

1.1. Deprem mühendisliğine giriş.....	2
1.2. Mevcut yapı stokunun durumu ve güçlendirme gerekliliği.....	9
1.3. Güçlendirmede: rijitlik, dayanım ve süneklik ilişkisi.....	13
1.4. Literatür özeti ve yönetmelik esasları.....	17

Bölüm 2

2.1. Onarım ve güçlendirme kavramları.....	20
2.2. Onarım ve güçlendirme	23
2.3. Onarım ve güçlendirme projesi için yapılacak ön çalışmalar.....	28
2.4. Hasar saptama işlemleri.....	34
2.5. Malzeme kalitesinin tanımlanması.....	38
2.6. Yerinde beton dayanımının belirlenmesi yöntemleri.....	40
2.7. Yerinde donatı çeliği belirlenmesi yöntemleri.....	44
2.8. Çatlakların genel özellikleri ve taşıyıcı sistem hasarları.....	46
2.9. Yapıda korozyon durumu ve korozyon hasarı onarımı.....	54

Bölüm 3

3.1. Hasar sınıflandırmaları ve değerlendirme kriterleri.....	59
3.2. Yapılarda görülen hasar türleri ve göçme davranışları.....	71

Bölüm 4

4.1. Bina tanımı.....	78
4.2. Yapı genel özet tablosu.....	73
4.3. Bina genel durumu	83
4.4. Yapının modeli.....	84
4.5. Yapının güçlendirme modeli.....	88
4.6. Mevcut durum analizi	89
4.7. Mevcut durum bina performans özeti	90
4.8. Güçlendirme analizleri.....	104
4.9. Yapının güçlendirme aşamaları.....	110

Bölüm 5

5.1 Sonuç ve öneriler.....	130
5.2 Kaynakça.....	130

BÖLÜM 1

1.1. DEPREM MÜHENDİSLİĞİNE GİRİŞ

Sismoloji ve Deprem Tanımı

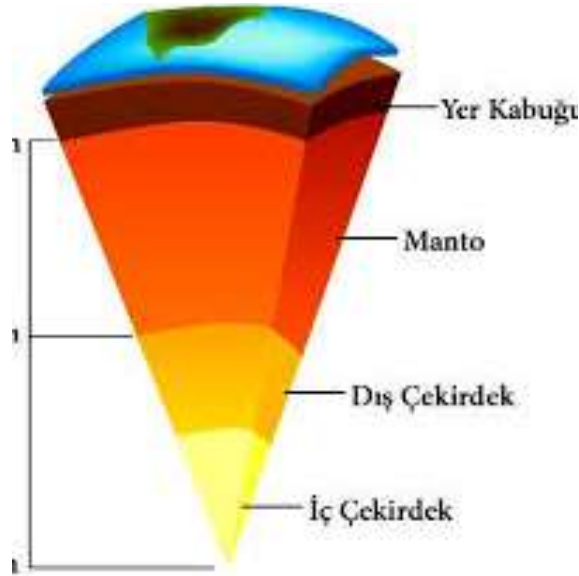
Deprem ve Yer Kürenin Tanımı

Deprem; yer kabuğunun derinliklerinde biriken elastik gerilme enerjisinin, kayaç bloklarının aniden kırılması veya kayması sonucu serbest kalması ve bu enerjinin sismik dalgalar halinde yayılarak yeryüzünü sarsması olayıdır.

Yer Kürenin İç Yapısı

Yer küre homojen bir yapıda değildir. Merkezine doğru gidildikçe üç temel fiziksel büyüklük artış gösterir: Yoğunluk, Basınç ve Sıcaklık. Yer küre katmanları dıştan içe şu şekildedir:

- **Litosfer (Yer Kabuğu):** En dıştaki katı ve kırılabilir tabakadır. Okyanusal ve kıtasal kabuk olarak ikiye ayrılır.
- **Manto:** Magma tabakasının bulunduğu, plastik/yarı akışkan viskoziteye sahip alandır. Burada gerçekleşen konveksiyonel akıntılar (sıcak sıvının yükselip soğuyan sıvının çökmesi), üstteki yer kabuğunun hareket etmesini sağlayan ana motor güçtür.
- **Çekirdek (Dış ve İç):** Yoğunluğun ve demir-nikel oranının en yüksek olduğu merkez bölgesidir. Dış çekirdek sıvı, iç çekirdek ise ekstrem basınç altında katı haldedir.



Şekil 1.1.1 Yer Kürenin İç Yapısı Şematik Gösterimi

Elastik Geri Sekme Teorisi

Harry Fielding Reid tarafından 1906 San Francisco depremi sonrası geliştirilen bu teori, tektonik depremlerin mekanizmasını açıklar:

- **Gerilme Birikimi:** Levha hareketleri nedeniyle fay hattının iki yanındaki kayaç bloklar zıt yönlerde itilir. Ancak aradaki yüksek sürtünme kuvveti blokların kaymasını engeller.
- **Elastik Deformasyon:** Bloklar kayamadığı için fay hattı boyunca kayaçlar bükülmeye ve elastik olarak şekil değiştirmeye başlar. Bu süreçte bölgede muazzam bir şekil değiştirme enerjisi depolanır.
- **Kırılma (Yırtılma):** Biriken gerilme, kayacın kesme dayanımını ve sürtünme direncini aştığı anda fay aniden yırtılır.
- **Geri Sekme:** Kayaçlar hızla gerilmesiz eski hallerine dönmek için sıçrar. Bu ani hareket, biriken enerjiyi sismik dalgalara dönüştürerek depremi yaratır.

Levha Tektoniği ve Sınır Tipleri

Yer kabuğu tek parça değil, levha adı verilen yapboz parçalarından oluşur. Levhaların birbirine göre bağıl (rölatif) hareketleri 3 tip sınır meydana getirir:

- **Uzaklaşan Sınırlar:** Levhaların birbirinden koptuğu alanlardır. Manto'dan yükselen magma bu boşlukta soğuyarak yeni okyanusal kabuk oluşturur (Örn: Atlas Okyanusu Ortası Sırtı).
- **Yakınlaşan Sınırlar:** Levhaların çarpıştığı sınırlardır. Yoğunluğu büyük olan levha diğerinin altına dalarak manto içinde erir (Dalma-Batma Kuşakları - Örn: Pasifik hendekleri) ya da iki kıtasal levha çarpışarak devasa kıvrımlı dağ zincirlerini oluşturur (Örn: Himalayalar).
- **Geçiş Sınırları / Transform Faylar:** Levhaların birbirini yok etmeden veya yeni bir kabuk üretmeden, yanal olarak sürtünerek yer değiştirdiği sınırlardır (Örn: San Andreas Fayı, Kuzey Anadolu Fayı).



Şekil 1.1.2 Levhaların Şematik Gösterimi

Deprem Türleri

Depremler meydana geliş nedenlerine göre 3 ana sınıfa ayrılır:

- **Tektonik Depremler:** Levha hareketleri sonucu oluşan, yeryüzündeki depremlerin %90'ından fazlasını oluşturan ve mühendisliği en çok ilgilendiren yıkıcı depremlerdir.
- **Volkanik Depremler:** Aktif volkanların altındaki magma odalarındaki gaz patlamaları ve sıvı hareketleri sonucu oluşan, genellikle yerel etkili depremlerdir.
- **Çöküntü Depremler:** Yer altındaki kalkerli (karstik) boşlukların, mağaraların veya terk edilmiş maden galerilerinin tavanlarının çökmesiyle oluşan sarsıntılardır. Enerjileri çok düşüktür.



Şekil 1.1.3 Deprem Türlerinin Gösterimi

Fay Mekanîği ve Geometrisi

Fay; yer kabuğundaki kayaçların bir düzlem boyunca görünür ölçüde kayma göstermesiyle oluşan yapısal kırıklardır. Deprem yer hareketi bu düzlemler üzerindeki yırtılmalarla tetiklenir.

1. Normal Fay

Uzatma (çekme) gerilmelerinin hakim olduğu bölgelerde görülür. Fay düzleminin eğimi boyunca üstte kalan blok (tavan bloku), altta kalan bloka (taban bloku) göre aşağı doğru kayar. Yer kabuğunda genişlemeye işaret eder.

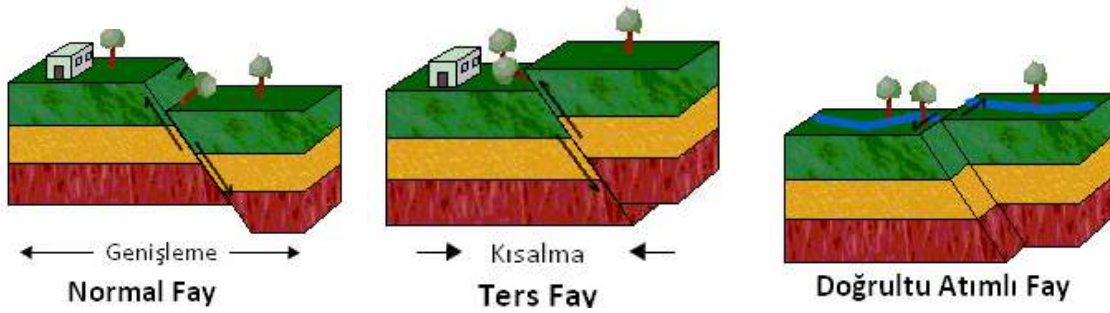
2. Ters Fay (veya Bindirme Fayı)

Sıkışma gerilmelerinin hakim olduğu rejimlerde oluşur. Tavan bloku, taban bloğunun üzerine doğru tırmanır. Eğim açısı 45°'den küçük olan ters faylara bindirme fayı denir. Dağ oluşum kuşaklarında sıkça görülür.

3. Doğrultu Atımlı Fay

Blokların düşey bir fay düzlemi boyunca, tamamen yatay doğrultuda ve zıt yönlerde hareket ettiği faylardır. İki alt türü vardır:

- **Sağa Yanal Doğrultu Atımlı:** Fay hattının karşı tarafındaki blok, gözlemciye göre sağa doğru hareket etmişse (Örn: Kuzey Anadolu Fayı - KAF).
- **Sola Yanal Doğrultu Atımlı:** Karşı taraftaki blok gözlemciye göre sola doğru hareket etmişse (Örn: Doğu Anadolu Fayı - DAF).



Şekil 1.1.4 Yer Fay Yapısı Şematik Gösterimi

Deprem Dalgalarının Kinematiki

Kırılma odağından serbest kalan enerji, homojen olmayan katı yer kabuğu ortamında sismik dalgalar şeklinde ilerler. Bu dalgalar iki ana gruba ayrılır:

A) Cisim Dalgaları

Yer kürenin derinliklerinden geçerek her yöne yayılan dalgalardır.

P Dalgası (Primary / Birincil / Basınç Dalgası):

- Sismografların kaydettiği en hızlı dalgadır (yer kabuğunda ortalama $V_p \approx 8$ km/s).
- Boyuna dalgadır; tanecik hareket yönü ile dalga yayılma yönü paraleldir. Ortamı ardışık olarak sıkıştırıp gevşetir (ses dalgaları gibi).
- Katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilir.

S Dalgası (Secondary / İkincil / Kesme Dalgası):

- P dalgasından sonra istasyona varan ikinci dalgadır ($V_s \approx 0.6 \cdot V_p$).
- Enine (makaslama) dalgasıdır; tanecik hareket yönü, dalga yayılma yönüne dik doğrultudadır.
- Sıvıların kesme (makaslama) rijitliği sıfır olduğu için S dalgası sıvılarda (örneğin dış çekirdekte veya tamamen suya doygun sıvılaştırmış zeminlerde) ilerleyemez. Yapılara yatayda en büyük kesme kuvvetini vuran dalgalardan biridir. Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönlü iki yatay bileşeni vardır.

B) Yüzey Dalgaları

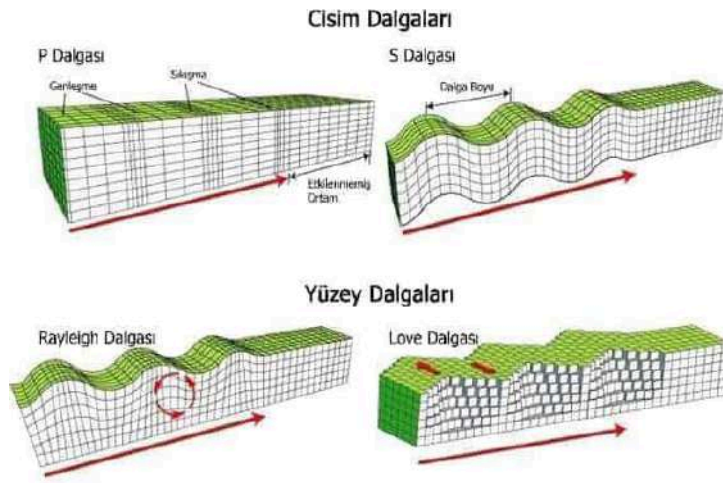
Sadece yeryüzüne yakın katmanlarda, kılavuzlanmış dalgalar şeklinde ilerlerler. Cisim dalgalarından daha yavaş yayılırlar ancak sönümlenmeleri daha geç olduğu için uzak mesafelerde en yıkıcı etkileri bunlar yaratır.

Love Dalgası:

S dalgasının yüzeyde polarize olmuş halidir. Zemini tamamen yatay düzlemde ve yayılma yönüne dik olarak (yılan gibi) sarsar. Binanın temellerini burmaya zorlar.

Rayleigh Dalgası:

Su dalgalarına benzer şekilde eliptik bir yörüngede geriye doğru (retrograde elliptical) bir dönme hareketi yapar. Hem dikey hem de yatay yer hareketini aynı anda üretir. Genliği en büyük olan dalgadır; yeryüzünde dalgalanma gözle görülür seviyeye bu dalga yüzünden ulaşır.



Şekil 1.1.5 Deprem Dalgalarının Şematik Gösterimi

Deprem Parametreleri ve Ölçekleri

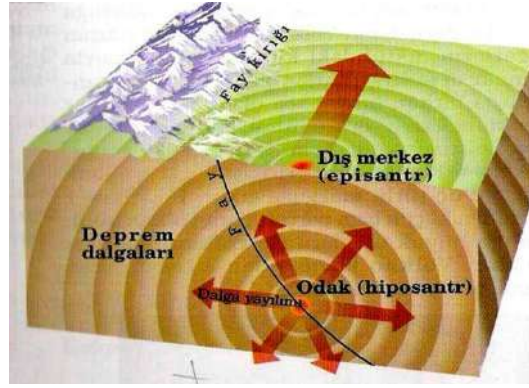
Konumsal Terimler

Odak Noktası (Hiposantr):

Enerjinin ilk açığa çıktığı ve kırılmanın başladığı yer altındaki geometrik noktadır.

Dış Merkez (Episantr):

Odak noktasından yeryüzüne çizilen en kısa dik çizginin yeryüzünü kestiği noktadır. Deprem odağına en yakın yer burası olduğundan, sismik enerji kaybı en az buradadır ve hasarın en yoğun olduğu odaktır.



Şekil 1.1.6 Deprem Parametreleri ve Ölçeklerinin Şematik Gösterimi

Odak Derinliği (h):

Hiposantr ile episantr arasındaki düşey mesafedir.

- **Sığ Depremler:** 0 - 70 km (Anadolu coğrafyasındaki depremler genellikle 10 - 30 km derinlikte sığ depremlerdir. Sığ depremlerin sönümlenme mesafesi az olduğu için yüzeydeki binalara aktardığı ivme ekstrem düzeyde büyüktür).
- **Orta Derinlikteki Depremler:** 70 - 300 km
- **Derin Depremler:** > 300 km (Etki alanları çok geniştir ama sönümlenerek yüzeye ulaştıklarından yıkıcılıkları düşüktür).

Şiddet

Deprem yeryüzündeki belirli bir noktada insanlar, yapılar ve doğa üzerinde meydana getirdiği hasarın ve etkilerin gözlemsel bir ölçüsüdür. Deprem merkezinden uzaklaştıkça şiddet azalır. En yaygın kullanılanları Modifiye Mercalli (MMI) ve MSK-64 cetvelleridir. Roma rakamlarıyla I ile XII arasında ifade edilir.

MMI Şiddeti	Kısa Tanım	Tipik Tepe Yer İvmesi (m/s ²)
I	Sadece hassas cihazlar algılar.	< 0.01
V	Herkes hisseder, sıvalar çatlayabilir, kap-kacak kırılır.	0.15 - 0.30
VIII	Duvarlar çerçevelerden ayrılır, ağır hasarlar başlar.	1.50 - 3.00
XII	Tam yıkım, ufuk çizgisi değişir, cisimler havaya fırlar.	> 70.0

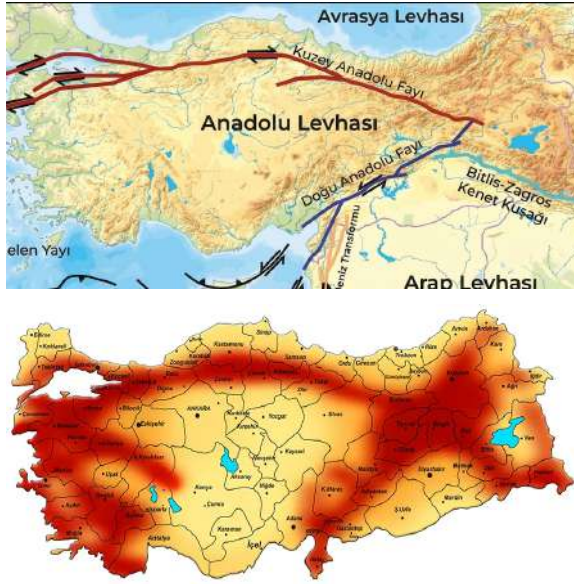
Dünya ve Türkiye'nin Sismisitesi

Dünyadaki depremlerin büyük kısmı levha sınırlarını takip eden kuşaklarda (Pasifik Ateş Çemberi, Alp-Himalaya Deprem Kuşağı) yoğunlaşır.

Türkiye Tektoniği: Türkiye, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kuşağındadır. Ülkemizin sismik yapısını şekillendiren ana unsur; güneydeki Arap Levhası'nın

her yıl yaklaşık 2-3 cm hızla kuzeye doğru ilerleyerek Anadolu'yu sıkıştırmasıdır. Kuzeyde devasa ve rijit Avrasya Levhası bulunduğundan, arada sıkışan Anadolu Bloğu batıya doğru (Ege Denizi'ne doğru) saat yönünün tersine bir rotasyonla kaçmaya zorlanır. Bu kaçış hareketini sınırlandıran iki devasa doğrultu atımlı fay hattımız vardır:

- **Kuzey Anadolu Fayı (KAF):** Sağa yanal doğrultu atımlı, yaklaşık 1200 km uzunluğunda dünyanın en tehlikeli faylarından biridir.
- **Doğu Anadolu Fayı (DAF):** Sola yanal doğrultu atımlı, Karlıova'dan Hatay'a uzanan tektonik sınır.



Şekil 1.1.7 Kuzey ve Doğu Anadolu Faylarının harita üzerinde gösterimi

Deprem Yüğü Hesap Yöntemleri

Yönetmeliklerde (örneğin TBDY 2018), binaların projelendirilmesinde kullanılacak sismik kuvvetleri bulmak için pratikleştirilmiş iki temel analiz yöntemi sunulur:

1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Dinamik analizin zor olduğu dönemlerde geliştirilmiş, belirli bir yükseklik sınırını aşmayan ve plan düzenliliğine sahip binalarda uygulanan yaklaşık statik bir yöntemdir.
- Yapının birinci doğal periyodu (T_1) hesaplanır.
- Coğrafi konum ve zemin sınıfına göre hazırlanan Tasarım İvme Spektrumu grafiğinden o periyoda karşılık gelen ivme değeri ($A(T)$) okunur.
- Binanın toplam kütlesi ile bu ivme çarpılarak kurgusal bir Taban Kesme Kuvveti (V_t) elde edilir.
- Bu toplam yatay kuvvet, binanın kat kütleleri ve kat yükseklikleri oranında ters üçgen şeklinde katlara (F_i) paylaştırılır. Yapı bu statik kuvvetler altında çözülür.

2. Mod Birleştirme Yöntemi

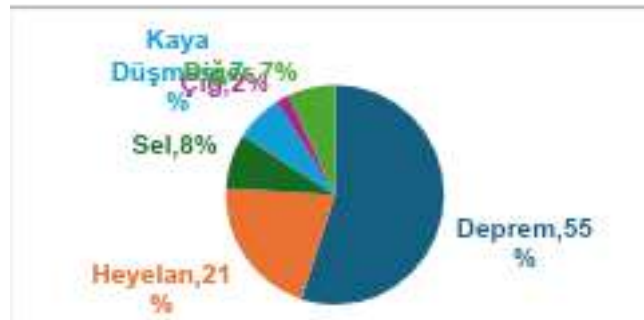
- Yüksek, karmaşık veya düzensiz binalarda kullanımı zorunlu olan tam dinamik yöntemdir.
- Çok serbestlik dereceli yapının matris analizi yapılarak tüm baskın doğal titreşim modları (Mod 1, Mod 2, Mod 3...) ve periyotları bilgisayar yazılımlarıyla bulunur.
- Her bir mod sanki tek başına bağımsız birer SDOF (Tek serbestlik dereceli) sistemmiş gibi spektrum grafiğinden kendi ivmesini alır ve o moda ait maksimum iç kuvvetler (kesme, moment) hesaplanır.
- Tüm modların maksimum hasar anları aynı saniyede gerçekleşmeyeceği için bu değerler düz bir şekilde toplanmaz. İstatistiki yöntemlerle (SRSS: Karelerin toplamının karekökü veya CQC: Tam karesel birleştirme yöntemleri) birleştirilerek binanın maruz kalacağı nihai tasarım deprem yükleri elde edilir.

1.2 Mevcut Yapı Stokunun Durumu ve Güçlendirme Gerekliliği

Türkiye ve İstanbul'un Makro Afet ve Risk Bağlamı

Türkiye, coğrafi yapısı ve barındırdığı aktif fay hatları nedeniyle yüksek düzeyde doğal tehlike riskine maruz bir ülkedir. Geçmiş veriler incelendiğinde, ülkemizde son 65 yıl içerisinde meydana gelen afet zararlarının dağılımı şu şekildedir:

- **Deprem:** %55 (En büyük yıkım ve kayıp oranı)
- **Heyelan:** %21
- **Su Baskını (Sel):** %8
- **Kaya Düşmesi:** %7
- **Çığ:** %2



Şekil 1.2.1 Afet zararlarının Pasta grafik üzerinde gösterilmesi

Bu istatistikler, kentsel yapılanmada en öncelikli risk yönetim konusunun deprem ve yapı güvenliği olması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bilimsel hesaplamalara göre, önümüzdeki 30 yıl içerisinde 1999 Marmara Depremi'ne benzer şiddette bir depremin aynı bölge yakınlarında oluşma ihtimali %62 gibi çok yüksek bir orandır.

Özellikle ülke nüfusunun %18,3'ünün (2012 verilerine göre resmi olarak 13.854.740 kişi, günübirlik ve turist potansiyeliyle yaklaşık 17 milyon) yaşadığı İstanbul metropolü, bu tehlikenin merkezinde yer almaktadır. İstanbul, ekonomik gelişmişlik açısından Türkiye'de 1.

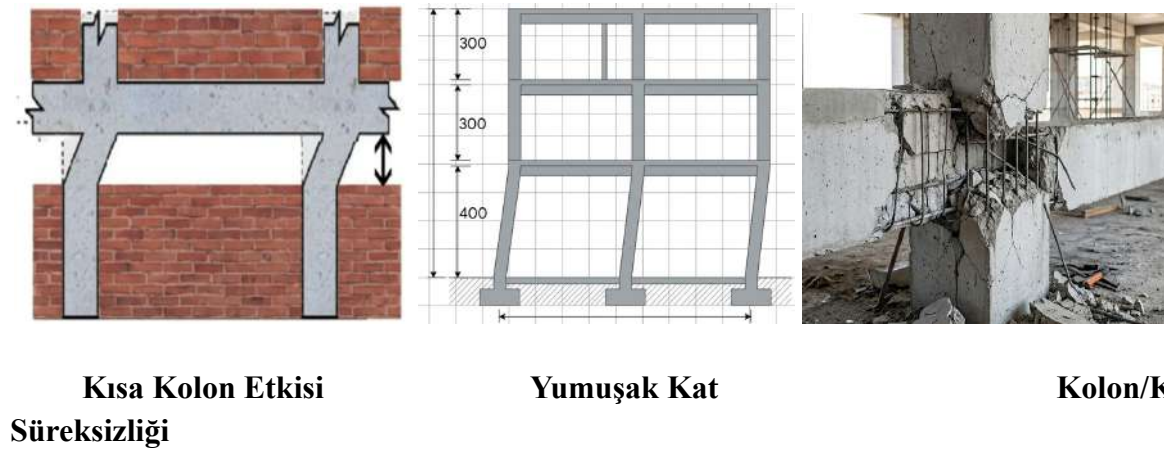
sırada yer almasına rağmen, "Sosyal ve Ekonomik Zarar Görebilirlik" endeksinde 4. kategoride (yüksek zarar görebilirlik seviyesinde) yer almaktadır. Bu çelişkili durum, kentin küresel rollerinin artmasına paralel olarak kentsel risklerinin de büyüdüğünü ve mevcut yapı stokunun acilen güvenli hale getirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Mevcut Yapı Stokunun Durumu ve Yapısal Risk Faktörleri

Şehirlerin afet karşısında hasar görmesini tetikleyen en büyük yapısal hata; jeolojik açıdan sakıncalı, taşıma kapasitesi düşük alanlar üzerinde düzensiz, plansız ve yoğun yapılaşmaya izin verilmiş olmasıdır. İstanbul Deprem Master Planı (7 Temmuz 2003) verilerine göre, kentsel alanları oluşturan en kırılgan elemanların başında "Yapı Stoku ve Kentsel Altyapı Sistemleri" gelmektedir.

Mevcut yapı stokunun güvenliğini doğrudan tehdit eden ve binaları olası bir sarsıntıda yıkılma riskiyle karşı karşıya bırakan ana risk faktörleri şu şekildedir:

- **Zemin-Yapı Uyumsuzluğu:** İnşaat süreçlerinin, üzerinde yükseldiği zeminin jeolojik yapısına, topografyasına ve yeraltı su seviyesine uygun tasarlanmaması.
- **Proje Dışı Yapısal Müdahaleler:** Binalar tamamlandıktan sonra yapılan denetimsiz tadilatlar.
- **Taşıyıcı Sistem Değişiklikleri:** Yapının statik dengesini bozacak şekilde kolon ve kirişlerin sürekliliğinin kesilmesi.
- **Kaçak Katlar:** Binanın temel ve taşıyıcı elemanlarına hesap dışı ek yük getiren illegal kat ilaveleri.
- **Mühendislik Kusurları:** Yapılarda sıklıkla rastlanan "yumuşak kat" (dükkan katları gibi duvar dolgusu olmayan alanlar), "kısa kolon" etkileri ve yapısal zayıflık oluşturan kontrolsüz çıkmlar.



Şekil 1.2.2 Mühendislik Aşamasında Yapılan Kusurlar

2. Yerleşime Uygunluk Analizi ve Yapı İlişkisi

Mevcut yapı stokunun güvenliğinin değerlendirilmesinde en önemli aşamalardan biri "Yerleşime Uygunluk Analizi"dir. Bu analiz değişkenleri arasında topografik özellikler, jeolojik yapı, yeraltı su seviyesi ve heyelan alanları yer alır. Yetkili kurumların onayına göre araziler ve üzerindeki yapılar 4 ana sınıfa ayrılır:

- **Uygun Alanlar:** Zeminin taşıma kapasitesinde sorun olmayan, özel iyileştirme gerektirmeyen alanlar.
- **Önlem Alınacak Alanlar:** Yapılaşmaya gitmeden önce zemin iyileştirmesi (kazık çakılması, enjeksiyon vb.) yapılması zorunlu olan alanlar.
- **Ayrıntılı Jeoteknik Etüt Gerektiren Alanlar:** İnşaat öncesinde ve esnasında çok ciddi, detaylı zemin ve mühendislik önlemleri alınması gereken riskli bölgeler.
- **Uygun Olmayan Alanlar:** Taşıma kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle kesinlikle yapılaşmaya açılmaması, mevcut yapıların tahliye edilmesi ve çoğunlukla yeşil alan olarak korunması gereken sakıncalı alanlar.

Mevcut yapı stokumuzun bir kısmının "Uygun Olmayan Alanlar" veya "Önlem Alınması Gereken Alanlar" üzerinde denetimsizce inşa edilmiş olması, güçlendirme ve dönüşümün ne kadar hayati olduğunu doğrulamaktadır.

Güçlendirme Gerekliliği ve Yasal/Kurumsal Altyapı

Afet yönetiminin döngüsel evreleri (Hazırlıklı Olma, Zarar Azaltma, Müdahale, İyileştirme) içinde en ekonomik ve hayat kurtarıcı evre "Zarar Azaltma" (Risk Yönetimi) evresidir. Binaların afet gerçekleşmeden önce güçlendirilmesi bu evrenin en somut adımıdır. Türkiye'de kentsel risklerin azaltılması ve yapı stokunun afete dirençli hale getirilmesi için kritik yasal adımlar atılmıştır:

- **6306 Sayılı Kanun (16 Mayıs 2012):** "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun", çarpık kentleşme ve gecekondulaşma sorunlarına çözüm üretirken çağdaş, marka ve dirençli şehirler oluşturmayı hedefler. Bu kanun, riskli yapılardan güçlendirilebilecek durumda olanların güçlendirilmesini açıkça desteklemekte ve teşvik etmektedir.
- **Yapı Denetim Sistemi (595 Sayılı KHK):** Belediyelerin yapı üzerindeki denetim yetersizliklerini gidermek adına, kamu binaları dışındaki yapıların kontrolü özel "Yapı Denetim Kuruluşlarına" bırakılmıştır. Bu kuruluşlar jeoteknik raporları, uygulama projelerini ve inşaat malzemelerinin standartlara uygunluğunu denetlemekle yükümlüdür.
- **587 Sayılı KHK (DASK):** Afet sonrasında oluşan yapısal zararların devlet bütçesinden bağımsız olarak telafi edilebilmesi amacıyla Doğal Afet Sigortaları Kurumu kurulmuş, zorunlu deprem sigortası sistemi hayata geçirilmiştir.

İSMEP Kapsamında Yürütülen Yapısal Güçlendirme ve Eğitim Çalışmaları

İstanbul Valiliği İstanbul Proje Koordinasyon Birimi (İPKB) tarafından yürütülen İSMEP projesinin "C Bileşeni" (İmar Mevzuatının Etkin Uygulanması), yapı stokunu doğrudan güvenli hale getirmeyi ve teknik kapasiteyi artırmayı amaçlayan üç büyük alt projeyi başarıyla uygulamıştır:

İnşaat Mühendislerinin Eğitimi ve Teknik Mevzuat

6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" konusundaki bilgi açıklarını kapatmak amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile ortak bir büyük eğitim seferberliği başlatılmıştır.

- 2007-2012 yılları arasında Türkiye'nin 81 ilinden toplam 3.631 inşaat mühendisine 3 gün/24 saat boyunca yoğun teknik eğitim verilmiştir.
- Eğitim programı kapsamında; Deprem Mühendisliğinde Temel Kavramlar, Deprem Etkisindeki Binalarda Hesap Esasları, Betonarme, Çelik ve Yığma Yapı Tasarımları anlatılmıştır.
- En önemlisi, "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" başlığı altında, eski binaların performans analizlerinin nasıl yapılacağı ve hangi mühendislik yöntemleriyle güçlendirileceği uzman akademisyenler tarafından aktarılmıştır.

Pilot Belediyelerde İmar-Yapı Ruhsatı Süreçlerinin İyileştirilmesi

Pendik ve Bağcılar belediyelerinde yürütülen bu çalışma, yapı stokunun denetimini tamamen dijitalleştirerek insan hatasını ortadan kaldırmıştır.

- **Dijital İmar Arşivi:** Önceden teknik personel bir binanın ruhsat ve proje dosyalarına arşivden ulaşmak için 2 gün beklerken, dijital arşiv sayesinde bu süre birkaç dakikaya indirilmiştir.
- **Süreç İyileştirme:** Belediye içindeki imar adımları 614 adımdan 300 adıma indirilmiştir. TUBİTAK onaylı dijital imza kullanımıyla süreçler şeffaflaştırmıştır.
- **Yapı Kontrol Yeteneği:** Bu dijital sistemler sayesinde belediyeler, ruhsat verdikleri binaların inşaat sırasında projeye uygun yapıp yapılmadığını, imar planına sadık kalınıp kalınmadığını, binanın kolon/kiriş yapısına kaçak müdahale edilip edilmediğini ve ısı izolasyonunu çok daha hızlı ve etkin bir şekilde denetleme imkanına kavuşmuştur.

Neden Güçlendirme?

kentsel yapı stokunun afete dirençli hale getirilmesi ve imar süreçlerinin sıkılaştırılması kente şu kazanımları sağlamaktadır:

Mevcut Durum / Riskler	Güçlendirme ve Dijital Denetim Sonrası Kazanımlar
Jeolojik sakıncalı alanlarda kontrolsüz yoğunlaşma	Yerleşime Uygunluk Analizi ile güvenli yer seçimi
Denetimsiz kolon/kiriş kesilmesi, kaçak katlar	Kayıt dışılığın önlenmesi, e-belediye ile anlık saha takibi
Afet anında belgelerin fiziksel olarak yok olma riski	ISO 27001 Bilgi Güvenliği ve eş zamanlı güvenli veri yedekleme
Yüksek can kaybı ve trilyon dolarlık ekonomik risk	Hasarın kabul edilebilir risk seviyesine çekilmesi ve can güvenliği

1.3 GÜÇLENDİRMENİN FELSEFESİ: RİJİTLİK, DAYANIM VE SÜNEKLİK İLİŞKİSİ

Giriş ve Genel Güçlendirme Metodolojisi

Mevcut yapıların deprem ve diğer dinamik dış etkiler altında güvenlik seviyelerinin artırılması amacıyla gerçekleştirilen yapısal güçlendirme projeleri, sıfırdan bina tasarlamaktan felsefi ve pratik yönleriyle tamamen ayrışır. Yeni bir yapı tasarımında mühendis, malzeme kalitesini, geometrik sınırları ve taşıyıcı sistem konfigürasyonunu büyük oranda kontrol edebilirken; güçlendirme projelerinde mevcut yapının malzeme zafiyetleri, işçilik kusurları, geometrik düzensizlikleri ve korozyon gibi zamana bağlı deformasyonları ile çalışmak zorundadır.

Güçlendirmenin temel felsefi amacı, yapının maruz kalacağı deprem istemi (talebi) ile yapının mevcut kapasitesi arasında güvenli ve ekonomik bir denge kurmaktır. Bu denge kurulurken mühendislik yaklaşımı doğrusal bir artıştan ziyade, üç temel yapısal parametrenin optimum kombinasyonunu optimize etmeyi hedefler. Bu parametreler; Rijitlik, Dayanım ve Süneklik olarak adlandırılır. Yapıya yapılacak herhangi bir yerel veya sistemsel müdahale, bu üç bileşenin dinamik dengesini ve dolayısıyla yapının deprem altındaki genel performans davranışını doğrudan etkiler.

1. Rijitlik ve Güçlendirmedeki Rolü

Rijitlik, bir yapı elemanının veya taşıyıcı sistemin bütünüyle dış kuvvetler altında şekil değiştirmeye, ötelenmeye veya yer değiştirmeye karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Matematiksel olarak elastik sınırlar içinde $K = P / \Delta$ (Kuvvet / Yer Değiştirme) şeklinde ifade edilir. Yapı mühendisliğinde rijitlik; eleman rijitliği (kesit boyutu, malzeme elastisite modülü) ve sistem rijitliği (elemanların birbirleriyle olan geometrik ilişkisi ve çerçeve sürekliliği) olarak iki düzeyde ele alınır.

Güçlendirme felsefesinde rijitlik artırımı, genellikle esnek yapılarda meydana gelen aşırı yatay deplasmanları kontrol altına almak amacıyla tercih edilir. Özellikle yumuşak kat düzensizliği bulunan veya dolgu duvar kalitesi düşük olan binalarda, deprem esnasında göreceli kat ötelemeleri izin verilen sınır değerlerin üzerine çıkar. Bu durum, hem kolon-kiriş birleşim noktalarında ağır yapısal hasarlara yol açar hem de bölme duvarlar, cephe sistemleri ve tesisat hatları gibi yapısal olmayan elemanların tamamen tahrip olmasına neden olur. Yapıya betonarme perde duvarlar eklenmesi veya çelik çapraz sistemler kurulması, yapının yatay rijitliğini muazzam ölçüde artıran tipik yöntemlerdir. Ancak rijitlik artışının mühendislik açısından dikkatle yönetilmesi gereken bir yan etkisi bulunmaktadır: Yapının rijitliği (K) arttıkça, doğal titreşim periyodu ($T = 2\pi\sqrt{m/K}$) kısalır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) kapsamında tanımlanan tasarım ivme spektrumlarında periyodun kısalması, yapının spektral ivme (S_a) talebinin artmasına, yani binaya deprem anında etki edecek toplam taban kesme kuvvetinin (deprem yükünün) büyümesine yol açar. Dolayısıyla, rijitliği artırarak deplasmanları azaltmayı hedefleyen bir güçlendirme tasarımı, binaya gelen toplam yük talebini artıracak için temellere ve mevcut kolonlara ek yükler getirecektir. Bu durum, rijitlik artışının kontrolsüz yapılmaması gerektiğini ortaya koyar.

2. Dayanım ve Güçlendirmedeki Rolü

Dayanım; eleman veya sistemin akma, burkulma, ezilme, kopma gibi göçme sınır durumuna ulaşmadan taşıyabileceği maksimum yük kapasitesidir. Tasarımda nominal dayanım ve malzeme katsayılarıyla azaltılmış değerler esas alınır. Mevcut yapılarda düşük beton kalitesi veya yetersiz donatı dayanım eksikliği yaratır. Güçlendirme müdahaleleri eleman bazında veya sistem bazında gerçekleştirilebilir. Eleman bazındaki betonarme mantolama veya çelik gömlekleme işlemleri, kolonların eksenel yük ve eğilme momenti dayanımlarını doğrudan artırır. Sistem bazında ise eklenen yeni perdeler yatay deprem yüklerini üstlenir, böylece mevcut zayıf kolonların üzerindeki yük talebi hafifletilmiş olur. En kritik unsur, yerel dayanım artışlarının genel yük dağılımını değiştirmesidir. Eğilme dayanımı artırılırken kesme dayanımı aynı oranda artırılmazsa, eleman 'kesme kırılması' adı verilen gevrek bir göçme moduna sürüklenebilir. Planda asimetrik yerleştirilen rijit elemanlar kütle ve rijitlik merkezini kaydırır. Oluşan eksantrisite (kaçıklık), yapıda tehlikeli burulma etkileri yaratabilir. Bu sebeple güçlendirme, yük aktarım yolları kesintiye uğramayacak şekilde tasarlanmalıdır.

3. Süneklik ve Güçlendirmedeki Rolü

Süneklik, bir elemanın veya tüm taşıyıcı sistemin, taşıma kapasitesinde belirgin ve ani bir düşüş meydana gelmeksizin, elastik sınırların ötesinde büyük plastik (kalıcı) şekil değiştirmeler yapabilme yeteneğidir. Deprem mühendisliğinin en temel varsayımı, yapıların çok büyük depremleri tamamen elastik kalarak karşılayamayacağı; bunun yerine kontrollü plastik hasarlar oluşturarak deprem enerjisini sönümlemesi gerektiğidir. Süneklik, matematiksel olarak nihai deplasmanın akma deplasmanına oranı ($\mu = \Delta u / \Delta y$) ile deplasman sünekliği olarak veya plastik mafsallarda dönme/eğrilik ilişkisi üzerinden tanımlanır.

Mevcut yapıların en büyük zafiyetlerinden biri gevrek (süneklik değeri çok düşük) davranış göstermeleridir. Özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının yapılmaması, kancaların 90 derece bükülmesi (modern standartlarda 135 derece olmalıdır) ve boyuna donatı bindirmeli eklerinin yetersizliği gevrek kırılma riskini maksimuma çıkarır. Süneklik odaklı güçlendirmede amaç, yapının kütle ve rijitliğini değiştirmeden elemanların plastik deformasyon kapasitesini artırmaktır.

Bu doğrultuda kullanılan en popüler yöntem, kolonların sarılma (potansiyel plastik mafsallarda) bölgelerinin Karbon Elyaf Takviyeli Polimer (CFRP) lifli kumaşlarla veya çelik levhalarla sargılanmasıdır. Sargılama işlemi, çekirdek betonunu yanal olarak basınç altında tutarak betonun ezilme gerilmesi sınırı ile nihai birim kısalma (ezilme) suşunu çok ciddi oranlarda yükseltir. CFRP sargı elemana ekstra bir kütle getirmez, yapının periyodunu etkileyecek düzeyde bir rijitlik artışı sunmaz; ancak elemanın sünekliğini artırarak binanın çökmeden büyük yer değiştirmeler yapabilmesini güvence altına alır.

4. Rijitlik, Dayanım ve Süneklik Arasındaki Dinamik İlişki

Güçlendirmenin felsefi özü, bu üç parametrenin birbirine alternatif değil, birbirini tamamlayan bir sacayağı olduğunu kavramaktır. Kuvvet-Deplasman (P-Δ) eğrisi incelendiğinde, bu üç kavramın grafikteki anlamı net bir şekilde görülür: Eğrinin başlangıç eğimi Rijitliği, ulaştığı tepe noktası Dayanımı, tepe noktasından sonra taşıma kapasitesini kaybetmeden uzayabildiği yatay mesafe ise Sünekliği temsil eder. İdeal bir güçlendirilmiş yapı bu üç özelliğe de dengeli şekilde sahip olmalıdır:

- **Yüksek Rijitlik + Yüksek Dayanım + Düşük Süneklik (Gevrek Sistemler):** Bu yapılar deprem kuvvetlerine karşı çok büyük bir direnç gösterir ve az yer değiştirirler. Ancak tasarım depreminin ötesinde bir yük ile karşılaştıklarında, enerji sönümleme kapasiteleri olmadığı için aniden ve uyarı vermeden (gevrek olarak) göçerler.
- **Düşük Rijitlik + Düşük Dayanım + Yüksek Süneklik (Aşırı Esnek Sistemler):** Bu yapılar deprem enerjisini yutabilir ancak salınım miktarları çok büyük olur. İkinci mertebe etkiler (P-Delta) nedeniyle yapı geometrik stabilitesini kaybederek toptan devrilebilir veya ağır yapısal olmayan hasarlar can güvenliğini tehdit eder.
- **Optimum Güçlendirilmiş Sistem (Dengeli Davranış):** Yapının başlangıç rijitliği spektral ivme talebini aşırı artırmayacak düzeyde tutulur, temel ve elemanların güvenli taşıyabileceği bir dayanım eşiği oluşturulur ve bu eşiğin ötesindeki sismik enerji yüksek süneklik kapasitesi ile sönümlenir.

Güçlendirme Tekniklerinin Karşılaştırma Matrisi

Aşağıdaki tabloda, yapı mühendisliğinde sıkça başvuru alan farklı güçlendirme metodolojilerinin yapının ana parametreleri üzerindeki göreceli etkileri ve uygulama parametreleri özetlenmiştir:

Yöntem	Rijitlik Etkisi	Dayanım Etkisi	Süneklik Etkisi	Kütle Artışı	Uygulama Zorluğu
Betonarme Perde Ekleme	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta (Sistem bazlı)	Yüksek	Yüksek / Islak İmalat
Çelik Çapraz (X) Sistem	Yüksek	Yüksek	Yüksek (Tasarım bağımlı)	Düşük	Orta / Kuru İmalat
Betonarme Mantolama	Orta-Yüksek	Yüksek	Düşük-Orta	Orta	Yüksek / Lokal Tahribat
CFRP (Karbon Elyaf) Sargı	Çok Düşük	Düşük (Eğilme) / Yüksek (Kesme)	Çok Yüksek	İhmal Edilebilir	Düşük-Orta / Hızlı



Betonarme Perde Ekleme



Betonarme Mantolama



Celik Capraz (X) Sistem



CFRP (Karbon Elyaf) Sargı

Şekil 1.3.1 Güçlendirme Yöntemleri

5. TBDY 2018 Açısından Değerlendirme ve Kapasite Tasarımı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) Bölüm 15 kapsamında mevcut binaların performans analizi ve güçlendirme tasarımı doğrusal olan (Eşdeğer Deprem Yüğü, Mod Birleştirme) veya doğrusal olmayan (İtme Analizi - Pushover, Zaman Tanım Alanında Analiz) hesap yöntemleriyle gerçekleştirilir. Yönetmeliğin felsefesi 'Kapasite Tasarımı' ilkelerine dayanır.

Kapasite tasarımı felsefesi uyarınca, güçlendirme projelerinde şu kurallara riayet edilmesi zorunludur:

1. Güçlü Kolon - Zayıf Kiriş İlkesi: Eğilme momentlerinin dağılımı plastik mafsalların kolonlar yerine öncelikle kiriş uçlarında oluşmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Kolon mantolamaları bu dengeyi sağlamak için önemli bir araçtır.
2. Gevrek Göçme Modlarının Engellenmesi: Kesme kırılması gibi ani yük kaybına neden olan durumlar kapasite bazlı kontrollerle kesinlikle önlenmelidir. Yapıya rijit perde eklendiğinde, bu perdenin aktaracağı kesme yükleri temel aşamasına kadar kesintisiz ve güvenli bir şekilde ulaştırılmalıdır.
3. Temel Sistemi Uyumu: Rijitlik ve dayanımı artırılan bir yapıda, üst yapıdan gelecek konsantre yükleri karşılayabilecek radye temel revizyonları veya temel mini kazık uygulamaları analiz edilerek projelendirilmelidir. Üst yapıyı çok güçlü hale getirip temeli ihmal etmek, zemin-yapı etkileşimi nedeniyle depremde yapının toptan dönmesine veya oturmasına yol açabilir.

1.4 LİTERATÜR ÖZETİ VE YÖNETMELİK ESASLARI

TBDY-2018 ve Uluslararası Yönetmeliklerin Karşılaştırılması

Sismik risk altındaki yapıların tasarımı, ülkelerin yerel sismotektonik özelliklerine, geçmiş deprem deneyimlerine ve mühendislik birikimlerine göre şekillenen yapı şartnameleri ve yönetmeliklerle düzenlenmektedir. Türkiye'de 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), sismik tasarım felsefesi ve analiz yöntemleri açısından köklü değişiklikler getirmiş ve uluslararası çağdaş standartlarla büyük ölçüde uyumlu hale gelmiştir. Bu doğrultuda, TBDY-2018 ile Avrupa sismik tasarım standardı olan Eurocode-8 (CEN-EN 1998-1) arasındaki teorik ve pratik benzerliklerin/farklılıkların incelenmesi, modern yapı mühendisliği uygulamalarının anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Her iki yönetmelik de temelde can güvenliğini sağlamayı ve yapısal sismik performansı kontrol altında tutmayı amaçlasa da spektrum tanımlamaları, azaltma katsayıları, etkin kesit rijitlikleri ve yük dağıtım algoritmalarında kendilerine özgü yaklaşımlar barındırmaktadır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemleri ve Matematiksel Formülasyonlar

Her iki yönetmelikte de doğrusal analiz yaklaşımları kapsamında binaların incelenmesi amacıyla Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi tanımlanmıştır. TBDY-2018 uyarınca, göz önüne alınan sismik doğrultuda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), yapının toplam kütlesi ile azaltılmış tasarım spektral ivmesinin çarpımı esasına dayanır ve minimum bir alt sınır koşuluna bağlanmıştır:

Etkin Kesit Rijitliği Çarpanlarındaki Yaklaşım Farkları

Betonarme elemanların sismik yükler altında çatlamış kesit davranışını temsil etmek üzere yönetmelikler tarafından atanan etkin kesit rijitliği çarpanları, analiz sonuçlarını en radikal şekilde değiştiren parametrelerin başında gelmektedir. Rijitlik çarpanlarının farklı seçilmesi, yapının toplam rijitliğini, doğal titreşim periyotlarını, iç kuvvet dağılımlarını ve nihai deplasman taleplerini doğrudan etkilemektedir. TBDY-2018 eleman bazında daha spesifik ve değişken çarpanlar sunarken, Eurocode-8 daha homojen bir yaklaşım benimsemektedir.

Yapı Elemanı	TBDY-2018 (Eğilme)	TBDY-2018 (Kesme)	Eurocode-8 (Eğilme)	Eurocode-8 (Kesme)
Kolon	0.70	1.00	0.50	1.00
Perde	0.50	1.00	0.50	1.00
Kiriş	0.35	1.00	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00	0.50	1.00

Çizelge incelendiğinde, TBDY-2018'in özellikle kiriş ve döşemelerin eğilme rijitliklerinde (sırasıyla 0.35 ve 0.25) Eurocode-8'e (0.50) kıyasla çok daha büyük bir azaltma yaptığı görülmektedir. Bu durum, TBDY-2018'e göre modellenen yapıların yatay sismik yükler altında daha esnek davranış göstermesine ve dolayısıyla teorik periyotların uzamasına zemin hazırlamaktadır.

Sayısal Uygulama, Yapısal Bulgular ve Karşılaştırmalı Analiz

Yönetmelik farklarının yapısal davranış üzerindeki somut etkilerini ortaya koymak amacıyla, literatürde (Ahmed, Öztürk ve Aslan, 2025) yer alan kapsamlı bir çalışma referans alınmıştır. Söz konusu çalışmada, İstanbul Gelişim Üniversitesi Blok A binasının mimari formu esas alınarak; aynı taşıyıcı sistem geometrisine sahip 5, 6, 7 ve 8 katlı betonarme binalar SAP2000 yazılımı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Yapı elemanları; 80x80 cm kolonlar, 30x300 cm perdeler, 30x60 cm kirişler ve 20 cm döşeme kalınlığı olarak sabit tutulmuş, zemin sınıfı ise ZC (yerel zemin sınıfı) olarak seçilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen temel sismik parametrelerin karşılaştırması aşağıda kategorize edilmiştir.

Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Taban kesme kuvveti verileri incelendiğinde, tüm kat yüksekliklerinde ve her iki deprem doğrultusunda da Eurocode-8 standartlarına göre hesaplanan sismik yüklerin, TBDY-2018'e kıyasla belirgin şekilde daha büyük çıktığı görülmektedir. Örneğin, 5 katlı binada X yönü sismik yükü TBDY-2018'de 20651.58 kN iken Eurocode-8'de 27992.24 kN seviyesine ulaşmaktadır. Bu durum, Eurocode-8 spektrum algoritmalarının ve rijitlik yaklaşımlarının, bu bina formunda daha yüksek taban kesme kuvveti talebi ürettiğini kanıtlamaktadır.

Toplam Kat Sayısı	TBDY-2018	TBDY-2018	Eurocode-8 F	Eurocode-8
5 Katlı Yapı	20651.58	27338.75	27992.24	32335.90
6 Katlı Yapı	19123.18	25332.01	27743.31	27865.21
7 Katlı Yapı	18285.54	22929.49	23190.71	29851.87
8 Katlı Yapı	18978.00	22307.74	21792.22	27452.54

Kritik Kesit Momentlerinin ve Deplasmanların Karşılaştırılması

Taban kesme kuvvetlerindeki bu artış eğilimi, kat seviyelerindeki yapısal elemanların iç kuvvet dağılımlarına ve deplasman değerlerine de doğrudan yansımaktadır. Analiz bulgularına göre, binaların zemin kat (1. Kat) seviyesinde meydana gelen maksimum eğilme momentleri ve tepe noktası deplasmanları iki yönetmelik arasında büyük bir makas oluşturmaktadır:

Model Tipi	TBDY-2018 Moment (1.Kat-kNm)	Eurocode-8 Moment (1.Kat-kNm)	TBDY-2018 Deplasman (Tepe-mm)	Eurocode-8 Deplasman (Tepe-mm)
5 Katlı Model	359.82	675.70	16.34 (EX+)	30.52 (EX+)
6 Katlı Model	356.38	1983.99	22.99 (EX+)	96.50 (EX+)
7 Katlı Model	357.88	1439.73	30.02 (EX+)	118.70 (EX+)
8 Katlı Model	386.11	1684.72	41.15 (EX+)	175.78 (EX+)

Eğilme momentleri incelendiğinde, Eurocode-8'e göre tasarlanan modellerde kesit tesirlerinin TBDY-2018'e kıyasla katbekat daha büyük hesaplandığı görülmektedir. 8 katlı yapının 1. katındaki sismik moment talebi TBDY-2018'de 386.11 kNm iken Eurocode-8 hesaplarında 1684.72 kNm değerine fırlamaktadır. Deplasman (yer değiştirme) cephesinde de benzer şekilde, TBDY-2018 tasarımlarının çok daha rijit veya sınırlandırılmış deplasman talepleri ürettiği, Eurocode-8 tasarımlarının ise oldukça yüksek tepe deplasmanlarına (8 katlı yapıda 175.78 mm'ye karşı 41.15 mm) izin verdiği saptanmıştır. Tüm yön ve kombinasyonlarda TBDY-2018 deplasmanlarının güvenli ve düşük tarafta kaldığı belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

2.1. Onarım ve Güçlendirme Kavramları

Yapı mühendisliğinde, mevcut binalara yapılacak müdahalelerin türünü ve sınırlarını belirleyen en temel kriter "**hasar**" olgusudur. Yapıda meydana gelen hasarın boyutu, kaynağı ve yapının gelecekteki güvenlik beklentisi, uygulanacak yöntemin bir "onarım" mı yoksa "güçlendirme" mi olacağını doğrudan tayin eder. Bu doğrultuda, yapısal müdahale kavramlarını ve bu süreçte kullanılan temel terimleri doğru tanımlamak büyük önem taşımaktadır.

Onarım (Tamir) Kavramı

Deprem, sel, yangın gibi afetler veya çevresel/fiziksel etkiler neticesinde hasar görmüş bir yapının ya da o yapıya ait münferit bir elemanın ele alınması işlemine **onarım** denir.

Onarım uygulamalarında temel amaç; hasarlı elemanı hasar görmeden önceki orijinal güvenlik düzeyine ulaştırmak, taşıma kapasitesini eski konumuna getirmek ve yapının projesinde öngörülen minimum mukavemet sınırlarına yeniden çıkarmaktır. Kelime anlamı olarak "**tamir**" ile eşdeğer olan onarım; yapının veya elemanın görünüş, kullanılabilirlik, taşıma gücü, rijitlik, süneklik (düktilite) ve dayanıklılık gibi statik karakteristiklerini kısmen ya da tamamen geri kazandırma sürecidir.

Örnek: Deprem sonrasında betonarme bir elemanda meydana gelen çatlakların statik reçine (epoksi) enjeksiyonu ile doldurularak eleman bütünlüğünün sağlanması tipik bir onarım işlemidir.



Şekil 2.1.1 Epoksi Enjeksiyon Uygulaması

Güçlendirme Kavramı

Mevcut durumda herhangi bir hasar barındırmayan veya yapısal ömrünü sürdüren bir yapının/elemanın, öngörülen daha yüksek bir güvenlik düzeyine ulaştırılması amacıyla yapılan işlemlere **güçlendirme** adı verilir.

Güçlendirmede temel hedef, yapının gelecekte karşılaşılabileceği olası deprem etkilerine karşı dayanıklı hale getirilmesidir. Bu doğrultuda yapının veya belirli taşıyıcı elemanların; yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği ve stabilitesi mevcut ya da hasar öncesi durumunun **üzerine** çıkarılır. Kelime anlamı "**takviye**" olan bu işlemde, dayanım değerlerinin orijinal tasarım sınırlarının ötesine taşınması esastır.

Güçlendirme uygulamaları, onarımdan farklı olarak yapının hasar görmüş olmasını gerektirmez. Yapı hasarsız olsa dahi şu durumlarda güçlendirme (takviye) yoluna gidilebilir:

- **Proje ve İmalat Hataları:** Orijinal projelendirmede yapılan eksiklikler veya inşaat aşamasındaki işçilik/malzeme kusurları.
- **Yönetmelik Değişiklikleri:** Edinilen yeni deneyimler ışığında güncellenen deprem yönetmeliklerinin getirdiği daha sıkı güvenlik kriterleri.
- **Kullanım Amacının Değişmesi:** Yapının fonksiyon değiştirerek daha ağır hareketli veya sabit yüklere maruz kalacak olması.
- **Çevresel Deformasyonlar:** Özellikle korozyon (paslanma) nedeniyle zamanla taşıma gücünü kaybetme riski taşıyan yapılar.
- **Kısmi İyileştirmeler:** Mimari veya kullanım kısıtları nedeniyle, güncel deprem yönetmeliği şartlarının tamamı sağlanamasa bile yapıyı orijinal konumundan daha güvenli hale getirmek amacıyla yapılan lokal müdahaleler (iyileştirmeler).

Güçlendirme projelerinde geleneksel yöntemler olan betonarme ve çelik elemanların yanı sıra, modern teknoloji ürünü karbon lifli polimerler (CFRP) ve karbon çubuklar da sıklıkla tercih edilmektedir.

Örnek: Hasarsız veya az hasarlı bir binaya yeni deprem perdeleri eklenmesi ya da mevcut kolonların betonarme/çelik gömlek ile mantolanarak taşıma kapasitelerinin artırılması birer güçlendirme işlemidir.



Şekil 2.1.2 Epoksi Enjeksiyon Uygulaması Kolon Mantolama İşlemi

Yük Durumuna Göre Müdahale Sınıflandırılması

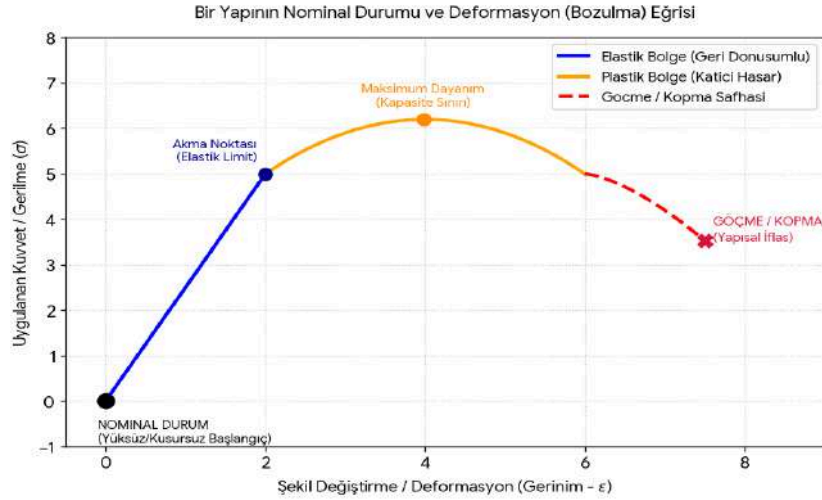
Onarım ve güçlendirme projeleri, uygulama esnasında yapının maruz kaldığı yük durumuna göre ikiye ayrılır:

- **Yüksüz Onarım / Güçlendirme:** Yapı elemanlarının, üzerlerindeki mevcut servis yüklerinden (sabit ve hareketli yükler) arındırılarak veya bu yüklerin geçici askıya alma sistemleriyle büyük ölçüde azaltılarak onarılması ya da güçlendirilmesidir.
- **Yük Altında Onarım / Güçlendirme:** Yapı elemanlarının, mevcut işletme ve servis yüklerini taşımaya devam ettiği esnada, herhangi bir yük hafifletilmesi yapılmadan doğrudan müdahaleye tabi tutulmasıdır.

Yapı Değerlendirme Sürecinde Kullanılan Temel Tanımlar

Yapıların mevcut durum analizlerinde, onarım ve güçlendirme kararlarının doğru verilebilmesi için aşağıdaki teknik terimlerin bilinmesi gerekmektedir:

- **Bakım:** Bir yapının tasarım ömrü boyunca esas fonksiyonlarını eksiksiz yerine getirebilmesi, başlangıçtaki estetik ve kullanım standartlarını koruyabilmesi için yürütülen muayene, inceleme ve lokal müdahale faaliyetlerinin tümüdür.
- **Nominal Durum:** Yapının projesinde, sözleşmesinde, yürürlükteki teknik şartnamelerde ve yönetmeliklerde olması öngörülen teorik durum ve özellikleridir.
- **Gerçek Durum:** Zaman içinde, incelenen spesifik bir anda yapının sahip olduğu fiili durum ve fiziksel özellikleridir.
- **Sapma:** Yapının hedef değerleri olan "Nominal Durum" ile ölçülen "Gerçek Durum" arasındaki farkı ifade eder.
- **Bozulma:** Yapının ve malzeme özelliklerinin, kullanım süreci ve çevre etkileri nedeniyle nominal durumdan kötüye doğru zamana bağlı olarak değişmesidir.
- **Hasar:** Yapının kullanım veya işletme ömrü sırasında, herhangi bir yapısal durumunun kabul edilebilir sınır (limit) değerlerini aşması ve işlev kaybına uğramasıdır.
- **Restorasyon:** Tarihi veya mevcut bir yapının/bölümünün, onarım ve/veya güçlendirme yöntemleri kullanılarak aslına uygun şekilde yeniden kullanılabilir hale getirilmesi sürecidir.
- **Takdir (Değerlendirme):** Yapının mevcut geometrisinin, malzeme kalitesinin ve mekanik karakteristiklerinin mühendislik yöntemleriyle incelenerek mercek altına alınmasıdır.
- **Dayanıklılık (Durabilite):** Yapının öngörülen hizmet ömrü boyunca; malzeme yaşlanması, korozyon ve çevre etkilerine karşı direnç göstererek görünüş, kullanım ve taşıma gücü bakımından tehlikeli sınırlara ulaşmaması durumudur. Dayanıklı bir yapı, ancak doğru tasarım, nitelikli inşaat süreci ve düzenli bakım faaliyetleri ile elde edilebilir.



Şekil 2.1.2 Yapının Bozula Eğrisi

2.2. Onarım ve Güçlendirme İhtiyaçları

Bir yapının onarımına ya da güçlendirilmesine karar verilme sürecinde en belirleyici unsur, yapının mevcut olumsuz fiziki durumu gibi görünse de aslında bu kararın arkasındaki en kritik ve yönlendirici faktör **ekonomik analizler ve müdahale maliyetleridir**. Yapısal güvenlik ile maliyet arasındaki bu hassas denge, projenin geleceğini doğrudan tayin eder.

Maliyet, Ekonomi ve Sosyo-Kültürel Faktörlerin Dengesi

Mühendislik yaklaşımında onarım ve güçlendirme kararları verilirken her zaman salt ekonomik rasyonellikle hareket etmek mümkün olmayabilir. Yapının niteliğine göre maliyet analizleri ikinci plana itilebilmektedir:

- **Tarihi ve Kültürel Değerler:** Tarihi miras niteliği taşıyan, yıkılıp yeniden yapılması imkansız olan, anıtsal veya prestij değeri yüksek yapılarda maliyet bir kriter olmaktan çıkar. Bu tür binaların geleceğe aktarılması, toplumsal, kültürel ve politik gerekçelerle ekonomik etkenlerin önüne geçer ve ne olursa olsun iyileştirilmesi zorunludur.
- **Hizmet Sürekliliği:** Kamu yararı gözeten ve kesintisiz hizmet vermesi gereken kritik altyapı tesisleri, hastaneler veya enerji santralleri gibi yapılarda da hızlıca işlevselliğin kazanılması adına maliyete bakılmaksızın müdahale edilir.

Normal şartlar altında, sivil yapı stokunda **güçlendirme maliyetinin, yapının yeniden yapım maliyetine (yıkıp yeni bina inşa etme maliyeti) yaklaşması durumunda** yapının yıkılması rasyonel bir seçenek haline gelir. Birçok senaryoda, yapıyı onarmak yerine yıkmak çok daha ekonomik bir çözümdür:

- **Arsa Değerinin Artması ve İmar Avantajları:** Kentleşme süreçlerinde arsanın aşırı kıymetlenmesi ya da bölgedeki imar durumunun iyileşmesi (kat artışı, emsal artışı vb.) durumunda, bina hasarsız olsa dahi mevcut yapıyı yıkıp yerine yenisini inşa etmek yatırımcı ve malikler için finansal açıdan çok daha cazip olmaktadır.
- **Yük Azaltma (Hafifletme) Stratejisi:** Güçlendirme maliyetlerini düşürmek adına yapısal yüklerin azaltılması yoluna gidilebilir. Yapının kullanım amacının

değiştirilerek (örneğin depodan ofise dönüştürülerek) hareketli yüklerin azaltılması veya arsa değerinin çok yüksek olmadığı bölgelerde binanın üst katlarının yıkılarak kütlelerinin hafifletilmesi, daha az maliyetli bir güçlendirme projesiyle binanın kurtarılmasını sağlayabilir.

Türkiye Yapı Stokuna İlişkin Önemli Bir Çıkarım: Özellikle geçmiş dönemlerde mühendislik hizmetlerinin yeterli düzeyde alınmadığı ülkemizdeki yapı stokunda, onarım ve güçlendirme öncesinde bütçe ve maliyet koşullarının çok titiz hesaplanması gerekir. Geçmişteki büyük depremlerden (Marmara Depremi vb.) sonra hızla başlatılan onarım-güçlendirme projelerinin birçoğunda, başlangıçta maliyet analizi ve keşif özetleri doğru yapılamadığı için süreç içerisinde umulandan çok daha büyük harcamalarla karşılaşmış; bu finansal yetersizlikler nedeniyle projelerin bir kısmı yarım kalmış veya hedeflenen yerel iyileştirmeler tam olarak gerçekleştirilememiştir.

Gelişmekte olan veya ekonomik açıdan kırılgan olan ülkelerde, hasar görmüş ya da işlevini yitirmiş yapıların yıkılıp tamamen yenilenmesi büyük bir ekonomik külfettir. Bu nedenle, yapıların doğru yöntemlerle incelenip ekonomiye geri kazandırılması milli servetin korunması açısından bir zorunluluktur.

Müdahale Ölçeğini ve Planlamayı Belirleyen Kriterler

Bir onarım ve güçlendirme işinin hangi boyutta, hangi derinlikte ve hangi yöntemlerle yapılacağını belirleyen iki temel sacayağı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi müdahalenin teknik sınırlarını çizen "**Ölçek Kriterleri**", ikincisi ise uygulamanın hayata geçirilmesini doğrudan etkileyen "**Koşullara Bağlı Kriterler**"dir.

Müdahale Ölçeğini Belirleyen Faktörler

Yapılacak onarım veya güçlendirmenin çapı şu dört temel parametreye göre seçilmelidir:

1. **Yapının Gerçek Durumu:** Yapılan testler ve incelemeler neticesinde ortaya çıkan fiili hasar, malzeme kalitesi ve taşıyıcı sistem geometrisi.
2. **Beklenen Çevre Şartları:** Yapının maruz kalacağı nem, korozyon, donma-çözülme döngüleri ve sismik hareketler gibi çevresel etkiler.
3. **Yükleme Şartları:** Yapının mevcut ve gelecekte taşımak zorunda kalacağı statik ve dinamik yük kombinasyonları.
4. **Gelecekteki Bakım Kalitesi:** Yapının işletme ömrü boyunca göreceği periyodik bakımın kalitesi ve sürekliliği (bakım kalitesi düşük olacak yapılarda daha radikal ve kalıcı çözümler tercih edilmelidir).

Planlama ve Uygulama Sürecini Etkileyen Şartlar

Onarım ve güçlendirmenin planlanması; teknik, ekonomik, sosyal, kültürel ve politik boyutları olan multidisipliner bir iştir. Uygulamanın seyrini ve metodolojisini şu yerel/zamansal şartlar doğrudan değiştirir:

- **Nitelikli Personel Arzı:** Projeyi tasarlayacak ve sahada uygulayacak yetkin mühendis ve teknik personelin temin edilebilirliği.
- **Malzeme Tedariki:** Güçlendirmede kullanılacak özel malzemelerin (epoksi, karbon lifler, yüksek dayanımlı harçlar vb.) piyasadan temin edilme kolaylığı ve lojistik süresi.
- **İşgücü Kalitesi:** Uygulamayı sahada hatasız yapabilecek kalifiye işçiliğin varlığı.
- **İşin Hacmi ve Ölçeği:** Müdahale edilecek yapının büyüklüğü ve yaygınlığı.
- **Finansal Akış:** Proje için ayrılan parasal kaynakların sürekliliği ve nakit akış yönetimi.
- **Zaman Baskısı ve Acelelik Durumu:** İşin çabuk bitirilmesinin ekonomik veya sosyal önemi (örneğin, üretimi duran bir hidroelektrik santralinin veya hastanenin bir an önce devreye alınması ihtiyacı).
- **Mevsim ve Hava Şartları:** Uygulama yapılacak dönemin iklim koşulları (özellikle kimyasal dübellerin ve betonun priz alma süreçleri için hava sıcaklığı kritiktir).

Onarım ve Güçlendirmeyi Gerekli Kılan Temel Durumlar

Mevcut yapı stoğunda, onarım ve/veya güçlendirme uygulamasına ihtiyaç duyulmasına yol açan senaryolar genel olarak 4 ana grupta toplanmaktadır:

1. Proje ve/veya yapım-bakım hatalarından dolayı onarım ve güçlendirme gereken yapılar olabilir.

Bu grupta, yapının tasarım aşamasından kullanım aşamasına kadar insan eliyle yapılan kusurlar yer alır:

Taşıyıcı sistemin yürürlükteki kurallara aykırı veya eksik hesaplanması (Düşük düzeyde projelendirme).



Şekil 2.2.1 Kolon/ perdelerin tümünün aynı yönde olması.

- Şantiyede düşük malzeme kalitesi (örn. düşük beton dayanımı, TSE standartlarına Uymadan donatı kullanımı) ve kötü işçilik ile inşaatın tamamlanması.



Şekil 2.2.2 standartlara uygun olmayan malzemedeki gevrek kırılma.

- Yapının ömrü boyunca maruz kaldığı dış etkilere karşı hiç bakım görmemesi veya hatalı/kusurlu onarımlarla yapının orijinal karakteristiğinin bozulması.



Şekil 2.2.3 Sonradan Yapılan Asma kat İmalatı

- Henüz inşaat aşamasındayken alınan numuneler veya yapılan denetimler neticesinde, taşıma kapasitesinin ve mukavemetinin hedeflenen tasarım değerlerinin altında kaldığı tespit edilen yeni yapılar.



Şekil 2.2.3 şantiyede vibratörün yanlış kullanımı veya kullanılmaması sonucu oluşan Segregasyon

2. Mimari Değişiklikler ve Fonksiyonel Gerekçeler

Yapıda herhangi bir hasar veya hata olmamasına rağmen, kullanım ihtiyaçlarının değişmesi neticesinde ortaya çıkan durumlardır:

- Yapının çevresindeki yeni yapılanmalar veya doğa şartları sebebiyle yeni çevre etkilerine maruz kalması.
- Yapıya kat ilavesi yapılması, ağır makine-cihaz yerleşimi veya bölme duvarların yerlerinin değiştirilmesi gibi yapısal yükleri artıran tadilat talepleri.
- Yapının kullanım ömrünün (ekonomik ömrünün) planlanandan daha ileri bir tarihe uzatılmak istenmesi.

3. Afetler Sonrası Meydana Gelen Yapısal Hasarlar (Deprem vb.)

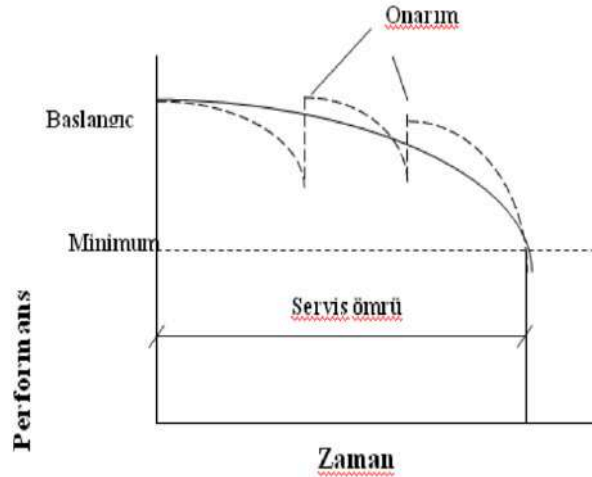
Deprem veya diğer doğal afetler sırasında yapısal hasar almış, özellikle **orta hasarlı** olarak sınıflandırılan yapıların durumudur:

- Bu tür yapılarda amaç, binayı sadece afet öncesi durumuna getirmek değil, mevcut yapısal zafiyetleri de gidererek hasar öncesinden çok daha yüksek bir yapısal güvenliğe kavuşturmaktır. Bu bağlamda bu süreçte onarım, güçlendirme kavramı ile iç içe yürütülür.

4. Mevzuat, Standart ve Yönetmelik Değişiklikleri

Bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak deprem ve yapı standartları zamanla güncellenmekte ve ağırlaştırılmaktadır. Yapıda hiçbir hasar olmasa bile eski standartlara göre yapılmış binalar günümüz normlarını karşılayamaz duruma gelebilir:

- En son deprem yönetmeliğinden önce inşa edilmiş ve oturma ruhsatı (iskan) bulunan yapılarda, malikler tarafından yapılmak istenen kapsamlı tadilat taleplerinin resmi makamlarca değerlendirilmesi esnasında yapılan teknik incelemelerde, taşıyıcı sistemin güncel deprem yüklerine karşı yetersiz olduğunun ortaya çıkması.
- En son deprem yönetmeliği yürürlüğe girmeden önce projelendirilip ruhsat alınmış ancak inşaatı çeşitli sebeplerle yarım kalmış binaların, **4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun** hükümleri uyarınca yeniden ruhsatlandırılması (ruhsat yenileme) istendiğinde, güncel yönetmelik şartlarını sağlaması amacıyla güçlendirilmesinin zorunlu koşulması.



Şekil 2.2.4 Yapının Zaman Performans Grafiği

2.3. ONARIM VE GÜÇLENDİRME PROJESİ İÇİN YAPILACAK ÖN ÇALIŞMALAR

Bir yapının deprem etkileri altında, insan hayatını doğrudan tehlikeye atacak ve mühendislik açısından kabul edilemeyecek düzeyde hasar görmesine neden olan senaryolar genel olarak üç ana grupta incelenmektedir:

- Binanın bütünüyle göçmesi,
- Binanın bir bölümünün veya belirli katlarının tamamen göçmesi (sandviç göçme vb.),
- Bina giriş ve çıkış yollarının, acil tahliye ve kurtarma işlemlerini tamamen engelleyecek biçimde kapanması/yıkılması.

Mevcut yapı stoğunun bu üç kritik risk faktörü açısından zayıf noktalarının belirlenmesi ve yapısal performansının değerlendirilmesi hayati bir önem taşımaktadır. Bu değerlendirmenin

en ilkel ve hızlı adımı; binanın yerinde dolaşarak taşıyıcı sistemi hakkında gözlemsel bilgi toplanmasıdır. Deprem sonrasında çok sayıda binanın hızlıca taranması (hızlı gözlemsel değerlendirme) söz konusu olduğunda bu basit yöntemler oldukça kullanışlıdır. Ancak, mevcut bir binanın yapısal güvenliğinin hassas bir şekilde incelenmesi ve buna uygun bir güçlendirme projesinin hazırlanması aşamasında, mutlak surette **ayrıntılı ve kapsamlı inceleme yöntemlerinin** uygulanması zorunludur.

Projelendirme Süreci ve Geçmiş Deneyimlerin Analizi

Onarım ve güçlendirme uygulamaları kadar, bu uygulamaların projelendirilmesi de üzerinde hassasiyetle çalışılması gereken ve ileri düzey mühendislik bilgisi gerektiren bir uzmanlık alanıdır. Güçlendirme projelerinin başarısı ve sahada sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi, yerinde yapılacak detay imalatlarının doğruluğuna ve toplanan verilerin kalitesine doğrudan bağlıdır. Bu alandaki en büyük eksikliklerden biri, güçlendirme projelerinde tek tip bir standardın bulunmaması ve her yapının kendine has dinamiklerinin olmasıdır.

Herhangi bir yapıda güçlendirme projesine ihtiyaç olup olmadığına karar verilmeden önce, çok ciddi ve hassas bir ön çalışma yürütülmelidir.

Tarihsel Önem: Ülkemizde, 1992 Erzincan Depremi ile ivme kazanan ve 17 Ağustos 1999 Körfez Depremi ile özellikle Marmara Bölgesi'nde geniş bir alana yayılan onarım-güçlendirme çalışmaları, o dönem mühendislik firmaları tarafından yoğun şekilde uygulanmıştır. Ancak bu süreçte, binaların gerçek hasar durumları ve yapısal zafiyetleri tam olarak analiz edilmeden, neredeyse her yapıya standart ve birbirini tekrar eden şablon projeler uygulanmıştır.

Bu tür hataların önüne geçmek ve teknik açıdan rasyonel bir projelendirme yapabilmek için, tasarıma başlanmadan önce şu dört temel parametre kesin olarak belirlenmelidir:

1. **Temel Zemini Özellikleri:** Yapı davranışını ve dinamik yük dağılımını doğrudan etkileyen yerel zemin koşulları, yerinde yapılacak geoteknik çalışmalarla gerçekçi olarak saptanmalıdır.
2. **Mevcut Beton Dayanımı:** Yapıdan alınacak numunelerle fiili beton kalitesi ölçülmelidir.
3. **Donatı Durumu ve Detayları:** Elemanların içindeki çelik donatının miktarı, çapı, aralığı ve korozyon durumu belirlenmelidir.
4. **Proje Uygunluğu:** Yapının sahadaki mevcut durumu ile varsa orijinal onaylı projeleri arasındaki tutarlılık denetlenmelidir.

Veri Toplama ve Belge İnceleme Süreci

Ön çalışmanın ilk adımında, yapının varsa mevcut mimari ve betonarme projeleri ile zemin etüt raporları resmi kurumlardan temin edilir. Onaylı projelere göre yapının geometrik boyutları, kat adedi, aks düzeni ve kullanım amacı yerinde kontrol edilerek karşılaştırılır. Zemin koşulları yeniden değerlendirilmeli ve eğer eski raporlar yetersizse mutlaka ek zemin araştırmaları yapılmalıdır. Orijinal projede hesaplara esas alınan zemin emniyet gerilmesi ile yeni etüt sonucunda belirlenen değerler karşılaştırılarak kontrol edilmelidir.

Eğer yapıda projeye aykırı olarak sonradan inşa edilmiş kaçak veya fazla kısımlar varsa, bu bölümlerin detaylı bir şekilde **rölövesi** alınarak mevcut duruma işlenmelidir. Eski binaların çoğunda orijinal statik ve mimari projelere ulaşmak mümkün olmamaktadır. Projelerin bulunamadığı durumlarda, yapının tamamı için sıfırdan mimari ve taşıyıcı sistem (betonarme) rölöveleri çıkarılmalıdır.

Ayrıca, gözlemsel incelemelerle yapının genel durumu, yapıda herhangi bir dönme/oturma (rijit ötelenme) olup olmadığı, taşıyıcı olan ve olmayan elemanlardaki çatlak geometrileri belirlenmeli; beton ve çelikteki korozyon seviyeleri tespit edilerek rölöveye kaydedilmelidir. Sahada tespit edilen her türlü olumsuz durum ve hasar, ileride teknik raporlara eklenmek üzere fotoğraflanarak belgelenmelidir.

Sahada Rölöve Çalışmalarının Yürütülmesi

Rölöve çıkarma işlemi sırasında kolon, perde ve kirişlerin plandaki gerçek düzenini ve kesit boyutlarını tam olarak görebilmek için bazı bölme duvarlarının veya sıva tabakalarının kırılması gerekebilir. Özellikle kirişlerin kalın bölme duvarları içinde gizli kalması veya asmolen döşemelerdeki geniş ve yassı kirişlerin döşeme içinde bulunması, taşıyıcı sistemin doğru teşhis edilmesini zorlaştırır. Mevcut veya deprem hasarı görmüş bir yapının incelenmesi, aşağıda belirtilen sistematik adımlarla gerçekleştirilir:

a) Binanın Mimari Rölövesinin Hazırlanması

Elde herhangi bir proje yoksa hazırlanan mimari rölövede; binanın kullanım şekilleri (fonksiyonu), oda hacimleri, kapı-pencere boşluklarının yerleri ve net boyutları eksiksiz gösterilmelidir. Eğer mevcut bir mimari plan varsa, yerinde uygunluğu kontrol edilerek yapılan değişiklikler plan üzerine not edilmeli; özellikle banyo, mutfak gibi ıslak hacimlerdeki tesisat hatlarının bağlı olduğu akslar belirtilmelidir.

b) Binanın Taşıyıcı Sistem Rölövesinin Hazırlanması

Betonarme projenin bulunmadığı durumlarda bu rölöve hayati önem taşır. Kiriş, kolon ve perde duvarların yerleri, kesit boyutları ve kat yükseklikleri ölçülerek kalıp planları oluşturulur. Merdiven yuvası esas alınarak döşeme kalınlıkları ve döşeme türü (plak, asmolen vb.) tespit edilir. Yapının temel sistemi hakkında bilgi edinebilmek için binanın belirli noktalarında (içeriden veya dışarıdan) **muayene çukurları (temel açma)** açılarak temel türü (tekil, sürekli, radye), geometrik boyutları, temel derinliği ve bağ kirişlerinin varlığı/durumu saptanmalıdır. Eğer statik çizimler mevcutsa, sahadaki açıklıklar ve eleman doğrultuları kontrol edilerek varsa revizyonlar projeye işlenir.

c) Binanın Hasar Rölövesinin Hazırlanması

Yapıda bir deprem hasarı veya zamana bağlı yapısal deformasyon mevcutsa, hazırlanan taşıyıcı sistem rölövesi baz alınarak her katta bölme duvarlar, kolonlar, kirişler, kolon-kiriş birleşim bölgeleri (düğüm noktaları), perdeler ve temeldeki hasarlar titizlikle işlenir. Varsa binadaki dönme, şakulden kaçma veya temelin zemine batma miktarları kaydedilir.

- **Hasar Analizi ve Müdahale Kararı:** Özellikle çatlaklar nedeniyle kesilmiş veya betonu dağılmış kolonlar belirlenerek bunların epoksi enjeksiyonu ile mi yoksa betonarme mantolama ile mi onarılacağına karar verilir. Dört tarafından mantolanacak kolonlarda veya düğüm noktalarındaki derin çatlaklarda her zaman epoksi uygulaması gerekmeyebilir.
- **Güçlendirme Perdesi Stratejisi:** Güçlendirme projelerinin büyük bir kısmında sisteme yeni betonarme perdeler eklenmesi veya kolonların mantolanması esas alınır. Hasar tespiti yapılırken eklenecek yeni güçlendirme perdelerinin, hasarlı ve mantolanması gereken mevcut kolonlara en az bir kenarından bitişik tasarlanması tercih edilmelidir. Bu yaklaşım, yeni perde ile mantonun monolitik (birlikte) çalışmasını sağlar.
- **İkincil Elemanların Kontrolü:** Hasar raporuna çatı hareketleri, kalkan duvarlarının durumu ve bacaların yıkılma riskleri de işlenmelidir. Alınacak lokal tedbirler arasında bacaların kısaltılması, kalkan duvarlarına yatay/düşey hatıllar konulması ve çatının döşemeye rijit bir şekilde bağlanması yer alabilir.

Hazırlanan kat planları üzerine bölme duvarlardaki **X şeklindeki kesme çatlaklarının** ve hasar derecelerinin işlenmesi, binanın deprem yüklerinden ne ölçüde etkilendiğini anlamak bakımından çok önemlidir. Taşıyıcı sistemdeki en kritik hasarlar; kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları, beton ezilmeleri/dökülmeleri ve donatı burkulmalarıdır. Kalıp ve sıva işçiliğinin kötü olduğu eski yapılarda, hataları gizlemek amacıyla kalın sıva uygulaması yapıldığı sıkça görülür. Bu durum yanıltıcı büyük sıva çatlaklarına yol açabilir; çatlağın taşıyıcı elemanın özüne inip inmediği sıva kazınarak kontrol edilmelidir. Ayrıca merdiven sahanlıkları ve kollarındaki hatalı donatı detayları nedeniyle deprem hasarlarının buralarda yoğunlaştığı unutulmamalıdır. Genellikle hasar dağılımı zemin katta yoğunlaşır ve üst katlara çikıldıkça azalır.

Malzeme ve Geoteknik Özelliklerin Laboratuvar Ortamında Belirlenmesi

d) Binada Beton Kalitesinin Belirlenmesi

Yapısal analize esas oluşturacak beton dayanımının belirlenmesi için binadan **en az 3 adet karot numunesi** alınmalıdır. Karot sayısı binanın toplam alanına ve kat adedine göre artırılabilir; ancak numune alımının taşıyıcı elemanları lokal olarak zayıflatacağı göz önünde bulundurularak bu sayı optimum düzeyde tutulmalıdır.

Karot alımında öncelik varsa perde duvarlara verilmeli ve donatı tespit cihazları kullanılarak mevcut donatıların kesilmemesine azami özen gösterilmelidir. Karotlardan elde edilen basınç dayanımı sonuçları, binanın tüm katlarında (özellikle bodrum kattan başlayarak) çok sayıda kolon ve perdede yapılan tahribatsız testler (Schmidt test çekici ve ultrasonik ses hızı ölçümleri) ile korelasyon kurularak tüm yapıya yaygınlaştırılır. Karot yerleri numune alımından hemen sonra yüksek dayanımlı tamir harçları ile doldurulmalıdır.



Taşıyıcı Elemandan Karot Alınması



Karot Numunenin Kırılması

Şekil 2.3.1 Karot alınması ve kırılmasına ilişkin görseller

Statik hesaplarda kullanılacak tasarım beton dayanımının F_{cd} belirlenmesinde genel olarak aşağıdaki formül esas alınır:

$$F_{cd} = \frac{F_{ck}}{\gamma_{mc}}$$

Burada:

- F_{ck} : Karot ve tahribatsız testlerden elde edilen karakteristik beton basınç dayanımı,
- γ_{mc} : Beton malzeme güvenlik katsayısıdır.

Yerinde yapılan döküm hataları, yerleşme kusurları ve deney sonuçlarının doğasında bulunan belirsizlikler göz önüne alındığında, mevcut binalar için bu katsayı normal tasarımlara kıyasla daha esnek seçilebilir. Eğer yönetmeliklerde daha spesifik bir zorunluluk yoksa, mevcut yapının yerindeki gerçek durum hatalarını zaten içerdiği kabul edilerek malzeme katsayısı $\gamma_{mc} = 1.50$ olarak alınabilir.

e) Binada Donatı Kalite ve Düzeninin Belirlenmesi

Yapının bodrum veya zemin katında seçilecek **en az üç adet kolonda** pas payı tabakası lokal olarak kırılarak (sıyırma işlemi) boyuna ve enine (ettriye) donatı miktarı, çapı, aralığı ve kanca detayları tespit edilmelidir. Mevcut taşıyıcı sistemi zayıflatmamak adına, kolonlardan yalnızca birinin tüm kenarlarından, diğerlerinin ise sadece bir veya iki kenarından açılması tercih edilmelidir. Aynı şekilde seçilecek en az üç adet kirişte, açıklık ve mesnet bölgelerinde alttan bakılarak pas payı sıyırılmalı; boyuna donatı düzeni, pilye varlığı ve ettriye aralıkları saptanmalıdır. Donatılarda korozyona bağlı olarak meydana gelen eksenel çap küçülmeleri mutlaka ölçülmelidir. Sıyırma yapılan noktalar dışında kalan tüm elemanlardaki donatı yerleşimleri, manyetik donatı tespit cihazları (paşometre/ferroscan) yardımıyla taranarak yaygınlaştırılmalıdır. Tüm bu veri toplama süreçlerinde her zaman belirli oranlarda mühendislik belirsizliklerinin olacağı göz ardı edilmemelidir.

f) Geoteknik Bilgilerin Belirlenmesi

Temel zeminine ait parametrelerin toplanması amacıyla muayene çukurları açılmalı, zemin sondajları yapılmalı ve bölgedeki mevcut jeolojik/geoteknik verilerden yararlanılmalıdır. Geoteknik inceleme raporu sonucunda, güçlendirme projesinin tasarımında doğrudan kullanılacak olan şu parametreler net olarak sunulmalıdır:

- Zeminin doğal birim hacim ağırlığı γ_n
- Zemin emniyet gerilmesi q_{em}
- Zemin yatak katsayısı K_s
- Yerel zemin sınıfı ve buna bağlı zemin karakteristik periyotları
- Etkin yer ivmesi katsayısı ve yeraltı su seviyesi

Onarım ve Güçlendirme Projesinin Hazırlanması

Tüm bu deneysel, sismik ve geoteknik veriler eksiksiz olarak toplandıktan sonra projelendirme aşamasına geçilir. Yapıda zemin kaynaklı olarak düşey yüklerin oluşturduğu farklı oturmaları, deplasmanları ve burulma deformasyonlarını önlemek amacıyla çoğunlukla **"temel takviyesi + kolon mantolama + yeni perde duvar ilavesi"** kombinasyonundan oluşan entegre bir sistem tercih edilir. Eski yapılardaki projelendirme ve uygulama hataları, yürürlükteki en güncel Deprem Yönetmeliği standartlarına tam uyumlu olacak biçimde giderilmeli ve yapının sismik kapasitesi artırılmalıdır.



Şekil 2.3.2 Duvar Arkası Demir Tarama Cihazının Görseli

2.4. HASAR SAPTAMA İŞLEMLERİ

Hasarlı, onarılacak ya da güçlendirilecek bir yapının incelenme süreci, tıp doktorunun karşısına çıkan bir hastanın muayene sürecine doğrudan benzetilebilir. Bir hastaya doğru tedavi planı uygulamak için nasıl fiziksel muayene, röntgen, ultrason, kan tahlili gibi teşhis yöntemleri gerekiyorsa; bir yapı için de benzer şekilde detaylı inceleme, test ve muayenelerin yapılması zorunludur. Yapıdaki hasarın kaynağının belirlenmesi, yapıya doğru "teşhis" konulması ve ardından gerçekleştirilecek "tedavi" için en uygun "ilaçların" (onarım malzemeleri/yöntemleri) seçilmesi veya "ameliyatın" (yapısal müdahaleler/mantolama/perde eklenmesi) yapılması inşaat mühendisine büyük bir sorumluluk yükler. Bu bağlamda, onarım ve takviye projelerini yürüten inşaat mühendisleri literatürde birer "**yapı doktoru**" olarak nitelendirilmektedir.

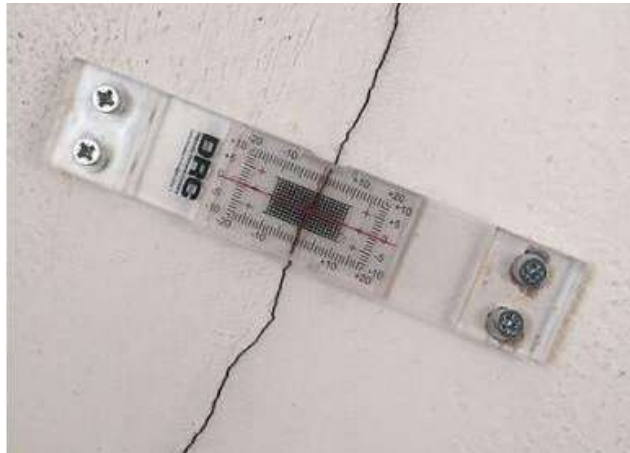
Yapı Teşhisinde Kullanılan Temel Metodolojiler

Yapının yapısal "hastalığına" kesin bir tanı konulabilmesi amacıyla mühendisin sahada kullanacağı araçlar, inceleyeceği kritik bölgeler, yapacağı testler ve mülk sahipleri ile teknik ekiplere yönelteceği sorular şu şekilde sistematize edilmelidir:

Hızlı Gözlemsel Tespitler ve Acil Güvenlik Önlemleri: İncelemenin ilk aşamasında yapı genel hatlarıyla gözlemlenir. Can güvenliğini tehlikeye atan acil durumlarda yapının tamamen veya kısmen boşatılmasına karar verilir. Yapının göçmesini önlemek amacıyla geçici çelik veya ahşap destek elemanlarıyla (tahkimat/askıya alma) acil yapısal önlem alınır.

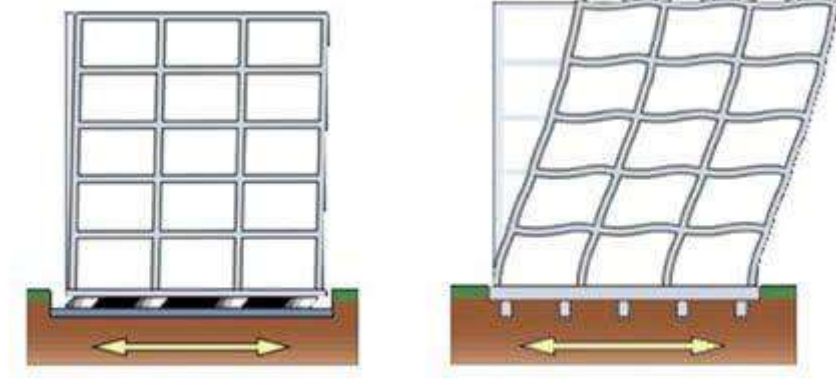
Mevcut Durum ile Proje Karşılaştırması: Yapı elemanlarının sahadaki fiili boyutları ile orijinal onaylı projedeki teorik boyutları santimetrik olarak karşılaştırılır. Projeye uymayan, eksik veya hatalı inşa edilmiş elemanlar tek tek raporlanır.

Hasarın Dijital ve Grafiksel Olarak Kaydedilmesi: Taşıyıcı olan (kolon, kiriş, perde, temel) ve taşıyıcı olmayan (bölme duvarlar, parapetler) tüm elemanlardaki hasarlar; fotoğraf, video ve krokilerle kayıt altına alınır. Meydana gelen çatlakların genişlikleri (çatlak ölçer mikroskop veya cetvellerle) ve konumları ölçülür, işaretlenir ve numaralandırılır. Çatlak fotoğrafları çekilirken ölçek sağlaması açısından yanına mutlaka teknik bir cetvel yerleştirilmeli; çekimler yakın, orta ve uzak plandan olacak şekilde üç kademeli yapılmalıdır.



Şekil 2.4.1 Çatlak Ölçer

Deformasyon ve Sehim Ölçümleri: Yapı elemanlarında veya sistemin genelinde meydana gelen düşey oturmaları, yatay deplasmanları, burulmaları ve kiriş/döşemelerdeki sehim sınırlarını belirlemek amacıyla topoğrafik (total station, nivo) veya lazer esaslı ölçüm cihazları kullanılır.



Şekil 2.4.2 Binaın Yatayda Deplasman Yapması

Malzeme Numunelerinin Laboratuvar Testleri: Yapıdan alınan beton karotları ve donatı çeliği numuneleri mekanik testlere (basınç dayanımı, çekme testi, gerilme-birim deformasyon ilişkisi) tabi tutulur. İleride doğabilecek hukuki itirazların ve şaibelerin önüne geçilmesi adına; numunelerin hangi elemandan, nasıl, hangi tarihte ve kimler tarafından alındığı etiketlenmeli ve tanıklar huzurunda resmi bir tutanakla kayda geçirilmelidir.



Şekil 2.4.3 Kolondan Karot numunesi Alımı

Yüzey Soyma ve Donatı İncelemeleri: Gerekli görülen kritik düğüm noktalarında ve elemanlarda beton örtüsü (paspayı) lokal olarak kaldırılarak donatının gerçek yeri, çapı, etriye sıklaştırması ve paslanma durumu incelenir. Sıva, mermer, taş, ahşap vb. estetik kaplamalar kazınarak altındaki ana betonarme kütlede gizli kalmış çatlakların varlığı kontrol edilir.



Şekil 2.4.4 Bir kolonda paspayı tabakasının lokal olarak kırılarak etriye aralığı, kanca açısı (135 derece) ve donatı çapının kumpasla ölçülmesini gösteren **Sıyırma İşlemi**.

1. **Yapının Geçmiş Kronolojisinin Çıkarılması:** Yapının inşa edilme koşulları, deprem öncesi fiziki durumu, geçmişte atlattığı sismik aktiviteler veya farklı çevresel etkilerle (yangın, patlama vb.) oluşmuş eski hasarları araştırılır. Varsa daha önce yapılmış onarım-güçlendirme müdahaleleri ve mimari amaçla yapılan izinsiz tadilatlar (kolon kesilmesi, duvar kaldırılması) tespit edilir.
2. **Geoteknik ve Çevre Araştırmaları:** Sondajlar ve muayene çukurları vasıtasıyla yapı çevresindeki zemin tabakalarının mekanik özellikleri belirlenir. Temel alt kotuna kadar incek kazı ve sondaj faaliyetlerine başlanmadan önce, komşu binalardaki mevcut hasarlar saptanmalı ve çevre yapılara zarar verebilecek tehlikeli durumlardan kaçınılmalıdır. Herhangi bir hak iddialarına karşı çevre binaların hasar durumları da önceden belgelenmelidir.
3. **Bölgesel ve Tipolojik Karşılaştırma:** İncelenen yapının, yakın çevrede bulunan aynı dönemde inşa edilmiş benzer malzeme ve mimariye sahip yapılarla sismik davranış yönünden karşılaştırması yapılır.
4. **Dinamik Karakteristiklerin Ölçülmesi ve Statik Yükleme Deneyleri:** Yapının dinamik davranışını anlamak için ivmeölçerler (akselerometre) yardımıyla binanın doğal periyodu T ve sönüm oranı B deneysel olarak ölçülür. Gerekli görüldüğünde yapı elemanlarına saha şartlarında statik yükleme deneyleri uygulanarak eleman davranışı izlenir.

Kapsamlı bir hasar analizinde, yapının hasarsız olan elemanlarının da not edilmesi sistemin rijitlik dağılımını anlamak açısından elzemdir. Yapı temellerinde oturma veya dönme kuşkusu varsa, temel sistemi kazılarak mutlak surette açılmalı ve incelenmelidir. Ayrıca imkanlar dahilinde yapının orijinal müellifi olan mimar, mühendis ve müteahhitlerle görüşülerek yapım aşamasındaki fiili şantiye koşulları hakkında sözlü/yazılı bilgi toplanması analiz kalitesini artırır.

Her binada yukarıdaki tüm işlemlerin eksiksiz uygulanması ekonomik veya fiziksel kısıtlar nedeniyle mümkün olmayabilir. Ancak temel ilke; **yapı hakkında toplanan verinin doğruluğu ve miktarı arttıkça, teşhisin doğruluğu ve uygulanacak tedavinin (güçlendirmenin) başarısı da o derece artacaktır.**

Artçı Sarsıntıların Hasar Sürecine Etkisi

Özellikle şiddetli ana depremlerin ardından, odak noktasına yakın bölgelerde uzun süre boyunca çok sayıda ve değişik büyüklüklerde artçı depremler (aftershocks) meydana gelmektedir. Ana şok esnasında taşıma kapasitesinin sınırına gelmiş, beton bütünlüğü çatlaklarla zayıflamış veya donatısı akma sınırına yaklaşmış yapı elemanları, bu artçı sarsıntılar nedeniyle ani ve gevrek şekilde göçebilir.

Artçı depremler, yapının mevcut hasar derecesini hafiften ortaya, ortadan ağıra doğru hızla tırmandırabilir. Bu nedenle mühendisler, yapısal hasarı değerlendirirken ve binaya giriş izni verirken artçı sarsıntıların yapıda biriktirdiği yorulma (fatigue) etkilerini ve mukavemet kayıplarını mutlak surette hesaplamalara dahil etmelidir.

Güçlendirme İmalatlarının Karakteristiği ve Ekonomik Gerçekleri

Onarım ve güçlendirme işlemleri, halk arasında düşünüldüğü gibi **yapının görsel olarak makyajlanması** (çatlakların sıva veya harçla kapatılarak gizlenmesi) gibi basit bir eylem değildir. Tam aksine güçlendirme tasarımı; sıfırdan bir bina tasarlamaktan çok daha karmaşık, yüksek mühendislik hesapları, gelişmiş sonlu elemanlar analizleri ve milimetrik saha detaylandırması gerektiren üst düzey bir mühendislik hizmetidir.

Bu projelerin doğasından kaynaklanan temel karakteristikler ve zorluklar şu şekildedir:

- **Mühendislik ve İşçilik Yoğunluğu:** Güçlendirme projelerinde maliyetin çok büyük bir kısmı malzemeden ziyade mühendislik tasarımı ve kalifiye el işçiliğine gider. Mevcut bir binada dar, karanlık ve sıkışık alanlarda (örneğin bodrum katlarda) çalışmak işçilik kalitesinin düşmesine zemin hazırlayabilir. Bu nedenle sahada çok sıkı bir süpervizörlük hizmeti yürütülmelidir.
- **Kompozit Çalışma Zorunluluğu:** Güçlendirme, çok duyarlı boyut ve bağlantı (ankraj) detayları içerir. Mevcut eski betonarme eleman ile yapıya sonradan eklenen yeni betonarme elemanın (veya çelik/karbon liflerin) birlikte, tek bir gövde gibi hareket edebilmesi (**kompozit çalışma/güçlendirme etkinliği**) kusursuz bir işçiliğe bağlıdır. Ankraj kimyasalının yanlış uygulanması gibi küçük bir montaj hatası, tüm güçlendirme sistemini işlevsiz kılabilir.

- **Malzeme Özellikleri:** Kullanılan malzeme miktarı hacimsel olarak yeni bir bina inşaatına kıyasla azdır; ancak kullanılan malzemelerin kalitesi (yüksek dayanımlı tamir harçları, karbon lifli polimerler, epoksi esaslı yapıştırıcılar vb.) çok yüksek standartlarda olmak zorundadır.
- **Ekonomik Limit Sınırı:** Bazı durumlarda, eski ve hasarlı bir yapının güçlendirilme maliyeti, yapının yıkılıp modern deprem standartlarına göre yeniden inşa edilme maliyetinin %50'sini (yarı fiyatını) aşabilmektedir. Mühendislik ve ekonomi prensipleri gereğince, onarıma başlanmadan önce bu teknik ve finansal yapılabirlik (fizibilite) analizleri titizlikle yapılmalıdır. Anıtsal, tarihi ve kültürel miras niteliğindeki yapılar ise bu ekonomik kısıtlamaların tamamen dışındadır.

2.5. MALZEME KALİTESİNİN TANIMLANMASI

Mevcut bir yapının gerçeğe en yakın sismik davranışını ve yük taşıma kapasitesini ortaya koyabilmek, o yapıyı oluşturan malzeme kalitesinin doğru ve parametrik olarak tanımlanmasına bağlıdır. Yapısal değerlendirme süreçlerinde, teorik hesaplar ile sahada inşa edilmiş olan fiili durum arasındaki en büyük sapmalar genellikle malzeme dayanımlarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, mevcut malzeme özelliklerinin yerinde (in-situ) testler ile taranması mühendislik analizlerinin temelini oluşturur.

Yerinde Taşıyıcı Sistem İncelemesi Gerektiren Temel Senaryolar

Bir yapının taşıma gücünün yerinde, doğrudan mevcut taşıyıcı elemanlar (kolon, kiriş, perde vb.) üzerinde çeşitli test yöntemleriyle belirlenmesini zorunlu kılan temel durumlar şu şekilde sıralanabilir:

- **Yapıya Ek Kat İlave Edilmesi (Kat Çıkılması):** Mevcut binanın üzerine yeni kat veya katlar eklenmek istendiğinde, alttaki taşıyıcı elemanların ve temelin bu ek düşey ve yatay yükleri güvenle taşıyıp taşıyamayacağını belirlemek amacıyla mevcut malzeme kalitesinin tespiti zorunludur.
- **Ek Yük Taşıtlmasının Gerekmesi (Fonksiyon Değişikliği):** Yapının kullanım amacının değişmesi (örneğin bir konut yapısının okula, arşive, hastaneye veya ağır makinelerin yer alacağı bir fabrikaya dönüştürülmesi) durumunda, artan hareketli ve sabit servis yüklerinin karşılanma kapasitesini ölçmek için yerinde inceleme yapılır.
- **Yapının Hasar Görmüş Olması:** Deprem, sel gibi doğal afetler; yangın, patlama, araç çarpması gibi fiziksel ve kimyasal etkiler neticesinde taşıyıcı sistemi zarar görmüş yapılarda, hasarın derinliğini ve elemanların kalan mukavemetini belirlemek için malzeme kalitesi incelenir.
- **Malzeme Dayanımlarının Belgelenmemiş veya Şüpheli Olması:** Özellikle projesi, yapı denetim raporu veya laboratuvar dökümleri bulunmayan eski binalarda ya da inşaat aşamasında kalitesinden şüphe duyulan (örneğin döküm esnasında su katılmış, vibratör iyi uygulanmamış veya segregasyona uğramış) yapılarda beton ve çelik dayanımlarının yerinde saptanması yasal ve teknik bir zorunluluktur.

Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Güvenliği Belirleyen Unsurlar

Betonarme bir taşıyıcı iskeletin tasarım ömrü boyunca sergileyeceği taşıma gücü güvenliği ve durabilitesi (dayanıklılığı), birbiriyle doğrudan ilişkili şu üç temel faktöre bağlıdır:

ANA KRİTER	GÜVENLİĞİ BELİRLEYEN 3 TEMEL UNSUR	SAHADAKİ KARŞILIĞI / KAPSAMI
BETONARME TAŞIYICI SİSTEM GÜVENLİĞİ	1. Karakteristik Malzeme Dayanımı	Beton ve Çelik (Malzeme Kalitesi)
	2. Yapım Niteliği ve İşçilik	Saha Uygulaması (İşçilik Kalitesi)
	3. Boyut, Biçim ve Bakım Faktörü	Yönetmelik Uyumuna (Geometri ve Kür)

- Kullanılan Beton ve Çeliğin Karakteristik Dayanımları:** Betonun eksenel basınç dayanımı F_{ck} ile donatı çeliğinin akma ve çekme mukavemetleri F_{yk} kesitlerin moment, kesme ve eksenel yük kapasitelerini doğrudan belirleyen en temel mekanik parametrelerdir.
- Taşıyıcı Sistemin Yapım Niteliği:** Projenin sahada ne derece doğru uygulandığı ile ilgilidir. Doğru etriye sıkılaştırmalarının yapılması, kancaların 135 derece bükülmesi, betonun uygun şekilde dökülüp sıkıştırılması gibi işçilik ve yapım kalitesi unsurları, sistem güvenliğini doğrudan etkiler.
- Boyut, Biçim ve Bakım Etmenlerinin Yönetmeliklere Uygunluğu:** Eleman kesit boyutlarının (kolon ve kiriş ölçülerinin), yapının geometrik biçiminin (planda ve düşeyde düzensizliklerin olup olmaması) ve betonun döküm sonrası kür (sulama/bakım) işlemlerinin ilgili standart ve kurallara harfiyen uygun olarak gerçekleştirilmiş olması gerekir.

Malzeme Kalitesi Tanımlamasında Temel Mühendislik İlkeleri

Mevcut yapılarda taşıma gücü güvenliğinin temelini oluşturan bu malzeme ve yapım özelliklerinin belirlenmesi sürecinde, mühendislik ekonomisi ve yapı güvenliği açısından "**minimum hasar, maksimum veri**" ilkesi gözetilmelidir.

Yapılan test ve incelemelerin;

- Yapının mevcut taşıma kapasitesine **zarar vermeden** ya da tahribatlı yöntemler (karot alımı, donatı sıyırma vb.) kullanılacaksa **olabildiğince az zarar vererek** lokal düzeyde tutulması,
- Yapının statik dengesini bozmayacak kritik olmayan kesitlerden numune seçilmesi,
- Mühendislik bütçesini optimize edecek şekilde **düşük maliyetle** ve yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesi esastır.

Bu dengeyi kurabilmek adına sahada, yapıyı lokal olarak hırpalayan tahribatlı yöntemler ile yapıya hiç zarar vermeyen tahribatsız yöntemler yapı bütününe zarar verilmeden Yapılır

2.6. YERİNDE BETON DAYANIMININ BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ

Mevcut bir yapının sismik performans analizinde ve kapasite hesaplarında kullanılacak en kritik parametre, taşıyıcı elemanların sahip olduğu fiili beton basınç dayanımıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (veya ilgili dönemin yetkili bakanlıkları) tarafından lisanslandırılmış özel yapı laboratuvarları vasıtasıyla, yapının mevcut durumuna göre kolon, perde, kiriş ve döşemelerinden beton numuneleri alınmalı ve tahribatsız testlerle desteklenerek raporlanmalıdır.

Geçmiş yıllarda inşa edilmiş bir yapının muhtelif noktalarından alınan sınırlı sayıdaki numunenin, tüm yapıdaki betonu homojen şekilde temsil ettiğini varsaymak mühendislik açısından mümkün değildir. Bu nedenle, mevcut beton dayanımı tanımlanırken mutlak surette uygun istatistiksel yöntemler ve güvenlik katsayıları uygulanmalıdır.

Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemlerin Genel Esasları

Mevcut yapıların beton kalitesini belirlemede tahribatlı (karot alımı) ve tahribatsız (Schmidt test çekici, ultrasonik ses hızı) yöntemler birlikte yürütülür:

- **Tahribatsız Testler (Schmidt Çekici ve Ultrason):** Yapı elemanlarına zarar vermeden hızlı ve yaygın bir tarama imkanı sunar. Ancak, özellikle yüzey sertliği esasına dayanan Schmidt çekici okumalarının zaman zaman yanıltıcı olabileceği gözden kaçırılmamalıdır. Betonda meydana gelen **karbonatlaşma düzeyi** ve çevresel etkiler yüzeyde yapay bir sertleşmeye yol açar; bu durum çekiç değerlerinin gerçek mukavemetten daha yüksek veya dalgalı çıkmasına neden olur.



Schmidt Çekici



ULTRASONİK BETON TEST CİHAZI

Şekil 2.6.1 Tahribatsız Test yöntemleri

- **Tahribatlı Testler (Karot Alımı):** Yapının mevcut beton kalitesinin en doğru ve doğrudan tanımı, yapı kütlesinden silindirik numunelerin kesilerek çıkarılması (karot) ile mümkündür.



Şekil 2.6.2 Tahribatsız Test yöntemleri

Elde edilen karot mukavemet değerleri baz alınarak, yapının fiili **Elastisite Modülü** ilgili standartlar doğrultusunda (örneğin TS 500 formülleri kullanılarak) hesaplanır ve mevcut yapının taşıma kapasitesi ile yer değiştirme hesaplarında doğrudan girdi olarak kullanılır.

Karot Numunesi Alımında Dikkat Edilecek Kriterler

Yapıdan karot numunelerinin alınması ve test edilmesi süreçlerinde **TS 10465** (ve güncel ilgili standartlar) kurallarına harfiyen uyulmalıdır. Karot alımı esnasında taşıyıcı elemanlara kalıcı ve büyük zararlar vermemek adına numune lokasyonları şu kurallara göre seçilmelidir:

- **Kolonlarda:** Momentin sıfıra yakın olduğu kat orta seviyelerinden,
- **Perde Duvarlarda:** Eğilme etkilerinin görece az olduğu orta gövde bölgelerinden,
- **Kirişlerde:** Kesme kuvvetinin düşük, moment yüklerinin ele alınabilir olduğu ve donatıyı kesme riskinin az olduğu uygun çekme/gövde bölgelerinden numune alınmalıdır.

Karot yerleri mekanik olarak kesilmeden önce ve sonra orijinal statik proje üzerinde titizlikle işaretlenmeli, saha üzerinde de numara verilerek etiketlenmelidir. Laboratuvar ortamında serbest basınç deneyine tabi tutulan karotların sonuçları, proje mühendisi tarafından standartlara uygun şekilde değerlendirilerek mevcut beton dayanımı tayin edilmeli ve deney raporları proje ekine eklenmelidir.

Malzeme Özelliklerini Yansıtmayan Deneysel Sapmaların Nedenleri

Saha uygulamalarında, yerindeki betonun gerçek mekanik özelliklerini yansıtmayan, deneyin uygulanış biçiminden veya yapısal değişkenlerden kaynaklanan hatalı sapmalar (dağılımlar) meydana gelebilmektedir. Bu yapay sapmaların temel nedenleri şunlardır:

1. **Beton Karışım ve Üretim Farklılıkları:** Yapı inşa edilirken el ile beton dökümü yapılmış olması, döküm esnasında üretim veya yerleştirme ekiplerinin değişmesi ya da katlar arasında mevsimsel duraksamalar yaşanması.

2. **Yetersiz Numune Temsiliyeti:** Rastgele noktalardan alınan çok az sayıdaki karot numunesinin tüm yapı betonu hakkında genel bir yanılgıya yol açması.
3. **Karbonatlaşma ve Yüzey Deformasyonları:** Sıvalı ve sıvasız yüzeyler arasındaki karbonatlaşma derinliği farkları, yüzeyde kalan niteliksiz sıva veya şerbet kalıntıları.
4. **Donatı Etkisi:** İçerideki çelik donatının beton yüzeyine çok yakın olması veya ultrasonik ses dalgası rotası üzerinde bulunarak okumaları saptırması.
5. **Nem ve Su İçeriği Değişimi:** Yapının bodrum katı ile üst katları arasında veya dış çevreye açık elemanlarında su içeriğinin yer yer farklılık göstermesi.
6. **Yaş ve Bakım Koşulları:** Döküm tarihleri arasındaki yaş farkları, hava sıcaklıkları ve betonun kür (bakım) kalitesindeki heterojenlik.

DeneySEL Sapmaları Azaltma ve Güvenilirliği Artırma Yolları

Yukarıda belirtilen olumsuz etkenleri minimize etmek ve test sonuçlarından elde edilecek verilerin güvenilirlik düzeyini artırmak amacıyla şu teknik önlemler alınmalıdır:

- **Birim bazlı değerlendirme:** Aynı katta ayrı zamanlarda dökülmüş veya farklı bileşimlere sahip olduğu anlaşılan beton üretim birimleri kendi içlerinde bağımsız olarak kümelendirilmeli ve ayrı değerlendirilmelidir.
- **Ön tarama ve akıllı numune dağılımı:** Sahada öncelikle çok sayıda taşıyıcı elemanda Schmidt çekici ve ultrason ölçümleri yapılmalıdır. Karot alınacak noktalar; bu tahribatsız test sonuçlarının en düşük, orta ve en yüksek çıktığı bölgelere dengeli şekilde dağıtılarak az sayıdaki karotun tüm yapıyı temsil etme kabiliyeti maksimuma çıkarılmalıdır.
- **Yüzey temizliği ve karbonatlaşma tabakasının uzaklaştırılması:** Test yapılacak eski ve niteliksiz beton yüzeylerindeki sıva kalıntıları kazınmalı; esnek disk zımpara kullanılarak karbonatlaşmış ve sıva suyundan etkilenmiş **3 mm ile 5 mm** kalınlığındaki dış katman tamamen temizlenerek ana betona ulaşılmalıdır.
- **Nem düzeltmesi:** Farklı nem içeriklerine sahip elemanlarda, testlerle belirlenmiş düzeltme katsayıları kullanılmalı; Schmidt okumaları ile ultrason geçiş hızları birlikte korele edilerek dağılım minimize edilmelidir.
- **Paşometre (Manyetik Donatı Detektörü) kullanımı:** Donatı tespit cihazları vasıtasıyla eleman içindeki çelik çubuklar dış yüzeyde çizilerek işaretlenmelidir. Schmidt çekici vuruşları, ultrason ölçümleri ve karot delme işlemleri, bu çelik donatılardan uzak, iri agrega tanelerine denk gelmeyen temiz ara bölgelerde gerçekleştirilmelidir.

Karma Yöntem ve İstatistiksel Regresyon Analizi

Yapıdan çıkarılan sınırlı sayıdaki karot numunesi üzerinde laboratuvara alınmadan önce yerinde tahribatsız Schmidt ve ultrason testleri uygulanır. Ardından laboratuvar ortamında bu silindir parçaların su emme kapasiteleri ve yıkımlı eksenel basma dayanımları ölçülür.

Elde edilen tüm bu veriler ışığında, o yapıya özgü "**Dayanım - Schmidt Sayısı - Ultrason Hızı**" regresyon (korelasyon) bağıntıları kurulur. Sapmaların az, korelasyon katsayısının yüksek çıktığı bu güvenilir matematiksel bağıntı kullanılarak, yapının genelinde (en az 30 noktada) yapılan yüzlerce tahribatsız test verisi gerçek karakteristik dayanıma dönüştürülür.

Sahada Uygulama ve Numune Hazırlama Protokolü

Güvenilir bir beton kalitesi haritası çıkarabilmek adına sahada şu geometrik ve hacimsel standartlar uygulanmalıdır:

- **Tahribatsız Tarama Noktaları:** Yapı üzerinde rastgele fakat dengeli seçilmiş **en az 30 deney noktasında** (veya iki uç ve ortasından test edilmek üzere en az 10 taşıyıcı elemanda) tarama yapılmalıdır. Her test noktasında yaklaşık **350 mm x 350 mm** boyutlarında bir alanın sıvası kaldırılarak pürüzsüz hale getirilmelidir.
- **Karot Geometrisi ve Adetleri:** Laboratuvar testleri için yapıdaki her **100 m³ ile 150 m³** arasındaki beton hacminden en az **3 adet 90-100 mm çaplı** (veya 4 adet 75-80 mm çaplı) karot numunesi kesilmelidir. Karotların uçları kesilip düzeltildiğinde yükseklik/çap h/d oranı minimum 1, ideal olarak ise 2 olmalıdır.
- **Kesme İşlemi Nitelikleri:** Kesme esnasında betona mekanik hasar verilmemesi için karot makinesinin şasisi yapı elemanına rijit bir şekilde ankrajlanmalı ve uçta eksantrisme (salınım) olmamalıdır.
- **Başlıklama ve Kırım:** Kesilen numunelerin alt ve üst yüzeyleri, pres altında homojen yük dağılımı sağlamak amacıyla epoksi reçinesi, kükürt-grafit karışımı veya yüksek dayanımlı özel harçlar ile başlıklanarak basma deneyine hazır hale getirilir. İlgili standart deney metotlarına göre kırılan numunelerin taşıma yükleri kaydedilir.

Deneylerden elde edilen karot mukavemetleri, matematiksel dönüşümlerle standart **Ø150 mm x 300 mm silindir dayanımına** çevrilir ve binanın nihai karakteristik beton sınıfı istatistiksel yöntemlerle belirlenir.

2.7. YERİNDE DONATI ÇELİĞİ BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ

Mevcut bir yapının yük taşıma kapasitesinin ve sismik performansının doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için beton dayanımı kadar, taşıyıcı elemanların içindeki çelik donatının miktarı, geometrisi ve kalitesi de hayati önem taşır. Özellikle orijinal betonarme projesi bulunmayan, projesine ulaşılamayan ya da mevcut imalatın projeden saptığı düşünülen binalarda, yatay ve düşey taşıyıcı elemanların donatı rölövesinin yerinde (çıkarılması yasal ve teknik bir zorunluluktur. Donatı tespiti sürecinde, yapıya zarar vermeyen tahribatsız elektromanyetik yöntemler ile lokal tahribatlı doğrulama yöntemleri entegre olarak uygulanır.

Tahribatsız Yöntemler: Manyetik Donatı Tespit Cihazları (Paşometre)

Betonarme elemanların içindeki çelik çubukların konumlarını, adetlerini ve yaklaşık çaplarını yapıya hiçbir fiziki zarar vermeden belirlemek amacıyla manyetik geçirgenlik (manyetik endüksiyon) esasına dayalı detektörler kullanılır. Bu cihazlar literatürde **profometre** veya **paşometre** olarak adlandırılır.

- **Çalışma Prensipleri:** Cihazın tarama probu beton yüzeyinde gezdirildiğinde, betonun altındaki çelik donatının varlığı manyetik akıda bir değişime yol açar. Gelişmiş profometreler, bu manyetik alan dalgalanmalarını analiz ederek yüzeyden çok derinde olmayan donatıların aks yerlerini, paspayı derinliklerini ve donatı çaplarını yüksek bir doğrulukla saptar.
- **Görselleştirme ve İşaretleme:** Tarama problemleri vasıtasıyla elde edilen veriler, cihazın dijital ekranında eş zamanlı olarak iki veya üç boyutlu grafikler halinde görüntülenebilir. Sahada yapılan bu tespitler sırasında, saptanan boyuna ve enine (etkiye) donatıların yerleri, çapları ve etriye sıklaştırma aralıkları beton yüzeyinde renkli kalemlerle doğrudan işaretlenerek anlık olarak donatı rölöve planlarına işlenir.



Şekil 2.7.1 Paşometre ile donatı haritalandırılması

Tahribath Yöntemler: Paspayı Sıyırma ve Görsel Doğrulama

Manyetik profometre cihazları yüzeye çok yakın çoklu donatılarda, sık etriyeli bölgelerde veya derin paspayı tabakalarında bazen yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu belirsizlikleri gidermek ve cihaz kalibrasyonunu sağlamak amacıyla belirli bölgelerde **paspayı sıyırma (tahribath doğrulama)** işlemi gerçekleştirilir.

- **Uygulama Amacı:** Taşıyıcı sisteme ve ana gövdeye kalıcı zararlar vermeyecek güvenli noktalarda, beton örtüsü (paspayı tabakası) lokal ve yüzeysel olarak kırılır. Bu işlem sayesinde donatı çeliğinin yüzeyi doğrudan çıplak gözle görülebilir hale getirilir.
- **Korozyon ve Ankraj Kontrolü:** Paspayı sıyırma işlemi sadece donatı çapı ve adedi doğrulamakla kalmaz; donatıda zamana bağlı bir **korozyon (paslanma)** probleminin olup olmadığını, korozyon kaynaklı eksenel kesit kaybı oluşup oluşmadığını net olarak ortaya koyar. Ayrıca mevcut donatıların kenetlenme (ankraj) boylarının yeterliliği de bu sayede fiziksel olarak incelenmiş olur.



Şekil 2.7.2 Taşıyıcı Elemandan Karot Alınması

2.8. ÇATLAKLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE TAŞIYICI SİSTEM HASARLARI

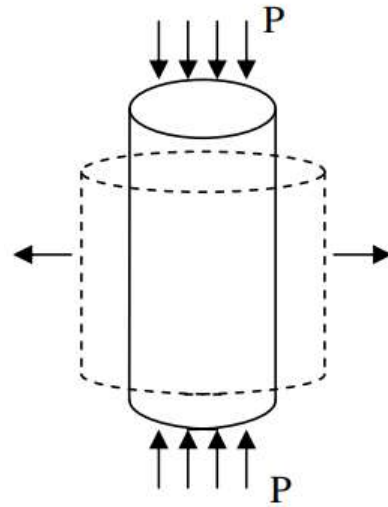
Mevcut yapılarda meydana gelen hasarların en birincil ve somut belirtileri; eleman bazında veya sistem genelinde gözlemlenen çatlaklar, kalıcı deformasyonlar ve sehimlerdir (deplasmanlar). Bu fiziksel değişimler, ilgili yapı elemanının **elastik yük taşıma limitinin** üzerinde bir zorlanmaya maruz kaldığının kesin bir göstergesidir.

Yapı mühendisliğinde elastik yük taşıma limiti; bir elemanın kalıcı şekil değişikliğine (plastisite) uğramadan, yük kaldırıldığında orijinal formuna dönebildiği maksimum güvenli sınır olarak tanımlanır. Bazı durumlarda, ana taşıyıcı elemanın kendisinde belirgin bir çatlak meydana gelmese dahi, yaptığı aşırı sehim ve esnemeler nedeniyle taşıdığı ikincil elemanlarda (bölme duvarlar, kaplamalar vb.) yaygın hasarlar oluşabilmektedir.

Yapısal Çatlak Mekanizmaları ve Oluşum Nedenleri

Yapısal analizlerde çatlağın meydana geldiği konum ve çatlak genişliği hayati bir önem taşır. Çatlaklar taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabileceği gibi, taşıyıcı olmayan fonksiyonel elemanlarda da ortaya çıkabilir. Yapı yük altında zorlandığında çatlaklar her zaman ilk olarak **gevrek (süneklik kapasitesi düşük)** elemanlarda baş gösterir. Bir kesitte çatlağın oluşması, o bölgede malzemenin elastik olarak taşıyabileceği sınırların ötesinde bir **çekme kuvvetinin** etkin olduğunu gösterir.

Basınç Etkisi Hasarı: Basınç gerilmeleri altındaki hasar genellikle malzemenin lifler boyunca ezilmesi, ufalanması veya patlaması şeklinde ortaya çıkar. Ancak basınç ezilmesinin arka planında da aslında basınca dik yönde gelişen ve malzeme tarafından karşılanamayan enine çekme gerilmelerinin etkisi mevcuttur.



Şekil 2.8.1 Basınç Etkisi Şematik Gösterimi

Çekme ve Eğilme Çatlakları: Betonun basınç dayanımı, çekme dayanımına kıyasla oldukça yüksek olduğundan (yaklaşık 10 katı), yük altındaki bir betonarme elemanda her zaman ilk olarak çekme çatlakları görünür hale gelir. Taşıyıcı olmayan mimari elemanlardaki (bölme duvarlar gibi) çatlaklar genellikle bu elemanları taşıyan kiriş veya döşemelerdeki sehimlerin

bir sonucudur. Eğer bu sehim ve deformasyonlar kontrol altına alınmayıp artmaya devam ederse, hasar bir üst aşamaya geçerek taşıyıcı elemanın kendi gövdesinde çatlamlara yol açar. Bu nedenle taşıyıcı elemanlarda saptanan çatlaklar, her zaman daha ileri, tehlikeli ve acil müdahale gerektiren bir hasar aşamasını temsil eder.

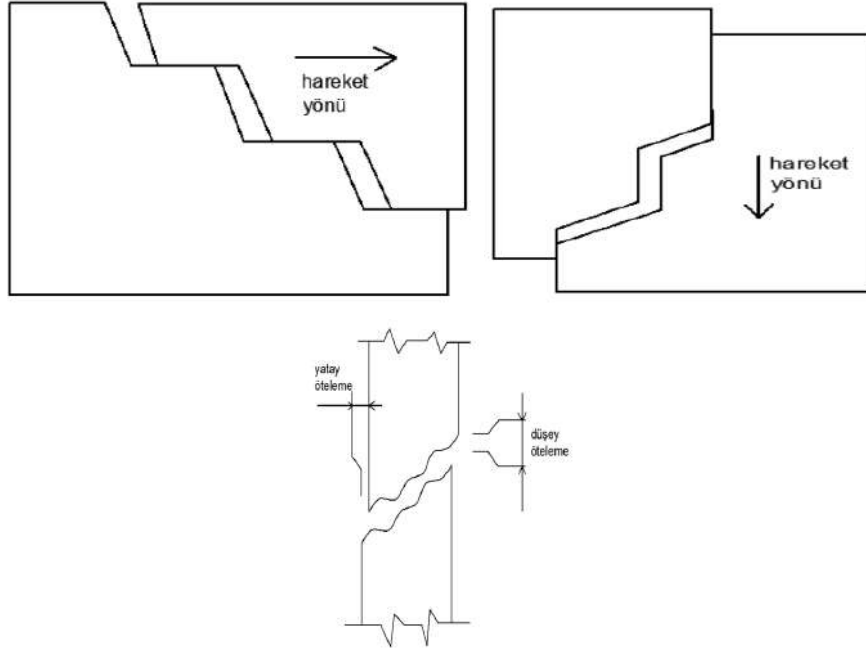
Betonarme bir taşıyıcı elemanda meydana gelen yapısal çatlaklar, o bölgedeki çekme kuvvetlerini göğüsleyen çelik donatının akma sınırına ulaştığının ve kalıcı (plastik) uzama yaptığının bir kanıtıdır. Bazen donatılar plastik deformasyon aşamasında **pekleşme** göstererek daha yüksek gerilmeler taşımaya başlayabilir. Bu durum çatlağın daha fazla genişlemesini geçici olarak önler ve sistemi yeni bir denge konumuna ulaştırır.

Sisteme gelen aşırı yükler, oluşan bu çatlaklar vasıtasıyla bir nevi enerji salınımı (histerezis) yoluyla tüketilir. Çatlak genişlemesini durdurup dengeye gelse bile, bu durum biriken sismik veya statik enerjinin ilerleyen süreçte çatlağı daha çok büyütürken elemanı ani bir çöküşe (göçmeye) götürmesine engel değildir. Bu döngü nedeniyle yapısal çatlakların mühendislik yöntemleriyle onarılması bir zorunluluktur.

Çatlak Oluşumuna Yol Açan Çevresel ve İçsel Faktörler

Yapılarda çatlak oluşumuna sebebiyet veren dinamikler sadece dış yüklerle sınırlı olmayıp oldukça çeşitlidir:

- **Sıcaklık ve Sünme Etkileri:** Betonarme bünyesinde termal değişimler (ısı) ve zamana bağlı sünme (creep) gibi iç gerilmeler neticesinde çatlaklar gelişebilir. Bu iki etki genellikle bir arada görülür ve beton yüzeyinde birbirini dik açılarla kesen, düzgün bir ızgara (rötre) biçimi oluşturur.
- **Korozyon Çatlakları:** Çelik donatının beton yüzeyine çok yakın yerleştirilmesi (yetersiz paspayı) sonucunda, dış çevre etkileriyle donatı paslanır. Paslanan çelik hacimsel olarak genişler ve betonu içeriden dışarıya doğru iterek beton kabuk tabakasında boylamasına paralel çatlaklar meydana getirir.
- **Zemin ve Yük Değişimleri:** Temel zeminindeki mevsimsel kuruma ve ıslanma döngüleri, zeminde hacimsel değişimlere (şişme/oturma) yol açar. Bu durum yapı genelinde açılıp-kapanan periyodik çatlaklar üretir.



Şekil 2.8.2 Çatlak Oluşum Şekilleri

Genel bir kural olarak, yapısal çatlakların neredeyse tamamı dinamik bir karaktere sahip olup açılıp-kapanma eğilimindedir. Örneğin sıcaklık dalgalanmaları genleşme çatlaklarının, değişken hareketli yükler ise eğilme çatlaklarının sürekli çalışmasına (hareket etmesine) neden olur. Aslında kılcal düzeyde de olsa çatlaksız bir betonarme elemanın varlığı teorik olarak mümkün değildir; mühendislik açısından önemli olan çatlağın morfolojisinden (biçiminden ve doğrultusundan) yola çıkarak arkasındaki kök nedeni doğru teşhis etmektir.

Taşıyıcı Elemanların Hasar Derecelendirmesi

Yapılan saha incelemelerinde, taşıyıcı elemanlarda tespit edilen hasarların ciddiyetini standart bir dille ifade edebilmek amacıyla aşağıdaki derecelendirme tablosu esas alınır:

HASAR DERECEŚİ	TAŞIYICI ELEMANLARIN FİZİKSEL HASAR DURUMU
I	Beton yüzeyinde gözle zorlukla seçilebilen, yapısal olmayan kılcal ve ince çatlaklar (<i>Çatlak genişliği 0.2 mm'den az</i>).
II	Beton yüzeyinde gözle açıkça görülebilen, yük etkisini yansıtan belirgin çatlaklar (<i>Çatlak genişliği yaklaşık 0.2 mm ile 1.0 mm arası</i>).
III	Beton kabuğunda yerel ezilmelerin ve parça dökülmelerinin başladığı, önemli derecede büyük çatlaklar (<i>Çatlak genişliği yaklaşık 1.0 mm ile 2.0 mm arası</i>).
IV	Betonda donatı çubuklarının çıplak gözle görünecek derecede ağır ezilmesi, beton kabuk tabakasının tamamen patlayarak ayrılması ve boyuna donatı çubuklarında burkulma/eğilme (şaryaj) oluşması.
V	Betonun iç çekirdek (sargılı) bölgesinin tamamen ezilerek mukavemetini kaybetmesi; kolonda/duvarda gözle görülür kalıcı düşey deformasyon ve eksenel kısalma; döşemede ise net olarak fark edilen oturma, sehim ve/veya fonksiyon kaybı yaratan eğimlerin oluşması.

Yapı Tipolojilerine Göre Sık Karşılaşılan Yapısal Zafiyetler

Bir binanın deprem güvenliğinin saptanmasında, mevcut taşıyıcı sistemin yapısal tipolojisi (türü) en belirleyici roldedir. Bu nedenle rölöve çalışmalarında sistem tipinin doğru tanımlanması gerekir. Ülkemizdeki mevcut yapı stoğunda taşıyıcı sistemler genellikle **betonarme çerçeveli**, **betonarme perdeli** ve kırsal/eski yerleşimlerde **yığma** binalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerde en sık rastlanan tipik hasarlar ve yapısal problemler şu şekildedir:

1. Betonarme Çerçeve Binalar (Kolon-Kiriş Sistemleri)

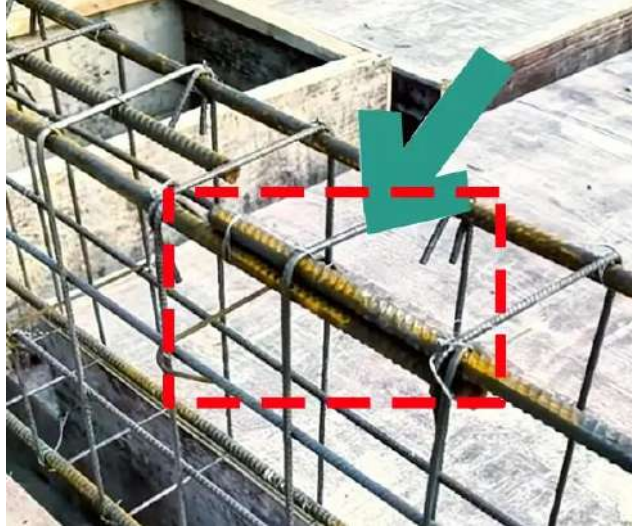
Ülkemizde en yaygın kullanım ağına sahip, konuttan iş merkezlerine kadar her alanda tercih edilen bu sistemlerde kronik olarak şu zafiyetlerle karşılaşılır:

Yetersiz Etriye Sıklaştırması: Kolonlarda etriye aralıklarının çok büyük tutulması, çekirdek betonunun yanıl sargılanma (basınç) etkisini düşürür. Deprem esnasında beton erken aşamada ezilir, elemanın süneklik kapasitesi tükenir ve erken gevrek göçme meydana gelir.



Şekil 2.8.3 Yetersiz Etriye Aralığından dolayı hasar alan bir kolon

Hatalı Donatı Ekleri ve Yetersiz Aderans: Kolon ve kiriş boyuna donatılarının ek yerlerinde (özellikle kat geçişlerinde) yeterli kenetlenme boyunun sağlanmamış olması, bu kritik bölgelerin taşıma kapasitesini sıfırlayarak elemanların birbirinden ayrılmasına sebep olur.



Şekil 2.8.4 Yanlış Bindirme boyu imalatı

Kesme (Kayma) Donatısı Eksikliği: Eğilme donatısına kıyasla kesme donatısının (ettriye) yetersiz veya kancasız yapılması, binanın sünek eğilme davranışı gösteremeden, ani ve tehlikeli bir **kesme göçmesine** maruz kalmasını tetikler.

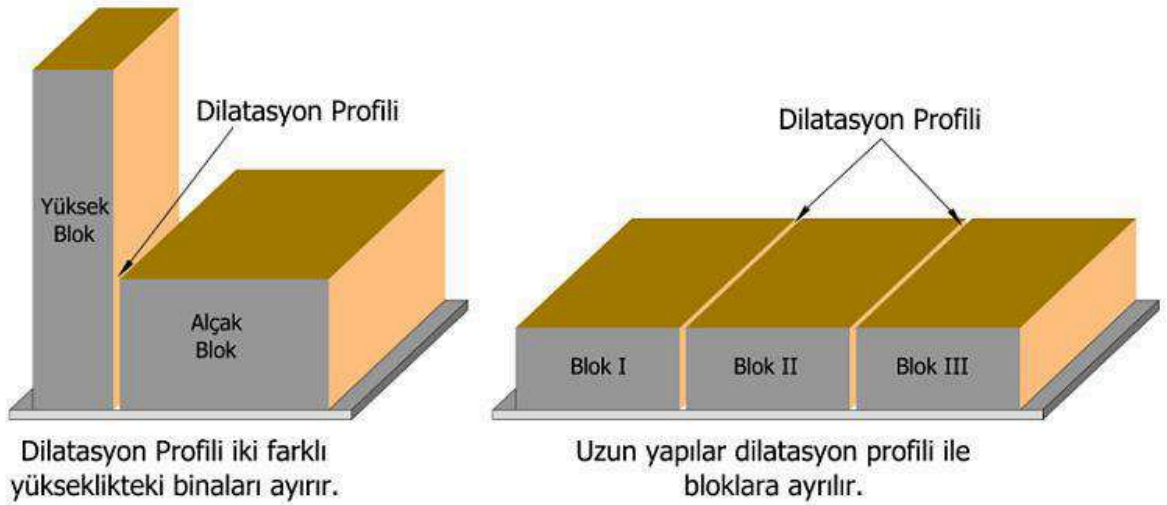
Düğüm Noktası (Kolon-Kiriş Birleşimi) Zafiyetleri: Kiriş ve kolonların birleştiği panel bölgelerine ettriye konulmaması, deprem kesme kuvvetleri altında birleşim bölgelerinin tamamen parçalanarak katların üst üste göçmesine (sandviç göçme) yol açar.



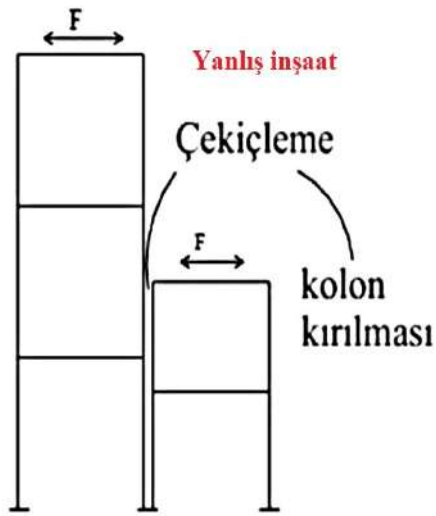
Şekil 2.8.5 Kolon Kiriş Düğüm Noktası

Yatay Rijitlik Yetersizliği: Sadece çerçevelerden oluşan sistemlerin yatay rijitliği düşüktür. Bu durum deprem anında yapının çok büyük yanıl yer değıştirmeler (ötelenmeler) yapmasına ve taşıyıcı olmayan tuğla duvarlarda ağır hasarlar oluşmasına neden olur.

Yetersiz Deprem Derzi (Çekiçleme Etkisi): Bitişik nizam inşa edilmiş komşu binalar arasında yeterli sismik derz boşluğunun bırakılmaması, deprem esnasında binaların farklı fazlarda sallanarak birbirini dövmesine (çekiçleme hasarı) sebebiyet verir.



Şekil 2.8.6 Dilatasyon Profili Şematik gösterimi



Çekiçleme etkisinin Şematik gösterimi



Dilatasyon Boşluğunun gizlenmesi

Şekil 2.8.7 Dilatasyon Derzi ve Çekiçleme Etkisinin Gösterimi

2. Betonarme Perdeli Binalar

Çerçevesiz sistemlere kıyasla yatay rijitlikleri ve deprem dirençleri oldukça yüksek olan yapılardır. Ancak bu yüksek ve rijit binalarda da tasarım veya imalat hatalarına bağlı olarak şu hasarlar gözlemlenir:

- **Düşey Doğrultuda Süreksizlik:** Perde duvarların alt katlarda (özellikle dükkan katlarında) kesilmesi veya mimari kaygılarla kaldırılması, yapıda **yumuşak kat** oluşturarak ani göçmelere davetiye çıkarır.



Şekil 2.8.8 Yumuşak Kat Etkisinde Hasar alan bir bina

- **Plandaki Düzensizlikler (Burulma Etkisi):** Perdelerin bina planında asimetrik yerleştirilmesi, kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında büyük bir eksantrisite yaratarak yapıda ağır burulma hasarlarına yol açar.
- **Büyük Perde Boşlukları:** Tesisat veya mimari amaçla perdeler üzerinde açılan büyük, kontrolsüz boşlukların köşelerinde ciddi gerilme yığılmaları ve deprem sonrası çapraz çatlaklar meydana gelir.



Şekil 2.8.9 Perde beton taşıyıcı eleman içinde kontrolsüz açılan tesisat geçişleri.

- **Soğuk Derz (İmalat Derzi) Kaymaları:** Beton döküm aşamalarında katlar arasında oluşan imalat derzlerinin temizlenmemesi ve pürüzlendirilmemesi, deprem anında perdenin bu derz çizgisi boyunca yatayda kayarak (kesme sürtünmesi göçmesi) işlevini yitirmesine sebep olur.



Şekil 2.8.9 Aderans zayıflığı nedeniyle derz hattı boyunca oluşan ayrılma ve çatlak gelişimi

- **Yetersiz Filiz ve Ek Boyları:** Perdelerin düşey donatılarında yeterli ek (kesme filizi) boyunun bırakılmaması eğilme çatlaklarının perdeyi erken tüketmesine neden olur.

3. Yığma Binalar

Taşıyıcı duvarların hem yük taşıyıcı hem de bölücü unsur olduğu, genellikle pencere üstlerinde betonarme lentoların ve kat seviyelerinde hatılların yer aldığı geleneksel yapılardır. Bu yapılardaki temel zafiyetler şunlardır:

- **Döşeme-Duvar Bağlantı Yetersizliği:** Döşemelerin veya döşemeyi taşıyan kirişlerin taşıyıcı duvarlara rijit bir şekilde kenetlenmemiş olması sistemin en zayıf halkasıdır. Yığma yapılarda tek bir taşıyıcı duvarın düzlem dışı yüklerle göçmesi, tüm binanın zincirleme olarak çökmesini tetikler.



Şekil 2.8.10 Yığma yapılarda diyafram etkisinin oluşmaması nedeniyle duvar devrilmesi

- **Düşük Harç Kalitesi:** Duvar örgüsünde kullanılan çimento/kireç harcının kayma ve çekme dayanımının çok düşük olması, duvarların yatay deprem yükleri karşısında diogonal (X şeklinde) kesme çatlaklarıyla hızla dağılmasına yol açar.



Şekil 2.8.11 Düşük dayanımlı harç nedeniyle yığma duvarda oluşan diyagonal kesme çatlakları.

- **Narinlik ve Düzlem Dışı Göçme:** Kat yüksekliğine oranla kesit olarak ince tutulmuş taşıyıcı duvarlar, deprem esnasında kendi düzlemine dik yönde gelen sismik ivmelere karşı koyamayarak dışa doğru devrilir ve göçer.

Yapı Denetiminin Yapısal Güvenlikteki Rolü

Bir yapının statik ve betonarme hesapları, mühendislik projeleri ve detay çizimleri teoride ne kadar kusursuz ve ileri düzeyde olursa olsun, inşaat aşamasında sahadaki imalatların denetimine gereken özen gösterilmediği müddetçe bu projelerin hiçbir hükmü kalmayacaktır.

Denetimsiz bırakılan şantiyelerde ortaya çıkan işçilik kusurları, betonun sulanmaması, donatının eksik veya hatalı yerleştirilmesi gibi yapısal kusurların hasar üretmesi için büyük bir depremin meydana gelmesine gerek yoktur; yapı kendi servis yükleri altında dahi zamanla zamana bağlı hasarlar üretecektir. İmalat aşamasındaki kontrolsüzlük ve denetim yetersizliği, en az şiddetli bir deprem sarsıntısı kadar yıkıcı sonuçlar doğurmakta, yapıların durduğu yerde kısmen veya bütünüyle göçmesine neden olmaktadır. Bu doğrultuda, güvenli bir yapı ancak **nitelikli bir proje tasarımı ile kesintisiz ve tavizsiz bir saha denetim mekanizmasının** ortak sinerjisiyle inşa edilebilir.

2.9. YAPIDA KOROZYON DURUMU VE KOROZYON HASARI ONARIMI

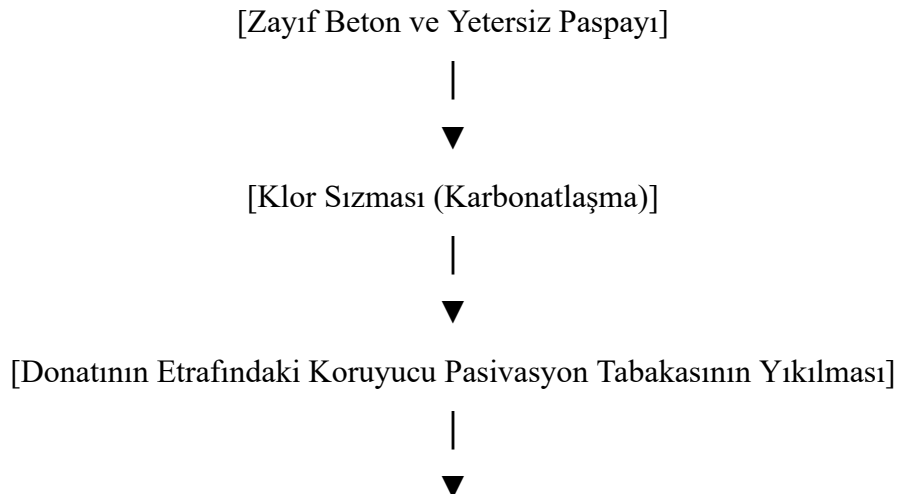
Büyük finansal yatırımlar ve yoğun mühendislik emekleri ile inşa edilen betonarme yapıların, tasarım ömürlerini tamamlayamadan çok kısa sürelerde taşıma kapasitelerini yitirmelerinin en büyük nedenlerinden biri **korozyon** olgusudur. Yapı ve can güvenliği açısından en az deprem kadar sinsi ve yıkıcı bir tehdit olan donatı korozyonuna karşı geçmişte yeterli önlemlerin alınmadığı; özellikle beton kalitesine ve donatı paspayı (beton örtüsü) kalınlıklarına gereken özenin gösterilmediği bilinmektedir. Korozyon süreci başladıktan sonra, gerekli müdahale yapılmadığı takdirde yaklaşık **8 ile 10 yıl** gibi kısa bir süre içinde yapı elemanları tüm taşıyıcı fonksiyonlarını yitirme noktasına gelebilmektedir.

Yapıda Korozyon Oluşum Mekanizmaları ve Çevresel Etkenler

Betonarme bir yapıda betonun ve içindeki çelik donatının korozyona uğramasına yol açan temel çevresel etkenler ve kimyasal mekanizmalar şu şekilde özetlenebilir:

- **Atmosferik ve Çevresel Etkiler:** Açık hava koşulları, asit yağmurları, kar, donma-çözünme döngüleri ve sürekli güneş radyasyonu beton yüzeyini zamanla yıpratır.
- **Deniz Suyu ve Agresif Kimyasallar:** Yapının doğrudan deniz suyuna veya endüstriyel atıkların yoğun olduğu kimyasal etkilere maruz kalması süreci hızlandırır.
- **Sülfat ve Klor Atakları:** Zeminden veya dış çevreden gelen sülfat tuzlarının betona hücum etmesi beton bütünlüğünü bozar. Klor iyonlarının (Cl^-) beton gözeneklerinden sızarak donatı yüzeyine ulaşması ise paslanmayı başlatan en agresif unsurdur.

Betonarme bir yapı için en olumsuz çevre koşulları; **aşırı tuz oranı, yüksek sıcaklık ve yoğun nem (rutubet)** kombinasyonudur. Bu tür agresif bir çevre ile kötü inşaat uygulamaları ve zayıf beton kalitesi birleştiğinde şu kimyasal süreçler meydana gelir:



[Oksijen ve Nem Eşliğinde Elektrokimyasal Reaksiyon (Paslanma)]

Korozyonun Yapısal Güvenlik ve Ani Göçme Riskleri Üzerindeki Etkileri

Korozyon reaksiyonu neticesinde çelik donatı oksitlenerek paslanır. Bu durum yapı üzerinde zincirleme olarak şu yapısal zafiyetleri doğurur:

1. **Hacim Genişlemesi ve Betonun Patlaması:** Paslanan çeliğin hacmi, orijinal donatı hacminin birkaç katına kadar genişler. Bu içsel hacim artışı betonarme eleman içinde muazzam bir çekme gerilmesi yaratır. Zaten zayıf olan veya yetersiz kalınlıkta bırakılan paspayı (beton örtüsü) tabakası bu gerilmeye dayanamayarak çatlaklar, parçalanır ve dökülür.



Şekil 2.9.1 Paslanan demirin hacminin 4 ila 6 kat genişleyerek içsel basınç oluşturmamasını, beton kabuğunun çatlatmasını ve en sonunda paspayının tamamen dökülmesi

2. **Kritik Kesit Kayıpları:** Beton örtüsü dökülen donatı, dış çevreye tamamen savunmasız hale gelir. Zamanla boyuna donatıların ve enine etriyelerin eksenel kesit alanları dramatik şekilde azalır, hatta bazı noktalarda donatı çeliği tamamen yok olur.



Şekil 2.9.2 Beton örtüsünün dökülmesi sonucu donatının çevresel etkilere açık hale gelmesi.,

3. **Sargılama Etkisinin Yitirilmesi ve Burkulma:** Kesitini kaybeden etriyeler görevini yapamaz hale geldiğinde, kolonlardaki sargılama (konfayman) etkisi ortadan kalkar. Düşey yükleri taşıyan boyuna donatılar, üzerlerine gelen gerilmeler karşısında yanıl desteklerini kaybettikleri için aniden burkulur (şaryaj).



Şekil 2.9.3 Deprem etkisi altında betonarme çerçevede kolonlarda sargılama kaybı ve burkulma hasarı.

4. Kritik Kısa Kolon Göçmesi Riski:

Özellikle su basman seviyesinin altında kalan ve toprak/nem ile doğrudan temasta olan bodrum kat kolonları bu durumdan en çok etkilenen elemanlardır. Korozyon nedeniyle etriyeleri yok olan ve boyuna donatı kesiti yetersiz hale gelen bu elemanlar, kötü kalitedeki

betonu da patlatarak **aniden burkular**. Bu durum yapıda ani düşey yer değiştirmelere (oturmalara) ve dolayısıyla binanın deprem dahi olmadan, durduğu yerde kısmen veya bütünüyle göçmesine neden olur. Günümüz deprem bölgelerinde yapılan incelemelerde bu sorunun, doğrudan sismik sarsıntı hasarları kadar yaygın ve tehlikeli bir yapısal problem olduğu net olarak görülmektedir.



Şekil 2.9.4 Bodrum kat kolonlarında nem ve rutubetten dolayı beton örtüsünün bozulması ve paslanmanın meydana gelmesi

Korozyon Hasarı Onarım Yöntemleri

Korozyon etkisi tespit edilen yapılarda, hasarın derinliğine ve donatıdaki kesit kaybına bağlı olarak iki farklı onarım stratejisi izlenir:

1. İleri Düzeyde Olmayan (Hafif) Korozyon Onarımı

Donatının korozyona uğrama derecesi ileri boyutta değilse ve bu durum binanın sadece bodrum katındaki belirli elemanlarda lokal olarak saptanmışsa, bina genelini kapsayan ağır bir güçlendirme projesine ihtiyaç duyulmayabilir. Bu durumda şu lokal onarım protokolü uygulanır:

- Eleman üzerindeki gevşek ve niteliksiz beton uzaklaştırılarak donatı tamamen açığa çıkarılır.
- Donatı üzerindeki pas tabakası tel fırçalar, raspalar veya kumlama yöntemleri ile tamamen temizlenerek parlak çelik yüzeyine ulaşılır.
- Temizlenen donatının üzerine, gelecekte korozyonu önleyecek (antikorozif) ve beton ile çelik arasındaki kenetlenmeyi (aderansı) kesinlikle zedelemeyen özel koruyucu kimyasal astarlar sürülür.
- Son aşamada, eleman yüksek dayanımlı ve büzülme yapmayan **hazır tamir harçları** ile kapatılarak orijinal geometrisine kavuşturulur.

2. İleri Düzeyde Korozyon ve Kesit Kaybı Onarımı

Eğer korozyon ilerlemiş, donatının faydalı kesit alanında ciddi azalmalar meydana gelmişse elemanın yapısal olarak takviye edilmesi zorunludur. Korozyon hasarı sadece bodrum katta yoğunlaşmışsa, **taşıyıcı sistemin simetrisine ve rijitlik merkezinin korunmasına** azami dikkat gösterilerek bodrum kat kolonlarının betonarme gömlek ile **mantolanması** etkili bir çözüm sunacaktır. Mantolama esnasında sisteme yeni boyuna ve enine donatılar eklenerek korozyonla kaybedilen taşıma kapasitesi fazlasıyla geri kazanılır.

Korozyonu Önleyici ve Koruyucu Teknik Tedbirler

Gelecekte korozyon hasarlarının oluşmasını engellemek ve yapıların ekonomik ömürlerini güvence altına almak adına, özellikle su basman seviyesi altında ve zeminle temasta olan yapı elemanlarında şu teknik kriterlere harfiyen uyulmalıdır:

UYGULAMA PARAMETRESİ	GEREKLİ TEKNİK KRİTER VE STANDARTLAR
Minimum Beton Sınıfı	Zeminle temas eden tüm elemanlarda en az BS 25 (C25/30) veya daha yüksek dayanımlı betonlar kullanılmalıdır.
Minimum Paspayı	Çevresel agresif etkiler ve zemin teması göz önüne alınarak paspayı kalınlığı en az 50 mm düzeyinde tutulmalıdır.
Yalıtım ve İzolasyon	Temel ve bodrum duvarlarında suyun betona nüfuz etmesini engelleyecek kusursuz su ve nem yalıtımı (membran, sürme yalıtım vb.) yapılmalıdır.
Beton Katkı Maddeleri	Beton imalatı esnasında korozyon inhibitörü (önleyici) katkı maddeleri tercih edilmelidir.
Kimyasal Sınırlandırmalar	Betonda kullanılan diğer akışkanlaştırıcı veya priz hızlandırıcı katkılarda kesinlikle klor bulunmamalı veya yasal standartların altında olmalıdır.
Donatı Koruyucu Kaplamalar	Ağır çevre şartlarında donatı çeliği, fabrikasyon olarak epoksi veya benzeri koruyucu kimyasal maddelerle kaplanmalıdır.
Geri Dolgu Malzemesi Niteliği	Temel kazısı sonrası yapılacak çevre dolgularında kullanılacak malzemenin sülfat tuzları ve klor içermemesine dikkat edilmelidir.

BÖLÜM 3

3.1. Hasar Sınıflandırmaları ve Değerlendirme Kriterleri

Hasar Sınıflandırmaları ve “Beklenen Düzeyin Üzerindeki Hasar” Kavramı

Yapı mühendisliğinde ve sismik performans değerlendirmelerinde, bir binanın hasar durumunun doğru analiz edilebilmesi için hasarın boyutu, niteliği ve ortaya çıkış biçimi belirli kriterlere göre sınıflandırılmalıdır. Bu kapsamda teorik beklentiler ile sahadaki fiili durum arasındaki farkları açıklayan en temel kavramlardan biri **"beklenen düzeyin üzerindeki hasar"** olgusudur.

1. Beklenen Düzeyin Üstünde Hasar Kavramı

Bu düzeydeki hasar, yapının sismik etkilere karşı koyabilecek yeterli tasarım, malzeme ve işçilik dayanımına sahip olmamasının doğrudan bir sonucudur. Sismoloji ve yapı mühendisliği standartlarına göre, belirli bir deprem şiddetinde meydana gelmesi öngörülen hasar sınırlarının aşılması durumu, "beklenen düzeyin üzerinde hasar" olarak tanımlanır.

Örnek: Düşük sismik ivmeye sahip **VI (Altı) şiddetindeki** bir depremde, bir binanın taşıyıcı sistem elemanlarında plastik mafsallaşmalar (kalıcı dönme ve mafsallı mekanizma oluşumu) meydana gelmişse, bu durum kesinlikle beklenen düzeyin üzerinde bir hasardır. Çünkü mühendislik teorisinde taşıyıcı sistemdeki yaygın mafsallaşma ve kapasite tükenmesi davranışının, ancak çok daha şiddetli olan en az **VIII - IX (Sekiz - Dokuz) şiddetindeki** büyük depremlerde ortaya çıkması beklenmektedir.

Tarihsel İnceleme: 1992 Erzincan Depremi

Ülkemizde bu kavramın en somut örnekleri **1992 Erzincan Depremi** sonrasında yapılan teknik incelemelerde açıkça gözlemlenmiştir. Hasar gören veya tamamen yıkılan binalar üzerinde yürütülen laboratuvar ve saha araştırmaları, yapıların neden beklenen düzeyin üzerinde hasar aldığını şu çarpıcı verilerle ortaya koymuştur:

- İncelenen pek çok yapıda, fiili beton basınç dayanımlarının orijinal statik projede öngörülen hedef mukavemet değerlerinin çok altında kaldığı saptanmıştır.
- Yapılarda kullanılan mevcut donatı (çelik) miktarlarının, betonarme projede gösterilen donatı miktarlarına kıyasla **%25 ile %50 arasında değişen oranlarda eksik** konulduğu (donatının çalındığı veya hatalı uygulandığı) tespit edilmiştir.

2. Çatlak Boyutunun Taşıma Kapasitesi İle İlişkisi

Hasar tespit çalışmalarında yapı elemanları üzerinde saptanan çatlakların genişliği, elemanın kalan mukavemeti ve bütünlüğü hakkında mühendise doğrudan bilgi verir:

- **Milimetre Düzeyindeki Çatlaklar:** Genişliği milimetre mertebelerinde veya daha az olan çatlaklar, ilgili yapı elemanında henüz doğrusal (elastik) sınırların çok fazla aşılmadığını, elemanın taşıma gücü kaybının ya hiç olmadığını ya da ihmal edilebilir düzeyde az olduğunu gösterir.
- **Santimetre Düzeyindeki Çatlaklar:** Genişliği santimetre mertebelerine ulaşmış olan derin ve ayrıık çatlaklar, elemanın taşıma gücünü ve bütünlüğünü çok büyük oranda kaybettiğinin, donatının akma sınırını geçerek plastikleştiğinin somut bir kanıtıdır.

3. Geometri, Boyut ve Biçim Değişiklikleri (Ağır Hasar Belirtileri)

Yük etkisi altındaki bir taşıyıcı elemanın geometrisinde, boyutlarında ve fiziksel biçiminde meydana gelen kalıcı değişimler, hasarın ağırlık derecesini (ciddiyetini) belirleyen en radikal parametrelerdir. Ağır yapısal hasarın göstergesi olan tipik boyut ve biçim değişiklikleri şu şekilde sıralanmaktadır:

- **Şakulden Kalıcı Sapmalar:** Düşey taşıyıcı elemanın (kolon veya perdenin) kendi serbest boyunun **1/500'ünü aşan** oranda şakulden (düşey eksenden) kalıcı olarak kaçıklık yapması ve eğilmesi.
- **Çekirdek Betonunun Dağılması:** Sadece dıştaki beton örtünün (paspayının) dökülmesiyle kalmayıp, elemanın aksenal yükünü taşıyan sargılı iç çekirdek bölgesinden büyük beton parçalarının kopup düşmesi.



Şekil 3.1.1 Betonarme elemanda çekirdek betonun dağılması ve taşıyıcı kapasitenin tamamen kaybolması.

- **Donatı ve Etriye Zafiyetleri:** Boyuna doğrultudaki ana taşıyıcı donatılarda meydana gelen aksenal burkulmalar (şaryaj) ve enine kesme donatılarının (etrijelerin) kancalarından açılarak işlevsiz kalması.



Şekil 3.1.2 Deprem etkisi altında etriye kancalarının açılması ve sargılama etkisinin kaybolması.

- **Kolon Boy Kısalması:** Kolon betonunun yüksek aksenal basınç altında tamamen ezilmesi ve içindeki boyuna donatıların burkulması sonucunda kolonun boyunda gözle görülür kalıcı kısaltmaların meydana gelmesi.
- **Kiriş Deformasyonları:** Yatay taşıyıcı elemanlar olan kirişlerde aksenal dönmelerin (torsiyonel burulma) ve limitleri çok aşan kalıcı aşırı sehimlerin (bel verme) oluşması.



Şekil 3.1.3 Betonarme kirişlerde deprem etkisiyle oluşan aşırı sehim ve kalıcı deformasyon.

MSK Şiddet Cetveli ve Hasar İlişkisi

Depremlerin büyüklüğü (magnitüd), sismograflarla ölçülen nesnel bir enerji değerini ifade ederken; depremin **şiddeti**, sarsıntının insanlar üzerindeki algılanma derecesine, mühendislik yapıları üzerindeki hasar yapıcı etkilerine ve arazi (yeryüzü) üzerindeki fiziksel değişimlerine göre belirlenen öznel ve ampirik bir ölçektir.

Dünya genelinde ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan **MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) Şiddet Cetveli**, deprem şiddetini **I ile XII** arasındaki Romen rakamlarıyla sınıflandırır

1. Mühendislik Yapı Tiplerinin Sınıflandırılması

MSK ölçeğinde, sismik etkilere karşı özel bir mühendislik hizmeti olarak projelendirilmemiş yapılar, malzeme ve yapım tekniklerine göre üç ana gruba ayrılır:

YAPI TİPİ	YAPISAL SİSTEM ÖZELLİKLERİ VE MALZEME NİTELİĞİ
A Tipi	Kırsal konutlar, kerpiç binalar, kireç veya çamur harcı kullanılarak inşa edilmiş mülkiyetler, moloz taş duvarlı yapılar.
B Tipi	Standart tuğla yapılar, yarım kargir binalar, kesme taş mimarisi, beton briket yapılar ve hafif prefabrike binalar.
C Tipi	Mühendislik tasarımı barındıran betonarme yapılar ve tekniğine uygun olarak iyi inşa edilmiş ahşap binalar.

2. Yapılardaki Hasar Grupları ve İstatistiki Oranlar

MSK cetveli kapsamında, yapı elemanlarında gözlemlenen deformasyonlar beş temel hasar grubuna ayrılmaktadır:

- **Hafif Hasarlar:** İnce sıva çatlaklarının oluşması ve küçük sıva parçalarının dökülmesi.
 - **Orta Hasar:** Duvarlarda küçük ölçekli çatlakların belirmesi, nispeten büyük sıva parçalarının dökülmesi, çatı kiremitlerinin kayması, bacalarda çatlaklar oluşması ve bazı baca parçalarının düşmesi.
 - **Ağır Hasar:** Duvarlarda derin ve büyük çatlakların meydana gelmesi, taşıyıcı olmayan elemanların kısmen yıkılması ve bacaların bütünüyle devrilmesi.
 - **Yıkıntı:** Duvarların tamamen yarılmaması, binaların bazı bölümlerinin/katlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış yapısal bölümlerin birbirleriyle olan bağlantısını kaybetmesi.
 - **Fazla Yıkıntı:** Yapıların tamamen, bütünüyle yıkılarak enkaza dönüşmesi.
- Şiddet değerlendirmelerinde, hasar gören yapıların toplam yapı stoğuna olan sayısal oranları ifade edilirken şu istatistiki yüzdeler temel alınır:
- **Az sayıda yapı:** Yaklaşık **%5** oranına,
 - **Çok sayıda yapı:** Yaklaşık **%50** oranına,
 - **Pek çok sayıda yapı:** Yaklaşık **%75** oranına karşılık gelmektedir.

3. MSK Ölçeğine Göre Deprem Şiddetlerinin Detaylı Tanımları

MSK şiddet cetvelinde sarsıntının etkileri; **(a) insanlar üzerindeki algı, (b) yapılar üzerindeki hasar ve (c) arazi/doğa üzerindeki değişimler** olmak üzere üç alt başlıkta incelenir:

I. Duyulmayan

- **(a)** Titreşimler insan tarafından hiçbir şekilde duyulmaz ve hissedilmez. Yalnızca hassas sismograflarla kaydedilebilir.

II. Çok Hafif

- **(a)** Sarsıntılar sadece binaların en üst katlarında, tam dinlenme halinde olan çok az sayıdaki kişi tarafından zayıfça duyulur.

III. Hafif

- **(a)** Deprem ev içinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun atmosferik şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir kamyonetin meydana getirdiği sallantıya benzer. Üst katlardaki asılı eşyalarda hafif sallantılar izlenebilir.

IV. Orta Şiddetli

- **(a)** Deprem ev içinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, ağır yüklü bir kamyonun geçişi gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları tıkrırdar, döşeme ve duvarlardan çatlama sesleri gelir. Sabit mobilyalar titrer, asılı eşyalar sallanır. Açık kapılardaki sıvalar biraz dökülebilir. Seyir halindeki araç içindekiler hissetmez.

V. Şiddetli

- **(a)** Ev içinde herkes, dışarıda çok kişi hisseder. Uyumakta olanların büyük kısmı uyanır, panikle dışarı kaçanlar olur. Hayvanlar huysuzlanır. Yapılar baştan aşağı titrer, sarkaçlı saatler durur. Sabitlenmemiş eşyalar devrilebilir. Sıvılar kapılardan dökülür. Sarsıntı, ev içine ağır bir eşya düşmüş hissi yaratır.
- **(b)** A tipi yapılarda hafif hasar gözlenebilir.
- **(c)** Kaynak sularının debisinde değişimler yaşanabilir.

VI. Çok Şiddetli

- **(a)** Hemen herkes tarafından hissedilir. Birçok kişi korkarak dışarı kaçar, bazıları dengesini kaybetmekte zorlanır. Raflardaki kitaplar ve cam eşyalar düşüp kırılabilir. Ağır mobilyalar yer değiştirir.
- **(b)** A tipi yapıların çoğunda ve B tipi yapıların azında hafif hasar; A tipi binaların azında orta hasar oluşur.
- **(c)** Nemli zeminlerde **1 cm** genişliğinde çatlaklar belirebilir. Yamaç kaymaları ve yeraltı su seviyesinde oynamalar görülür.

VII. Hasar Yapıcı

- **(a)** Herkes korkuyla dışarı kaçar, oturduğu yerden kalkmakta güçlük çekenler olur. Sürücüler sarsıntıyı bariz şekilde hisseder.

- **(b)** C tipi binaların çoğunda hafif hasar, B tipi binaların çoğunda orta hasar, A tipi binaların çoğunda ağır hasar ve azında yıkıntı meydana gelir.
- **(c)** Akarsu ve göl suları bulanır. Yollarda çatlamlar, heyelanlar oluşur. Yeraltı boru hatları ek yerlerinden hasar alabilir, taş duvarlarda yarıklar açılır.

VIII. Yıkıcı

- **(a)** Toplumsal panik ve korku hakimdir. Ağaç dalları kırılıp düşer. En ağır mobilyalar bile devrilir veya yer değiştirir.
- **(b)** C tipi yapıların çoğunda orta hasar, azında ağır hasar oluşur. B tipi yapıların çoğunda ağır hasar, A tipi yapıların çoğunda ise yıkıntı gözlenir. Abideler, heykeller burkulur veya düşer; mezar taşları devrilir, boru ek yerleri kırılır.
- **(c)** Dik şevlerde ve vadi içlerinde yer kaymaları oluşur. Zeminde santimetre ölçüsünde çatlaklar açılır. Kuyularda su seviyeleri radikal şekilde değişir.

IX. Çok Yıkıcı

- **(a)** Genel panik durumudur. Hayvanlar kontrolsüzce kaçar.
- **(b)** C tipi yapıların çoğunda ağır hasar, azında yıkıntı; B tipi yapıların çoğunda yıkıntı, azında fazla yıkıntı görülür. A tipi yapıların çoğunda fazla yıkıntı yaşanır. Baraj bentlerinde ağır hasarlar oluşur, demiryolu rayları bükülür, toprak altındaki borular tamamen kırılır.
- **(c)** Düzlük arazilerde kum, çamur ve su fışkırmaları (sıvılaşma belirtileri) görülür. Zeminde **10 cm** genişliğe ulaşan yarıklar açılır. Kaya düşmeleri yaygınlaşır.

X. Ağır Yıkıcı

- **(b)** C tipi yapıların çoğunda yıkıntı, azında fazla yıkıntı görülür. B tipi yapıların çoğunda fazla yıkıntı, A tipi yapıların ise pek çoğunda fazla yıkıntı (tamamen yıkılma) saptanır. Köprüler, barajlar ve altyapı tesisleri ağır hasar alarak kullanılmaz hale gelir. Asfalt yollarda büyük dalgalanmalar ve kasisler oluşur.
- **(c)** Zeminde **1 metre** genişliğe varan devasa yarıklar açılabilir. Nehir ve göl suları karaya taşar, heyelanlar sebebiyle yeni baraj gölleri oluşabilir.

XI. Çok Ağır Yıkıcı

- **(b)** Çok iyi inşa edilmiş modern binalarda, köprülerde, baraj hatlarında ve demiryollarında tehlikeli ve geri döndürülemez hasarlar oluşur. Tüm yeraltı ve yerüstü şebekeleri tamamen kırılır.
- **(c)** Yeryüzü, yatay ve düşey doğrultudaki muazzam hareketler neticesinde geniş yarıklar tarafından bütünüyle bozulur. Büyük ölçekli dağ kaymaları meydana gelir.

XII. Yok Edici (Manzara Değişir)

- **(b)** Pratik olarak toprağın altında ve üstünde bulunan tüm mühendislik yapıları istisnasız baştan başa yıkılarak yok olur.

- (c) Yer yüzeyi tanınmayacak şekilde bütünüyle değişir. Geniş tektonik yarıklar boyunca büyük ötelenmeler net olarak izlenir. Nehir yatakları değişir, yeni çağlayanlar ve devasa göller meydana gelir.

4. Modern Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İlkeleri

Modern yapı şartnameleri ve mühendislik felsefesi, binaların ekonomik ömürleri boyunca sismik etkilere karşı sergilemesi gereken performans hedeflerini üç temel felsefe üzerine kurmuştur:

1. Hafif Şiddetteki Depremler: Yapının ekonomik ömrü boyunca sıkça karşılaşabileceği düşük şiddetli sarsıntılarda, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda **hiçbir hasarın oluşmaması** esastır. Yapı tamamen elastik sınırlar içinde kalmalıdır.

2. Orta Şiddetteki Depremler: Yapının maruz kalabileceği orta ölçekli sarsıntılarda, ana taşıyıcı iskelette hasar istenmez; ancak taşıyıcı olmayan fonksiyonel bölümlerde (bölme duvarlar vb.) **onarılabilir düzeyde hasar oluşması** kabul edilebilir.

3. En Şiddetli (Maksimum) Depremler: Yapının ömrü boyunca en çok bir kez karşılaşabileceği çok büyük sismik şoklarda, taşıyıcı elemanlarda **onarılması mümkün olmayan çok ağır hasarlar** meydana gelebilir. Ancak buradaki mutlak mühendislik hedefi; yapının ani ve gevrek bir şekilde göçmesini engellemek, yani **can kaybına kesinlikle izin vermemektir** (Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi).

5. Sismik Şiddet Artışına Bağlı Yapısal Hasar İlerleyişi

Betonarme çerçeve sistemler ile dolgu tuğla duvarlar arasındaki rijitlik farkı, artan deprem şiddetlerine göre yapıda kronik bir hasar mekanizması başlatır. Bu mekanik ilerleyiş ve hasar dağılımı şu süreçlerden geçer:

V - VI Şiddet Kademesi (Başlangıç Hasarları)

- Özellikle binanın rijitlik talebinin yüksek olduğu alt katlarından başlamak üzere, taşıyıcı betonarme çerçeve (kolon-kiriş) ile dolgu tuğla duvarların birleştiği sınır çizgilerinde ayrılma çatlakları başlar.
- Bunun temel nedeni; betonarme çerçevenin esnek yapısı sebebiyle daha fazla elastik öteleme (yer değiştirme) yapma eğiliminde olması, ancak gevrek olan tuğla duvarın bu deplasmana ayak uyduramayıp sınır bölgelerinden çatlayarak ayrılmasıdır.

VI - VII Şiddet Kademesi (Belirgin Yapısal Sınır)

- Çerçeve ile duvar arasındaki boşluklar ve çatlaklar iyice genişler. Dolgu duvarların gövdesinde sismik kesme kuvvetlerinin etkisiyle **X şeklinde diogonal (çapraz) çekme çatlakları** neredeyse tüm açıklıklarda netleşir. Bu aşamada çatlakların genişliği duvarın arkasının görülebileceği (ışık sızacak) boyutlara ulaşabilir.
- Yapısal elemanlarda ise, özellikle binanın en çok eksenel yük taşıyan zemin kat kolonlarının ve kirişlerin uç noktalarında eğilme gerilmelerinden kaynaklanan çekme/basınç çatlakları ve lokal beton ezilmeleri baş gösterir.

IX - X Şiddet Kademesi (Sınır Durum ve Kapasite Tükenmesi)

- Dolgu duvarlardaki çapraz çatlaklar son safhasına ulaşır; duvar bütünlüğünü kaybederek tuğla parçaları etrafa dökülür ve duvar düzlem dışı devrilir.
- Kolonların alt ve üst sarılma bölgelerindeki eğilme çatlakları aşırı miktarda açılır; bu bölgelerdeki beton kabuk bütünüyle dökülerek eleman çekirdeği savunmasız kalır.
- Açığa çıkan boyuna donatılar, etriyelerin de kancalarından açılması neticesinde dışa doğru **aniden burkulur**. Kolonun net yatay ötelenmeleri gözle çok rahat fark edilecek kalıcı boyutlara ulaşır, çekirdek betonu ezilir ve kolon eksenel olarak kısılır.

6. Hasar Dağılımı ve Onarılabilirlik Analizi

Betonarme binalarda sismik kuvvetlerin ve deplasman taleplerinin doğası gereği, hasar dağılımı genellikle zemin ve bodrum katlarda yoğunlaşır; üst katlara doğru çıkıldıkça kat ötelemelerinin azalmasına bağlı olarak hasarın şiddeti de kademeli olarak düşer.

- **Onarılamaz Sınır (IX - X Şiddeti):** Yapının ana sismik taşıyıcı mekanizmasının bütünüyle çöktüğü, kolon elemanlarının geometrik formunu kaybettiği bu düzeydeki ağır hasarlar teknik ve finansal açıdan **onarılmaz (ağır hasarlı)** kabul edilir. Binanın yıkılması rasyonel çözümdür.
- **Onarılabilir Sınır (Düşük ve Orta Şiddetler):** Yapıda meydana gelen hasarlar eğer binayı genel bir rijit cisim dönmesine (şakulden aşırı kaçmaya) veya toptan göçme mekanizmasına ulaştırmamışsa, sistem teknik olarak kurtarılabilir. Bu durumlarda, korozyonlu ve çatlamış beton kısımlar temizlendikten sonra **kolonların betonarme olarak mantolanması** ve çerçeve açıklıklarına temelden çatıya kadar kesintisiz devam edecek **yeni betonarme perde duvarların eklenmesi** yöntemleri ile yapının onarım ve güçlendirilmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

HASAR DERECELERİNE GÖRE YAPI SINIFLARI

Deprem sonrasında veya yapısal inceleme süreçlerinde binalar, maruz kaldıkları hasarın derinliğine, eleman bazlı deformasyonlarına ve sistem genelindeki kalıcı yer değiştirmelerine bağlı olarak belirli sınıflara ayrılır. Bu sınıflandırma; acil kurtarma faaliyetlerinin ardından yapıların güvenli kullanılıp kullanılamayacağını, tahliye kararlarını ve uygulanacak onarım-güçlendirme projelerinin sınırlarını belirleyen en temel mühendislik kriteridir.

A Sınıfı: Hasarsız ya da Az Hasarlı Yapılar (Onarım Gerektirmeyen)

Bu sınıfa giren yapılarda ana taşıyıcı sistem elemanlarında (kolon, perde, kiriş) herhangi bir yapısal çatlak veya kalıcı deformasyon bulunmaz. Yapının tamamen hasarsız olması durumunun yanı sıra, özellikle taşıyıcı olmayan bölme duvarlarda veya sıva tabakasında meydana gelen kılcal çatlaklar (genişliği 1 mm 'den daha ince olan çatlaklar) da bu sınıf kapsamında değerlendirilir.

- **Yapısal Metrikler:** Hasarsız ya da dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasında yalnızca kılcal ayrılmaların gözlemlendiği bu yapılarda, kalıcı kat dönmesi ve yatay ötelenme miktarının kat yüksekliğine oranı olan bağıl ötelenme oranının **1/5000 ile 1/1000** civarında olduğu kabul edilir.
- **Yük Analizi:** Deprem esnasında hiç hasar görmemiş yapılarda, binaya etki eden gerçek sismik yükleri tam olarak belirlemek oldukça güçtür. Eğer binada ivmeölçer (akselerometre) cihazları kayıt yapmamışsa, yapıya gelen sismik kuvvetler, hesap yöntemiyle yapının tamamen elastik sınırlar içinde kalabileceği maksimum yatay yük düzeyi olarak kabul edilir. Yapının taşıma gücünde herhangi bir kayıp söz konusu olmadığından, kullanım aksamadan bina içinde yaşama devam edilebilir.

B Sınıfı: Az Hasarlı Yapılar (Mimari Onarım Gerektiren)

Bu sınıftaki binalar, sismik aktivite sonrasında esas taşıyıcı iskeletlerinde hasar barındırmayan, ancak yapısal olmayan elemanlarında kullanım konforunu ve estetiği bozan hasarlar almış yapılardır.

- **Hasar Karakteristiği:** Kolon, perde ve kirişlerde çatlak veya ezilme bulunmaz. Buna karşın tuğla, briket, asmolon gibi dolgu bölme duvarlarda belirgin **X şeklinde çapraz kesme çatlakları**, yaygın sıva dökülmeleri, pencere camlarının kırılması ve ağır/dengesiz ev eşyalarının devrilmesi gibi durumlar gözlemlenir.
- **Yapısal Metrikler:** Çerçeveler ile dolgu duvarlar arasında oluşan bu X çatlakları, yapının sismik yükler altında oldukça esnek davrandığını ve kat bölme duvarlarının elastik limitlerinin üzerinde zorlandığını gösterir. Bu hasar seviyesindeki kalıcı kat dönmesi oranının **1/350 ile 1/200** civarında olduğu saptanmıştır.
- **Mühendislik Yaklaşımı ve Karar Mekanizması:** * Eğer bu düzeydeki hasar, yapının tasarım ömrü boyunca karşılaşılabileceği **en şiddetli tasarım depreminde** meydana gelmişse, sadece bölme duvarların ve sıvanın düzeltileceği **mimari onarım** yeterli kabul edilir. Yapı içindeki yaşam aksamadan bu onarımlar yürütülebilir.
 - o Ancak bu seviyedeki bir hasar (B Sınıfı), binanın projesine göre çok daha küçük şiddetteki bir depremde (örneğin VII şiddetinde bir sarsıntıda) meydana gelmişse; yapı taşıyıcı eleman hasarı barındırmasa dahi sismik rijitlik ve yedek taşıma kapasitesi yönünden zayıf demektir. Bu durumda yapının deprem dayanımının artırılması, yani **bütüncül olarak güçlendirilmesi** gerekir.

C Sınıfı: Taşıyıcı Sistemin Onarım ve Güçlendirilmesi Gereken Hasarlı Yapılar

Bu düzeydeki yapılarda hem mimari elemanlarda hem de doğrudan binanın yük taşıyıcı iskeletinde (kolon, kiriş, düğüm noktaları) onarım ve takviye gerektiren yapısal hasarlar mevcuttur. Yapının genel güvenliği ciddi ölçüde azaldığından, binanın onarılmadan kullanılmasına kesinlikle izin verilmez.

- **Güvenlik ve Saha Protokolü:** Yapı, projelendirme ve uygulama süreçleri tamamlanıp teslim edilene kadar **kesinlikle kullanıma kapatılır**. Yapı içindeki eşyalar ancak teknik ekiplerin gözetiminde, kontrollü bir şekilde boşaltılabilir. Can güvenliği açısından tehlike arz eden hasarlı bölümler acil olarak geçici destek elemanları, iskeleler ve askı sistemleri ile tahkimat altına alınmalıdır. Bu sayede artçı sarsıntılarda hasarın büyümesi ve yapının D sınıfına (onarılmaz) geçmesi önlenir.
- **Eleman Düzeyinde C Sınıfı Kriterleri:** Bir elemanın C sınıfında (onarılabilir) kalabilmesi için **geometrik boyutlarını korumuş olması, kalıcı deformasyon ve öteleme miktarlarının sınırlı düzeyde kalması** gerekir.
 - **Kolonlarda:** Hasar öncesi kesit geometrisi bozulmamışsa ve boyuna donatılarda burkulma yaşanmamışsa eleman C sınıfıdır. Kolonlardaki kalıcı yatay ötelenmelerin kolon boyuna h oranı **1/100** sınırının altında kaldığında hasar onarılabilir aşamadır.
 - **Kirişlerde:** Kiriş uçlarında sismik yüklerden dolayı plastik mafsallaşmalar meydana gelmiş olsa bile, eğer boyuna donatılarda henüz burkulma/kopma yaşanmamışsa bu hasar onarılabilir (C sınıfı) kabul edilir.
- **Sistem Genelinde Değerlendirme:** Yapı genelinde az sayıdaki elemanın (örneğin 30 adet kolon bulunan bir binada yalnızca 2-3 kolonda) ağır hasar alması, yapının bütüncül olarak C sınıfında kalmasını sağlar. Kirişlerdeki hasarlar, kolonlara kıyasla yapısal kararlılık açısından daha az tehlikeli olduğundan daha kolay onarılabilir. C sınıfı hasarlı bir yapının nihai projesi, salt çatlak kapatma değil, yapının taşıma gücünü artıracak kalıcı bir **güçlendirme projesi** olmak zorundadır.

D Sınıfı: Onarılamaz Yapılar

Bu gruptaki binalar, ana sismik taşıyıcı mekanizmalarını tamamen yitirmiş, ağır yapısal deformasyona uğramış ve teknik bir mekanizma durumuna gelmiş yapılardır. Yapı tümüyle göçüp enkaza dönüşmemiş ve şans eseri can kaybı yaşanmadan boşaltılmış olsa dahi, binanın kurtarılma şansı yoktur.

- **Güvenlik ve Yıkım Protokolü:** Bu tür yapılara eşya boşaltmak dahil **hiçbir gerekçeyle giriş izni verilmez**. Artçı sarsıntılarda aniden toptan göçme riskleri çok yüksek olduğundan, çevre güvenliği alınmalı ve depremin ilk andaki acil kurtarma faaliyetleri tamamlandıktan hemen sonra **en kısa sürede yıkılmalıdırlar**.
- **Ekonomik ve Fiziki Sınır:** Bu binaların teknik olarak güvenli bir seviyeye getirilmesi fiziki olanakların dışındadır ya da onarım/takviye bedeli, yapının yeniden yapım

maliyetinin **%50'sinden fazlasına** denk gelmektedir. Financial ve teknik açıdan onarımları rasyonel değildir.

- **Eleman ve Sistem Düzeyinde D Sınıfı Kriterleri:**

- o **Eleman Düzeyinde:** Taşıyıcı elemanların geometrik boyutları tamamen bozulmuştur. Kolon içindeki boyuna donatılar deprem öncesi formlarından tamamen uzaklaşarak dışa doğru burkulmuş, etriyeler açılmış ve beton çekirdeği ezilmiştir. Bu durumdaki bir eleman yük taşıma fonksiyonunu tamamen kaybetmiştir. Kirişlerde ise boyuna donatıların kolon-kiriş panel bölgesinden (ek yerinden) tamamen sıyrılıp çıktığı hasarlar doğrudan D sınıfı (onarılmaz) kabul edilir.
- o **Sistem Düzeyinde:** Yapıdaki kalıcı yatay ötelenmelerin zemin kat yüksekliğinin **1/60'**ını aşması ve bu deplasmana zemin kat kiriş uçlarındaki yaygın mafsallaşmaların eşlik etmesi yapıyı doğrudan D sınıfına sokar. Yapı genelindeki kalıcı yatay ötelenme miktarı kat yüksekliğinin **1/50'sinden fazla** ise bina kritik sınırları aşmıştır; **ikinci mertebe (P-Delta) momentler** muazzam boyutlara ulaşmıştır ve yapı durduğu yerde devrilme riskine sahiptir.

C ve D Sınıfı Ayrımını Belirleyen Temel Mühendislik Parametreleri

Bir yapının bütünü için "Onarılabilir (C)" veya "Onarılamaz (D)" kararı verilirken inşaat mühendisinin mesleki sağduyusu, tecrübesi ve topladığı sayısal veriler etkilidir. Bu ayırmada şu 3 temel faktör rasyonel sınırı çizer:

1. **D Sınıfı Hasar Alan Elemanların Sayısı ve Oranı:** Binadaki ağır hasarlı kolon sayısının, toplam kolon sayısına oranı kritiktir. (Bu oranın %25 mi yoksa %50 mi olacağı mühendisin deneyimine bağlıdır; ancak kritik taşıyıcıların yaygınlığı kararı belirler).
2. **Kalıcı Kat Ötelenmesi ve Düşeyden Uzaklaşma Miktarı:** Yapının narinliği ve kat sayısı bu oranda etkilidir. Çok katlı yüksek yapılarda çok daha küçük Δ/h oranları yapıyı onarılamaz kılarken, alçak/az katlı binalarda görece daha büyük ötelenme oranları tolere edilebilir.
3. **Yapının Genel İmalat ve Beton Kalitesi:** Mevcut beton kalitesi çok kötü olan bir yapının onarılması ve takviye elemanları ile eski sistemin kaynaştırılması teknik olarak mümkün olmayacağından, bu binalar direkt olarak onarılamaz sınıfına dahil edilir.

YATAY YÜKLER ALTINDA BETONARME DAVRANIŞ TÜRLERİ

Betonarme yapıların orta şiddetteki depremlerden itibaren çatlaması ve plastik deformasyon yaparak enerji tüketmesi beklenen bir mühendislik yaklaşımıdır. Çatlak oluşumu, yapının plastik enerji tüketim mekanizmasının devreye girdiğinin bir kanıtıdır; tek başına binanın hemen yıkılacağı anlamına gelmez. Ancak çatlak sonrası yapının göstereceği davranış, binanın yapısal kalitesine göre iki farklı rota izler:

- **Rotasyon / Davranış Eğrisi I (Gevrek ve Ani Göçme):** Beton dayanımı düşük olan, etriye sıklaştırması bulunmayan, donatı kancaları 90 derece yapılmış ve yapısında perde duvar barındırmayan binalar bu rotayı izler. Çatlak başladıktan sonra yedek taşıma kapasitesi olmadığından yapı hızla mukavemetini kaybeder ve aniden gevrek olarak göçer. Maalesef ülkemizdeki eski yapı stoğunun büyük bir kısmı bu tehlikeli (I) nolu davranış modeline sahiptir.
- **Rotasyon / Davranış Eğrisi II (Sünek ve Enerji Tüketen):** Yüksek beton dayanımına, nizami etriye sıklaştırmalarına (135 derece bükümlü kancalar), yeterli donatı ankraj boylarına ve güçlü perde duvarlara sahip yapılar bu rotayı izler. Çatlak oluşuktan sonra elemanlar plastikleşerek sismik enerjiyi sönümler ve göçmeden ayakta kalmayı başarır (Yedek taşıma kapasitesi yüksektir).

Yapısal Davranışı Doğrudan Etkileyen 3 Temel Parametre:

1. **Taşıyıcı Sistem Tipolojisi:** Salt çerçeveli sistemler ile çerçeve+perde duvar kombinasyonlu sistemlerin yatay yük dirençleri tamamen farklıdır. Perdeler yapıların yatay ötelenmelerini kısıtlayarak ikinci mertebe etkilerin oluşmasını engeller. Bu sayede perde duvarlı bir binada beton kalitesi görece düşük olsa bile yapı sismik yüklere karşı başarılı bir duruş sergileyebilir.
2. **Beton Basınç Dayanımı:** Beton kalitesi düşük binalarda, yatay yükler altında beton ile donatı çeliği arasındaki kenetlenme (**aderans**) hızla kopar. Çelik çubuklar betonun içinden kolayca sıyrılır, elemanın "betonarme" karakteri yok olur ve yedek taşıma kapasitesi tamamen tükenir.
3. **Donatı Detaylandırma Kalitesi:** Boyuna donatıların yetersiz ankraj boyları ve enine donatıların (etriyelerin) uygun sıklıkta/135 derece kancalı olarak yerleştirilmemiş olması durumunda, kalıcı şekil değiştirmeler vasıtasıyla güvenli enerji tüketimi gerçekleşemez ve en küçük artçı sarsıntıda dahi yapı hızla göçme konumuna geçer.

YAPISAL HASARLARIN GENEL KATALOĞU

Yapılarda gözlemlenen tüm hasar mekanizmaları, mühendislik raporlarında genel olarak iki temel esasa göre kategorize edilerek incelenir:

Oluşum Nedenlerine ve Tetikleyici Kaynaklarına Göre:

- **Deprem Kaynaklı Hasarlar:** Sismik ivmelerin yarattığı dinamik yatay ve düşey kuvvetler neticesinde taşıyıcı elemanlarda oluşan kesme, eğilme ve burulma deformasyonlarıdır.

- **Zemin ve Oturma Kaynaklı Hasarlar:** Temel altındaki zemin tabakalarının homojen olmaması, yeraltı su seviyesi değişimleri veya yetersiz geoteknik tasarım sonucu meydana gelen farklı oturmaları temsil eden hasarlardır.

Etkilenen Yapı Elemanının Türüne Göre:

- **Taşıyıcı Sistem Hasarları:** Binanın ana iskeletini oluşturan, statik ve dinamik yükleri taşımakla yükümlü olan kolon, kiriş, perde duvar, düğüm noktaları ve temel sisteminde meydana gelen yapısal hasarlardır.
- **Fonksiyonel (Yapısal Olmayan) Eleman Hasarları:** Yapının yük taşıma kapasitesine doğrudan katkısı bulunmayan; ancak mimari bütünlük, yalıtım ve hacim bölümlendirmesi için kullanılan tuğla/gazbeton bölme duvarlar, sıva tabakaları, asma tavanlar, pencereler ve cephe kaplamalarında oluşan mimari hasarlardır.

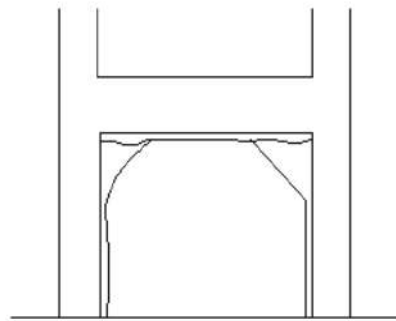
3.2 Yapılarda Görülen Hasar Türleri ve Göçme Davranışları

Betonarme ve yığma yapıların sismik kuvvetler altındaki dinamik tepkileri, yapı elemanlarının malzeme özellikleri ve geometrik sınır koşulları ile doğrudan ilişkilidir. Deprem yüklerinin yapı genelinde oluşturduğu gerilme yığılmaları, belirli bir hiyerarşik sıra izleyerek hasar türlerini ve nihai göçme mekanizmalarını meydana getirir. Bu süreçlerin doğru analiz edilmesi, yapısal performansın belirlenmesinde en temel adımdır.

Deprem Hasarları ve Kronolojik İlerleyiş Mekanizması

Sismik bir sarsıntı esnasında betonarme bir binada hasarın ortaya çıkışı rastgele olmayıp, yapıyı oluşturan elemanların rijitlik ve süneklik derecelerine göre kronolojik bir sıra takip eder. Hasar, her zaman sistemin en gevrek ve zayıf halkasından başlayarak adım adım ana taşıyıcı sisteme doğru transfer olur.

Sarsıntının devam etmesiyle birlikte, yapısal çerçeve (kolon-kiriş) ile çerçeve açıklıklarının kapatan tuğla dolgu duvarlar arasındaki rijitlik uyumsuzluğu nedeniyle birleşim sınırlarında ayrılmalar başlar. Gerilme yığılmaları sebebiyle bu ayrılma önce yatayda **kiriş - dolgu duvar** arasında, sarsıntının yön değiştirmesiyle de düşeyde **kolon veya perde - dolgu duvar** ara yüzeylerinde dökülme ve çatlaklar şeklinde kendini gösterir. Hasarın henüz ana taşıyıcı elemanlara sirayet etmediği bu erken evre, **MSK Şiddet Cetvelinde V - VI şiddet kademesine** denk gelmektedir.

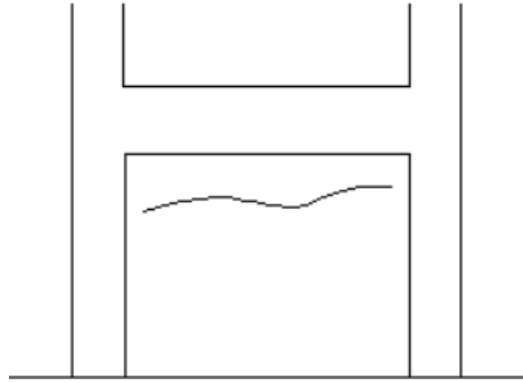


Şekil 3.2.1 devam eden sarsıntılarda duvarın çerçeveden ayrılışı

Dolgu Duvarlarda Gözlemlenen Tipik Sismik Hasar Türleri

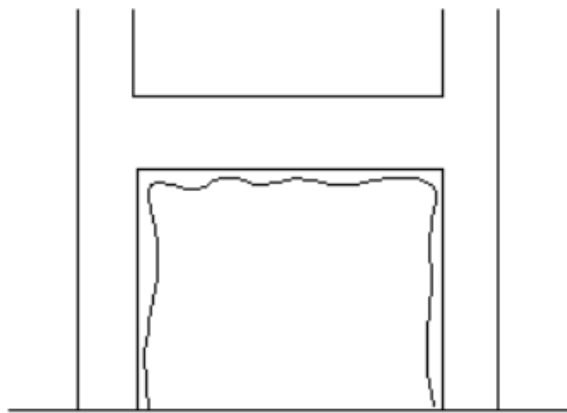
Çerçeve tarafından tam olarak sınırlandırılma durumlarına, duvar yüksekliklerine ve mimari boşluklara bağlı olarak dolgu duvarlarda farklı kinematik hasar modları saptanmaktadır. Sahada karşılaşılmaması öngörülen ve fotoğraflanarak rölöveye işlenmesi gereken başlıca duvar hasar türleri şunlardır:

- **Dolgu Duvarda Elektrik Tesisat Borusu Üzerinde Sıva Çatlağı:** Duvar gövdesinin boru kanalı açılması sebebiyle lokal olarak narinleştiği hat boyunca gerilme birikmesi sonucu oluşan doğrusal çatlaklardır.



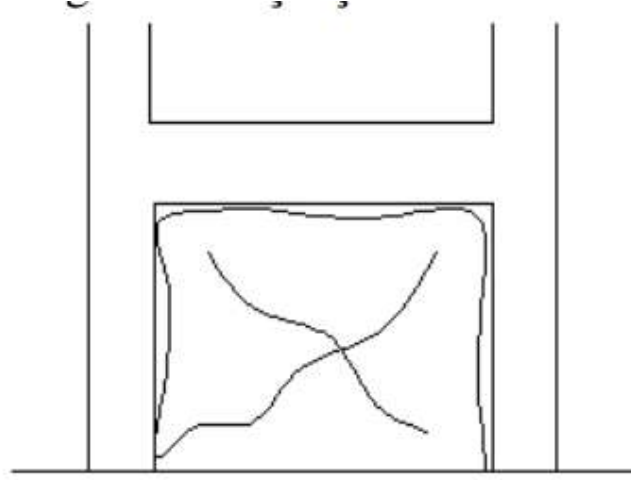
Şekil 3.2.2 Duvarlarda Tesisat Kanalı boyunca Çatlak Hasarı

- **Dolgu Duvar - Çerçeve Arasında Sıva Çatlakları:** Betonarme eleman ile tuğla duvarın deprem anında farklı salınımlar yapması neticesinde birleşim derzlerinde meydana gelen kopma ve dökülmelerdir.



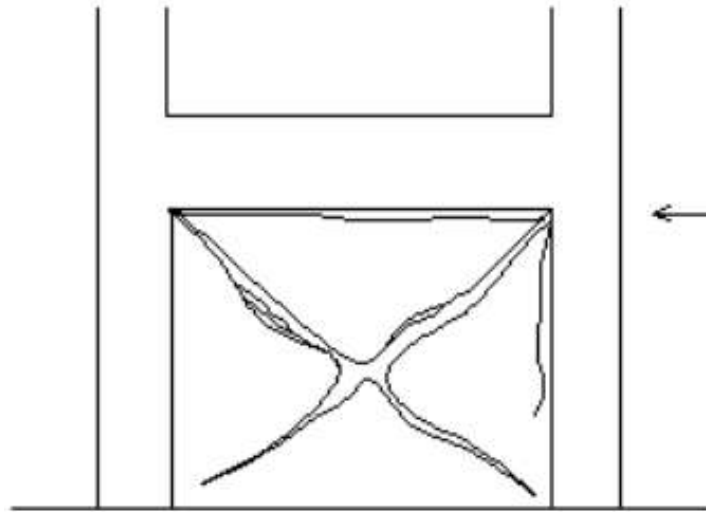
Şekil 3.2.3 Çerçeve ve duvar Arasında Sıva Çatlakları

- **Dolgu Duvarda Sıva ve Duvar Hasarı Başlangıcı:** Sıva tabakasının çatlamasını takiben, tuğla derzlerindeki harcın yırtılmaya ve lokal blok kırılmalarına başladığı ilk yapısal olmayan hasardır.



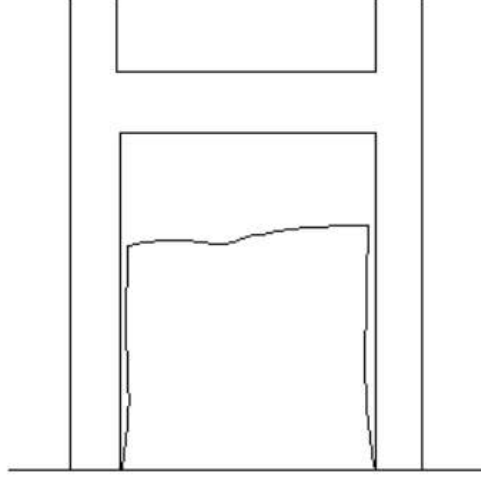
Şekil 3.2.4 Başlangıç sıva çatlağı hasarı

- **Dolgu Duvarda İleri Düzeyde Hasar *MSK VI – VII*** Yatay yüklerin artmasıyla duvar gövdesinin bütünüyle bütünlüğünü kaybetmeye başladığı, derin ayrılmaların olduğu evredir.



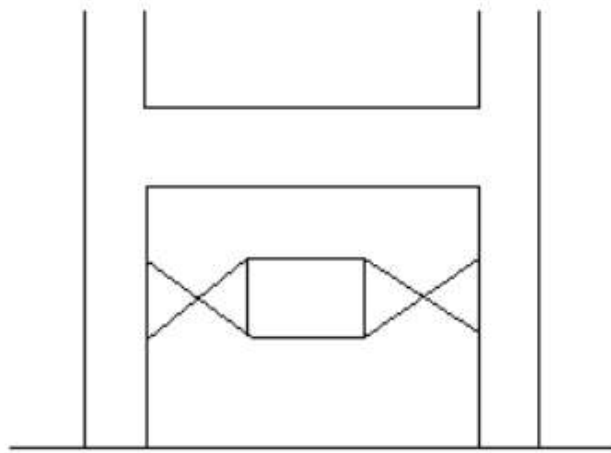
Şekil 3.2.5 Dolgu Duvarlarda kesme çatlağı

- **Yüksek Dolgu Duvarlarda Üst Sıraların Devrilmesi $H > 3$ m MSK VI – VII Kat** yüksekliği $H > 3$ m olan narin ve yüksek duvarlarda, duvarın üst sıralarında yer alan tuğla bloklarının düzlem dışı sismik ivmeler sebebiyle yerinden fırlayarak devrilmesi olayıdır.



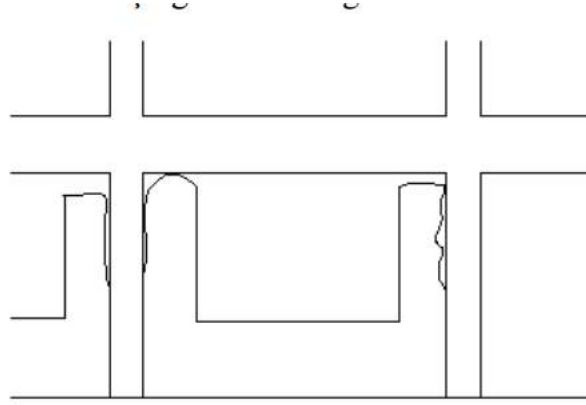
Şekil 3.2.6 Yüksek Dolgu duvar hatası

- **Pencere ve Kapı Boşluğu Olan Dolgu Duvar Hasarları:** Duvar üzerinde yer alan mimari boşlukların köşe noktaları, geometrik süreksizlik nedeniyle muazzam gerilme yığılması üretir. Bu durum, boşluk köşelerinden başlayarak duvar gövdesine doğru diagonal olarak yayılan hasarlara yol açar.



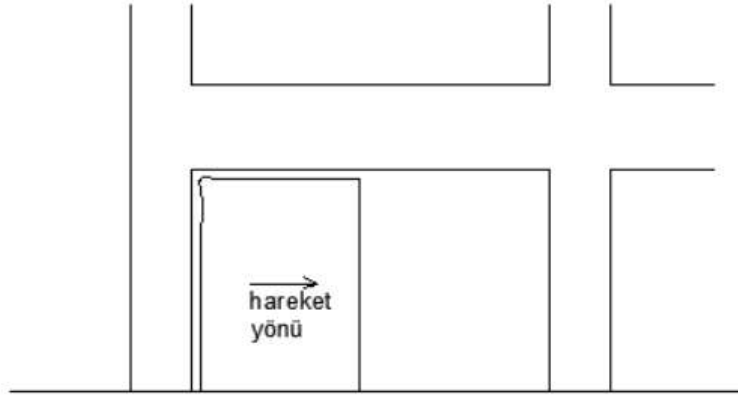
Şekil 3.2.7 bordum ışıklık penceresi kaynaklanan hasar

- **Boşluklu Dolgu Duvarında Sınır Hasarları:** Pencere veya kapı kenarlarındaki tuğla örgülerin, çerçeve köşe zorlamaları altında ezilmesi ve sınır hatlarının bütünüyle parçalanmasıdır.



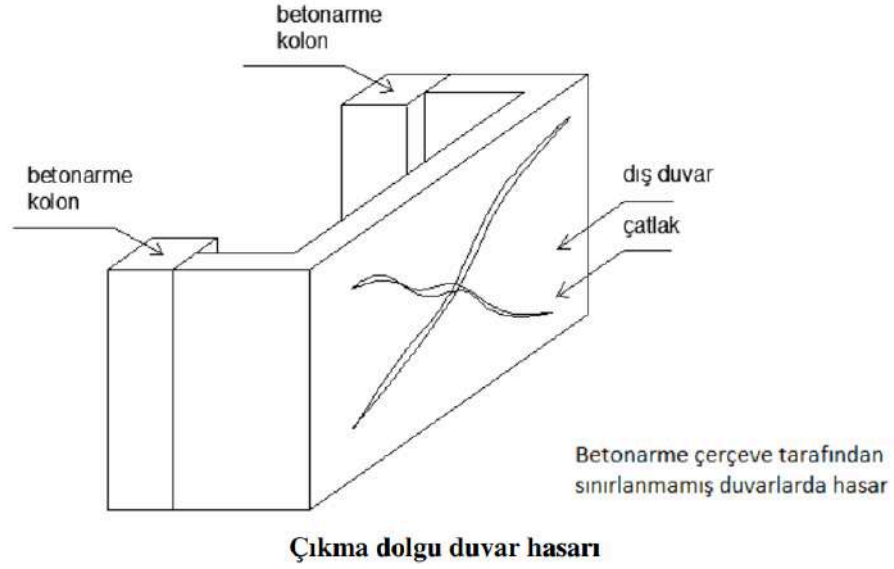
Şekil 3.2.8 Dolgu duvarlarda bırakılan boşluktan kaynaklanan hasar

- **Çerçeve Tarafından Tam Olarak Sınırlanmamış Duvarın Yana Kayması:** Üst veya yan kenarlarından betonarme çerçeveye rijit olarak oturtulmamış, üstü açık veya serbest bırakılmış duvarların, düzlem içi kesme yükleri altında bir bütün halinde aksından yanıl olarak kaymasıdır.



Şekil 3.2.9 Duvarın Aksından yana kayması

- **Çıkma Altı Dolgu Duvar Hasarları:** Konsol çıkmaların (balkon altları, bina çıkıntıları) altına inşa edilen duvarlar, yapının bu elastik konsol uçlarında yaptığı düşey ve yatay kamçılama hareketleri neticesinde çok daha ağır ezilme ve burulma hasarlarına maruz kalırlar.



Şekil 3.2.10 çıkma dolgu duvar hasarı

Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Göçme Modları

Dolgu duvarların deprem esnasındaki kinematik davranışı, çerçeve içindeki yerleşim biçimlerine göre iki temel risk faktörü altında incelenir:

1. Düzlem Dışı Devrilme Mekanizması

Dolgu duvarlar betonarme çerçevelerle dört bir tarafından eksiksiz şekilde çevrelenmişse, düzlem içi rijitlikleri yüksek olur ancak bu durum duvarın orta bölgesinde düzlem dışı sismik atalet kuvvetleri altında bir bombeleşme (sehim) yaratır. **MSK VI - VII** şiddet seviyelerinde, bu bombeleşme sınır değerleri aşarsa duvar düzleminin dışına doğru (oda içine veya sokak tarafına) aniden **bloklar halinde devrilme** tehlikesi gösterir.

Eğer duvarın üst veya yan sınırlarında yapısal eksiklik varsa (tam çevrelenmemişse) devrilme riski kritik düzeye ulaşırken, dört tarafından rijit çerçeveye kuşatılmış narinliği düşük duvarlarda bu tehlike görece daha azdır.

2. Düzlem İçi X (Çapraz) Çatlak Oluşumu ve Taşıyıcıya Hasar Transferi

Deprem şiddetinin artması ya da dolgu duvar imalatında boşluklu beton briket, ponza bloğu veya gazbeton gibi düşük dayanımlı narin malzemelerin kullanılması durumunda, duvar gövdesinde düzlem içi kayma gerilmelerinden ötürü **X biçiminde çapraz çekme çatlakları** gelişir.

Daha ileri aşamalarda bu çapraz çatlaklar duvarın tamamen parçalanarak yıkılmasına yol açar. Yapısal mekanik açısından en kritik nokta şudur: Dolgu duvardaki ileri düzeydeki X çatlaklarının oluşumu ve duvarın yıkılma süreci, betonarme kolonlardaki plastik mafsallaşma (kapasite tükenmesi) ile eş zamanlı olarak meydana gelir.

BÖLÜM 4

4.1 Bina Tanımı

Söz konusu bina, yer almakta olup; bodrum, zemin ve 3 normal kat olmak üzere toplam 5 kattan oluşan, betonarme karkas tarzda inşa edilmiş bir yapıdır.

Yapının toplam yüksekliği 19.30 m'dir. Yapımında malzeme sınıfı olarak C25 beton ve S420 donatı çeliği tercih edilmiştir.

Kat yükseklikleri bodrum katta 3.00 m, zemin katta 5.50 m, normal katlarda ise 3.00 m'dir.

Binanın bulunduğu bölge için www.tdth.afad.gov.tr adresinde yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası verilerinden yararlanılarak elde edilen verilere göre tasarım spektral ivme katsayıları (SDS / SD2); DD2 deprem yer hareketi düzeyi için 1.866 / 0.643

TBDY 2018 ve TS498 uyarınca, SAP2000 ve İdeCAD yazılımları kullanılarak yapılan deprem performans analizi hesaplamalarında değişken çok modlu yükleme analizi yapılmıştır.

Yapıya ait zemin ve temel etüt raporu verileri doğrultusunda, yapı temelinin oturduğu zemin taşıma gücü, zemin yatak katsayısı ve bununla beraber TBDY 2018 Tablo 16.1'e göre yerel zemin sınıfı tayini yapılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde zemin ile ilgili bilgiler aşağıdaki şekilde alınmıştır;

Yerel Zemin Sınıfı: ZC



Şekil 4.1.1 Konut Projesinin Dış Görünümü

Koordinatlar : Enlem: 38.3585° Boylam: 38.3064°	En Büyük Yer İvmesi Değeri (DD2) : $PGA = 0.339$ $S_s = 0.809$ $S_1 = 0.224$	YEREL ZEMİN SINIFI: ZC
---	--	--

KAT ADEDİ	STATİK SİSTEM	MEVCUT BETON SINIFI	MEVCUT DONATI	MEVCUT TEMEL SİSTEMİ	DEPREM BÖLGESİ
B+Z+3	B.A	C25	S420	RADYE	1

Bina Kullanım Sınıfı (TBDY Tablo 3.1)	Deprem Tasarım Sınıfı (TBDY Tablo 3.2)	Bina Yükseklik Sınıfı (TBDY Tablo 3.3)	Bilgi Düzeyi (TBDY Tablo 15.1)	Deprem Düzeyi – Hedeflenen Performans ve Değerlendirme Yaklaşımı (TBDY Tablo 3.4 (c))
<u>Diğer binalar</u> BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.) BKS = 3 Bina Önem Katsayısı (I) = 1.0	$0.75 \leq S_{DS}$ DTS=1a	BYS = 5 $17.5 < HN \leq 28$ HN = 19,30	Sınırlı (BDK :0.75)	DD2



Şekil 4.1.2 Yapının İnşa Edilmeden Önceki Durumu ve Parsel Çevresi

İnşaat faaliyetlerine başlanmadan önceki süreçte, söz konusu yapının inşa edileceği parselin boş arsa niteliğinde olduğu görülmektedir. Çevre parsellerde yapılaşmanın tamamlandığı veya devam ettiği, bölgenin genel konut ve ticari gelişim aksı üzerinde yer aldığı tespit edilmiştir



Şekil 4.1.3 Bina'nın Farklı açılardan dış cephe çekimleri

Yapım ve imalat süreçleri bütünüyle tamamlanmış olan bina; projesine ve mühendislik standartlarına uygun olarak betonarme karkas sistemde inşa edilmiştir. Blok yapısı; bodrum kat, ticari faaliyete uygun yüksek tavanlı zemin kat ve üzerinde yer alan 3 normal konut katından (B+Z+3) oluşmaktadır. Tamamlanan yapının mimari özellikleri şu şekildedir:

- **Zemin Kat (Ticari Alan):** Geniş açıklıklara, yüksek tavan nizamına ve dükkan/mağaza kullanımına uygun vitrin cam cephe mimarisine sahip olacak şekilde imal edilmiştir. Giriş ve sevkiyat alanları fonksiyonel olarak planlanmıştır.
- **Normal Katlar (Konut):** Modern mimari standartlara uygun, geniş pencereli, Fransız balkon ve normal balkon çıkıntılarına sahip estetik bir cephe düzeni sunmaktadır.
- **Dış Cephe ve Malzeme Kalitesi:** Binanın dış cephesinde modern mimarinin bir gereği olarak beyaz ve koyu gri tonlarında kontrast renkler tercih edilmiş; pencerelerin etrafı ahşap görünümlü dekoratif söve ile zenginleştirilmiştir.

6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan Kahramanmaraş depremleri sonrasında hasar alan ve yapılan incelemeler sonucunda güçlendirme çalışması yapılmasına karar verilen Konut Projesi üzerinde; İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 4. sınıf öğrencileri **Sinem Sultan YALÇIN**, **Yusuf YÜCER** ve **Adem ÖZKUL** tarafından gerçekleştirilen teknik incelemeleri, teknik çizimleri, yapım/uygulama işlerini ve yapısal güçlendirme aşamalarını kapsamaktadır.

4.2 YAPI GENEL ÖZET TABLOSU

Tablo 1.Binanın Taşıyıcı Sistem Bilgileri

BİNA VE TAŞIYICI SİSTEM BİLGİLERİ (MEVCUT DURUM)			
1. Genel Bilgiler			
1.1	Binanın Adresi	:	Yeşilyurt / Malatya
1.2	Binanın Kat Adedi	:	B+Z+3
1.3	Binanın Kat Yüksekliği	:	B - Z - N: 3.00 m - 5.50 m – 3.00 m
1.4	Binanın Toplam Yüksekliği	:	19.30 m
2. Taşıyıcı Sistem Bilgileri			
2.1	Binanın Türü	:	Betonarme
2.2	Beton Sınıfı	:	C25
2.3	Donatı Çelik Sınıfı	:	S420
3. Deprem ve Zemin Parametreleri			
3.1	Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS} / S_{D1}) (DD1)	:	1.866 / 0.643
3.2	Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS} / S_{D1}) (DD3)	:	0.398/0.126
3.3	Zemin Sınıfı	:	ZC
3.4	Yapı Önem Katsayısı	:	1
4. Analiz Parametreleri			
4.1	Analiz Türü	:	Değişken Çok Modlu Yükleme
4.2	Kullanılan Yönetmelik ve Standart	:	TBDY 2018, TS498
4.3	Kullanılan Yazılımlar	:	SAP2000 , İdeCAD

4.3 BİNANIN GENEL DURUMU

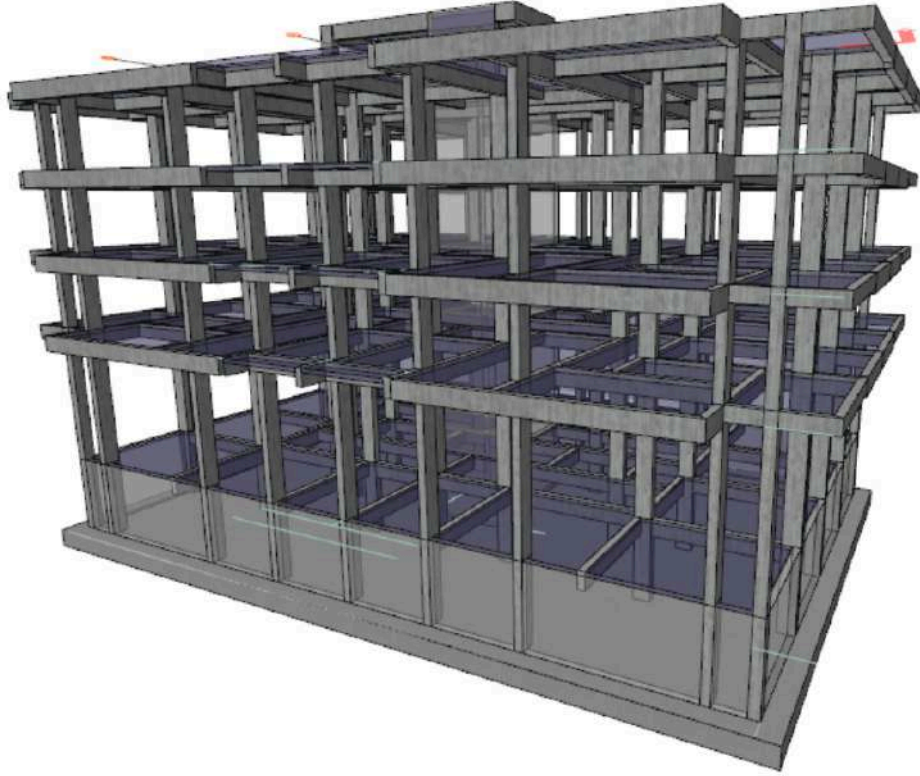
Çalışmamızda kullanılan parametreler benzer verilerden elde edilmiştir; ancak bu verilerin herhangi bir bağlayıcı özelliği bulunmamaktadır. Tasarım dersi kapsamında ele alınan güçlendirme yöntemleri, yalnızca dersin tasarım çalışmaları altında değerlendirilmiştir. Konut Projesine uygulanan güçlendirme yöntemiyle birebir örtüşmemektedir. Çizilen çalışma tamamen lisans öğrencisiyle birlikte, tasarım dersi kapsamında hazırlanmıştır.

Kahramanmaraş depremleri sonrasında yapılan incelemelerde bina **hafif hasarlı** olarak değerlendirilmiştir. Ancak gerçekleştirilen **yapısal performans analizi** sonucunda, mevcut taşıyıcı sistemin hedeflenen performans düzeyini sağlayamadığı ve bu nedenle **güçlendirme yapılmasının gerekli olduğu** tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, güçlendirme uygulaması gerçekleştirilen binaya ait **güçlendirme proje çizimleri** ile birlikte sahada uygulanan **güçlendirme detayları** bu tez/dönem projesi kapsamında ele alınmış ve incelenmiştir.

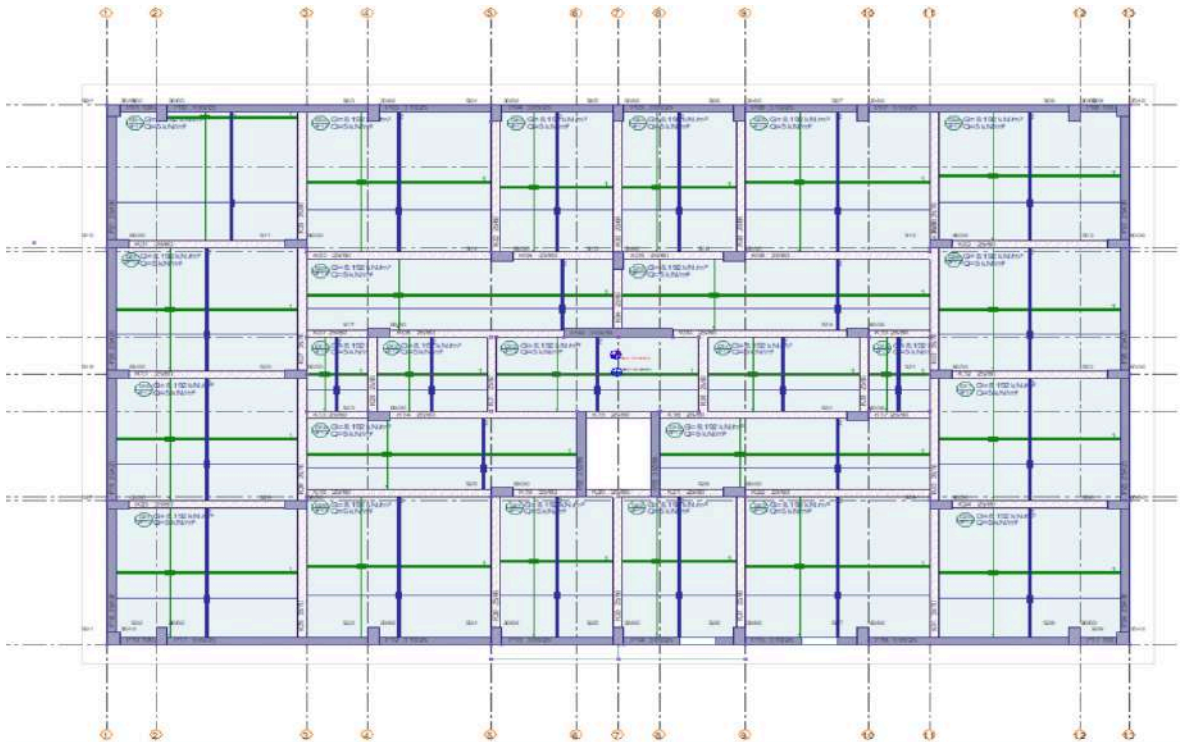


Şekil 4.3.1 Konut Projesi Görünümü

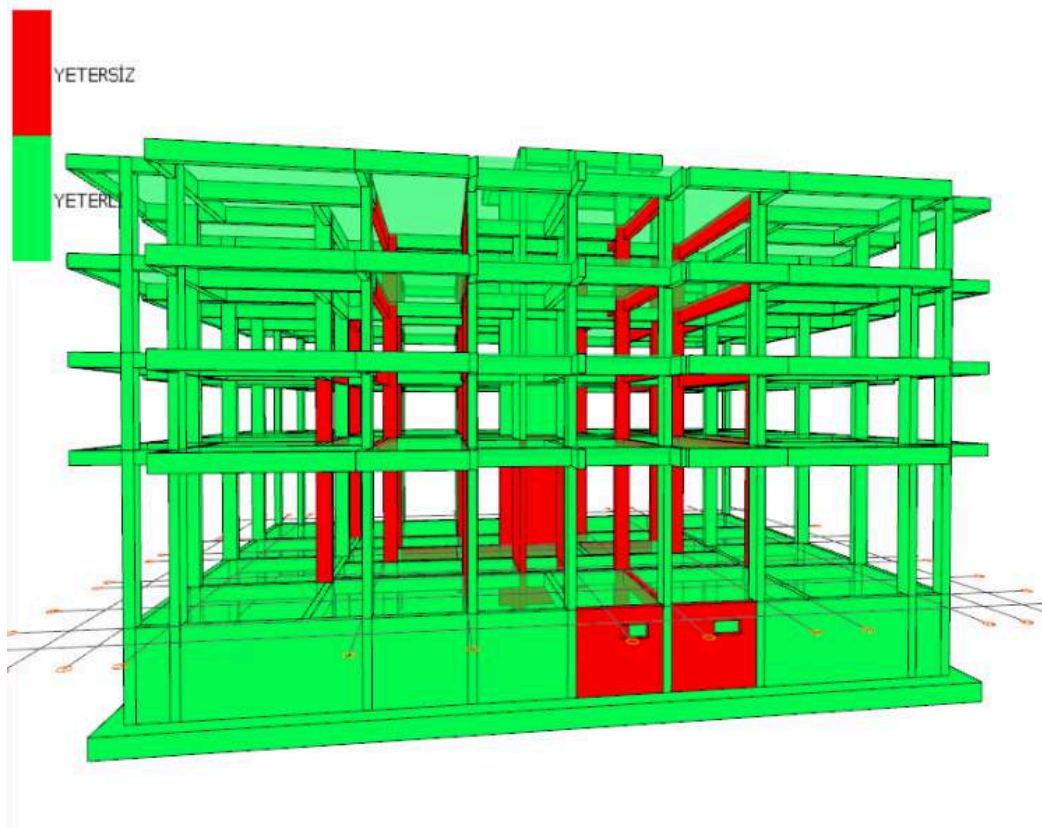
4.4. YAPININ MODELİ



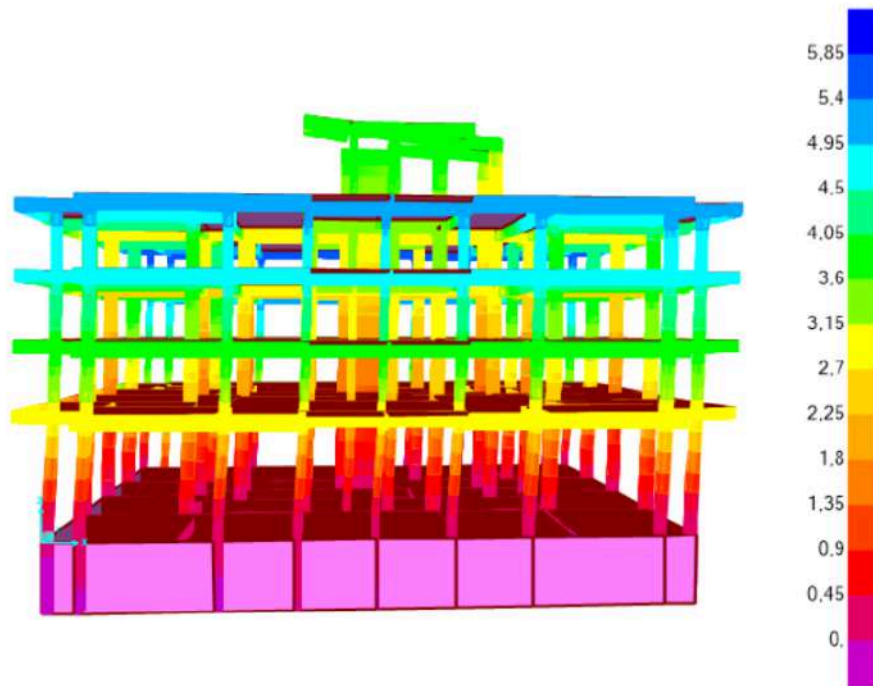
Şekil 4.4.1 Konut Projesi Yapı Modeli



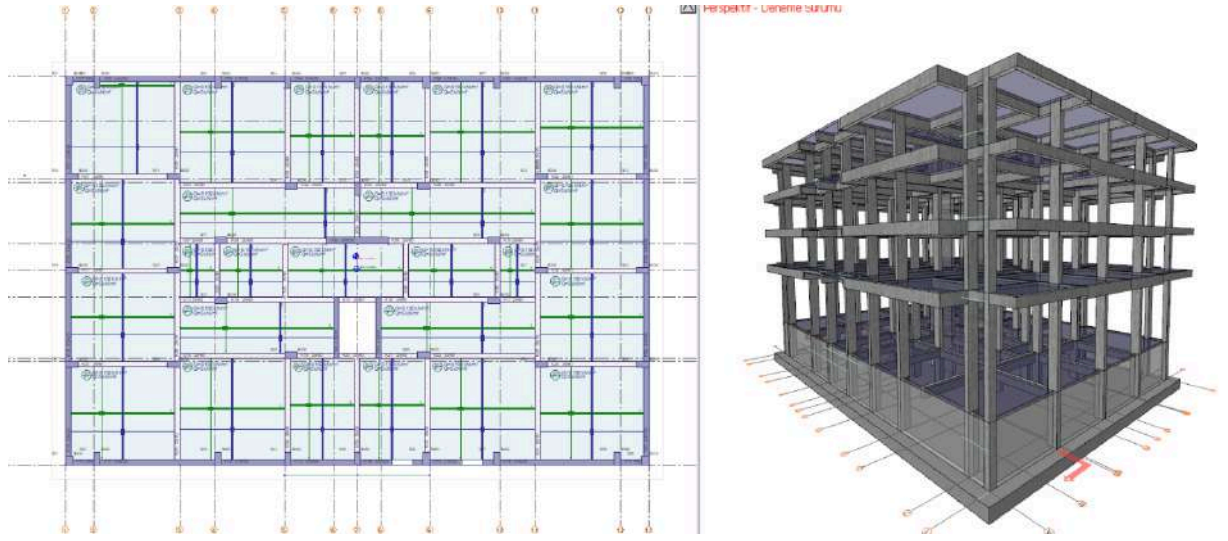
Şekil 4.4.2 2 boyutlu çizimi



Şekil 4.4.3 Yapının SAP2000 programında Modellenmesi



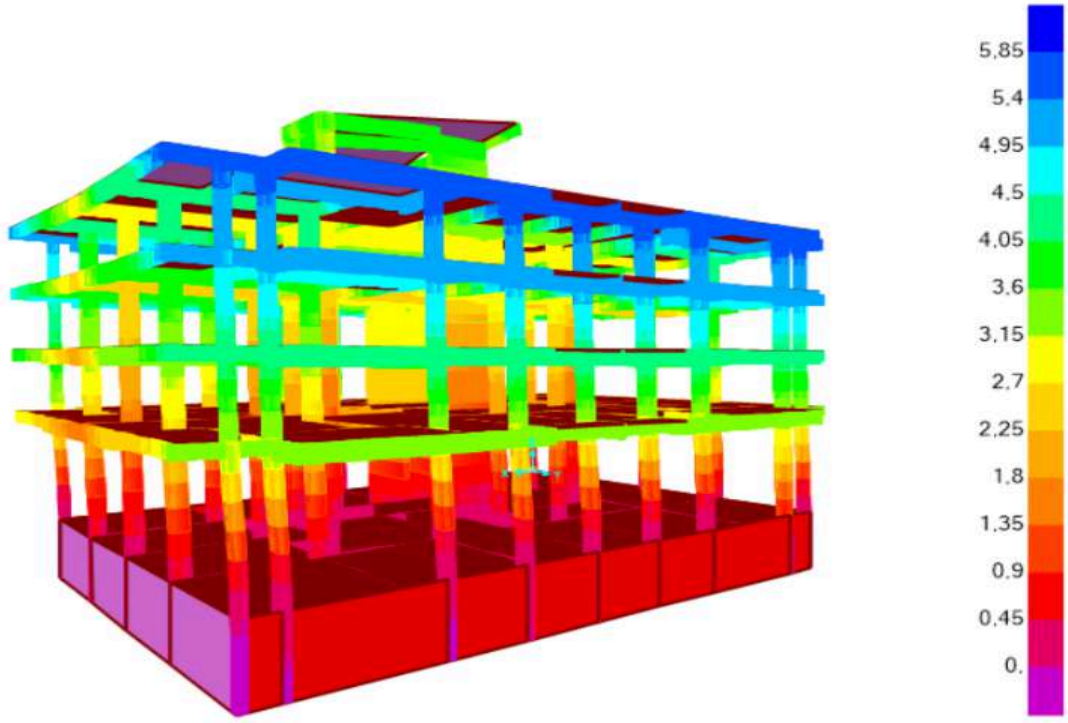
Şekil 4.4.4 Yapının SAP2000 programında Modellenmesi



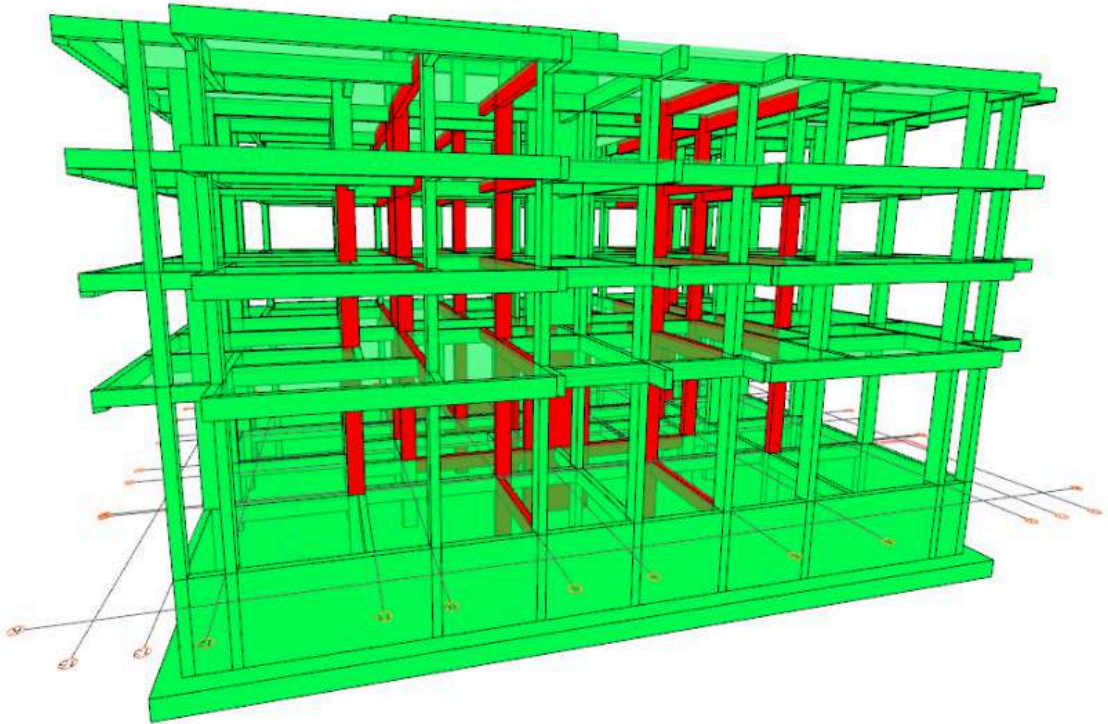
Şekil 4.4.5 Yapı Modellenmesi



Şekil 4.4.6 Yapı Modellenmesi

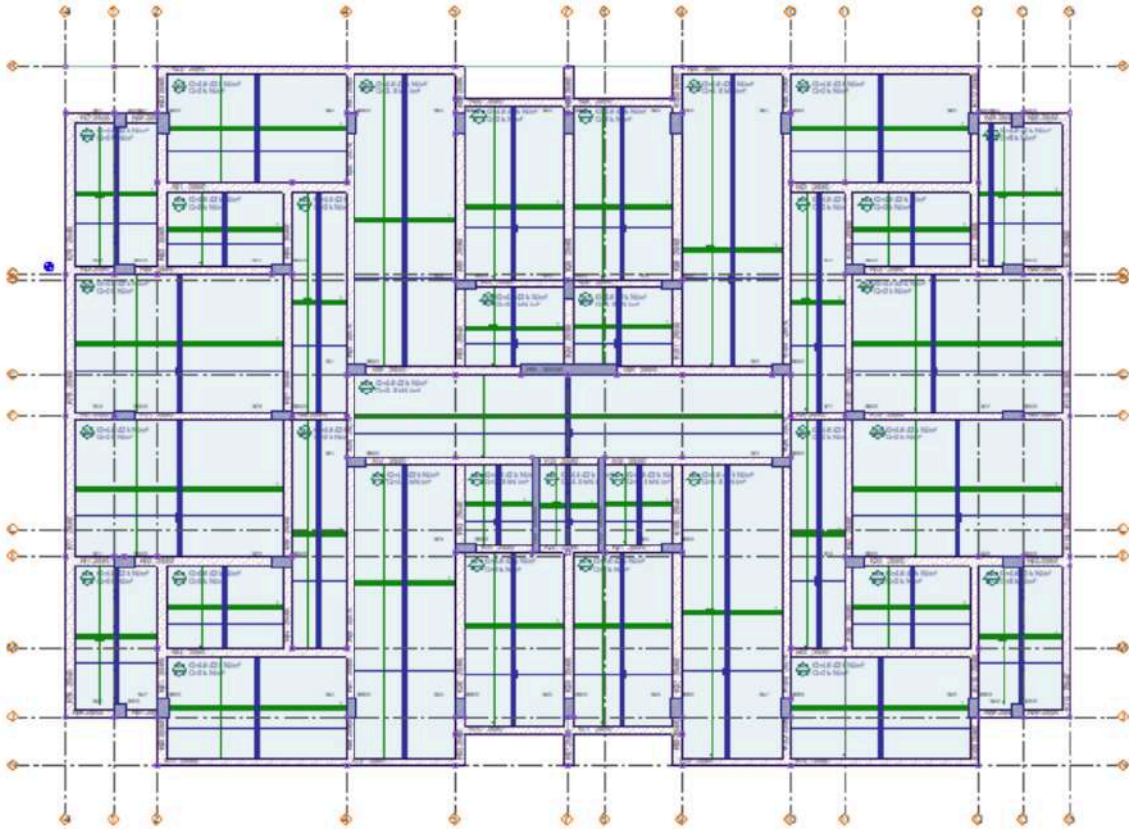


Şekil 4.4.7 Yapı Modellenmesi

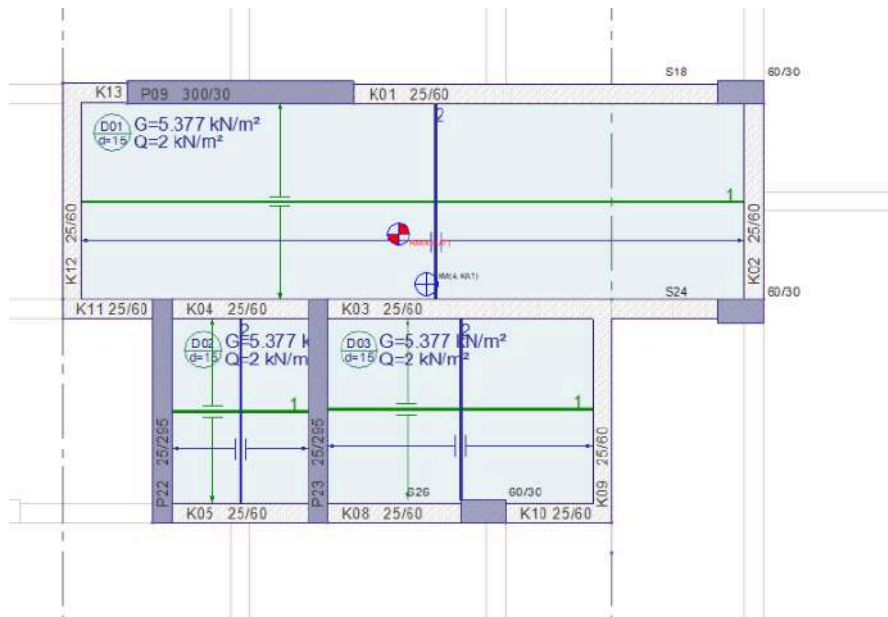


Şekil 4.4.8 Yapı Modellenmes

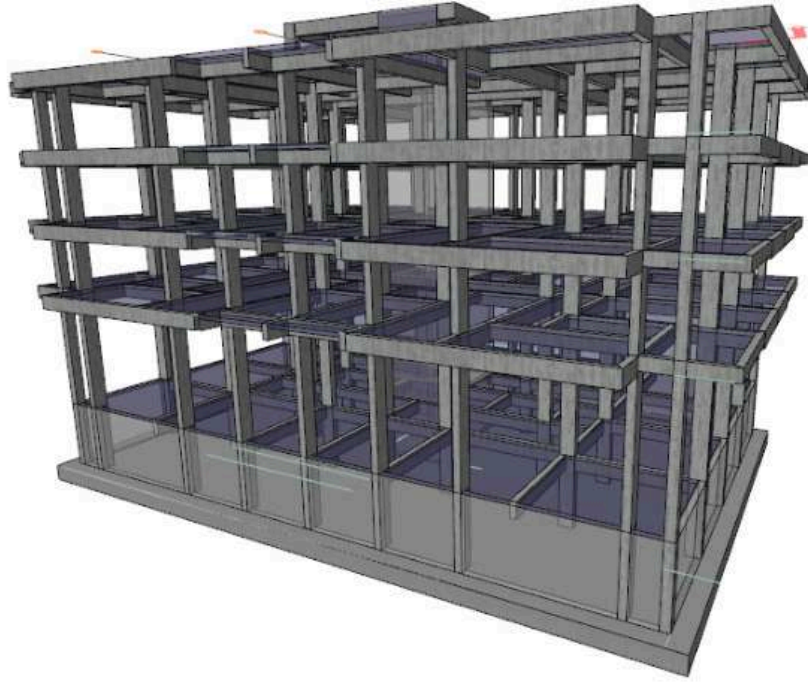
4.5 yapının güçlendirme modeli



Şekil 4.4.1 2 boyutlu Çizimi



Şekil 4.4.2 2 boyutlu Detay Çizimi



Şekil 4.4.3 3 boyutlu Görünümü

4.6.MEVCUT DURUM ANALİZLERİ

2018 TBDY'ne göre yapıda hedeflenen performans seviyesi; DD-1 (50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi) için KH (Kontrollü Hasar) ve DD-3 (50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi) için SH (sınırlı hasar) olarak değerlendirilmektedir. Değerlendirme ve tasarım yaklaşımı olarak ise ŞGDT (şekil değiştirmelere göre değerlendirme ve tasarım) yaklaşımı kullanılmaktadır. (TBDY2018 Tablo 3.4.c) Yapı analizi için TDTH uyarınca elde edilen ivme değerleri ve spektrum katsayıları ile ilgili hesaplamalar aşağıda yer almaktadır. Performans analizlerinde TBDY Bölüm 15.4.2 uyarınca bina önem katsayısı uygulanmış, ($I=1.5$) ve Bölüm 15.5.1.1 uyarınca $R_a=1$ olarak alınmıştır.

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1,2,3,3a,4,4a		DTS=1,2,3,3a,4,4a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı
DD-2	KH	ŞGDT	-	-

Yapı analizinde kullanılan periyot değerleri AFAD Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web uygulamasından elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.

4.7 Mevcut Durum Bina Performans Özeti



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	220	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	38.3585°	
Boylam:	38.3064°	

Çıktılar

$S_0 = 0.809$	$S_1 = 0.224$	$PGA = 0.339$	$PGV = 20.952$
---------------	---------------	---------------	----------------

S_0 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

TBDY Tablo 16.1 – Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

YEREL ZEMİN SINIFI ZC ve $S_s = 0.809$ için $F_s = 1.200$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

YEREL ZEMİN SINIFI ZC ve $S_1 = 0.224$ için $F_s = 1.500$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

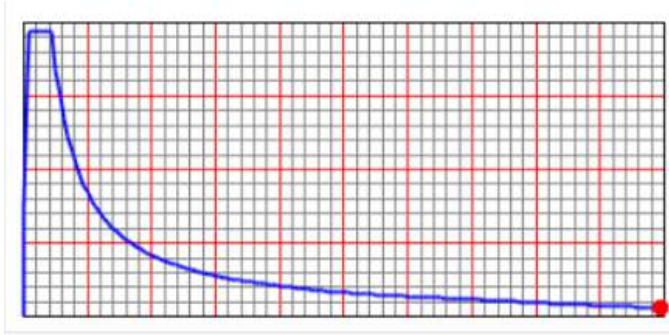
$$S_{DS} = S_s \times F_s = 1.753 \times 1.200 = 2.104$$

$$S_{D2} = S_1 \times F_1 = 0.488 \times 1.500 = 0.732$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D2} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



$$Sort(T) = \left(0.4 + 0.6 \times \frac{T}{T_a}\right) Sps \quad (0 \leq T \leq T_a)$$

$$Sm(T) = Sps \quad (T_a \leq T \leq T_b)$$

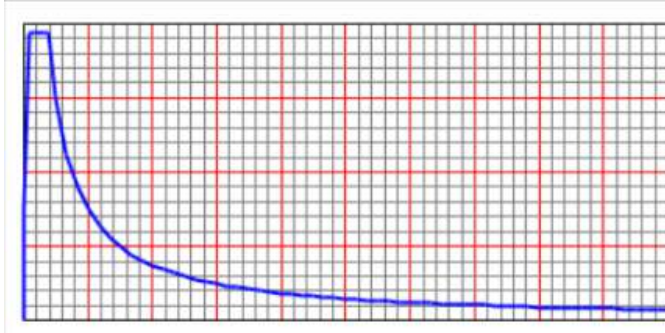
$$Sm(T) = \frac{Sps}{T} \quad (T_b \leq T \leq T_l)$$

$$Sort(T) = \frac{Sps \times T_l}{T^2} \quad (T \leq T_l)$$

$$T_a = 0.2 \times \frac{Sm}{Sps} \quad T_b = \frac{Sm}{Sps} \quad T_l = 6a$$

$$T_a = 0.070 (s) \quad T_s = 0.348 (s) \quad T_l = 6.000 (s)$$

Düsey Elastik Tasarım Spektrumu



$$Sort(T) = \left(0.4 + 0.6 \times \frac{T}{T_a}\right) Sps \quad (0 \leq T \leq T_a)$$

$$Sm(T) = Sps \quad (T_a \leq T \leq T_b)$$

$$Sm(T) = \frac{Sps}{T} \quad (T_b \leq T \leq T_l) \quad Sort(T) = \frac{Sps \times T_l}{T^2} \quad (T \leq T_l)$$

$$T_a = 0.2 \times \frac{Sm}{Sps} \quad T_a = \frac{Sm}{Sps} T_l = 6a$$

$$T_a = 0.023 (s) \quad T_s = 0.116 (s) \quad T_l = 3.000 (s)$$

(DD-2) Mevcut Durum Bina Performans Özeti

TBDY 2018 Bölüm yapı elemanları için belirtilen kesit hasar durumları ve hasar bölgeleri aşağıda belirtilmiştir.

“Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

Kritik kesitlerinin hasarı SH'ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÖ'yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar

YAPI PERFORMANSI

SH : Sınırlı Hasar Bölgesi

BH : Belirgin Hasar Bölgesi

İH : İleri Hasar Bölgesi

GB : Göçme Bölgesi

SH : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

KH : Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

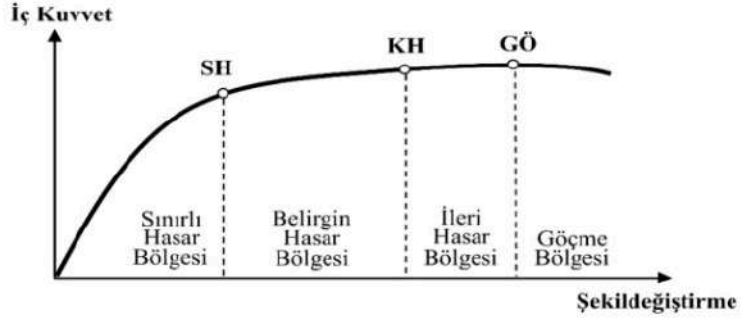
GÖ : Göçme Öncesi Performans Düzeyi

ϵ_c : Beton birim kısalması değeri

ϵ_s : Donatı çeliği birim şekil değiştirme değeri

ϵ_{su} : Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması

ω_{we} : Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı



$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}}$$

$$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su}$$

$$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(GÖ)}$$

$$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)}$$

$$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025$$

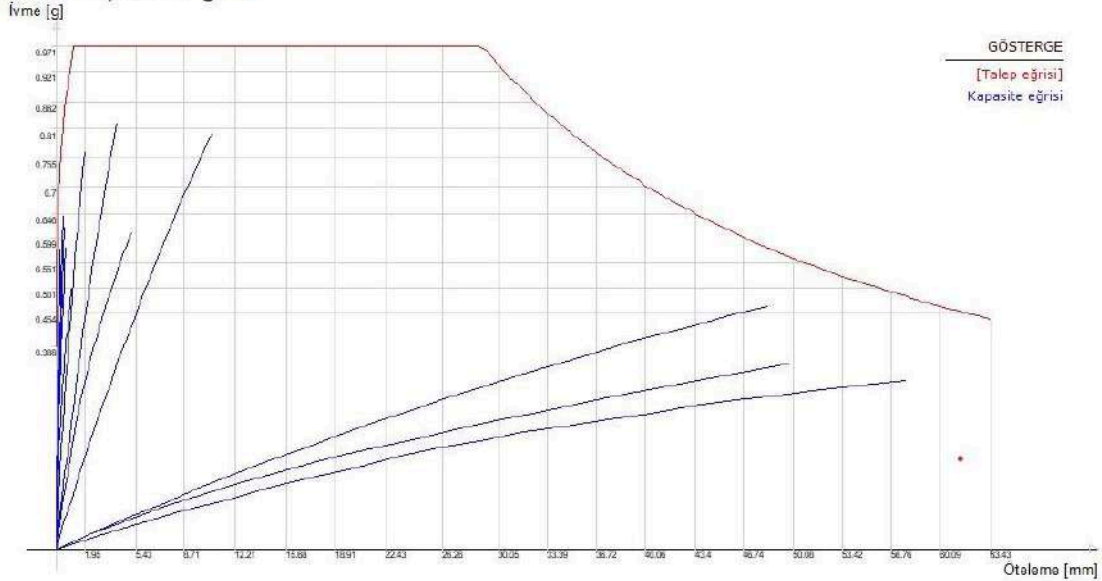
$$\epsilon_s^{(SH)} = 0.0075$$

İncelenen yapıda EKO değerleri sınırları sağlanmadığından, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Değişken çok modlu doğrusal olmayan itme analizi uygulanmıştır. İlgili analizlere ait özet tabloları aşağıda verilmiş, her bir analize ait İDEACD hesap raporları sunulmuştur

DEPREM RAPORU

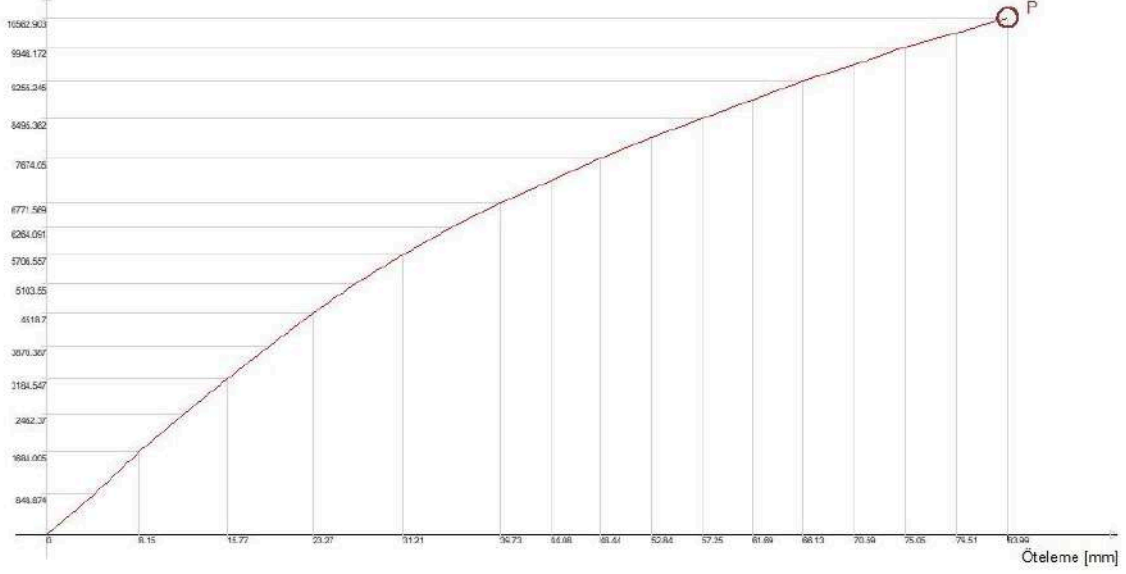
Nonlineer İtme +X +0.3Y MODAL KAPASİTE VE İTME ANALİZİ EĞRİLERİ

Modal Kapasite Eğrisi



Nonlinear İtme Eğrisi

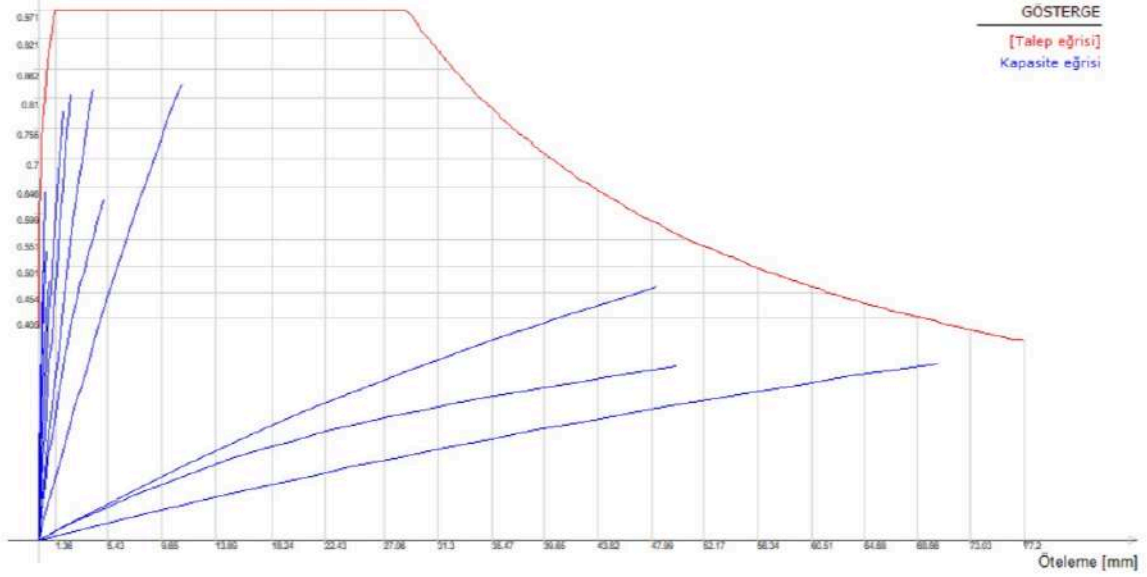
Taban Kesme



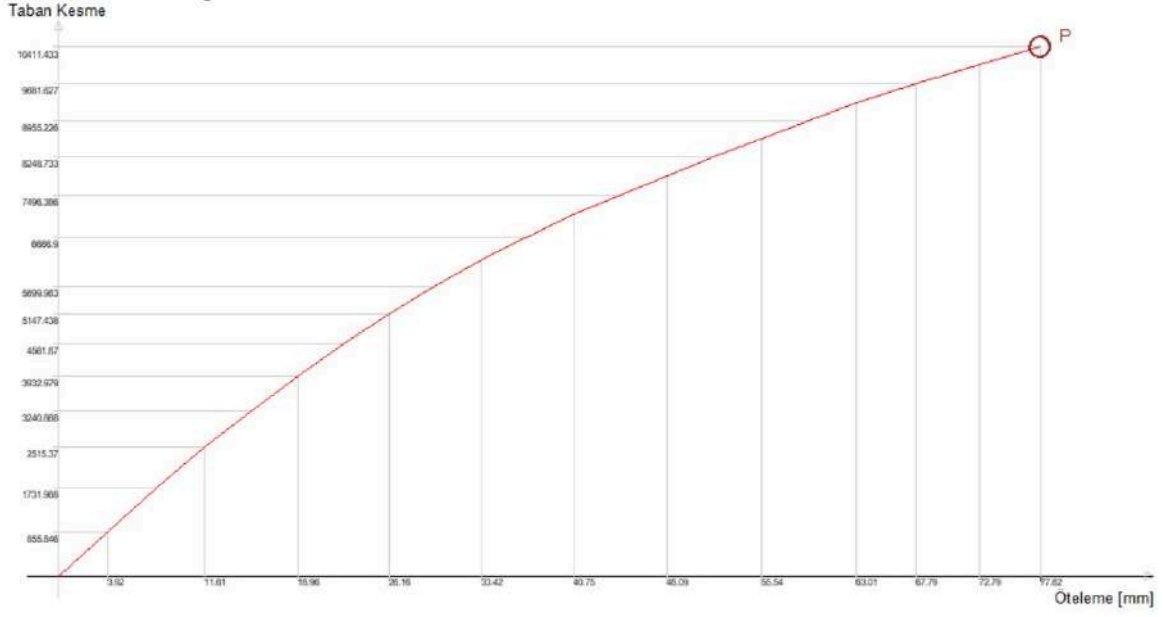
Nonlinear İtme +X -0.3Y MODAL KAPASİTE VE İTME ANALİZİ EĞRİLERİ

Modal Kapasite Eğrisi

İvme [g]

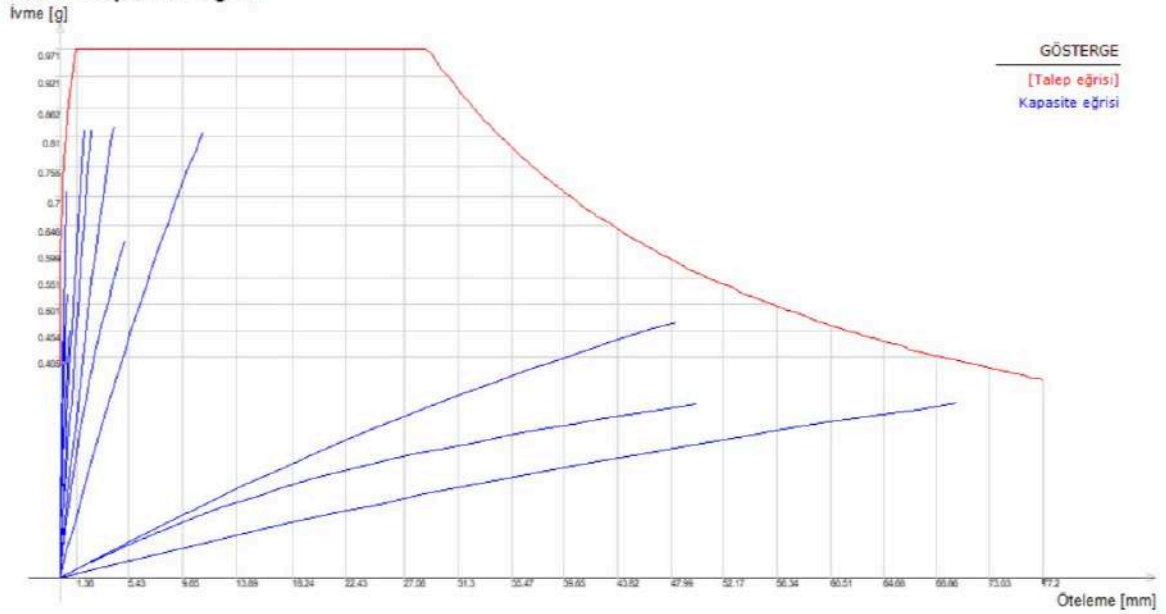


Nonlinear İtme Eğrisi

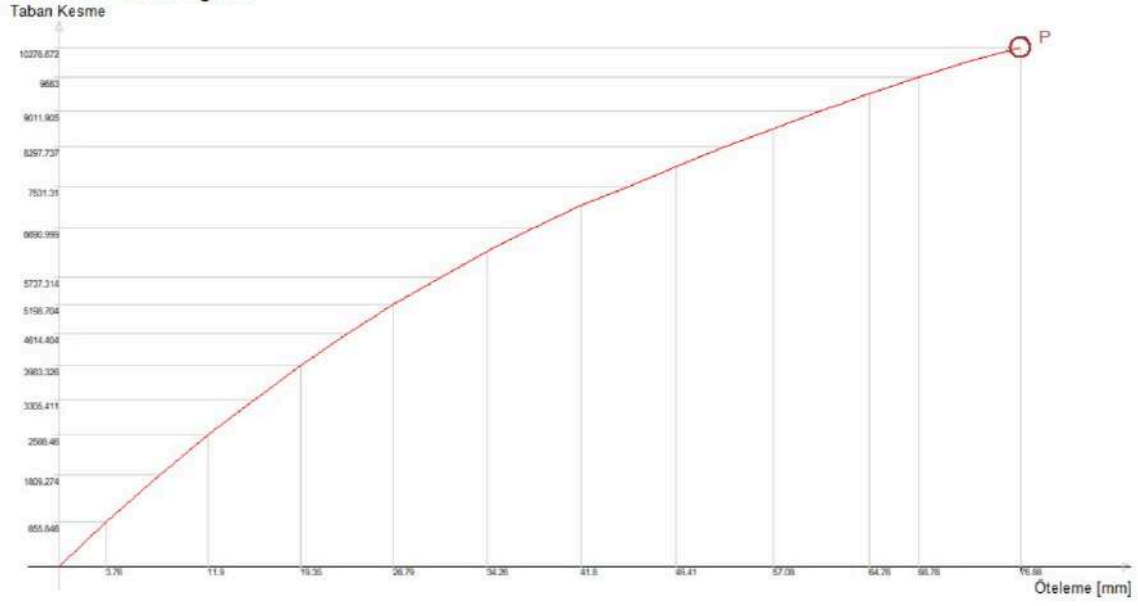


Nonlinear İtme -X +0.3Y MODAL KAPASİTE VE İTME ANALİZİ EĞRİLERİ

Modal Kapasite Eğrisi

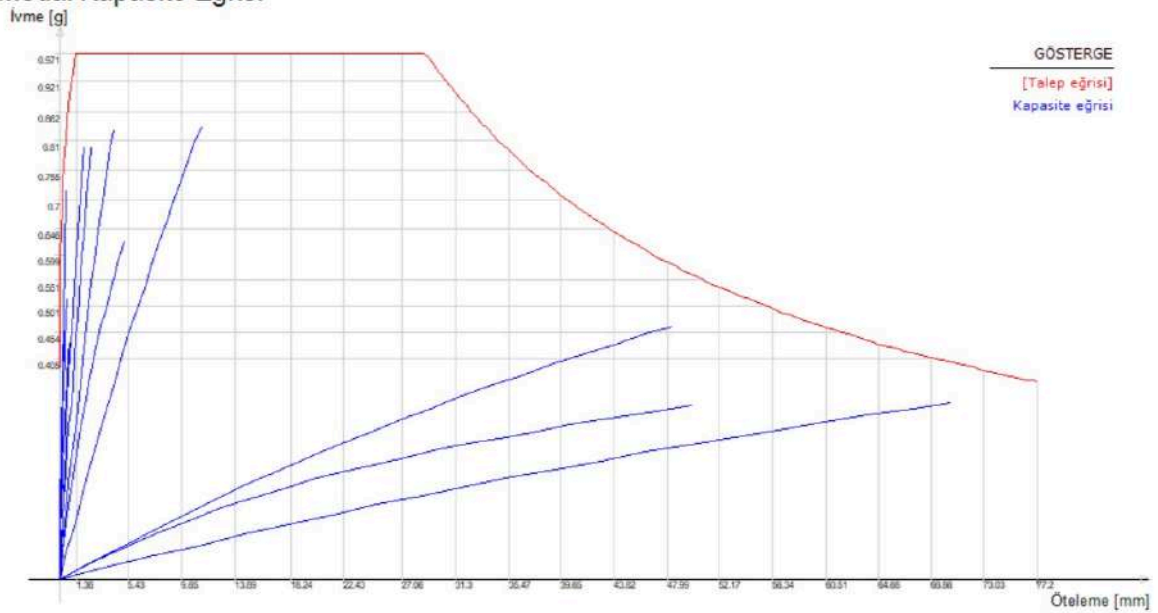


Nonlinear İtme Eğrisi

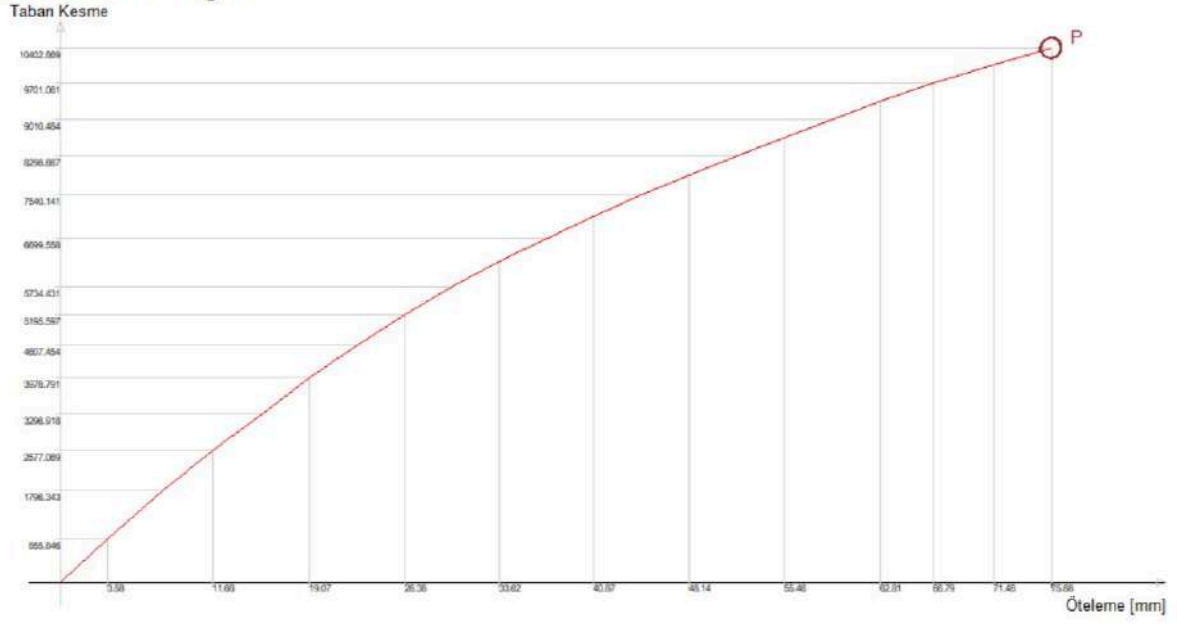


Nonlinear İtme -X -0.3Y MODAL KAPASİTE VE İTME ANALİZİ EĞRİLERİ

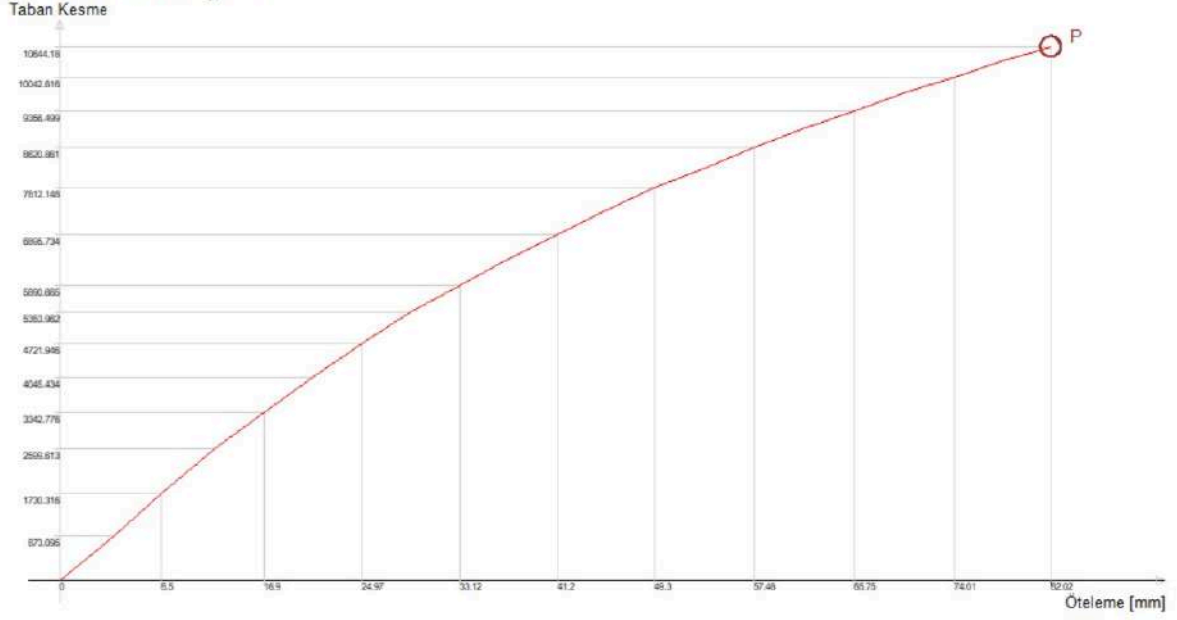
Modal Kapasite Eğrisi



Nonlinear İtme Eğrisi

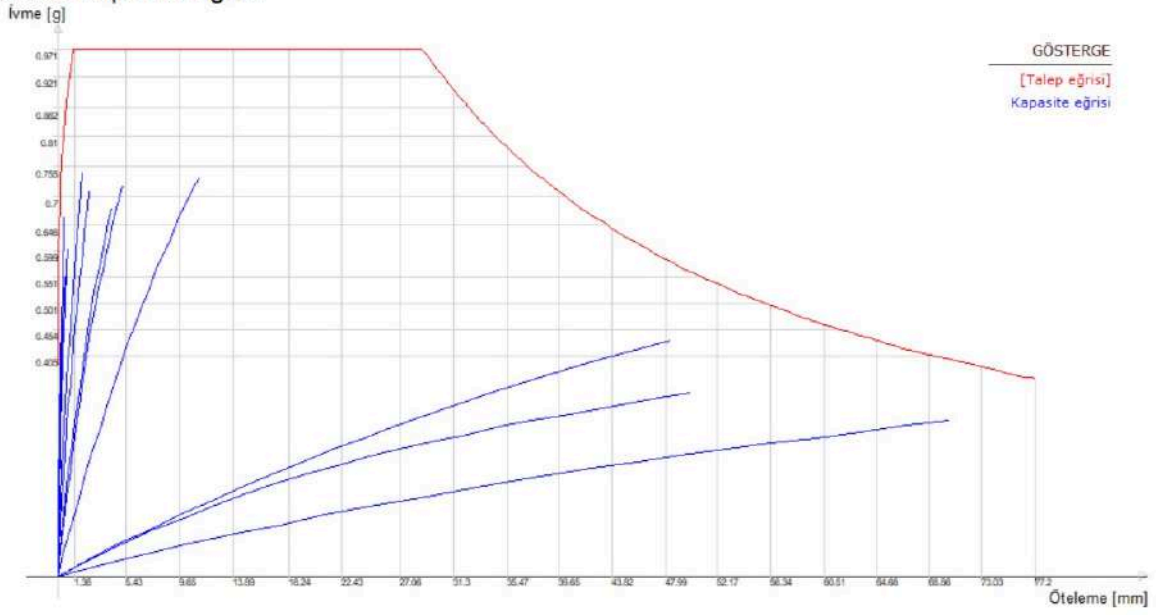


Nonlinear İtme Eğrisi



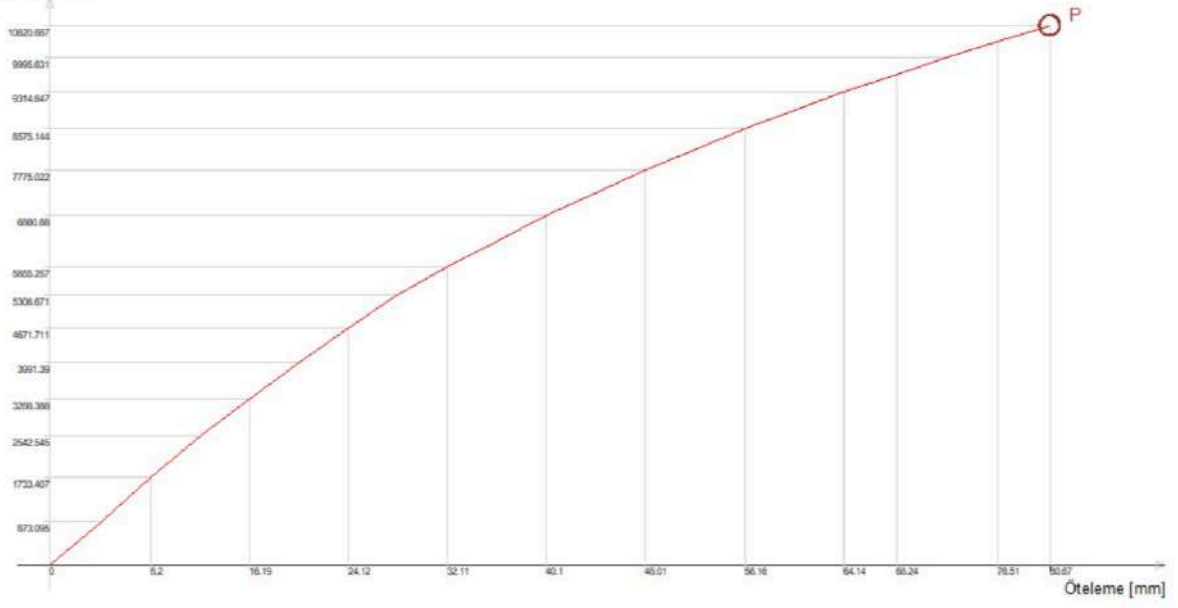
Nonlinear İtme +Y -0.3X MODAL KAPASİTE VE İTME ANALİZİ EĞRİLERİ

Modal Kapasite Eğrisi



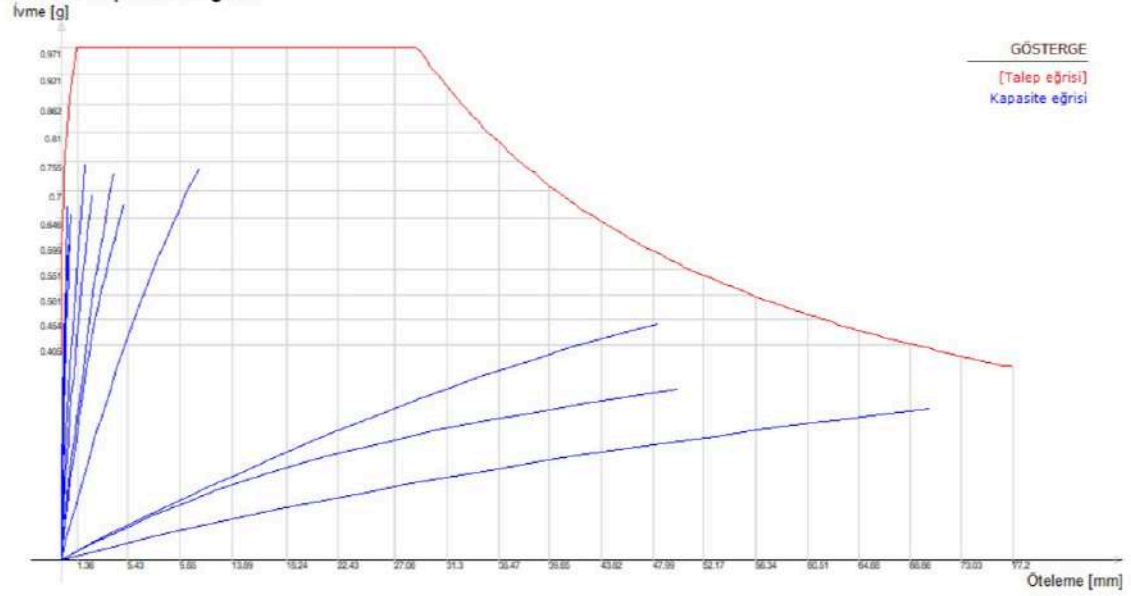
Nonlinear İtme Eğrisi

Taban Kesme



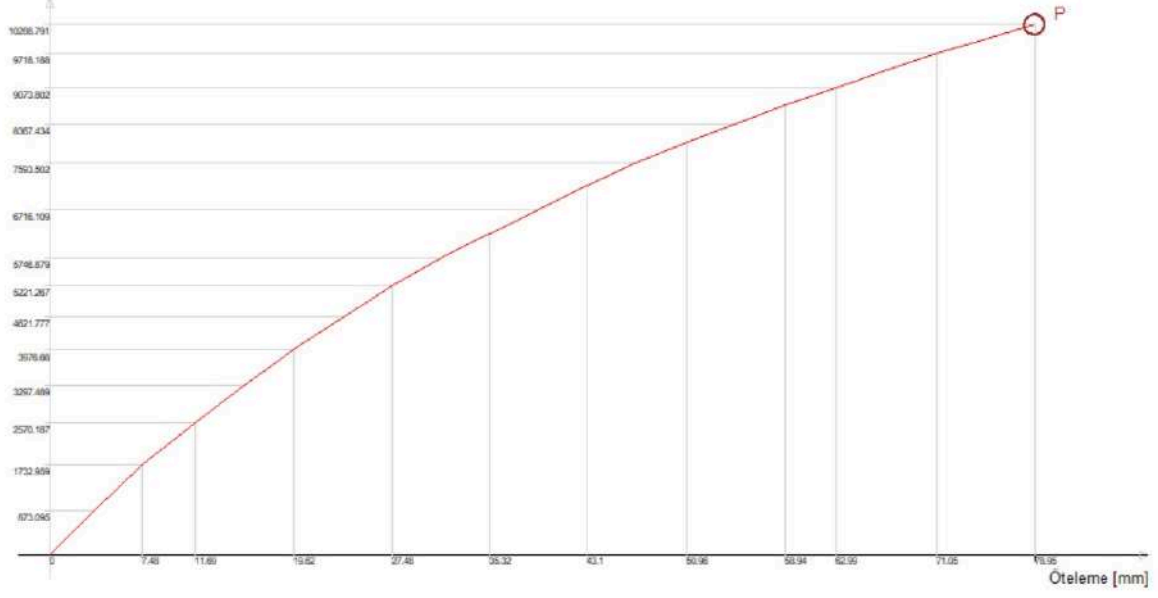
Nonlinear İtme -Y +0.3X MODAL KAPASİTE VE İTME ANALİZİ EĞRİLERİ

Modal Kapasite Eğrisi



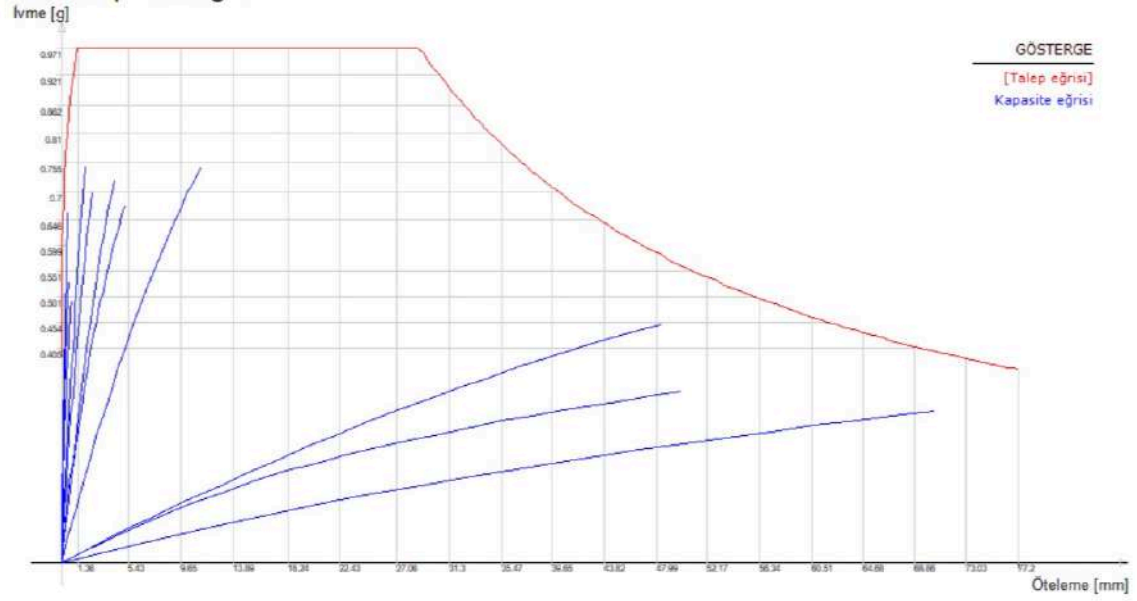
Nonlinear İtme Eğrisi

Taban Kesme

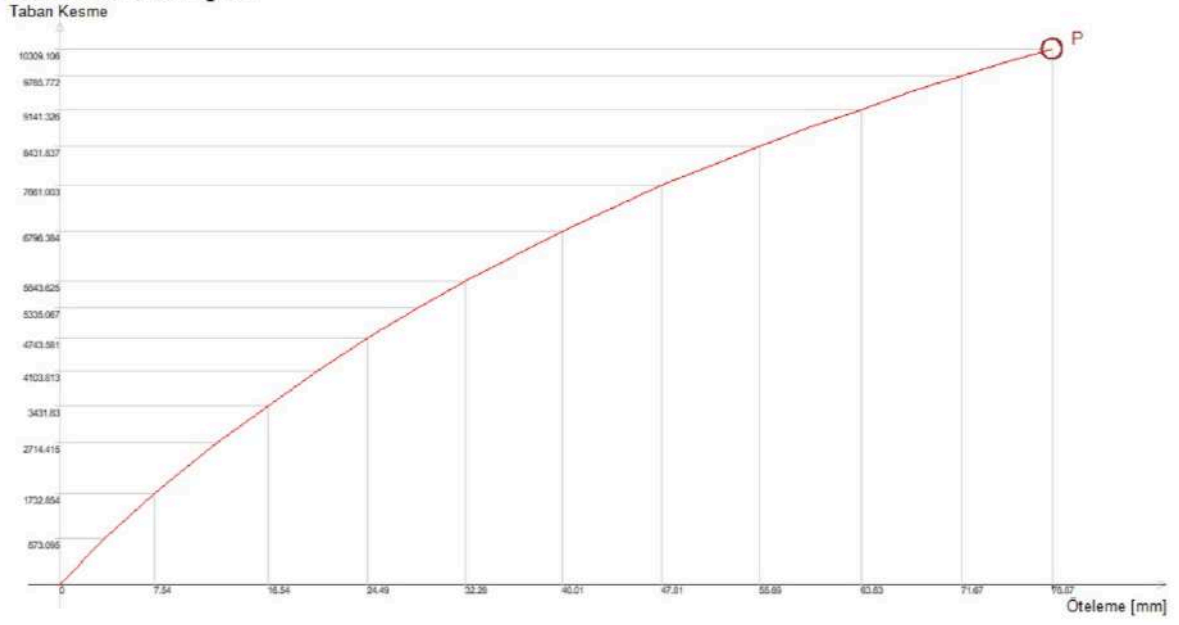


Nonlinear İtme -Y -0.3X MODAL KAPASİTE VE İTME ANALİZİ EĞRİLERİ

Modal Kapasite Eğrisi



Nonlinear İtme Eğrisi



Kiriş Hasar Yüzdeleri-X Yönü

Kat	Kiriş adedi
3. KAT	22
2. KAT	22
1. KAT	22
ZEMİN KAT	22
1. BODRUM	23
Maksimum	

Kiriş Hasar Yüzdeleri-Y Yönü

Kat	Kiriş adedi	Nonlinear İtme +Y +0.3X			
		SH	BH	İH	GB
3. KAT	25	52	48	0	0
2. KAT	25	32	68	0	0
1. KAT	25	32	68	0	0
ZEMİN KAT	25	36	64	0	0
1. BODRUM	18	83.3	16.7	0	0
Maksimum		83.3	68		

Düşey Elemanların Taşıdığı Kesme Kuvveti Yüzdeleri-X Yönü

Kat
3. KAT
2. KAT
1. KAT
ZEMİN KAT
1. BODRUM
Maksimum

Düşey Elemanların Taşıdığı Kesme Kuvveti Yüzdeleri-Y Yönü

Kat	Nonlineer İtme +Y +0.3X			
	SH	BH	İH	GB
3. KAT	70.9	29.1	0	0
2. KAT	77.2	22.8	0	0
1. KAT	81.1	18.9	0	0
ZEMİN KAT	98.9	1.1	0	0
1. BODRUM	100	0	0	0
Maksimum	100	29.1		

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sınırı Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleri-X Yönü

Kat
3. KAT
2. KAT
1. KAT
ZEMİN KAT
1. BODRUM
Maksimum

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sınırı Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleri-Y Yönü

Kat	Nonlineer İtme +Y +0.3X	
	SH	>= BH
3. KAT	78.8	21.2
2. KAT	91.3	8.7
1. KAT	94.1	5.9
ZEMİN KAT	100	0
1. BODRUM	100	0
Maksimum	100	21.2

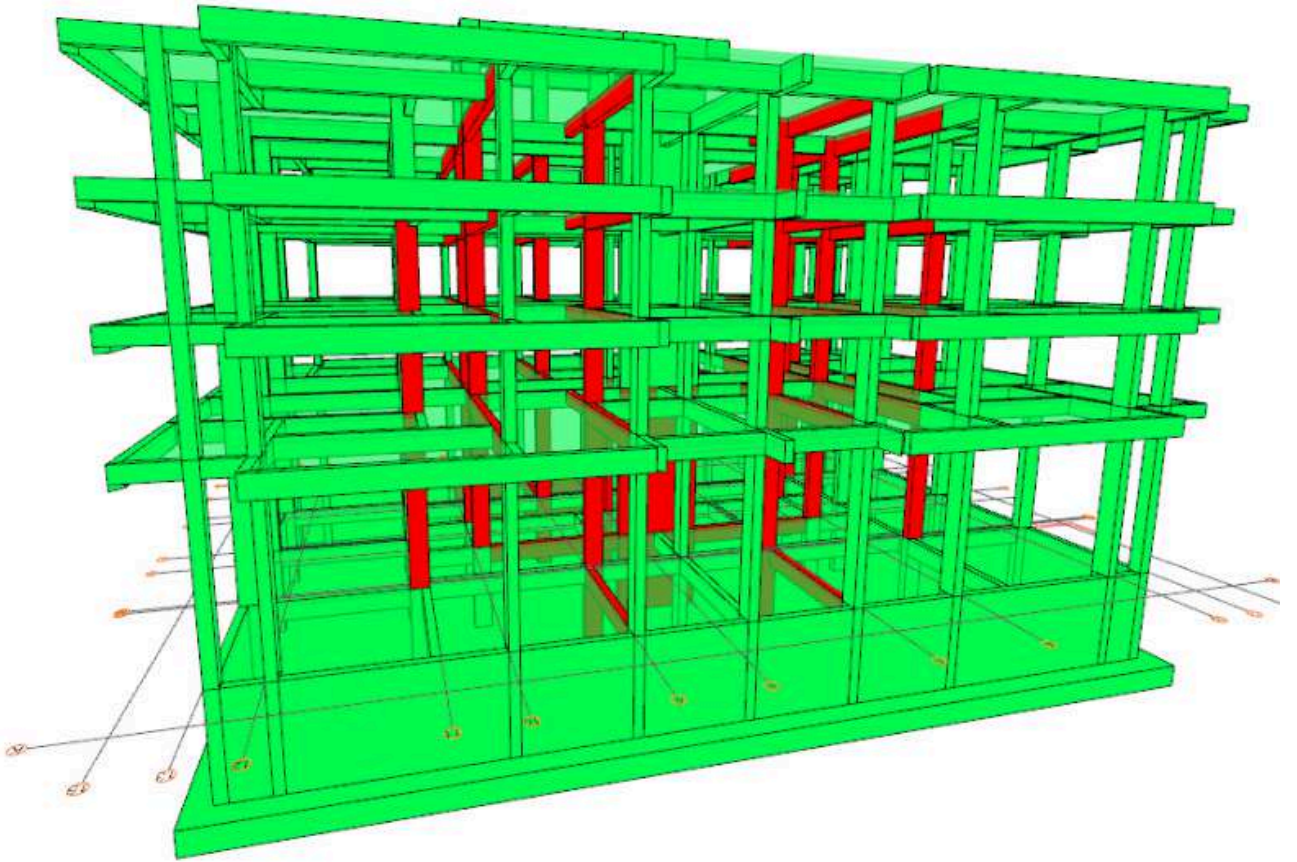
PERDE SÜNEKLİK KONTROLÜ - Nonlineer İtme +Y +0.3X

Perde	Yatay Donatı		Alt Uç			Üst Uç		
	Gövde Etr.	Uç Böl Etr.	Ve [kN]	Vr [kN]	VeMax [kN]	Ve [kN]	Vr [kN]	VeMax [kN]
1. KAT								
P101	Ø10/24	Ø10/20	223.28	879.61 ✓	1745.87 ✓	175.24	879.61 ✓	1745.87 ✓
P101			438.66	467.28 ✓	1745.87 ✓	499.18	467.28 ✗	1745.87 ✓
P102	Ø10/24	Ø10/20	209.30	879.61 ✓	1745.87 ✓	173.07	879.61 ✓	1745.87 ✓
P103	Ø8/13	Ø8/20	339.36	3859.29 ✓	3825.00 ✓	334.58	3859.29 ✓	3825.00 ✓
P104	Ø10/24	Ø10/20	166.87	879.61 ✓	1745.87 ✓	156.66	879.61 ✓	1745.87 ✓
P105	Ø10/24	Ø10/20	220.95	879.61 ✓	1745.87 ✓	189.50	879.61 ✓	1745.87 ✓
P106	Ø10/24	Ø10/20	139.69	879.61 ✓	1745.87 ✓	114.64	879.61 ✓	1745.87 ✓
P107	Ø10/24	Ø10/20	210.17	879.61 ✓	1745.87 ✓	185.99	879.61 ✓	1745.87 ✓
P108	Ø10/24	Ø10/20	322.77	879.61 ✓	1745.87 ✓	307.71	879.61 ✓	1745.87 ✓
P110	Ø10/24	Ø10/20	345.04	879.61 ✓	1745.87 ✓	304.91	879.61 ✓	1745.87 ✓
P111	Ø10/24	Ø10/20	400.36	879.61 ✓	1745.87 ✓	450.51	879.61 ✓	1745.87 ✓
P112	Ø8/15	Ø8/20	813.65	1669.29 ✓	3134.37 ✓	801.39	1669.29 ✓	3134.37 ✓
P113	Ø10/24	Ø10/20	410.51	879.61 ✓	1745.87 ✓	458.30	879.61 ✓	1745.87 ✓
P114	Ø10/24	Ø10/20	362.38	879.61 ✓	1745.87 ✓	323.44	879.61 ✓	1745.87 ✓
P115	Ø8/15	Ø8/20	836.33	1669.29 ✓	3134.37 ✓	824.13	1669.29 ✓	3134.37 ✓
P116	Ø10/24	Ø10/20	379.52	879.61 ✓	1745.87 ✓	349.71	879.61 ✓	1745.87 ✓
P117	Ø10/24	Ø10/20	382.21	879.61 ✓	1745.87 ✓	435.83	879.61 ✓	1745.87 ✓
P118	Ø10/24	Ø10/20	366.19	879.61 ✓	1745.87 ✓	358.31	879.61 ✓	1745.87 ✓
P119	Ø10/24	Ø10/20	386.50	879.61 ✓	1745.87 ✓	440.88	879.61 ✓	1745.87 ✓

ZEMİN KAT												
PZ01	Ø12/15	Ø10/8	257.95	1417.29	✓	1745.87	✓	300.67	1417.29	✓	1745.87	✓
PZ02	Ø12/15	Ø10/8	145.00	1417.29	✓	1745.87	✓	190.65	1417.29	✓	1745.87	✓
PZ03	Ø12/11	Ø8/10	444.56	3614.71	✓	3825.00	✓	441.40	3614.71	✓	3825.00	✓
PZ04	Ø10/24	Ø10/8	390.37	879.61	✓	1745.87	✓	391.87	879.61	✓	1745.87	✓
PZ05	Ø10/24	Ø10/8	185.63	879.61	✓	1745.87	✓	330.48	879.61	✓	1745.87	✓
PZ06	Ø12/15	Ø10/8	468.83	1417.29	✓	1745.87	✓	498.45	1417.29	✓	1745.87	✓
PZ07	Ø12/15	Ø10/8	298.30	1417.29	✓	1745.87	✓	342.13	1417.29	✓	1745.87	✓
PZ08	Ø10/24	Ø10/8	655.16	879.61	✓	1745.87	✓	630.14	879.61	✓	1745.87	✓
PZ10	Ø10/24	Ø10/8	502.40	879.61	✓	1745.87	✓	487.08	879.61	✓	1745.87	✓
PZ11	Ø10/24	Ø10/8	169.93	879.61	✓	1745.87	✓	493.21	879.61	✓	1745.87	✓
PZ12	Ø10/10	Ø8/8	1052.21	2785.12	✓	3134.37	✓	1039.78	2785.12	✓	3134.37	✓
PZ13	Ø10/24	Ø10/8	254.91	879.61	✓	1745.87	✓	526.56	879.61	✓	1745.87	✓
PZ15	Ø12/14	Ø8/8	1237.79	2840.73	✓	3134.37	✓	1225.12	2840.73	✓	3134.37	✓
PZ16	Ø10/24	Ø10/8	491.35	879.61	✓	1745.87	✓	491.17	879.61	✓	1745.87	✓
PZ17	Ø10/24	Ø10/8	165.03	879.61	✓	1745.87	✓	501.21	879.61	✓	1745.87	✓
PZ18	Ø10/24	Ø10/8	593.43	879.61	✓	1745.87	✓	609.73	879.61	✓	1745.87	✓
PZ19	Ø10/24	Ø10/8	220.08	879.61	✓	1745.87	✓	616.45	879.61	✓	1745.87	✓
PZ20	Ø10/24	Ø10/8	251.03	879.61	✓	1745.87	✓	688.35	879.61	✓	1745.87	✓
PZ21	Ø10/24	Ø10/8	528.90	879.61	✓	1745.87	✓	476.39	879.61	✓	1745.87	✓
1. BODRUM												
PB101	Ø10/10	Ø10/8	313.37	1416.16	✓	1593.75	✓	359.81	1416.16	✓	1593.75	✓
PB102	Ø10/10	Ø10/8	119.23	1416.16	✓	1593.75	✓	185.08	1416.16	✓	1593.75	✓
PB103	Ø10/15	Ø10/8	9.47	4204.38	✓	3825.00	✓	459.49	4204.38	✓	3825.00	✓
PB104	Ø10/11	Ø10/8	9.68	1326.20	✓	1593.75	✓	444.64	1326.20	✓	1593.75	✓
PB105	Ø10/11	Ø10/8	121.72	1326.20	✓	1593.75	✓	19.84	1326.20	✓	1593.75	✓
PB106	Ø10/10	Ø10/8	467.15	1416.16	✓	1593.75	✓	559.23	1416.16	✓	1593.75	✓
PB107	Ø10/10	Ø10/8	246.17	1416.16	✓	1593.75	✓	143.31	1416.16	✓	1593.75	✓
PB108	Ø10/13	Ø10/8	597.57	1187.79	✓	1593.75	✓	848.97	1187.79	✓	1593.75	✓
PB109	Ø10/13	Ø10/8	275.45	1187.79	✓	1593.75	✓	307.32	1187.79	✓	1593.75	✓
PB110	Ø10/16	Ø10/8	330.28	1045.06	✓	1593.75	✓	392.67	1045.06	✓	1593.75	✓
PB111	Ø10/15	Ø10/8	198.66	1086.30	✓	1593.75	✓	238.14	1086.30	✓	1593.75	✓
PB112	Ø10/24	Ø10/8	1043.42	1649.83	✓	3134.37	✓	1043.46	1649.83	✓	3134.37	✓
PB113	Ø10/19	Ø10/8	199.91	947.41	✓	1593.75	✓	222.96	947.41	✓	1593.75	✓
PB114	Ø10/22	Ø10/8	338.39	876.38	✓	1593.75	✓	417.30	876.38	✓	1593.75	✓
PB115	Ø10/24	Ø10/8	1247.39	1649.83	✓	3134.37	✓	1247.42	1649.83	✓	3134.37	✓
PB116	Ø10/17	Ø10/8	346.11	1008.68	✓	1593.75	✓	426.76	1008.68	✓	1593.75	✓
PB117	Ø10/16	Ø10/8	189.19	1045.06	✓	1593.75	✓	166.05	1045.06	✓	1593.75	✓
PB138	Ø10/14	Ø10/8	555.00	1133.42	✓	1593.75	✓	747.42	1133.42	✓	1593.75	✓
PB139	Ø10/15	Ø10/8	238.02	1086.30	✓	1593.75	✓	273.78	1086.30	✓	1593.75	✓

4.8 GÜÇLENDİRME ANALİZLERİ

Yapılan performans analizi neticesinde, DD-2 deprem düzeyinde **Kontrollü Hasar** performans kriterlerinin sağlandığı görülmüştür. Ancak, gerek gözlemsel incelemeler sonrasında tespit edilen mevcut hasar oluşumları ve gerekse performans analizi sonucunda ortaya çıkan gevrek davranışlı elemanlar nedeniyle yapının güçlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yapının güvenli bir şekilde hizmet edebilmesi amacıyla tarafımızca gerekli görülen hususlar, ekte sunulan güçlendirme projesinde detaylı bir şekilde verilmiştir. Yapının güçlendirilmiş hali üzerinde yapılan performans analizine ait sonuçlar.



Şekil 4.8.1 Yapının üç boyutlu modeli

DD2 Deprem düzeyi güçlendirilmiş durum performans analiz sonuçları

BİNA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirşlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%68	X
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		X

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirşlerin en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	%0	✓
En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	%0	✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%21.2	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kirşlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%21.2	✓

BİNA PERFORMANSI : KONTROLLÜ HASAR

GEVREK ELEMANLAR BULUNDU. AŞAĞIDAKİ ELEMANLAR DİKKATE ALINMADAN PERFORMANS BELİRLENMİŞTİR:

Eleman Adı	Nonlineer İtme Analizi	Uç	Aks	Kesme Talebi [kN]	Kesme Kapasitesi [kN]
1. KAT					
P101	Nonlineer İtme +Y +0.3X	j	Major	499.176	467.276

ideCAD

PROJE: STATİK ŞABLON PROJE

Düşey Elemanların Taşıdığı Kesme Kuvveti Yüzdele-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X				Nonlinear İtme +Y -0.3X				Nonlinear İtme -Y +0.3X				Nonlinear İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3. KAT	70.3	29.7	0	0	72.7	27.3	0	0	66.7	33.3	0	0	68.6	31.4	0	0
2. KAT	78	22	0	0	77.3	22.7	0	0	77.1	22.9	0	0	76.7	23.3	0	0
1. KAT	80.5	19.5	0	0	80.7	19.3	0	0	79	21	0	0	80	20	0	0
ZEMİN KAT	98.9	1.1	0	0	98.9	1.1	0	0	98.8	1.2	0	0	98.8	1.2	0	0
1. BODURUM	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maksimum	100	29.7			100	27.3			100	33.3			100	31.4		

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sının Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleli-X Yönü

Kat	Nonlinear İtme +X +0.3Y		Nonlinear İtme +X -0.3Y		Nonlinear İtme -X +0.3Y		Nonlinear İtme -X -0.3Y	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	92.2	7.8	91.9	8.1	96.8	3.2	95.5	3.5
2. KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. KAT	98	2	99.1	0.9	99.1	0.9	99.1	0.9
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	7.8	100	8.1	100	3.2	100	3.5

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sının Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleli-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X		Nonlinear İtme +Y -0.3X		Nonlinear İtme -Y +0.3X		Nonlinear İtme -Y -0.3X	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	82.3	17.7	80.3	19.7	84	16	83.7	16.3
2. KAT	92.7	7.3	92.8	7.2	97.1	2.9	97	3
1. KAT	95.3	4.7	95.4	4.6	97.6	2.4	97.5	2.5
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	17.7	100	19.7	100	16	100	16.3

BİNA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%100	X
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		H

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	%0	✓
En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	%0	✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓

BİNA PERFORMANSI : KONTROLLÜ HASAR

GEVREK ELEMANLAR BULUNDU. AŞAĞIDAKİ ELEMANLAR DİKKATE ALINMADAN PERFORMANS BELİRLENMİŞTİR:

Eleman Adı	Nonlinear İtme Analizi	Uç	Aks	Kesme Talebi [kN]	Kesme Kapasitesi [kN]
ZEMİN KAT					
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Major	407.519	390.121
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Major	448.361	390.121
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Major	942.103	838.897
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Major	860.558	838.897
PZ01	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Major	871.672	856.824
KZ32	Nonlinear İtme -X +0.3Y	i	Major	416.473	390.121

ideCAD

PROJE: STATİK ŞABLON PROJE

Düşey Elemanların Taşıdığı Kesme Kuvveti Yüzdeleli-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X				Nonlinear İtme +Y -0.3X				Nonlinear İtme -Y +0.3X				Nonlinear İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3. KAT	70.3	29.7	0	0	72.7	27.3	0	0	66.7	33.3	0	0	68.6	31.4	0	0
2. KAT	78	22	0	0	77.3	22.7	0	0	77.1	22.9	0	0	76.7	23.3	0	0
1. KAT	80.5	19.5	0	0	80.7	19.3	0	0	79	21	0	0	80	20	0	0
ZEMİN KAT	98.9	1.1	0	0	98.9	1.1	0	0	98.8	1.2	0	0	98.8	1.2	0	0
1. BODURUM	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maksimum	100	29.7			100	27.3			100	33.3			100	31.4		

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sınırı Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleli-X Yönü

Kat	Nonlinear İtme +X +0.3Y		Nonlinear İtme +X -0.3Y		Nonlinear İtme -X +0.3Y		Nonlinear İtme -X -0.3Y	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	92.2	7.8	91.9	8.1	96.8	3.2	95.5	3.5
2. KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. KAT	98	2	99.1	0.9	99.1	0.9	99.1	0.9
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	7.8	100	8.1	100	3.2	100	3.5

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sınırı Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleli-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X		Nonlinear İtme +Y -0.3X		Nonlinear İtme -Y +0.3X		Nonlinear İtme -Y -0.3X	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	82.3	17.7	80.3	19.7	84	16	83.7	16.3
2. KAT	92.7	7.3	92.8	7.2	97.1	2.9	97	3
1. KAT	95.3	4.7	95.4	4.6	97.6	2.4	97.5	2.5
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	17.7	100	19.7	100	16	100	16.3

BİNA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%100	X
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		H

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	%0	✓
En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	%0	✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓

BİNA PERFORMANSI : KONTROLLÜ HASAR

GEVREK ELEMANLAR BULUNDU. AŞAĞIDAKİ ELEMANLAR DİKKATE ALINMADAN PERFORMANS BELİRLENMİŞTİR:

Eleman Adı	Nonlinear İtme Analizi	Uç	Aks	Kesme Talebi [kN]	Kesme Kapasitesi [kN]
ZEMİN KAT					
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Ma jör	407.519	390.121
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Ma jör	448.361	390.121
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Ma jör	942.103	838.897
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Ma jör	860.558	838.897
PZ01	Nonlinear İtme +X -0.3Y	i	Ma jör	871.672	856.824
KZ32	Nonlinear İtme -X +0.3Y	i	Ma jör	416.473	390.121

ideCAD

PROJE: STATİK ŞABLON PROJE

Düşey Elemanların Taşıdığı Kesme Kuvveti Yüzdeleği-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X				Nonlinear İtme +Y -0.3X				Nonlinear İtme -Y +0.3X				Nonlinear İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3. KAT	70.3	29.7	0	0	72.7	27.3	0	0	66.7	33.3	0	0	68.6	31.4	0	0
2. KAT	78	22	0	0	77.3	22.7	0	0	77.1	22.9	0	0	76.7	23.3	0	0
1. KAT	80.5	19.5	0	0	80.7	19.3	0	0	79	21	0	0	80	20	0	0
ZEMİN KAT	98.9	1.1	0	0	98.9	1.1	0	0	98.8	1.2	0	0	98.8	1.2	0	0
1. BODURUM	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maksimum	100	29.7			100	27.3			100	33.3			100	31.4		

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sının Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleği-X Yönü

Kat	Nonlinear İtme +X +0.3Y		Nonlinear İtme +X -0.3Y		Nonlinear İtme -X +0.3Y		Nonlinear İtme -X -0.3Y	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	92.2	7.8	91.9	8.1	96.8	3.2	95.5	3.5
2. KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. KAT	98	2	99.1	0.9	99.1	0.9	99.1	0.9
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	7.8	100	8.1	100	3.2	100	3.5

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sının Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleği-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X		Nonlinear İtme +Y -0.3X		Nonlinear İtme -Y +0.3X		Nonlinear İtme -Y -0.3X	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	82.3	17.7	80.3	19.7	84	16	83.7	16.3
2. KAT	92.7	7.3	92.8	7.2	97.1	2.9	97	3
1. KAT	95.3	4.7	95.4	4.6	97.6	2.4	97.5	2.5
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	17.7	100	19.7	100	16	100	16.3

BİNA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%100	X
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		H

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	%0	✓
En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	%0	✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓

BİNA PERFORMANSI : KONTROLLÜ HASAR

GEVREK ELEMANLAR BULUNDU. AŞAĞIDAKİ ELEMANLAR DİKKATE ALINMADAN PERFORMANS BELİRLENMİŞTİR:

Eleman Adı	Nonlinear İtme Analizi	Uç	Aks	Kesme Talebi [kN]	Kesme Kapasitesi [kN]
ZEMİN KAT					
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Ma jör	407.519	390.121
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Ma jör	448.361	390.121
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Ma jör	942.103	838.897
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Ma jör	860.558	838.897
PZ01	Nonlinear İtme +X -0.3Y	i	Ma jör	871.672	856.824
KZ32	Nonlinear İtme -X +0.3Y	i	Ma jör	416.473	390.121

ideCAD

PROJE: STATİK ŞABLON PROJE

Düşey Elemanların Taşıdığı Kesme Kuvveti Yüzdeleli-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X				Nonlinear İtme +Y -0.3X				Nonlinear İtme -Y +0.3X				Nonlinear İtme -Y -0.3X			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3. KAT	70.3	29.7	0	0	72.7	27.3	0	0	66.7	33.3	0	0	68.6	31.4	0	0
2. KAT	78	22	0	0	77.3	22.7	0	0	77.1	22.9	0	0	76.7	23.3	0	0
1. KAT	80.5	19.5	0	0	80.7	19.3	0	0	79	21	0	0	80	20	0	0
ZEMİN KAT	98.9	1.1	0	0	98.9	1.1	0	0	98.8	1.2	0	0	98.8	1.2	0	0
1. BODURUM	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maksimum	100	29.7			100	27.3			100	33.3			100	31.4		

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sınırı Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleli-X Yönü

Kat	Nonlinear İtme +X +0.3Y		Nonlinear İtme +X -0.3Y		Nonlinear İtme -X +0.3Y		Nonlinear İtme -X -0.3Y	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	92.2	7.8	91.9	8.1	96.8	3.2	95.5	3.5
2. KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. KAT	98	2	99.1	0.9	99.1	0.9	99.1	0.9
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	7.8	100	8.1	100	3.2	100	3.5

Alt ve Üst Kesitlerinde Belirgin Hasar Sınırı Aşmış Düşey Elemanların Kesme Kuvveti Yüzdeleli-Y Yönü

Kat	Nonlinear İtme +Y +0.3X		Nonlinear İtme +Y -0.3X		Nonlinear İtme -Y +0.3X		Nonlinear İtme -Y -0.3X	
	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH	SH	>= BH
3. KAT	82.3	17.7	80.3	19.7	84	16	83.7	16.3
2. KAT	92.7	7.3	92.8	7.2	97.1	2.9	97	3
1. KAT	95.3	4.7	95.4	4.6	97.6	2.4	97.5	2.5
ZEMİN KAT	100	0	100	0	100	0	100	0
1. BODURUM	100	0	100	0	100	0	100	0
Maksimum	100	17.7	100	19.7	100	16	100	16.3

BİNA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%100	X
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		H

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır	%0	✓
En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında olmalıdır	%0	✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı ya da Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi Değerlendirmesi :

Kriter	Sonuç	Kontrol
Herhangi bir katta kırışların en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir	%0	✓
Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı, Belirgin ya da İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır		✓
Belirgin Hasar Sınırı aşmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır	%19.7	✓

BİNA PERFORMANSI : KONTROLLÜ HASAR

GEVREK ELEMANLAR BULUNDU. AŞAĞIDAKİ ELEMANLAR DİKKATE ALINMADAN PERFORMANS BELİRLENMİŞTİR:

Eleman Adı	Nonlinear İtme Analizi	Uç	Aks	Kesme Talebi [kN]	Kesme Kapasitesi [kN]
ZEMİN KAT					
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Ma jör	407.519	390.121
KZ30	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Ma jör	448.361	390.121
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	i	Ma jör	942.103	838.897
PZ06	Nonlinear İtme +X +0.3Y	j	Ma jör	860.558	838.897
PZ01	Nonlinear İtme +X -0.3Y	i	Ma jör	871.672	856.824
KZ32	Nonlinear İtme -X +0.3Y	i	Ma jör	416.473	390.121

4.9 Yapının Güçlendirme Aşamaları



Şekil 4.9.1 Yapının dış cephe fotoğrafı

Bina güçlendirme, mevcut bir yapının dayanıklılığını ve performansını artırmak için yapılan işlemler bütünüdür.

Bu işlemler, genellikle şu amaçları hedefler:

- **Depreme karşı dayanıklılık:** Yapıların deprem yüklerine karşı direncini artırmak.
- **Kullanım ömrünü uzatma:** Binaların daha uzun süre kullanılabilir olmasını sağlama.
- **Yeniden kullanım veya güncelleme:** Yapıyı farklı amaçlarla kullanılabilir hale getirme.

Güçlendirme yöntemleri, binanın durumuna, zemin koşullarına ve kullanılan malzemelere göre değişiklik gösterir. Bazı yaygın yöntemler şunlardır:

- **Karbon fiber ile güçlendirme:** Kolon ve kirişlerde yapısal dayanımı artırma.
- **Perde duvar ekleme:** Yatay kuvvetlere karşı dayanıklılığı artırma.

Bina yapımında dikkat edilmesi gereken bazı önemli uyarı ve düzenlemeler şunlardır:

- **Yapı Ruhsatı:** İnşaatın başlaması için öncelikle yapı ruhsatı alınmalıdır. Bu, belediyeler, valiler ve Çevre-Şehircilik Bakanlığı tarafından verilir.
- **Zemin Etüdü:** İnşaat öncesi zemin etüdü yapılmalı ve zemin iyileştirmesi gerekiyorsa bu işlem tamamlanmalıdır.
- **Yangın Güvenliği:** Yangın merdivenleri, yangın dolapları ve itfaiye su verme ağzları gibi yangın güvenliği unsurları projeye dahil edilmelidir.
- **Ticari Kullanım Alanları:** Konut olarak kullanılan binaların zemin katlarındaki ticari birimlerin yüksekliği 4,5 metreyi geçmemelidir.
- **Statik Projeler:** Yeni mezun inşaat mühendisleri, zemin kat hariç 4 kata kadar olan binaların statik projelerini hazırlayabilir. Daha yüksek katlı binalar için deneyimli mühendisler gereklidir.

Bir yapının onarımına dikkat edilirken şu hususlara özen gösterilmelidir:

- **Doğru İşçilik:** Onarım yapacak ekibin referansları ve yaklaşımı önemlidir. İşçinin disiplini ve deneyimi, işin kalitesini doğrudan etkiler.
- **Kaliteli Malzeme:** Kullanılan malzemelerin standartlara uygun ve dayanıklı olması gerekir. Uzun ömürlü malzemeler seçmek, tekrar tadilat ihtiyacını azaltır.
- **Zamanlama:** Onarım sürecinin planlı ve programlı bir şekilde ilerlemesi, hem iş sahibinin hem de komşuların konforunu sağlar.
- **Yapı Bütünlüğünün Korunması:** Tarihi yapılarda, orijinal yapısal sistemin mümkün olduğunca korunması ve onarılması tercih edilir. Modern eklemelerin yapının bütünlüğünü bozmamasına dikkat edilmelidir.
- **Güvenlik Önlemleri:** Onarım sırasında iş güvenliği kurallarına uyulmalı, gerekli emniyet tedbirleri alınmalıdır.

Yeni Taşıyıcı Elemanlar Eklenerek Sistemin Güçlendirilmesi

Mevcut binaların deprem dayanımını artırmak için başvuru en verimli yöntemlerden biri, sisteme yeni yapısal elemanlar ve alt sistemler entegre etmektir. Başarılı bir sismik güçlendirme için eski sistem ile yeni eklenen kısımların birbiriyle tam uyumlu çalışması ve bağlantı detaylarının kusursuz olması şarttır.

Hangi Durumlarda Tercih Edilir? Eğer binanın yanal rijitliği çok zayıfsa ve kolon-kiriş uç noktalarında yeterli sargılama (sık etriye) bulunmuyorsa, sadece mevcut elemanları onarmaya çalışmak hem maliyetli hem de kullanışsız olacaktır. Bu gibi senaryolarda en rasyonel yaklaşım, sisteme yeni taşıyıcılar ekleyerek yapının yatay yük taşıma kapasitesini yukarı çekmektir.

Tasarım İlkeleri ve Yapısal Etkileri:

- **Yük Paylaşımı:** Doğru projelendirilmiş yeni elemanlar, deprem kuvvetlerinin çok büyük bir kısmını (hatta tasarım tercihinin göre tamamını) kendi üzerine alarak mevcut, zayıf sistemin yükünü ciddi oranda hafifletir.
- **Boyutlandırma ve Tip Seçimi:** Eklenecek ilave taşıyıcıların türü, sayısı ve ebatları; binanın hasar durumuna, kat planına ve mevcut taşıyıcı sisteminin özelliklerine göre belirlenir.
- **Rijitlik Seçenekleri:** İhtiyaca göre, mevcut yapıyla benzer yatay rijitliğe sahip elemanlar kullanılabileceği gibi, mevcut taşıyıcılardan çok daha yüksek rijitlik sunan deprem perdeleri de sisteme dahil edilebilir.
- **Davranış Değişikliği:** Yeni taşıyıcıların ilavesi, binanın genel deprem karakteristiğini tümüyle değiştirir. Yapının toplam rijitliği artacağı için yapıya etki edecek olan sismik kuvvetler de genellikle büyür ve bu kuvvetler sistem içerisinde farklı bir dağılım sergiler.
- **Dengeli Dağıtımın Önemi:** Artan yüklerin tek bir bölgede yığılmasını ve binada istenmeyen burulma (dönme) etkilerinin oluşmasını engellemek hayati önem taşır. Bu nedenle yeni eklenecek elemanların bina planında mutlaka dengeli ve homojen (üniform) bir şekilde konumlandırılması gerekmektedir.

İlave Betonarme Perdeler Kullanılarak Sistemin Güçlendirilmesi

Taşıyıcı sistemlerin sismik performansını iyileştirmek söz konusu olduğunda, sisteme yeni betonarme perdeler entegre etmek en etkili ve yaygın kabul gören yöntemdir. Ancak bu yöntemin başarısı, perdelerin doğru konumlandırılmasına bağlıdır.

Yerleşim Stratejisi ve Burulma Kontrolü: Yeni eklenecek perdelerin yerleri rastgele seçilemez. Sismik sarsıntı anında binada ekstra bir burulma (dönme) momenti oluşmasını engellemek için, yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezini birbirine en çok yaklaştıracak noktalar tercih edilmelidir (Perde konumlarının burulma davranışına etkisi Şekil 9.1’de incelenebilir). Bu planlama yapılırken, binanın halihazırdaki kolon ve perde dizilimi mutlaka referans alınmalıdır.

Bağlantı Tercihleri ve Döşeme Güvenliği:

- **İdeal Durum:** Yeni perdenin iki mevcut kolon arasına örülerek çerçeveye tam entegre edilmesi en çok tercih edilen ve en sağlıklı uygulamadır.
- **Kabul Edilebilir Durum:** Tasarım veya mimari zorunluluklar nedeniyle perdenin sadece bir ucundan mevcut kolona birleştirilmesi de belirli koşullar altında mühendislikçe uygun görülebilir.
- **Kaçınılması Gereken Durum:** Hiçbir kolona temas etmeyen, bağımsız (boşta) perdelerin inşasından kesinlikle uzak durulmalıdır. Zira bu tip bağısız perdeler, deprem yükleri altında kat döşemelerinde tehlikeli düzeyde gerilme yığılmalarına (stres konsantrasyonlarına) neden olur.

●

Betonarme Perdeleri Üç şekilde İncelenebilir

1. Dış Betonarme Perdeler

Binanın dış cephesine inşa edilen perdelerdir. İç mekandaki kullanım alanlarını daraltmadığı ve mimari planı bozmadığı için sıklıkla tercih edilir.

- **Tasarım Özellikleri:** Dış cephedeki pencereler sebebiyle genellikle kesintisiz "dolu perde" yapmak zordur; bu yüzden "boşluklu perde" formunda tasarlanırlar. Boşluklu perdeler, dolu perdelerle kıyasla daha yüksek süneklik (esneme kabiliyeti) gösterebilirler de, inşa süreçleri ve donatı detaylandırmaları çok daha fazla hassasiyet ve işçilik gerektirir.
- **Sistem Entegrasyonu:** Bütünsel bir deprem davranışı için mevcut kolon ve kirişlerle bağlantıları kusursuz olmalıdır. Perdeye komşu olan mevcut kolonların mantolanarak yeni perdeyle tek vücut haline getirilmesi en çok tavsiye edilen yöntemdir.
- **Temel Durumu:** Yeni yapılan perdenin yüklerini zemine aktarabilmesi için, ya mevcut temel sistemi kullanılır ya da perdeye özel yeni bir temel ilave edilir.

2. İç Betonarme Perdeler

Yapının iç mekanlarındaki akslara yerleştirilen taşıyıcı elemanlardır.

- **Bağlantı ve Bütünlük:** Dış perdelerdeki prensibe benzer şekilde, güçlü bir entegrasyon için perdenin her iki yanındaki kolonların mantolanarak sisteme dahil edilmesi önerilir.
- **Boşluk ve Süreklilik Detayları:** Perde güzergahında kapı veya pencere gibi boşluklar varsa; perdenin bir ucu komşu kolona bağlanırken, boşluğa bakan diğer ucunda özel bir "uç bölgesi" teşkil edilmelidir. Düşey yöndeki başlık donatılarının sürekliliğini kesintisiz sağlamak amacıyla, kat döşemelerinin perdeye denk gelen kısımları delinerek donatılar üst kata aktarılır.
- **Kısmi Bağlantı:** Eğer perde, mevcut kolonu dört taraftan sararak mantolamıyor ve sadece kolonun bir yüzeyine yaslanıyorsa, aradaki yük aktarımı (bütünleşme) kolon yüzeyine belirli aralıklarla ekilen "dikiş (bağ) donatıları" ile sağlanır.

3. Eksenel Betonarme Perdeler

Eğer binanın mevcut kolon ve kirişlerindeki hasar çok azsa veya onarım yapılarak eski dayanımına kavuşturulmuşsa, mevcut tuğla/bims gibi bölme duvarların kaldırılarak yerlerinin donatılı beton ile doldurulmasıyla elde edilen güçlendirme tipidir.

- **Kullanım Alanı:** Bu yöntem, özellikle iki veya üç katlı nispeten az katlı binalarda yeterli bir güçlendirme çözümü sunabilir.
- **Kuvvet Aktarımı:** Yeni perdenin kendisini çevreleyen çerçeve (kolon ve kirişler) ile beraber çalışabilmesi ve aradaki kesme kuvvetini iletebilmesi için dikiş donatılarına ihtiyaç vardır. Bu donatılar, mevcut kolon ve kirişlere kimyasal ankraj (epoksi) ile ekilebilir veya mevcut sistemin donatılarına doğrudan kaynaklanabilir.
- **Sistem Davranışına Etkisi:** Bu tür bir güçlendirme, mevcut taşıyıcı elemanların üzerindeki gerilme dağılımını köklü biçimde değiştirir. Normal şartlarda sadece düşey yükler altında "basınca" çalışan bir kolon, bu işlemten sonra deprem anında "çekme" kuvvetlerine maruz kalabilir.
- **Çok Katlı Yapılarda Uygulama:** Eğer bu sistem daha çok katlı yapılarda kullanılacaksa, perdenin uç kısımlarının genişletilerek komşu kolonları tamamen sarması (mantolaması) sağlanmalıdır; böylece perde uç donatılarının sürekliliği güvence altına alınmış olur.

Demir bağlarken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar:

Donatıların projelere uygunluğu: Çap, adet, aralık ve bindirme boyları kontrol edilmelidir.

Bağ telleri: Enine ve boyuna donatılar, bağ telleriyle bağlanmalıdır. Bağ tellerinin kalıp yüzeylerine değmemesine dikkat edilmelidir.

Pas payları: Beton dökümü sırasında donatının kalıp içinde yer değiştirmesini önlemek için plastik veya beton pas payları kullanılmalıdır.

Stoklama: Demirler, yağmurdan etkilenmeyecek bir şekilde, ahşap takozlar üzerinde istif edilmelidir.

Zayıf oranı: Demir imalatında zayıf oranı %2'yi aşmamalıdır.

Paslanma riski: Rutubetli iklimlerde demirlerin üzeri branda ile örtülmelidir.

Temizlik: Döşeme betonu dökülmeden önce döşemeye dökülen bağ telleri temizlenmelidir.

Kalıp yağlanması: Demir montajı sırasında ve sonunda kalıplar yağlanmamalıdır.

Güvenlik: Montaj sırasında işçilerin emniyet kemeri takması ve güvenli iskele platformlarında çalışması sağlanmalıdır.

Bağlama Açısı : özellikle etriye gibi yapıların doğru açıyla bükülmemesi durumunda ciddi yapısal sorunlara yol açabilmesidir.

Etriye : beton ve demir kullanılan yapılarda, beton kısmın basınca, demir aksamın ise çekme gerilmesine karşı dayanıklılığını sağlar. Etriyenin her iki ucunun belirli bir açıyla bükülmesi, işlevini yerine getirmesi açısından kritiktir ve genellikle 135 derece

açıyla bükülmesi gerekir. Eğer etriye bu açıyla bükülmezse, kolondaki demir kanca kısmından sıyrılıp dışarı çıkabilir, bu da kolonu ve kirişi patlatabilir veya kırabilir.

- Ayrıca, demir bağlaması kapasitesi yüksekliği hesaplanırken de açılar dikkate alınır; bu hesaplamalar, kullanılan demirlerin kalitesi, çapı ve yapı malzemeleri gibi faktörlere bağlı olarak yapılır.
- Perde demirini bağlarken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar:
- Çirozların yerleştirilmesi: Perde donatı filizlerinin üzerine, düşey ve yatay donatıların sarmalaması için çirozlar yerleştirilmelidir.
- Donatıların bağlanması: Perde donatıları, süreklilik sağlanacak şekilde bağlanmalıdır.
- Güvenlik önlemleri: Perde yüksekliği ve ağırlığı göz önünde bulundurularak, iş güvenliği için gerekli tedbirler alınmalıdır.
- Ek önlemler: Bağların yeterli görülmediği durumlarda, perdenin yerinde sabit durmayacağını düşünülmesi durumunda ek önlemler alınmalıdır.

Kalıp çakma işlemi yapılırken dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

Ölçüm ve Hizalama: Kalıp kurulumunun doğru ve projeye uygun olması için ölçümlerin dikkatli bir şekilde yapılması ve total-station gibi optik ölçüm aletlerinin kullanılması gereklidir.

İş Güvenliği: Dikey elemanlarda hem iş güvenliği hem de beton dökümü sırasında kullanılmak üzere gezinme konsolları kurulmalıdır.

Malzeme Kalitesi ve Dayanıklılığı: Kaliteli ve dayanıklı malzemeler tercih edilmelidir, çünkü bu malzemeler daha güvenli ve uzun ömürlü bir yapı sağlar, ancak maliyetleri artırabilir.

Yeniden Kullanım: Özellikle çelik ve alüminyum gibi tekrar kullanılabilir kalıplar tercih edilmelidir, bu da maliyetleri düşürür.

Hava Koşulları: Hava koşulları, inşaatın devamlılığını etkileyebilir ve bu da işçilik sürelerinin uzamasına neden olabilir.

İşçilik: Profesyonel ve kalifiye kalıp ustalarının çalışması, işin düzgün ve hızlı yapılmasını sağlar.

Beton dökülürken dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar:

Kalıp ve donatı kontrolü: Kalıplar sağlam, temiz ve yağlanmış olmalı; donatılar proje çizimine uygun şekilde yerleştirilmiş olmalıdır.

Yükseklikten dökülme: Beton, kalıba en fazla 1,5 metre yükseklikten dökülmelidir.

Vibrasyon uygulaması: Beton içindeki hava boşluklarını gidermek için iç vibratör kullanılmalıdır. Vibratör, kalıplara temas etmemeli ve betona düşey olarak daldırılmalıdır.

Yerleştirme: Beton, yatay tabakalar halinde dökülmelidir.

Uygun hava şartları: Beton dökümü aşırı sıcak, soğuk veya yağışlı havalarda yapılmamalıdır.

Yüzey işlemleri: Döküm sonrası yüzey düzleştirme ve masterlama işlemleri dikkatle yapılmalıdır.

Kürleme süreci: Beton döküldükten sonra su ile kürleme veya kür kimyasalları kullanılarak betonun çatlaması önlenmeli ve dayanımı artırılmalıdır.

Güçlendirilen Yapıda Betonarme Perde İmalatı yapım aşamaları

1. Hazırlık, İş Güvenliği ve Yıkım Aşaması

- **Yıkım ve Hafriyat:** Yeni perdenin inşa edileceği perde yapılacak yerdeki mevcut dolgu duvarlar (tuğla, bims, gazbeton vb.) yapıya titreşimsel zarar vermeden, yukarıdan aşağıya doğru kırılarak uzaklaştırılır.



Şekil 4.9.2 Perde yapılacak yerdeki dolgu duvarın yıkılması

- **Yüzey Temizliği:** Yeni perdenin temas edeceği mevcut kolon, üst kiriş ve alt temelin/döşemenin üzerindeki sıva, boya, alçı ve kaplamalar tamamen kazınarak çıplak beton yüzeyine ulaşılır ve yüzeye



Şekil 4.9.3 Mevcut kolon, kiriş ve döşeme yüzeylerindeki sıva, boya ve kaplamaların kazınarak çıplak betonun ortaya çıkarılması işlemi

2. Aderans (Tutunma) Hazırlığı ve Pürüzlendirme

- **Yüzey Pürüzlendirme:** Eski beton ile yeni dökülecek betonun kaynaşabilmesi (aderans) için, çıplak beton yüzeylerinde pürüzlü bir doku elde etmek için astar sürülür.



Şekil 4.9.4 Eski beton yüzeyine yeni dökülecek olan betonla aderansı artırmak amacıyla aderans artırıcı astarının uygulanması işlemi

3. Ankraj (Filiz Ekimi) İşlemleri

- **Delik Açılması:** Statik güçlendirme projesinde belirtilen çap, derinlik ve aralıklara sadık kalınarak; kolonlara, üst kirişe ve alt temele/döşemeye matkap tıgı ile ankraj delikleri açılır.



Şekil 4.9.5 Kolon, kiriş ve döşemede projeye uygun çap ve aralıklarda ankraj deliklerinin matkap (hilti) ile açılması işlemi

Hassas Temizlik (Kritik Adım): Açılan deliklerin içerisindeki beton tozu, basınçlı hava kompresörü ve özel tel fırçalar yardımıyla **tamamen** temizlenir. İçeride toz kalması, kimyasalın tutunmasını engelleyeceği için bu adım hayati önem taşır.



Şekil 4.9.6 Açılan ankraj deliklerinin içindeki toz ve parçacıkların, kimyasal ankraj öncesi basınçlı hava ile tamamen uzaklaştırılması işlemi

- **Kimyasal Ankraj (Epoksi) Enjeksiyonu:** İçi temizlenen deliklere, en dipten dışa doğru yapısal epoksi (kimyasal dübel) enjekte edilir ve Ankraj noktasının çekme kuvveti, en az 2.2 ton ağırlığı kaldıracak şekilde olmalıdır.



şekil 4.9.7 yapısal epoksinin tabancayla enjekte edilmesi işlemi

- **Donatı Ekimi:** Epoksi sıkıldıktan hemen sonra, nervürlü dikiş donatıları (filizler) kendi etrafında yavaşça dndrlrek deliklere yerleştirilir.



şekil 4.9.8 Epoksi uygulamasından sonra rotların dndrlrek deliklere yerleştirilmesi

4. Kalite Kontrol: Çekme (Pull-out) Testi

- Ekimi yapılan donatıların ve kullanılan epoksinin mevcut betona yeterince tutunup tutunmadığını doğrulamak amacıyla, rastgele seçilen filizlere hidrolik krikolar yardımıyla "ekme (Pull-out) Testi" uygulanır.



şekil 4.9.9 Rastgele seçilen filiz donatılara hidrolik kriko ile çekme (pull-out) testi uygulanması

5. Donatı (Karkas) İmalatı

- **Perde Donatısının Örülmesi:** Testten başarıyla geçen dikiş donatılarına (filizlere) entegre olacak şekilde, yeni betonarme perdenin yatay ve düşey gövde donatıları bağlanır.
- **Uç Bölgeleri ve Mantolama:** Perde uç bölgelerindeki sıklaştırmalar yapılır. Tasarımda varsa, mevcut kolonları çevreleyen etriyeler ve ek başlık donatıları da bu aşamada sisteme dahil edilir.



Şekil 4.9.10 Perde donatısı (karkas) imalatı tamamlanmış kalıp aşamasına geçmiş bir taşıyıcı

6. Donatı Yerleştirme Kontrolü (Kalıp Kapanmadan Önce)

Kalıp kapanmadan önce:

- Donatı çap/etkiye aralığı kontrolü
- Paspayı kontrolü
- Ankraj filizlerinin çekme/yerleşme kontrolü

7 Kalıp Kapanış Onayı

Kalıp kapatılmadan önce:

- Fotoğraflama
- Denetçi/müşavir kontrolü
- “döküme uygundur” imzası

alınır. Bu, kalite sisteminin kritik kısmıdır

8. Kalıp İşleri ve Kurulumu

- **Kalıp Montajı:** Donatı ağının etrafına, taze betonun hidrostatik basıncına dayanıklı kalıp (plywood) yerleştirilir.



Şekil 4.9.11 Kalıbı Kapatılan Perde Elemanı

- **Paspayı, Tijler ve Çirozlar:** Donatıların kalıba temas edip korozyona uğramaması için aralara plastik "paspayı elemanları" takılır. Kalıbın döküm esnasında şişmemesi ve açılmasını (patlamasını) önlemek için kalıp panoları karşılıklı olarak çelik tijler(saplamalarla) ve çirozlar yardımıyla birbirine kilitlenir.



Şekil 4.9.12 Paspayı aparatı ve plywood kalıbı tutan tij demirleri ve çiroz elemanı

- **Döküm Ağzı (Huni) Bırakılması:** Betonun, mevcut üst kiriş ile yeni perde arasına boşluksuz dolabilmesi için kalıbın en üst kısmına açılı bir döküm ağzı (beton hunisi) inşa edilir.



Şekil 4.9.13 Üst döşemede bırakılan boşluktan betonun aktarılması ve donatısı tamamlanan perde kalıbının en üstüne huni şekli verip beton dökülmesi işlemi.

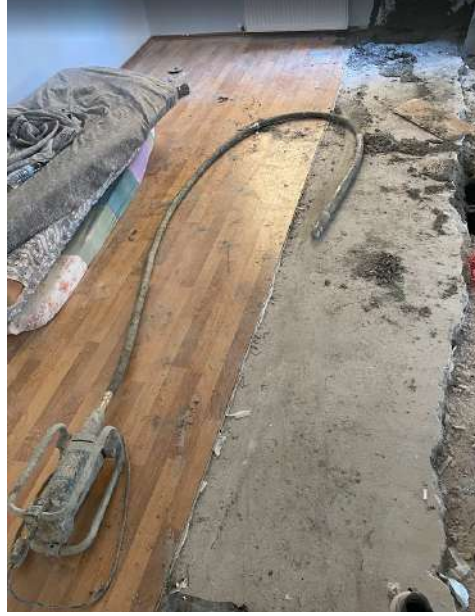
9. Beton Dökümü, Vibrasyon ve Kalite Kontrol

- **Taze Beton Deneyleri:** Şantiyeye gelen beton mikserinden, döküm öncesi "Çökme (Slump) Testi" yapılarak kıvam kontrol edilir. Ayrıca 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testleri için standart kalıplara (küp/silindir) beton numuneleri alınır.



Şekil 4.9.14 Taze betondan numune alımı ve slump deneyi yapılması

- **Döküm ve Yerleştirme:** Projede öngörülen sınıftaki kendiliğinden yerleşen taze beton kalıbın içerisine dökülür.
- **Vibrasyon Uygulaması:** Betonun donatıları tam olarak sarması, boşluk kalmaması ve homojen dağılması için döküm esnasında dalgıç vibratörler ile usulüne uygun sıkıştırma yapılır.



Şekil 4.9.15 Beton dökümü sırasında kullanılan dalgıç vibratörü

10. Kalıp Sökümü, Kürleme (Bakım) ve İnce İşçilik

- **Kalıp Sökümü:** Beton, taşıyıcı özelliğini kazanacak kadar prizini (sertleşmesini) aldıktan sonra, kalıplar betona zarar vermeyecek şekilde sökülür.
- **Kürleme (Beton Bakımı):** Çimento hidrasyonunun sağlıklı tamamlanması ve rötre (büzülme) çatlaklarının önlenmesi için beton yüzeyi ıslak tutulur (su kürü, ıslak çuval veya kimyasal kür bileşikleri ile).
- **Tıraşlama:** Üst kiriş birleşiminin tam dolması için kullanılan döküm ağzındaki (huni) fazlalık beton kırılarak yüzey mevcut sistemle aynı hizaya getirilir ve güçlendirme imalatı tamamlanır

Güçlendirilen Yapıda Betonarme FRP sargı imalatı ve yapım aşamaları

1. Yüzey Hazırlığı

FRP sargı uygulamasında, Sargının beton yüzeye tam yapışmasını ve yükleri güvenli bir şekilde aktarabilmesini sağlamak amacıyla yüzey hazırlığı büyük önem taşır. Bu kapsamda beton yüzeyindeki gevşek parçalar, toz, boya, sıva, yağ ve diğer kirleticiler tamamen temizlenir. Aksi halde FRP ile beton arasında zayıf bir ara tabaka oluşur ve yapışma azalır. Daha sonra yüzey taşlama işlemi ile düzeltilir ve kontrollü bir pürüzlülük kazandırılır. Bu işlem, epoksi reçinenin beton gözeneklerine daha iyi nüfuz etmesini sağlayarak aderansı artırır. Kolon ve kiriş köşeleri ise belirli bir yarıçapta yuvarlatılır (pahlanır). Bunun nedeni, FRP liflerinin keskin köşelerde kırılma, yırtılma veya gerilme yığılması nedeniyle hasar görmesini önlemektir. Ayrıca yuvarlatılmış köşeler, FRP kumaşın yüzeye boşluk bırakmadan tam olarak oturmasını ve sargının tüm kesit boyunca etkin çalışmasını sağlar. Böylece güçlendirme sisteminin dayanımı ve performansı artırılmış olur.



Şekil 4.9.16 Sargı öncesi beton yüzeye incek kadar temizlenerek işleme başlanır

2. Hasarlı Bölgelerin Onarımı

FRP güçlendirme uygulamasından önce mevcut beton yüzeyindeki çatlaklar, boşluklar ve diğer kusurlar uygun tamir yöntemleriyle giderilir. Çatlaklar, yapısal durumuna bağlı olarak epoksi enjeksiyonu veya tamir harçları kullanılarak onarılır. Yüzeyde bulunan segregasyon boşlukları, kırık kenarlar ve düzensizlikler ise tamir harcı ile doldurularak düzgün bir yüzey elde edilir. Bu işlemlerin amacı, FRP sisteminin yükleri yüzeye eşit şekilde aktarabilmesini sağlamak ve uygulama sonrasında oluşabilecek gerilme yığılmalarını önlemektir. Ayrıca sağlam olmayan bölgelerin güçlendirme sisteminin altında kalması engellenerek FRP'nin beton ile birlikte etkin ve güvenli çalışması sağlanır.



Şekil 4.9.17 Hasar alan kirişlere epoksi enjeksiyon yapılarak çatlakların doldurulması ve tamir harcı ile yüzeyin sıvanması

3. Astar Uygulaması

FRP sisteminin beton yüzeye güçlü ve kalıcı şekilde yapışmasını sağlamak için hazırlanan yüzeye epoksi esaslı astar uygulanır. Bu astar, betonun gözeneklerine nüfuz ederek yüzeydeki tozlanmayı bağlar ve alt tabakayı sağlamlaştırır. Böylece epoksi reçine ile beton arasında güçlü bir aderans köprüsü oluşturulur. Uygulama sonrası astarın yüzeye tam olarak emilmesi ve kimyasal bağ oluşturması için belirli bir süre beklenir. Bu aşama, FRP katmanlarının yüzeye güvenli şekilde tutunması için kritik bir geçiş tabakası görevi görür.

4. Düzeltme Macunu Uygulaması

Astar uygulamasından sonra yüzeyde kalan küçük boşluklar, gözenekler ve yüzey düzensizlikleri epoksi esaslı düzeltme macunu ile giderilir. Bu macun, yüzeyin tamamen düzgün ve homojen hale gelmesini sağlayarak FRP uygulaması için ideal bir zemin oluşturur. Böylece FRP kumaşın yüzeye tam temas etmesi sağlanır ve uygulama sırasında hava boşluğu kalması önlenir. Bu aşama, sistemin aderansını artırarak güçlendirme performansının daha güvenli ve etkin olmasına katkı sağlar.

5. Epoksi Reçine Uygulaması

FRP kumaşın beton yüzeye yapıştırılmasını sağlamak için, hazırlanan düzgün yüzeye epoksi reçine uygulanır. Bu reçine, FRP kumaş ile beton arasında yapıştırıcı görev görerek yüksek aderans sağlar. Uygulama sırasında reçinenin yüzeye eşit ve yeterli kalınlıkta sürülmesine dikkat edilir. Böylece FRP kumaşın yüzeye tam olarak yapışması, yük aktarımının sağlıklı gerçekleşmesi ve sistemin bütün olarak çalışması mümkün hale gelir.



Şekil 4.9.18 Epoksi Reçine Çift bileşenli olarak kutusu içerisinde karıştırılarak yüzeye sürülmeye hazır hale getirilir

6. FRP Kumaşın Yerleştirilmesi

Epoksi reçine uygulandıktan sonra karbon, cam veya aramid lifli FRP kumaş, proje tasarımında belirtilen lif yönüne uygun olarak dikkatlice yüzeye yerleştirilir. Bu yönlendirme, malzemenin çekme dayanımını en verimli şekilde kullanabilmek için önemlidir. Kumaş yerleştirilirken özel rulo yardımıyla bastırılarak epoksi reçinenin liflere tam olarak nüfuz etmesi sağlanır. Bu işlem sayesinde hava boşlukları giderilir, FRP ile beton arasında tam aderans oluşur ve sistemin birlikte çalışması güvence altına alınır.



Şekil 4.9.19 Karbon Sargı Malzemesi

7. İkinci Kat Reçine Uygulaması

Epoksi reçine uygulamasının ardından karbon, cam veya aramid lifli FRP kumaş, projede belirtilen fiber yönüne uygun olarak yüzeye dikkatlice yerleştirilir. Kumaşın doğru hizalanması, sistemin taşıma kapasitesi açısından kritik öneme sahiptir. Yerleştirme sırasında özel rulo yardımıyla bastırılarak kumaşın epoksi reçineyi tamamen emmesi ve beton yüzeye tam temas etmesi sağlanır. Bu işlemle birlikte hava boşlukları giderilir ve FRP sisteminin betonla bütünleşerek monolitik bir davranış göstermesi sağlanır.



Şekil 4.9.20 İki kat Reçine uygulama görseli

8. Katmanların Tamamlanması

Gerekli durumlarda, taşıma kapasitesini artırmak amacıyla FRP sistemine birden fazla katman uygulanabilir. Her yeni katman, bir önceki katman üzerine epoksi reçine ile aynı yöntem kullanılarak yerleştirilir. Katmanların fiber yönleri ve yerleşim düzeni proje detaylarına uygun şekilde dikkatle kontrol edilir. Böylece sistemin bütünlüğü korunur, yük aktarımı düzgün şekilde sağlanır ve istenilen güçlendirme performansına ulaşılır.



Şekil 4.9.21 FRP sargı ile sarılması

BÖLÜM 5

5.1 SONUÇ ve ÖNERİLER

Konut Projesinin önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanan saha araştırmaları, modelleme-analiz çalışmaları ve güçlendirme projesi yapılmıştır.

Bina önem katsayısı 1.0 olan standart yapılarda (konutlar, işyerleri, ofis ve idari binalar vb.) 2018 TB DY'ye göre, incelenen binanın **DD-2 deprem düzeyi için Kontrollü Hasar (KH)** performans seviyesini sağlaması gerekmektedir.

Buna göre, yukarıda detaylı şekilde açıklanan hesaplamalar neticesinde; yapının 2018 TB DY'ye göre hedeflenen performans seviyesi olan **DD-2 deprem yer hareketi düzeyi** için sağlaması gereken "**Kontrollü Hasar**" performans hedefini teorik olarak sağladığı, ancak bu performans seviyesinde gevrek kırılma riski taşıyan elemanların bulunduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak incelenen yapı, ilgili deprem performans hedefini ancak bu gevrek elemanların güçlendirilmesi koşulu ile sağlayabilmektedir.

Bu nedenle, yapının mevcut haliyle (güçlendirilmeden) kullanımının can güvenliği bakımından sakıncalı olduğu belirlenmiş olup, yapıya ait güçlendirme projesi ekte sunulmuştur.

5.2 KAYNAKÇA

Ahmed, A., Öztürk, H., Aslan, T.A. (2025). "Impact of Local Soil Conditions on the Seismic Performance... In the Context of the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes".Eurocode-8 ve zemin etkileşimi analizi.

(Makale) "Dynamic analyses of experimentally-updated FE model of historical masonry clock towers... according to the 2018 Turkey building earthquake code" (2019).ANSYS, TBDY-2018 yığma tarihi yapı modellemesi (Çorum).

Ahmed, A., Öztürk, H., Aslan, T.A. (2025). "Farklı Kat Yüksekliklerindeki Binaların TBDY-2018 ve Eurocode-8'e Göre Karşılaştırmalı Analizi", Çukurova Üniv. Müh. Fak. Derg. Taban kesme kuvveti formülasyonu karşılaştırması.

Alqudah, M. vd. (2023). "Abstract Book - SAP2000 software... reinforced concrete building using the Boumerdes seismic signal", İstanbul Gelişim Üniversitesi.SAP2000 dinamik analizi ve enerji yutucu sönümleyiciler.

Celep, Zekai (2022). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı / Betonarme Yapılar*, Seçkin ve Beta Yayınları. Deprem sismolojisi, TBDY uyumlu betonarme davranışı, dalga kinematığı.

Celep, Zekai. *Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme* ve muhtelif İTÜ Betonarme Seminerleri Bildiri Kitapları. Plastik mafsalsal teorileri, kesit rijitliği azalmaları.

İlki, Alper vd. "FRP (Karbon Elyaf) Güçlendirme Bina Testleri (Yalova)", DowAksa, T.C. Çevre, Şehircilik Bak. Verileri. Karbon fiber sargılama ile süneklik artışı, tam ölçekli sismik bina göçme testleri.

Sakarya Üniv. Akademik Künye Yazım Yönergesi (TBDY 2018 Atıf Formülü).Metodolojik atıf standardizasyonu.

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası (Ağustos 2023). *Kahramanmaraş Depremleri İMO Değerlendirme Raporu*. Malatya bina hasar istatistikleri, 35.964 acil yıkık bina verisi.

AFAD (2023). *Kahramanmaraş Depremi Raporu (Mw 7.7 ve Mw 7.6)*, Ankara. Pazarcık ve Narlı sismik istasyonları ivme, hız, spektrum Fourier grafikleri.

Çeşitli Makaleler (DergiPark). "Epoksi Ankraj Uygulamaları, Çekme Davranışları ve ACI-318 Kriterleri". Kimyasal ankraj, kenar mesafesi etkisi, B420 donatı pull-out testleri.

Çeşitli Makaleler (DergiPark). "6 Şubat Depremlerinin Malatya Kültür Varlıkları Üzerindeki Etkileri" ve Hasar Analizleri. Yeni Cami yıkımı, tarihi yapı hasarları, 45 bin binanın zafiyet analizi.

Harran Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi / DergiPark. "Ultrasonik Yüzey Dalgaları-Schmidt Yöntemi Yardımıyla Beton Dayanımının Bulunması". SONREB hibrit modeli, tahribatsız Karot regresyon analizi.

Ersoy, Uğur; Özcebe, Güney (2023/1995). *Betonarme 1 (Davranış ve Hesap İlkeleri)* ve *Betonarme 2 (Döşeme ve Temeller)*, Nobel Akademik Yayıncılık. Temel döşeme tasarımı, eksenel yük + eğilme analizi, TS-500.

DergiPark Makaleleri. "TBDY 2018 ve Eurocode 8 Kapsamında Etkin Kesit Rijitliği Karşılaştırması". Kiriş/Kolon rijitlik çarpanları formülasyonu.

İBB Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü (2003). *İstanbul Deprem Master Planı (İDMP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi. Makro afet risk profili, kentsel dönüşüm stratejik eylem planları.

Analizi Abdurrahman Abdillahi AHMED 1,a, Hamit ÖZTÜRK 1,b , Timuçin Alp ASLAN Farklı Kat Yüksekliklerindeki Binaların TBDY-2018 ve Eurocode-8'e Göre Karşılaştırmalı Analizi

Kenan Özyürek ve Kemal Beyen Farklı Özellikleri Olan Depremler Altında Zayıf Kat Ve Yumuşak Kat Düzensizliklerinin İncelenmesi

Salih Yılmaz Pamuk Kale Üniv. Betonarme Binaların Yapı Dışarısından Perde Duvarlarla Güçlendirilmesi

Doç. Dr. Varol Koç Ondokuz Mayıs Üniv. ONARIM VE GÜÇLENDİRME DERS NOTLARI DERS NOTLAR

Mehmet Uzun, Hasan Hüsnü Selçuk Üniv. Korkmaz Deprem Bölgesindeki Bazı Ülkelerde Eşdeğer Deprem Yüğü Metodunun Karşılaştırılması