

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YAPI BİLİM DALI**

**30 EKİM 2020 İZMİR SEFERİHİSAR DEPREMİNDE HASAR ALAN  
BETONARME BİNALARIN ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ**

**Yazar  
Ferhat DURMAZ**

**Danışman  
Prof. Dr. Ali DEMİR**



**MANİSA-2023**

**FERHAT DURMAZ**

**30 EKİM 2021 İZMİR SEFERİHİSAR DEPREMİNDE HASAR BETONARME BİNALARIN  
ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ**

**2023**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Ferhat DURMAZ**



## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Arka Planı, Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Seferihisar Depremi Sonrası Bölgede Görülen Hasar Tipleri .....	3
1.3. İzmir Bölgesinin Depremselliği .....	5
1.3.1. Tuzla Fayı.....	7
1.3.2. İzmir Fayı .....	8
1.3.3. Gediz Graben Sistemi Fayları .....	9
1.3.4. Sisam Fayı.....	11
2. BETONARME ELEMANLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI .....	12
2.1. Betonarme Malzeme Modelleri.....	12
2.2. Plastik Mafsallı Hipotezi .....	14
3. YAPILARIN DEPREM DAYANIKLILIĞININ BELİRLENMESİ.....	15
3.1. TBDY 2018'e Göre Yapıların Performans Değerlendirmesi.....	15
3.1.1. TBDY2018'e Göre Röleve ve Bilgi Düzeyi .....	15
3.1.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap .....	15
3.1.3. Elemanların Hasar Sınırları .....	17
3.1.4. Yapıların Performans Düzeylerinin Belirlenmesi.....	19
4. NÜMERİK ANALİZ .....	21
4.1. Yapının Geometrik Bilgileri .....	21
4.2. Yapının Malzeme Özellikleri.....	27
4.3. Deprem Kayıtları .....	31
4.3.1. 30.10.2020 İzmir Seferihisar Deprem İvme Kaydı.....	31
4.3.2. TBDY 2018'e Göre 11 Deprem İvme Kaydının Seçilmesi.....	32
4.4. Yapı Geometrilerinin Modellenmesi ve Analiz Sonuçları.....	38
4.4.1. İzmir Seferihisar Deprem İvme Kaydı ile Performans Analizi.....	38
4.4.2. A Blok Yapısının Zaman Tanım Alanında Hesap İle Performans Analizi .....	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR .....	54
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>KOERI</b>	Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
<b>AFAD</b>	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı
<b>ABYYHY</b>	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
<b>TBDY</b>	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
<b>MTA</b>	Maden Tetkik ve Arama
<b>M<sub>w</sub></b>	Moment Büyüklüğü
<b><math>\phi_y</math></b>	Akma Eğriliği
<b><math>\phi_u</math></b>	Kopma Eğriliği
<b>M<sub>y</sub></b>	Akma Momenti
<b>M<sub>u</sub></b>	Kopma Momenti
<b>T<sub>p</sub></b>	Hakim Doğal Titreşim Periyodu [s]
<b>R<sub>jb</sub></b>	Joyner-Boore Mesafesi (Deprem Kaynağından Yatay Olarak Mesafe)
<b>R<sub>rup</sub></b>	Deprem Kaynağından En Kısa Mesafe
<b>PGA</b>	Peak Ground Acceleration (Tepe Yer İvmesi)
<b>PGV</b>	Peak Ground Velocity (Tepe Yer Hızı)
<b>PGD</b>	Peak Ground Displacement (Tepe Yer Deplasmanı)
<b>NPTS</b>	Sismik Veri Dosyasındaki İvme sayısı
<b>DT</b>	Sismik Veri Dosyasındaki Zaman Artımı
<b>V<sub>s30</sub></b>	Bir Zeminin Sismik Hızı
<b>R</b>	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
<b>D</b>	Dayanım Fazlalığı Katsayısı
<b>I</b>	Bina Önem Katsayısı
<b>BKS</b>	Bina Kullanım Sınıfı
<b>BYS</b>	Bina Yükseklik Sınıfı
<b><math>\eta_{bi}</math></b>	i'inci Katta Tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
<b><math>\eta_{ci}</math></b>	i'inci Katta Tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
<b><math>\lambda</math></b>	Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılmasında Kullanılan Ampirik Katsayı
<b><math>\kappa</math></b>	İzin Verilen Görelî Kat Ötelemelerinin Tanımında Betonarme ve Çelik Taşıyıcı Sistemler İçin Farklı Olarak Kullanılan Katsayı
<b><math>\epsilon_c^{(GÖ)}</math></b>	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için Beton Birim Kısalması

$\epsilon_c^{(KH)}$	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi için Beton Birim Kısılması
$\epsilon_c^{(SH)}$	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi için Beton Birim Kısılması
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için Donatı Çeliğinin Birim Kısılması
$\epsilon_s^{(KH)}$	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi için Donatı Çeliğinin Birim Kısılması
$\epsilon_s^{(SH)}$	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi için Donatı Çeliğinin Birim Kısılması
$\theta_p^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için İzin Verilen Dönme Sınırı
$\theta_p^{(KH)}$	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi için İzin Verilen Dönme Sınırı
$\theta_p^{(SH)}$	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi için İzin Verilen Dönme Sınırı
$\rho_x, \rho_y$	İlgili Doğrultudaki Enine Donatıların Hacimsel Oranı
$F_{yw}$	Enine Donatı Akma Dayanımı
$a_i$	Kesit Çevresindeki Boyuna Donatıların Eksenleri Arası Uzaklık
$b_0, h_0$	Göbek Betonunu Sargılayan Etriyelerin Eksenleri Arasında Kalan Kesit Boyutlarını
$b_k$	En Dıştaki Enine Donatı Eksenleri Arasındaki Uzaklık
$A_s$	Boyuna Donatı Alanı
$s$	Etriyelerin Eksenleri Arası Uzaklık
$\epsilon_c$	Beton Basınç Birim Şekil Değiştirmesi
$E_c$	Betonun Elastisite Modülü
$f_{co}$	Sargısız Betonun Basınç Dayanımı
$E_s$	Donatı Çeliğinin Elastisite Modülü
$f_s$	Donatı Çeliğindeki Gerilme
$\epsilon_s$	Donatı Çeliğinin Pekleşme Başlangıcındaki Birim Şekil Değiştirmesi
$\epsilon_{sy}$	Donatı Çeliğinin Akma Birim Şekil Değiştirmesi
$\epsilon_{su}$	Donatı Çeliğinin Kopma Birim Şekil Değiştirmesi
$f_{sy}$	Donatı Çeliğinin Akma Dayanımı
$f_{su}$	Donatı Çeliğinin Kopma Dayanımı
$\omega_{we}$	Etkin Sargı Donatısının Mekanik Donatı Oranı
$\alpha_{se}$	Sargı Donatısı Etkinlik Katsayısı

$\rho_{sh,min}$	Dikdörtgen Kesitte İki Yatay Doğrultuda Hacimsel Enine Donatı Oranının Küçük Olanı
$f_{ywe}$	Enine Donatının Beklenen Akma Dayanımı
$f_{ce}$	Betonun Beklenen Basınç Dayanımı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Depremin Meydana Geldiği Gün Bölgedeki Sismik Yoğunluk [2].....	1
Şekil 1.2. AFAD'ın Açıkladığı Deprem Verileri.....	2
Şekil 1.3. Çıkmalardan Kaynaklı Hasarlar [4].....	3
Şekil 1.4. Yetersiz Malzeme ve Köşe Kolon Hasarı [3] .....	3
Şekil 1.5. Yumuşak Kat Kaynaklı Hasar[1].....	4
Şekil 1.6. Köşe Kolon Hasarı [3] .....	4
Şekil 1.7. Yetersiz Deprem Derzi [4].....	4
Şekil 1.8. Yetersiz Etriyeleme [3].....	5
Şekil 1.9. Doğu Akdeniz'in Tektonik Haritası [10].....	6
Şekil 1.10. İzmir Sismotektonik Yöresinde 5.5'ten Büyük ve Küçük Depremlerin Dağılımı [6].....	6
Şekil 1.11. İzmir Deprem Yöresinde Yer Alan Bazı Faylar [11].....	7
Şekil 1.12. Tuzla fayı düzlemindeki çizik, çentik ve kayma olukları [9] .....	7
Şekil 1.13. Cumalı Kaplıcası Civarında Travertenlerde Görülen Fay Sarplığı [9] .....	8
Şekil 1.14. Balçova Semtinde İzmir Fayının Genel Görünüşü [9] .....	9
Şekil 1.15. Balçova'daki Agamemnon Kaplıcası Güneyinde Temel Kayaları Kesen İzmir Fayı [9].....	9
Şekil 1.16. Gediz Grabeni Sistemi İzmir Yöresi Fay Hatları.....	10
Şekil 1.17. Manisa Fayının Doğu Segmenti Üzerinde Fay Sarplığı [9].....	10
Şekil 1.18. Çobanisa Kuzeyindeki Manisa Fayı Düzlemi [9].....	10
Şekil 1.19. Sisam Fayı [17].....	11
Şekil 1.20. Ulusal ve Uluslararası Sismoloji Merkezleri Tarafından Açıklanan Veriler [17]	11
Şekil 2.1. Betonarme Kesitin Moment-Eğrilik İlişkisi [18].....	12
Şekil 2.2. Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri için Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi .....	13
Şekil 2.3. Donatı Çeliği Gerilme- Şekil Değiştirme Eğrisi.....	13
Şekil 2.4. Plastik Mafsallı Modelleri [23].....	14
Şekil 3.1. Yapı Elemanlarının Performans Bölgeleri.....	19
Şekil 4.1. İncelenen Yapı A Blok Yan Cepheden Görünümü.....	21
Şekil 4.2. İncelenen Yapı B Blok Ön Cepheden Görünümü.....	22
Şekil 4.3. İncelenen Yapı B Blok Yan Cepheden Görünümü .....	22
Şekil 4.4. A ve B Bloklar Ön Görünümü.....	22
Şekil 4.5. A Blok 3 Boyutlu ETABS Görünümü .....	23
Şekil 4.6. B Blok 3 Boyutlu ETABS Görünümü .....	23

Şekil 4.7. A Blok 3 Boyutlu Sonlu elemanlar programı Görünümü.....	24
Şekil 4.8. B Blok 3 Boyutlu Sonlu elemanlar programı Görünümü .....	24
Şekil 4.9. A ve B Blok Yapılarının Bodrum Kat Kalıp Planı .....	25
Şekil 4.10. A ve B Blok Yapılarının Normal Kat Kalıp Planı .....	25
Şekil 4.11. A Blok Yapısının Zemin Kat Kalıp Planı .....	26
Şekil 4.12. Arşiv Projesi Normal Kat Mimari Planı .....	26
Şekil 4.13. Arşiv Projesi Ön Cephe Görünümü .....	27
Şekil 4.14. Karot ve Donatı Tespiti Yapılan Bölgeler .....	28
Şekil 4.15. Karot Alma İşlemleri .....	29
Şekil 4.16. Donatı Tespit Çalışmaları 1 .....	29
Şekil 4.17. Donatı Tespit Çalışmaları 2 .....	30
Şekil 4.18. Donatı Tespit Çalışmaları 3 .....	30
Şekil 4.19. Donatı Tespit Çalışmaları 4 .....	30
Şekil 4.20. 3513 Kodlu İstasyon ve Yapı Konumu.....	31
Şekil 4.21. AFAD TADAS'tan İvme Kayıtlarının İndirilmesi .....	31
Şekil 4.22. E-W Yönündeki Kaydın İvme-Zaman Grafiği .....	32
Şekil 4.23. N-S Yönündeki Kaydın İvme-Zaman Grafiği .....	32
Şekil 4.24. Düşey Yöndeki Kaydın İvme-Zaman Grafiği.....	32
Şekil 4.25. Yapıyı Merkez alıp 20 km Sınırı İçerisinde Yer Alan İzmir Fayı .....	33
Şekil 4.26. Yapıyı Merkez alıp 20 km Sınırı İçerisinde Yer Alan Tuzla Fayı.....	33
Şekil 4.27. Yapıyı Merkez alıp 20 km Sınırı İçerisinde Yer Alan Kemalpaşa Fayı .....	33
Şekil 4.28. İvme Kayıtlarının Ölçeklendirilmemiş Tepki Spektrumları .....	34
Şekil 4.29. Ortalama Ölçeklendirilmiş Tepki Spektrumu ve Hedef Spektrumlar.....	35
Şekil 4.30. Ölçeklendirilmemiş Umbria Deprem İvme Kaydı.....	35
Şekil 4.31. Ölçeklendirilmemiş L'Aquila Deprem İvme Kaydı .....	35
Şekil 4.32. Ölçeklendirilmemiş Christchurch Deprem İvme Kaydı .....	36
Şekil 4.33. Ölçeklendirilmemiş San Fernando Deprem İvme Kaydı.....	36
Şekil 4.34. Ölçeklendirilmemiş Chuetsu-oki Deprem İvme Kaydı .....	36
Şekil 4.35. Ölçeklendirilmemiş Parkfield Deprem İvme Kaydı .....	36
Şekil 4.36. Ölçeklendirilmemiş Imperial Valley Deprem İvme Kaydı.....	37
Şekil 4.37. Ölçeklendirilmemiş Morgan Hill Deprem İvme Kaydı .....	37
Şekil 4.38. Ölçeklendirilmemiş Düzce Deprem İvme Kaydı.....	37
Şekil 4.39. Ölçeklendirilmemiş Chi-Chi Deprem İvme Kaydı .....	37
Şekil 4.40. Ölçeklendirilmemiş Darfield Deprem İvme Kaydı.....	38
Şekil 4.41. W2 Perdesi için Fiber Plastik Mafsal.....	39

Şekil 4.42. B43 Kirişi için Atanan Fiber Plastik Mafsal.....	39
Şekil 4.43. C30 Kolonu için Atanan Fiber Plastik Mafsal.....	40
Şekil 4.44. A Blok Kat Yer Değiştirmeleri.....	42
Şekil 4.45. B Blok Kat Yer Değiştirmeleri .....	43
Şekil 4.46. A Blok Kat Ötelemeleri .....	43
Şekil 4.47. B Blok Kat Ötelemeleri .....	43
Şekil 4.48. A Blok Kat İvmeleri .....	44
Şekil 4.49. B Blok Kat İvmeleri.....	44
Şekil 4.50. A Blok Kat Kesmeleri.....	45
Şekil 4.51. B Blok Kat Kesmeleri.....	45



## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 1.1. Seferihisar Açıklarında Meydana Gelen Deprem Sonrası Hasar Sayıları.....	1
Tablo 2.1. Donatı Çeliklerine Ait Bilgiler .....	13
Tablo 4.1. Beton Numune Dayanım Hesabı .....	27
Tablo 4.2. Donatı Tespiti Tablosu.....	28
Tablo 4.3.İvme Kayıtlarına Ait Bilgiler .....	31
Tablo 4.4. Seçilen Deprem İvme Kayıtları ve Özellikleri.....	34
Tablo 4.5. Yapıların Periyotları .....	38
Tablo 4.6. A Blok Burulma Düzensizliği Oranları .....	40
Tablo 4.7. B Blok Burulma Düzensizliği Oranları .....	41
Tablo 4.8. A Blok Yumuşak Kat Düzensizliği Oranları.....	41
Tablo 4.9. B Blok Yumuşak Kat Düzensizliği Oranları .....	42
Tablo 4.10. A Bloktaki Elemanların Hasar Bölgeleri.....	45
Tablo 4.11. B Bloktaki Elemanların Hasar Bölgeleri .....	46
Tablo 4.12. A Blok Yapı Periyotları .....	46
Tablo 4.13. Bina Yüksekliği ve Bina Tabanı Kontrolü .....	47
Tablo 4.14. Zayıf Kat (B1) Kontrolü (X Yönü).....	47
Tablo 4.15. Zayıf Kat (B1) Kontrolü (Y Yönü).....	47
Tablo 4.16. Burulma Düzensizliği (A1) Kontrolü (Ex) .....	48
Tablo 4.17. Burulma Düzensizliği (A1) Kontrolü (Ey) .....	48
Tablo 4.18. Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü (Ex) .....	48
Tablo 4.19. Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü (Ey) .....	49
Tablo 4.20. TBDY 2018 Tablo 3.6'ya Göre Düzensizlik Kontrolleri.....	49
Tablo 4.21. Elemanların Hasar Bölgeleri (0°) .....	49
Tablo 4.22. Elemanların Hasar Bölgeleri (90°) .....	50

## TEŐEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda bana her aşamada desteğini, sabrını ve bilgeliğini gösteren, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali DEMİR'e içtenlikle teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam süresince, ailem ve sevdiklerimden de sonsuz destek ve anlayış gördüm. Onların sevgisi ve teşvikleri, bu zorlu süreci daha da kolay atlatmama yardımcı oldu. Onlara yürekten teşekkürlerimi sunuyorum.

Ferhat DURMAZ  
Manisa, 2023



## ÖZET

### Yüksek Lisans

**Ferhat DURMAZ**  
**Manisa Celal Bayar Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ali DEMİR**

Son yıllarda ülkemiz pek çok depremle karşı karşıya kalmıştır. Mevcut yönetmeliklere uyum sağlama ve uygulama konusundaki eksiklikler, kontrolsüz imalat ve malzeme kullanımı gibi faktörler, depremlerde can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Özellikle eski yönetmeliklerden modern yönetmeliklere geçiş dönemi, yapı güvenliği açısından zorluklarla dolu olmuştur. Depremlerin ardından görülen yaygın sorunlar arasında yumuşak kat etkisi, burulma düzensizliği, aderans ve kenetlenme problemleri, ağır ve kapalı çıkma gibi yapısal zayıflıklar, perde kullanımının yetersizliği ve zemin problemleri önemli yer tutmaktadır.

Bu çalışma, 30 Ekim 2020 İzmir Seferihisar depremi neticesinde bir bloğu tamamen göçen, diğer bloğu ise depremi hasarsız atlatan benzer özelliklerdeki yapıların performans analizlerini içermektedir. A ve B blok olarak isimlendirilen betonarme yapılar İzmir'in Bayraklı ilçesinde bulunmaktadır. Bu yapılar, geometri, yapım yılı, işçilik ve malzeme özellikleri bakımından birebir aynıdır. Depremin ardından yapılan incelemeler sonucunda A blok yapısının hasarsız olduğu, ancak B blok yapısının yıkıldığı belirlenmiştir. A blok, B bloktan farklı olarak zemin katta 5 kolonluk bir çıkıntıya sahiptir. ETABS programı ile yapıya en yakın istasyondan alınan gerçek deprem ivme kayıtları kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri yapılmış ve şekil değiştirmeler kontrol edilmiştir. Ayrıca Sonlu elemanlar programı ile TBDY 2018'e göre seçilen ve ölçeklendirilen 11 adet deprem ivme kaydıyla A blok yapısının performans düzeyi belirlenmiştir.

Sonuçlar, İzmir Seferihisar depreminin bu yapıları yıkabilecek nitelikte ivmeler oluşturmadığını göstermektedir. A blok yapısının yıkılmaması da bunun bir kanıtıdır. B blok yapısı ise imalat hataları ve yapısal düzensizlikler sebebi ile yıkıldığı tespit edilmiştir. Yapılarda mevcut olan zayıf kat düzensizliği, yumuşak kat düzensizliği, ağır/kapalı çıkmalar, kısa kolon etkisi vb. birçok kusurun B blok yapısının toptan göçmesine sebep olduğu anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler: Betonarme Yapılar, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler, İvme Kayıtlarının Seçimi, İzmir Seferihisar Depremi, Yapısal Kusurlar**

**2023, 72 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Ferhat DURMAZ**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Ali DEMİR**

Our country has been faced with many earthquakes in recent years. Deficiencies in compliance with and implementation of existing regulations, factors such as uncontrolled manufacturing and material use have caused losses of life and property in earthquakes. Especially the transition period from the old regulations to the modern regulations has been full of difficulties in terms of building safety. Common problems seen after earthquakes include soft floor effect, torsional irregularity, adhesion and clamping problems, structural weaknesses such as heavy and closed console insufficient use of curtains and floor problems are important.

This study includes performance analyses of structures with similar characteristics that completely collapsed one block as a result of the 30 October 2020 Izmir Seferihisar earthquake and the other block survived the earthquake undamaged. Reinforced concrete structures called A and B blocks are located in the Bayraklı district of Izmir. These structures are exactly the same in terms of geometry, year of construction, workmanship and material properties. As a result of the investigations carried out after the earthquake, it was determined that the A block structure was undamaged, but the B block structure was destroyed. A block, unlike B block, has a 5-column ledge on the ground floor. With the ETABS program, nonlinear time definition area analyses were performed using real earthquake acceleration records taken from the nearest station to the structure and shape changes were checked. In addition, the performance level of the A block structure was determined with 11 earthquake acceleration records selected and scaled according to TBDY 2018 with the Finite element program.

The results show that the Izmir Seferihisar earthquake did not create accelerations capable of destroying these structures. The fact that the block A structure was not demolished is also a proof of this. It has been determined that the B block structure was destroyed due to manufacturing errors and structural irregularities. Weak floor irregularity, soft floor irregularity, heavy/closed exits, short column effect, etc. present in the structures. it is understood that many defects caused the wholesale migration of the B block structure.

**Keywords: Nonlinear Behavior of Structural Elements, Nonlinear Time History Analysis, Selection of Acceleration Records, Seismicity, Structural Deficiencies.**  
**2023,72pages**

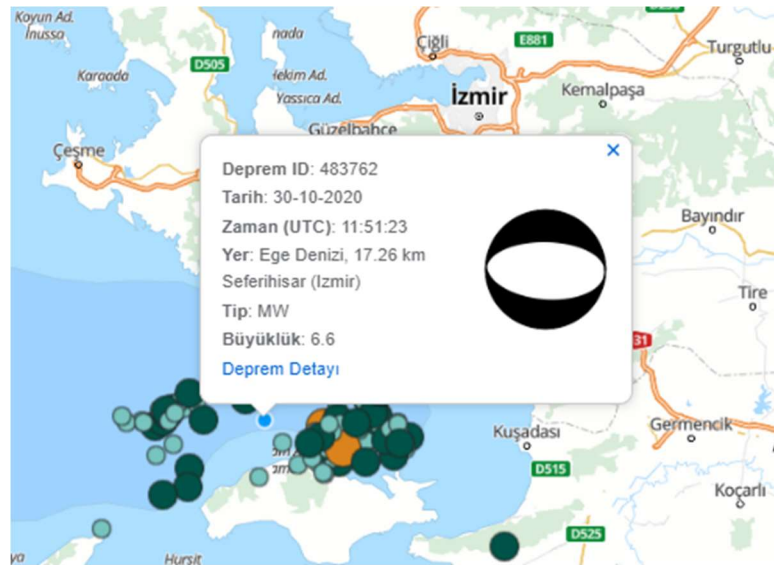
# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Arka Planı, Amacı ve Kapsamı

KOERI (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü) ve AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı) verilerine göre, 30 Ekim 2020 yılında Seferihisar açıklarındaki Sisam adası yakınlarında saat 14:51 (TSİ)'de deprem meydana gelmiştir. Ana şok, depremin en yakın yerleşim birimi olan İzmir ilinin Seferihisar ilçesine bağlı Doğanbey Payamlı köyüne uzaklığı 23,38 km'dir. Aynı zamanda İzmir iline bağlı Seferihisar-Teos, Bornova ve Bayraklı ilçeleri sırasıyla yaklaşık 40 km, 65 km ve 70 km uzaklıktadır. Seferihisar depremi başta, İzmir, Manisa Aydın, Muğla, Denizli olmak üzere, İstanbul'da da hissedilmiştir. Ana şoktan, 11.11.2020 tarihine kadar geçen zamanda, büyüklükleri 1,0 ile 5,3 arasında değişen 3000'e yakın artçı deprem kaydedilmiştir [1]. Depremde 117 can kaybı yaşanmıştır. Depremden sonra T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalar neticesinde yıkılan yapı sayısı 17, acil yıkılacak yapı sayısı 506, orta hasarlı yapı sayısı 511 ve az hasarlı yapı sayısı ise 5119 olarak belirlenmiştir.

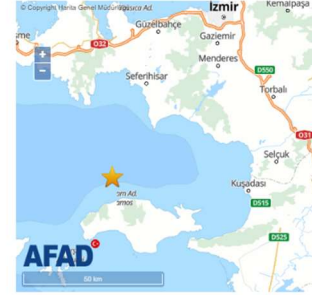
Tablo 1.1. Seferihisar Açıklarında Meydana Gelen Deprem Sonrası Hasar Sayıları

Hasar Düzeyi	Hasar Sayısı
Yıkılan	17
Ağır Hasarlı	506
Orta Hasarlı	511
Az Hasarlı	5119



Şekil 1.1. Depremin Meydana Geldiği Gün Bölgedeki Sismik Yoğunluk [2]

Tarih	30 Ekim 2020 11:51
Yer	Ege Denizi, 17.26 km Seferihisar (İzmir)
Enlem [°]	37.879
Boylam [°]	26.703
Derinlik	14.9 km
MW	6.6
ML	
MS	
MB	
MD	
PGA(cm/sn <sup>2</sup> )	179.31 (TK.0905 NS, Repl.49.38 km)
PGV(cm/sn)	22.53 (TK.3519 NS, Repl.73.08 km)
PGD(cm)	5.16 (TK.3518 UD, Repl.72.48 km)



Şekil 1.2. AFAD'ın Açıkladığı Deprem Verileri

Son 50 yılda ülkemiz 1975 Lice, 1976 Çaldıran, 1983 Erzurum, 1992 Erzincan, 1998 Adana-Ceyhan, 1999 Gölcük, 1999 Düzce, 2003 Bingöl, 2011 Van, 2020 Elazığ ve Seferihisar ve son olarak 2023 Kahramanmaraş depremlerini yaşadı. Bu süre zarfı içerisinde 1975, 1998, 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri kullanılmıştır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) 1975 yönetmeliği modern yönetmeliklerimize geçişin başlangıcı kabul edilebilir. Buna rağmen yönetmelik koşullarının uygulanmaması, kontrolsüz imalat, hazır beton kullanılmaması, nervürsüz donatıları ve betonarme yapıların tam olarak tanınmaması depremler sırasında can ve mal kayıplarını beraberinde getirdi. Geçmişten günümüze her depremde hep aynı manzaraları görmekteyiz. Yumuşak kat etkisi, burulma düzensizliği, aderans ve kenetlenme problemleri, ağır ve kapalı çıkmaların mevcudiyeti, perde kullanımının olmaması, zemin problemleri vb. nedenler her depremde inşaat mühendislerinin karşısına çıkmaktadır. Günümüzde yapıların deprem performanslarını TBDY 2018'de verilen koşullar ile belirleyebilmekteyiz.

Çalışma bu kapsamda Seferihisar depreminde göçmüş bir yapının neden göçtüğünü anlayabilmek amacıyla görünürde benzer özelliklere sahip bir diğer bloğunda yapılan röleve ve laboratuvar çalışmalarıyla her iki yapının da performans analizlerini içermektedir. Yapıların geometrik olarak birbirinden tek farkı A blok yapısının B blok yapısından 5 kolonluk çıkıntısıdır. Depremden sonra A blok yapısı yıkılmazken, B blok yapısı toptan göçmüştür. Çalışmada ETABS ve Sonlu elemanlar programı kullanılarak performans analizleri yapılmıştır. ETABS programında yapıya en yakın istasyondan alınan deprem ivme kayıtları ile doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri yapılarak şekil değiştirme kontrolleri yapılmıştır. Sonlu elemanlar programı'nda ise TBDY 2018'e göre seçilen ve ölçeklendirilen 11 adet deprem ivme kaydı ile yapıların performans düzeyleri belirlenmiştir. Çalışmanın amacı İzmir Seferihisar depremi altında her 2 bloğunda doğrusal olmayan analizlerini yapmak ve gerçek ivme kayıtları kullanarak yapıda oluşan şekil değiştirmeleri tespit etmektir.

## 1.2. Seferihisar Depremi Sonrası Bölgede Görülen Hasar Tipleri

Deprem sonrası bölgede yapılan gözlemler neticesinde tasarım ve uygulama aşamasında yapılan hatalardan, eksikliklerden ve yetersizliklerden dolayı göçtüğü ve hasar aldığı görülmüştür [3]. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

- Yetersiz taşıyıcı sistem özellikleri
- Kapalı ağır çıkımlar
- Yumuşak kat düzensizliği
- Güçlü kolon zayıf kiriş yetersizliği
- Yetersiz yanal rijitlik
- Kısa kolon etkisi
- Donatı korozyonu
- Yetersiz donatı detayı ve özellikleri
- Mühendislik hizmeti almamış yapılar
- Yetersiz beton dayanımı ve özellikleri



Şekil 1.3. Çıkmalardan Kaynaklı Hasarlar [4]



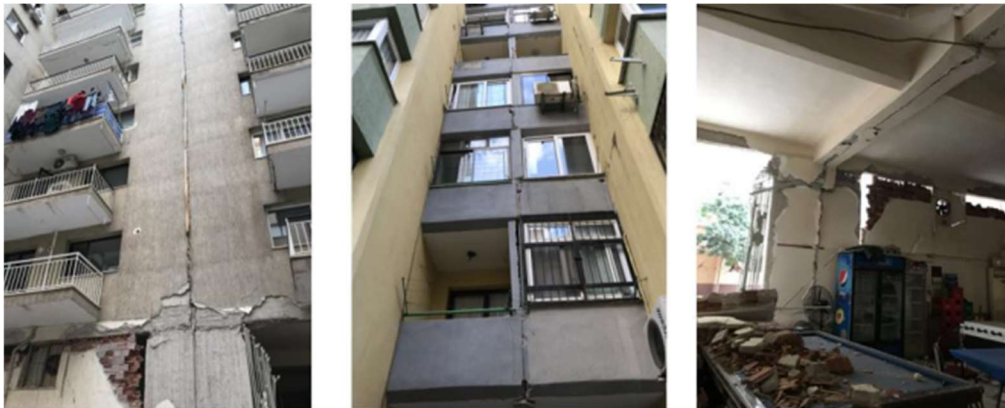
Şekil 1.4. Yetersiz Malzeme ve Köşe Kolon Hasarı [3]



Şekil 1.5. Yumuşak Kat Kaynaklı Hasar[1]



Şekil 1.6. Köşe Kolon Hasarı [3]



Şekil 1.7. Yetersiz Deprem Derzi [4]



Şekil 1.8. Yetersiz Etriyeleme [3]

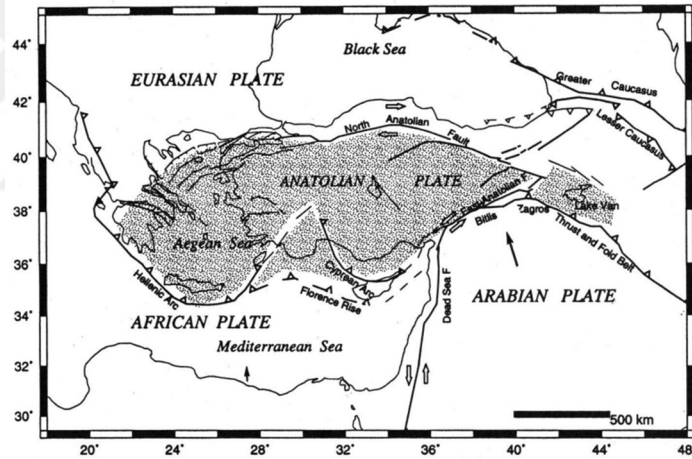
### 1.3. İzmir Bölgesinin Depremselliği

Ülkemizin Neotektonik yapısı jeolojik konumundan dolayı Afrika ve Arap levhalarının Anadolu levhasını sıkıştırması ve Arap levhasının Anadolu levhasını sıkıştırması sonucu belirlenmiştir [5]. İzmir deprem yöresinde etkin olan deprem tektonik depremlerdir. İzmir Yöresinde tarihsel döneme ait ancak 151 deprem kaydı elde edilebilmiştir. Bu kayıtların çoğu İzmir Körfezi ve Büyük Menderes grabeninde toplanmıştır. İzmir deprem yöresinde meydana gelebilecek en büyük deprem büyüklüğü 4.1-6.3 M arasında %95 olasılıkla olabilmektedir. Yıl içerisinde 3.5 M'den küçük 6.9 M'den büyük deprem olasılığı %100 olasılıkla yoktur [6].

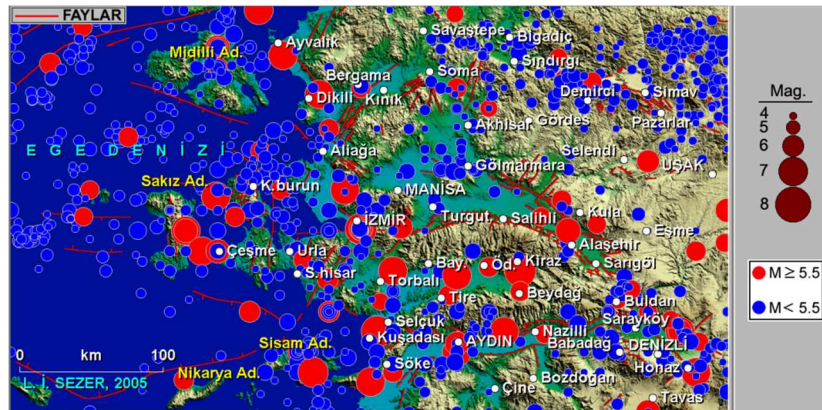
Bölgedeki önemli faylar doğrultu atımlı fay olarak; Karaburun, Zeytindağ-Bergama ve Tuzla fay zonlarıdır. Normal fay olarak ise; İzmir fayı körfezin doğu-batı gidişli iç kısmını kontrol etmektedir. Bölgedeki diğer normal faylar ise İzmir Körfezi'ni ağzında Çandarlı baseninde, güney şelf alanında Küçük Menderes açıklarında Küçük Menderes grabeninin denizdeki uzantısında ve Alaçatı-Teke açıklarında yer yer haritalanmıştır [7]. Ege denizinin ortasında yer alan Sisam fayı en Ege denizindeki önemli faylardan biridir. Sisam ve Eğriboz adaları arasında güneye doğru bir ark şeklindedir. Batimetrik olarak son derece belirgindir [8].

Maden Tetkik ve Arama (MTA)'nın 2005 yılında yayımladığı İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri raporunda diri faylar aşağıdaki şekilde sıralanabilir [9];

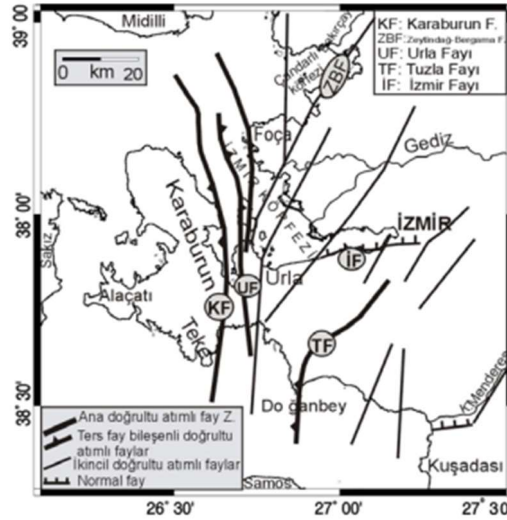
- Gediz Grabeni Batısı Fayları
- Güzelhisar Fayı (Doğrultu Atımlı Fay)
- Yenifoça Fayı (Doğrultu Atımlı Fay)
- İzmir Fayı (Normal Fay)
- Menemen Fay Zonu (Normal Fay)
- Bornova Fayı (Kuzeydeki Normal Güneydeki Doğrultu Atımlı Fay)
- Gümüldür Fayı (Normal Fay)
- Tuzla Fayı (Doğrultu Atımlı Fay)
- Seferihisar Fayı (Doğrultu Atımlı Fay)
- Gülbahçe/Karaburun Fayı (Doğrultu Atımlı Fay)



Şekil 1.9. Doğu Akdeniz'in Tektonik Haritası [10]



Şekil 1.10. İzmir Sismotektonik Yöresinde 5.5'ten Büyük ve Küçük Depremlerin Dağılımı [6]



Şekil 1.11. İzmir Deprem Yöresinde Yer Alan Bazı Faylar [11]

### 1.3.1. Tuzla Fayı

Tuzla Fayı İzmir deprem yöresinin en önemli faylarında biridir. İzmir'in güneybatısında Gaziemir ve Doğanbey arasında uzanır. Doğanbey burnundan Ege Denizi'ne ulaşır. Batimetrik veriler fayın deniz içerisinde de güneybatıya doğru devam ettiğini göstermektedir. Nitekim, Doğanbey burnu ve adası yöresinde deniz içerisindeki sıcak su kaynakları bunu doğrulamaktadır [8]. MTA İzmir Raporuna göre fayın deniz içerisinde yaklaşık 10 km devam ettiği bilinmektedir [9]. Fayın karadaki uzunluğu 40-45 km ve 1-3 km genişliğindedir. Sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir faydır [12]. Bu fayın yaklaşık olarak 2000 yıldır kırılmadığı ve kırılacağı şu anki bilimsel verilerin ışığı biliniyor.



Şekil 1.12. Tuzla fayı düzlemindeki çizik, çentik ve kayma olukları [9]



Şekil 1.13. Cumalı Kaplıcası Civarında Travertenlerde Görülen Fay Sarplığı [9]

### 1.3.2. İzmir Fayı

İzmir fayı yaklaşık 40 km uzunluğunda doğu-batı uzanımlıdır. Bölgesel olarak Gediz grabeninin devamı niteliğindeki bir yapısal hatta paralel olarak devam etmektedir. Fay doğudan batıya doğru üç geometrik segmente ayrılmaktadır. Bu segmentler Pınarbaşı, Balçova ve Narlıdere segmentleridir [13]. İzmir Fayı kireçtaşı/kumtaşı birimleri ile Kuvaterner alüvyon birimlerinin ara kesitinde bulunmakta ve kıyı şeridine paralel olarak uzanarak normal fay özelliği göstermektedir. Çeşitli çalışmalar sonucu İzmir fayı için 6.5 büyüklüğündeki bir senaryo depreminde ana kaya ortalama ivme değeri 0.24g olarak tahmin edilmiştir. Senaryo depremi sonucu 0.4-0.66 g arası yüzey ivmeleri olabileceği belirlenmiştir. Fayın doğu kolu kırılırsa, hasarın çoğunlukla Alsancak ve Konak semtlerinde yoğunlaşacağı, batı kolu kırılırsa ise en büyük hasar İnciraltı ve Balçova semtlerinde görüleceği belirtilmiştir [14].



Şekil 1.14. Balçova Semtinde İzmir Fayının Genel Görünüşü [9]



Şekil 1.15. Balçova'daki Agamemnon Kaplıcası Güneyinde Temel Kayaları Kesen İzmir Fayı [9]

### 1.3.3. Gediz Graben Sistemi Fayları

Gediz grabeni genelde doğu-batı gidişli bir yapıya sahiptir. Salihli'nin doğusunda güneydoğuya doğru dönerek Sarıgöl-Buldan arasında iyice daralmaktadır. Grabenin batı ucunun geçmiş deprem aktivitesine bakıldığında MÖ. 17, 1592, 1850, 1862 yıllarında depremler meydana gelmiştir [15]. 1881-2011 yılları arasında Gediz grabeni üzerinde hasar oluşturan ( $M_w < 5.5$ ) 40'tan fazla deprem meydana gelmiştir [16].

Anadolu'nun en önemli sismojenik zonlarından olan Gediz grabeninin batısındaki faylardan kaynaklanabilecek depremler İzmir ve çevresindeki yerleşmeleri etkileyecek

konumdadır. Doğuda Sarıgöl ile batıda Manisa ve Kemalpaşa arasında doğu-batı genel uzanımında yaklaşık 150 km uzunluğundaki normal fay sistemine bağlı olarak şekillenmiştir. Graben ana sıyrılma fayı, Kemalpaşa fayı, Dağkızılca fayı ve Manisa faylarından oluşur [9].



Şekil 1.16. Gediz Grabeni Sistemi İzmir Yöresi Fay Hatları



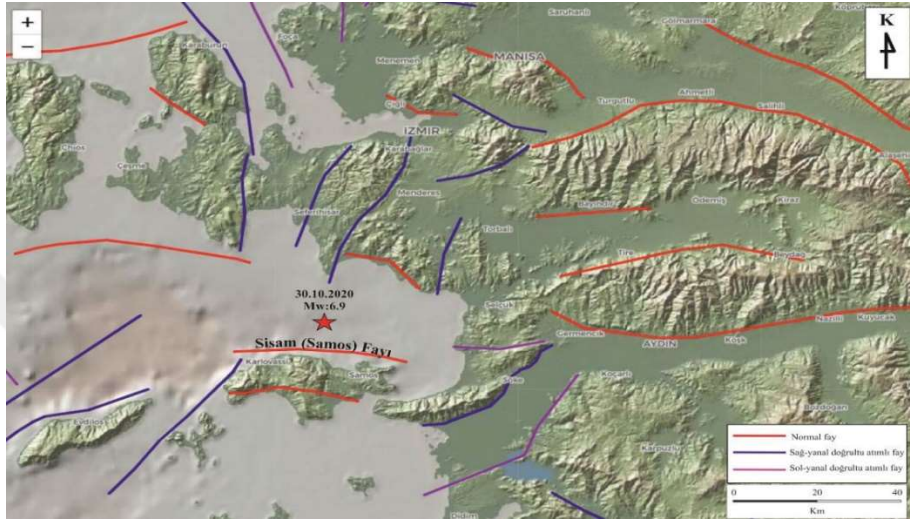
Şekil 1.17. Manisa Fayının Doğu Segmenti Üzerinde Fay Sarplığı [9]



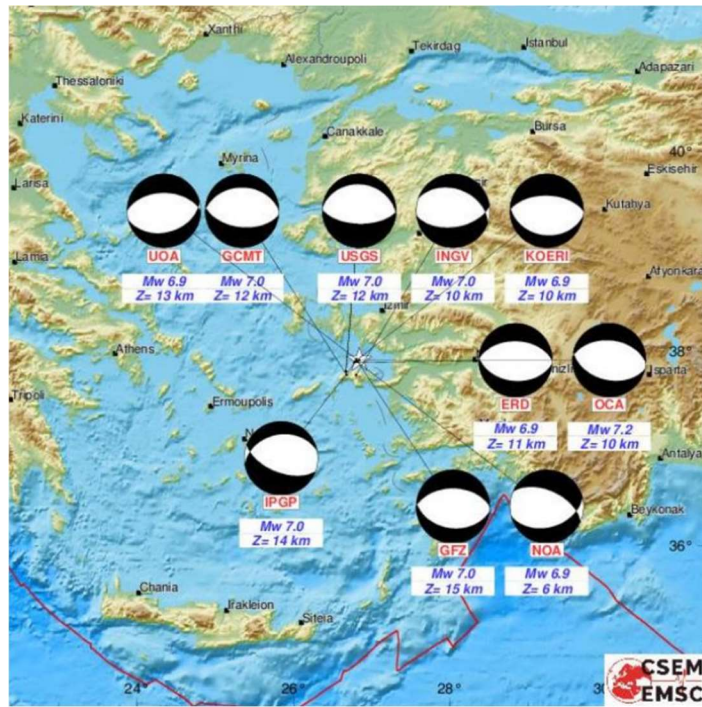
Şekil 1.18. Çobanisa Kuzeyindeki Manisa Fayı Düzlemi [9]

### 1.3.4. Sisam Fayı

Sisam Fayı doğu-batı doğrultulu yaklaşık 40 km uzunluğunda deniz altında uzanan bir faydır. Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen normal faylar için ampirik formül kullanılarak yapılan hesaplamalar, 40 km uzunluğundaki Sisam Fayını (Sisam Fayı) tetikleyebilecek en büyük depremin Mw: 6.97 en fazla yer değiştirme 2,01 metre, ortalama yer değiştirme ise 0,87 metre olarak hesaplamıştır. [17].



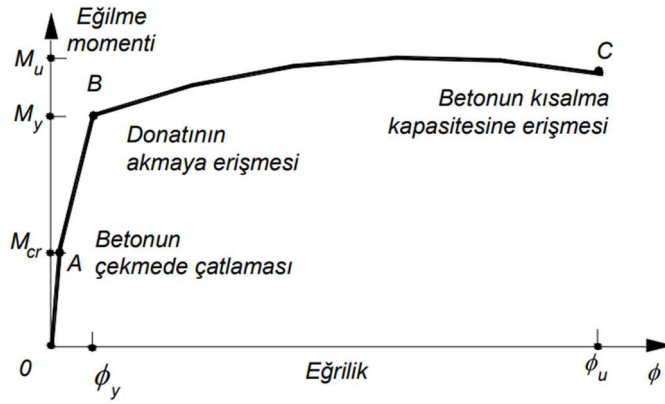
Şekil 1.19. Sisam Fayı [17]



Şekil 1.20. Ulusal ve Uluslararası Sismoloji Merkezleri Tarafından Açıklanan Veriler [17]

## 2. BETONARME ELEMANLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

TBDY Bölüm 5.3'te yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışını belirlemek adına yığılı ve yayılı plastik mafsal modelleri sunulmuştur. Şekil 2.1'e bakıldığında ilk kırılmanın olduğu A noktası betonun çatlamasını, ikinci kırığın olduğu B noktası donatının akmasını ve C noktası ise betonarme kesitin güç tükenmesini belirtir. Şekil 2.1'de B noktasının sol ve sağını iki bölge olarak düşünebiliriz. Burada doğrusal davranışı B noktasının solu, doğrusal olmayan davranışı ise B noktasının sağı olarak düşünebiliriz. A noktası doğrusal davranıştan ilk sapmayı belirtirken B noktasında doğrusal davranıştan sapma daha da belirgin hale gelir [18].



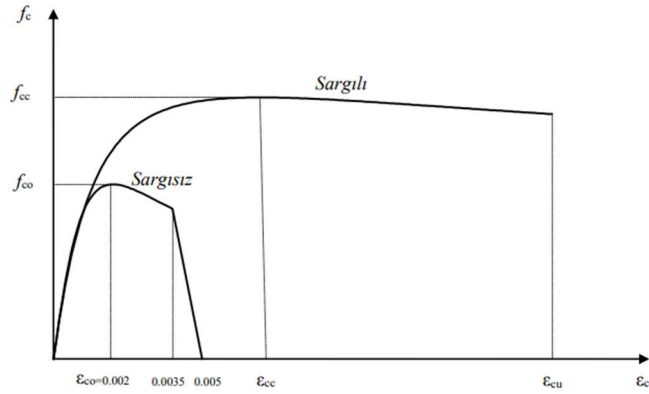
Şekil 2.1. Betonarme Kesitin Moment-Eğrilik İlişkisi [18]

Süneklik, deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, yapı dayanımında önemli bir azalma veya kararsız bir denge olmaksızın, elasto-plastik davranış ve tersinir, dönüşümlü büyük şekil değişimleriyle emebilme yeteneğidir. Süneklik; malzeme sünekliği, kesit sünekliği, deplasman sünekliği ve eğrilik sünekliği olarak 4'e ayrılabilir [19]. TBDY 2018 Tablo 4.1'de üç farklı süneklik düzeyi belirlenmiştir. Süneklik düzeyi yüksek, karma ve sınırlı olan bu üç düzey için çeşitli taşıyıcı sistemlerin Taşıyıcı Sistem Davranış(R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları(D) verilmiştir. TBDY Bölüm 7'de ise süneklik düzeyleri için yapı elemanlarının tasarım kuralları verilmiştir. Şekil 2.1'de kesit sünekliği  $=\phi_u/\phi_y$  ile belirlenir.

### 2.1. Betonarme Malzeme Modelleri

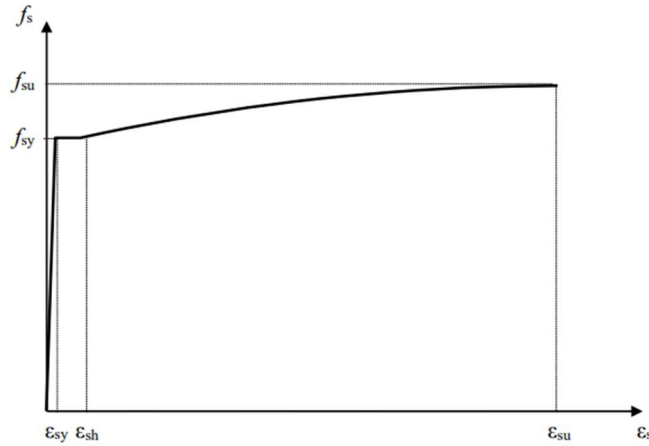
Doğrusal olmayan yöntemler ile şekil değiştirmeye göre değerlendirmede kullanılacak beton ve donatı malzemesi için gerilme şekil değiştirme eğrisi TBDY 2018 EK 5A'da verilmiştir.

Beton dayanımında sargı donatısının önemi büyüktür. Sargı donatı beton dayanımını ve şekil değiştirme yeteneğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Günümüzde ETABS ve SAP2000 gibi programlar sargı donatısının etkinliğini programa tanımlamak için Mander ve Ark. (1988) [20] modelini kullanmaktadır.



Şekil 2.2. Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri için Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

TBDY 2018'e göre donatı çeliğinin elastiklik modülü  $E_s=2 \times 10^5$  MPa'dır. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 2.3'te verilmiştir. Donatı kalitesine göre bu egrideki parametrelerin değerleri ise **Tablo 2.1**'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Donatı Çeliği Gerilme- Şekil Değiştirme Eğrisi

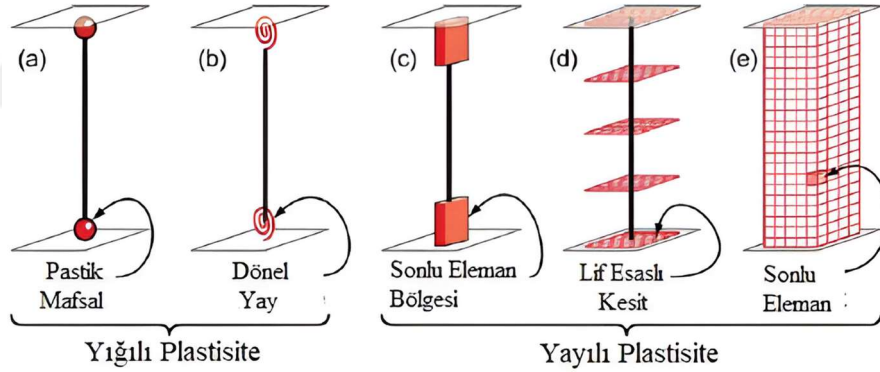
Tablo 2.1. Donatı Çeliklerine Ait Bilgiler

Kalite	$F_{sy}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}/f_{sy}$
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.2
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15-1.35

## 2.2. Plastik Mafsal Hipotezi

Yapısal analizde, yapı elemanının elastik olmayan davranışı yığılı veya yayılı plastik mafsal modelleriyle belirlenebilir. Yığılı plastik mafsal modeli akmanın bir eleman boyunca değil, muhtemelen eleman uçlarında meydana geleceği durumlar için uygulanır. Yayılı plastik mafsal modeli ise akmanın bir eleman boyunca meydana geldiği durumlarda uygulanır [21]. TBDY 2018 Bölüm 5.3'te her iki plastik davranış modeli de verilmiştir.

Yığılı plastisite ve yayılı plastisite, çerçeve yapılarının sayısal analizinde kullanılan iki genel yaklaşımdır. Yığılı plastisite uzun yıllardır kullanılan ve kabul edilen bir yaklaşım olmasına rağmen, yayılı plastisite yaklaşımı bilgisayar gücünün ilerlemesiyle birlikte önemli ölçüde gelişmiştir [22]. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere yığılı plastik mafsal modeli plastik mafsal ve dönel yay, yayılı plastik mafsal modeli ise sonlu eleman bölgesi, lif esaslı kesit ve sonlu eleman şeklinde kullanılabilir.



Şekil 2.4. Plastik Mafsal Modelleri [23]

Yığılı plastik mafsal modelinde elemandaki doğrusal olmayan davranışın belirli bir kesitte olduğu elemanın geri kalanının doğrusal davrandığı varsayılır. TBDY 2018'de doğrusal olmayan davranışın belirlendiği bu nokta düğüm noktalarından  $L_p=0.5h$  uzaklıkta bulunmaktadır. Bu noktada oluşan şekil değiştirmeler ve plastik dönmeler elemanın doğrusal olmayan davranışını belirlemede etkilidir. Yayılı plastik mafsal modeli kesit ve eleman boyunca gerilme ve şekil değiştirmeleri daha ayrıntılı olarak modelleyebilmektedir [24].

### **3. YAPILARIN DEPREM DAYANIKLILIĞININ BELİRLENMESİ**

Ülkemizde yapıların deprem dayanıklılığının belirlenmesi iki farklı yönetmelik kullanılarak yapılmaktadır. Bu yönetmelikler, 16.02.2019 tarihinde yürürlüğe giren “Riskli Yapıların Tespit edilmesine İlişkin Esaslar” yönetmeliği ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018” [25] yönetmeliğidir. TBDY 2018’de yapının performans düzeyi belirlenirken, RBTE’de yapının risk durumu belirlenir. Çalışmada TBDY 2018’e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap ile performans analizleri yapılmıştır. İlk çalışma Seferihisar depremi ivme kaydının AFAD TADAS’tan indirilerek tek deprem ivme kaydı ile yapılmıştır. İkinci çalışma ise PEER Yer Hareketleri Veritabanı [26]’ndan indirilen on bir deprem ivme kaydı kullanılarak yapılan çalışmadır.

#### **3.1. TBDY 2018’e Göre Yapıların Performans Değerlendirmesi**

Yapıların TBDY 2018’e göre performans analizleri ETABS V20 ve Sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmıştır. Elemanlarda oluşan hasarlar TBDY 2018’deki sınır koşullarına göre değerlendirilmiştir.

##### **3.1.1. TBDY2018’e Göre Röleve ve Bilgi Düzeyi**

Yapıların röleve çalışmaları sahada bizzat yapılan çalışmalar neticesinde elde edilmiştir. B blok yıkıldığı için A blokta yapılan çalışmalar baz alınmıştır. Yapıların betonarme projeleri mevcut ve ölçümler ile arasında önemli farklılıklar göstermemektedir. Donatı tespiti; donatı tarama ve sıyırma ile malzeme özellikleri ise malzemelerden yeterli miktarda numune alınarak TBDY 2018’e göre gerçekleştirilmiştir. Kapsamlı bilgi düzeyi seçilmiştir.

##### **3.1.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap**

TBDY 2018’e göre zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan analizler için en az on bir deprem ivme kaydı gerekmektedir. Deprem ivme kayıtları analizi yapılacak yapının bulunduğu bölgenin sismolojik yapısına göre seçilmelidir. Bu hususta aşağıdaki maddeler önem arz etmektedir;

- Seçilecek depremlerin bölgede beklenen deprem büyüklüğüne yakın olması,
- Deprem ivmelerinin alındığı kayıt istasyonlarının faya uzaklıkları (Rrup, Rjb vb. değerler),

- Seçilecek depremin kaynak mekanizmasının yapının bulunduğu bölgedeki kaynak mekanizmalarına uyumu,
- Seçilecek depremin kayma hızının yapının bulunduğu konumdaki yerel zemin koşulları ve kayma hızına uyumu,
- En düşük kullanılabilir frekansın ilgilenilen en uzun peryoda göre belirlenmesi,
- Orijinal kayıta bulunmayan kalıcı yer değiştirmelerin dönüştürülmüş kayıta da bulunmaması,
- Dönüştürülen deprem ivme kayıtlarının etkili süreleri,
- PGA, PGV ve PGD değerlerinin TDTH verileri ile uyumu.

Deprem ivmelerinin ölçeklendirilmesi veya dönüştürülmesi işlemleri için kullanılacak yöntemlerde TBDY 2018’de belirtilmiştir. Ayrıca Yasin M. Fahjan 2008’de deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi konusunda önemli bilgiler vermektedir. Zemin sınıfı, deprem bölgesi ve bina önem katsayısı belirlenen iki örnek üzerinde kayıtların ölçeklenmesi detaylı olarak açıklanmıştır [27]. Üç boyutlu hesap için basit ölçeklendirme yöntemi ve ivme kayıtlarının spektral uyumu sağlayacak şekilde dönüştürülmesi yaygın kullanılan yöntemlerdir. Üç boyutlu hesap için basit ölçeklendirme yönteminde, seçilen her bir deprem kaydı için ayrı ayrı takımların iki yatay bileşenlerine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilir. Ardından bileşke spektrumların ortalaması alınır. Ortalaması elde edilen bileşke spektrumların  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3’ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilir. Deprem ivme kayıtlarının spektral uyumu sağlanacak şekilde dönüştürülmesi işlemi ise kullanılacak deprem yer hareketlerinin her birinin ayrı ayrı tasarım spektrumuyla eşleştirilmesi ile edilir. Dönüştürülen ivme kayıtlarının tepki spektrumlarının ortalaması alınır ve tasarım spektrumu ile karşılaştırılır. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır. Bu dönüştürme işlemi için Rspmatch ve Seismomatch gibi programlar kullanılabilir. Bu programlardan dönüştürülen ivme kayıtlarının dönüştürülmüş zaman serilerini elde edilir. Elde edilen ivme- zaman verileri zaman tanım alanında analiz yapılacak SAP2000, ETABS vb. programlara doğrudan yüklenebilir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, yapısal veya mühendislik problemlerinin doğrusal olmayan davranışını anlamak için kullanılabilen bir analiz yöntemidir. Bu yöntem özellikle yapıların dinamik yükleme altındaki davranışını modellemek için kullanılır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri, doğrusal olmayan malzeme davranışını, büyük deformasyonları, plastik deformasyonları ve diğer doğrusal olmayan olayları dikkate alır. Bu analiz yöntemi, yapıların gerçek dünyadaki dinamik yüklere nasıl tepki vereceğini daha doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılır. TBDY 2018'e göre deprem ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda ve birlikte etki ettirilecektir. Bu ivme kayıtlarının eksenleri döndürülüp hesap tekrarlanacaktır. En az on bir deprem ivme kaydı 0° ve 90° olmak üzere toplamda en az 22 analiz sonucu verecektir. Bu analiz sonuçlarının en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınarak değerlendirme yapılacaktır.

### 3.1.3. Elemanların Hasar Sınırları

Betonarme binalar için şekil değiştirme sınırları TBDY 2018 Bölüm 5.8'de açıklanmaktadır. Dikdörtgen betonarme kesitin beton malzemesi için denklem 3.3'te verilen göçmenin önlenmesi performans düzeyi hesaplandıktan sonra bu değer 0.75'i alınarak kontrollü hasar performans düzeyi hesaplanır. Sınırlı hasar performans düzeyi ise denklem 3.6'da verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad (3.6)$$

Betonarme kesitin donatı çeliği malzemesi için göçmenin önlenmesi performans düzeyi sınırı, donatı çeliğinin **Tablo 2.1**

'de verilen çekme dayanımına karşılık gelen birim uzama ( $\varepsilon_{su}$ ) elde edildikten sonra bu değer 0.4'ü alınarak elde edilir. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi hesaplandıktan sonra bu değer 0.75'i kontrollü hasar performans düzeyine karşılık gelir. Sınırlı hasar performans düzeyi ise denklem 3.9'da verilmiştir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (3.9)$$

Dikdörtgen kesit için denklem 3.10'daki etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını ( $\omega_{we}$ ) hesaplamak için sargı donatısı etkinlik katsayısını ( $\alpha_{se}$ ), dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını ( $\rho_{sh,min}$ ) ve enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanım ( $f_{ywe}$ ) hesaplamak gerekmektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\rho_{sh,min}\frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.10)$$

Sargı donatısı etkinlik katsayısını ( $\alpha_{se}$ ) ise denklem 3.11 ile hesaplanmaktadır. Burada  $a_i$  bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı,  $b_k$  dik doğrultudaki çekirdek boyutunu,  $b_o$  ve  $h_o$  ise sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını göstermektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad (3.11)$$

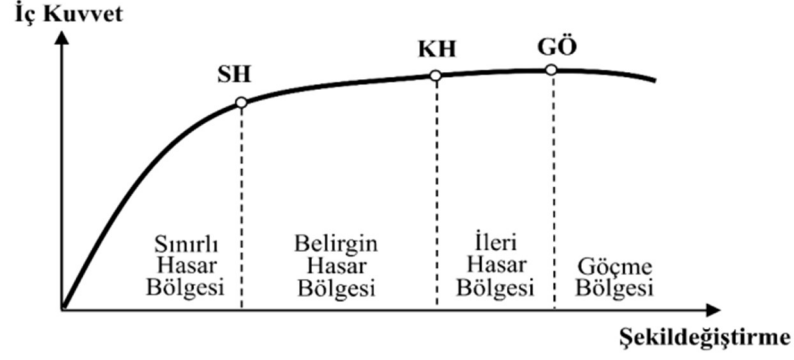
Betonarme kesitin plastik dönme sınırları ise denklem 3.12, 3.13 ve 3.14 ile hesaplanmaktadır. Buradaki  $\varphi_u$  ve  $\varphi_y$  değerleri için kesitin moment-eğriliğinin çıkartılması gerekmektedir.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\varphi_u - \varphi_y)L_p \left(1 - 0.5\frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5\varphi_u d_b \right] \quad (3.12)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (3.13)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (3.14)$$

Moment-eğrilik ilişkisi dönmeye ve deformasyona tabi tutulan kesitlerin davranışını anlamak için kullanılır. Kesitin çatlamaya ilk başladığı anı, akmaya başladığı anı ve gücünün tükendiği anı buluruz. Bu anlarda oluşan moment ve eğrilik değerleri bize kesitin davranışı hakkında bilgiler verir. SAP2000, ETABS ve XTRACT gibi programlar vasıtasıyla bu eğrilik elde edilebilir.



Şekil 3.1. Yapı Elemanlarının Performans Bölgeleri

Plastik mafsallar genellikle elemanların her iki ucundaki kesitlere atanırlar. Bu kesitlerdeki en olumsuz performans düzeyi elemanın performans düzeyini verir. Sınırlı hasarı aşmayan elemanlar sınırlı hasar bölgesinde kabul edilir. Kontrollü hasarı aşmayan fakat sınırlı hasar performans düzeyini aşan elemanlar belirgin hasar bölgesinde kabul edilir. Kontrollü hasarı aşan fakat göçmenin önlenmesi performans düzeyini aşmayan elemanlar ise ileri hasar bölgesinde kabul edilir. Göçmenin önlenmesi performans düzeyini aşan elemanlar ise göçme bölgesinde kabul edilir.

#### 3.1.4. Yapıların Performans Düzeylerinin Belirlenmesi

Elemanların hasar bölgeleri TBDY 2018 Bölüm 5.8 ve 15.3'e göre belirlendikten sonra yapının genel performans düzeyi belirlenmelidir. Yapının performans düzeyini belirlemek için ise TBDY 2018 Bölüm 15.8 kullanılır.

Yapının sınırlı hasar performans düzeyinde olması için;

- Kirişlerin en fazla %20'sinin belirgin hasar bölgesine geçmesi,
- Diğer tüm taşıyıcı sistem elemanlarının sınırlı hasar bölgesinde olması,
- Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri gerekmektedir.

Yapının kontrollü hasar performans düzeyinde olması için;

- Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri,
- Bir katta ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'inin ileri hasar bölgesine geçmesi,
- İleri hasar bölgesindeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olması,

- En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranının en fazla %40 olması,
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü sınırlı hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesinde olması,
- Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden belirgin hasar sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekmektedir.

Yapının göçmenin önlenmesi performans düzeyinde olması için;

- Bir katta ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'sinin göçme bölgesine geçmesi,
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya ileri hasar bölgesinde olması,
- Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden belirgin hasar sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekmektedir.

Yapının göçme durumunda olması için yapının göçmenin önlenmesi performans düzeyini dahi sağlamaması gerekmektedir.

Özet olarak; malzemeden yola çıkıp malzemenin performans düzeyini belirleriz, malzemelerden yola çıkarak da plastik mafsal atanan kesitin performans düzeyini belirleriz, her iki uçtaki kesitlerden yola çıkarak elemanın hasar bölgesi belirlenir. Elemanların hasar bölgelerinden, gevrek elemanların güçlendirilmesinden ve kesme kuvveti oranlarından yola çıkarak da yapının performansını belirlemiş oluruz.

## 4. NÜMERİK ANALİZ

### 4.1. Yapının Geometrik Bilgileri

Tez kapsamında 2 bloktan oluşan İzmir Seferihisar depreminde biri yıkılan diğeri yıkılmayan iki betonarme yapı üzerinde çalışılmıştır. Yapılar, İzmir ili, Bayraklı ilçesinde bulunan dokuz katlı betonarme binalardır. Binalar; yarım bodrum, zemin ve 7 normal kattan oluşmaktadır. Binalar, 1993 yılında ticarethane ve konut olarak, taşıyıcı sistemi çerçeve, döşeme sistemi kirişli olarak tasarlanmışlardır. Ortalama kat yüksekliği 2,86 m, zemin katta 3,80 m'dir. Bina boyutları yaklaşık 20,10 m x 14,50 m'dir. Görünürde A blok ve B bloğu ayıran en önemli fark A bloğun zemin katında sonradan eklenen 5 kolonluk çıkıntıdır. Yapının Seferihisar deprem ivme kaydıyla analizi A ve B blok için ETABS programında yapılırken, on bir deprem ivme kaydıyla analizi A blok için Sonlu elemanlar programında yapılmıştır.

Yapı Bilgileri;

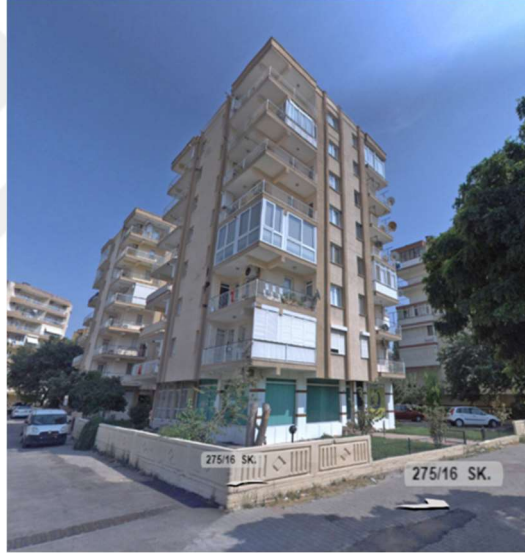
- Bina Yükseklik Sınıfı: 5
- Deprem Tasarım Sınıfı: 1
- Bina Önem Katsayısı: 1
- Bina Kullanım Sınıfı: 3
- Hareketli Yük Katılım Katsayısı: 0.3
- Bilgi Düzeyi: 1
- Kat Bilgileri: Bodrum Kat+8 Normal Kat



Şekil 4.1. İncelenen Yapı A Blok Yan Cepheden Görünümü



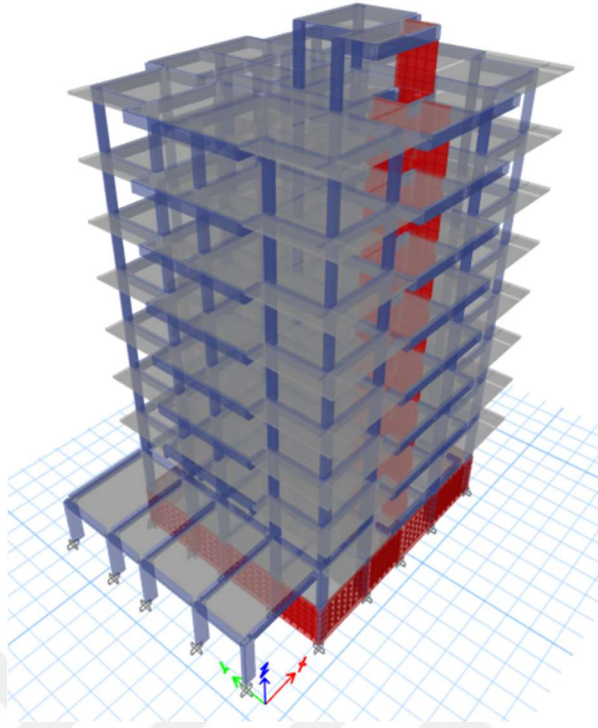
Şekil 4.2. İncelenen Yapı B Blok Ön Cepheden Görünümü



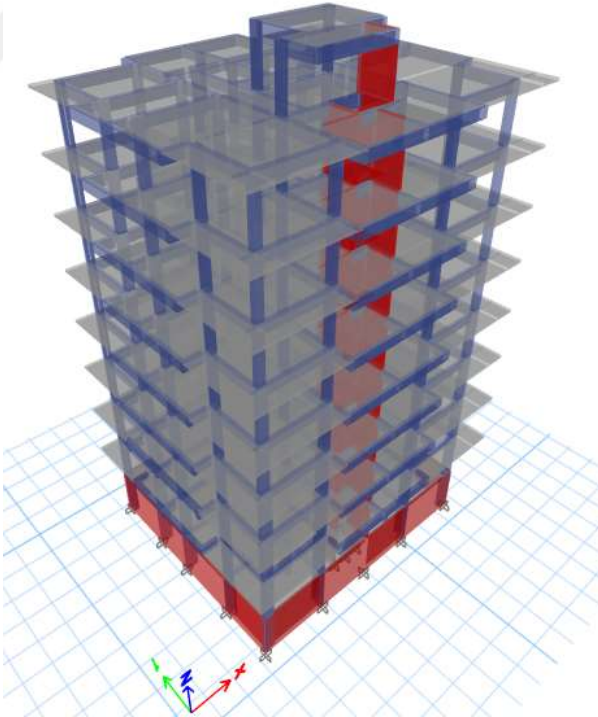
Şekil 4.3. İncelenen Yapı B Blok Yan Cepheden Görünümü



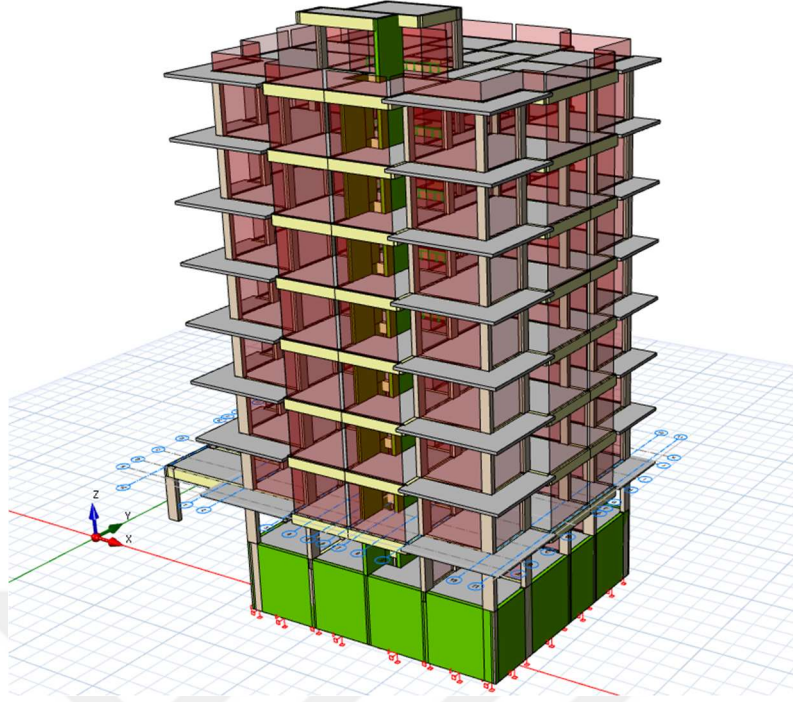
Şekil 4.4. A ve B Bloklar Ön Görünümü



Şekil 4.5. A Blok 3 Boyutlu ETABS Görünümü



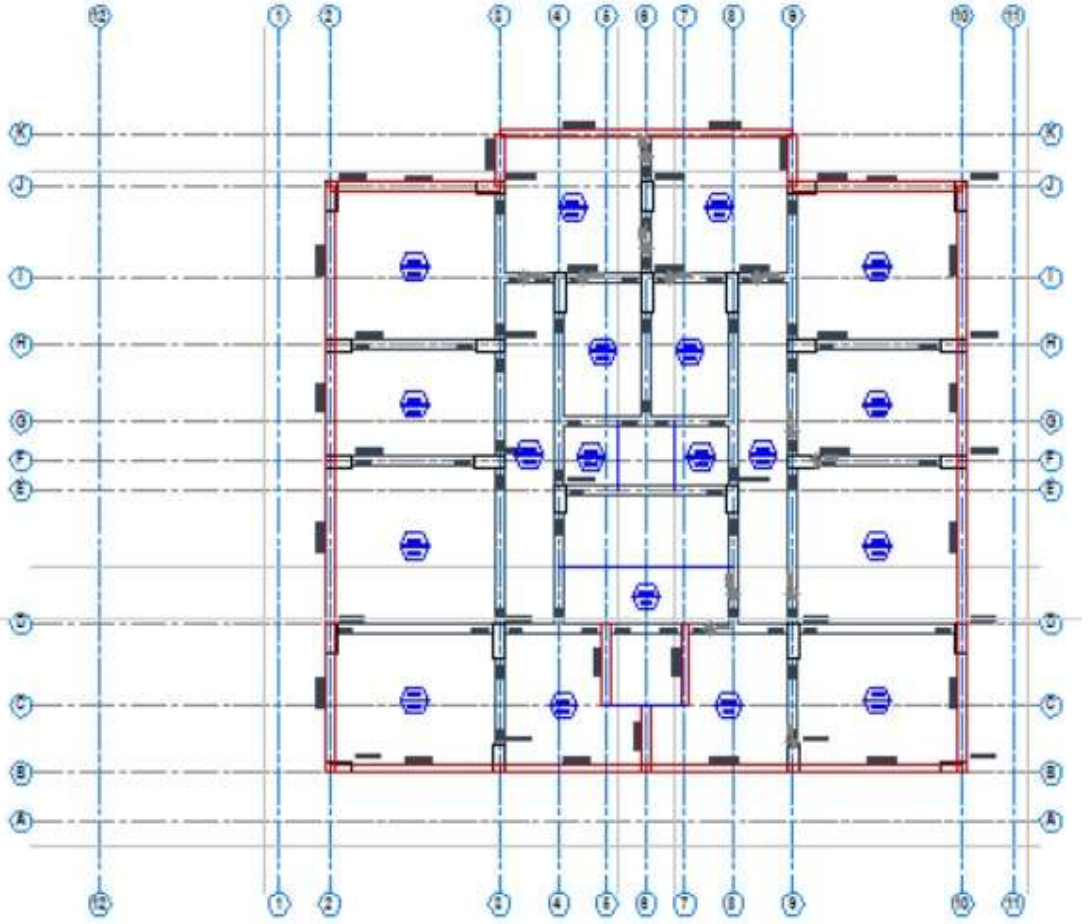
Şekil 4.6. B Blok 3 Boyutlu ETABS Görünümü



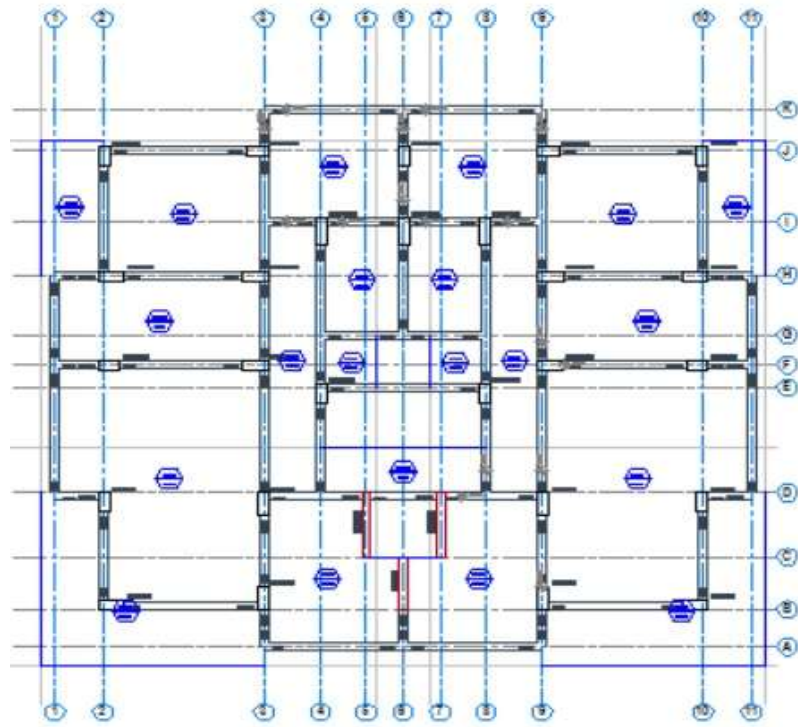
Şekil 4.7. A Blok 3 Boyutlu Sonlu elemanlar programı Görünümü



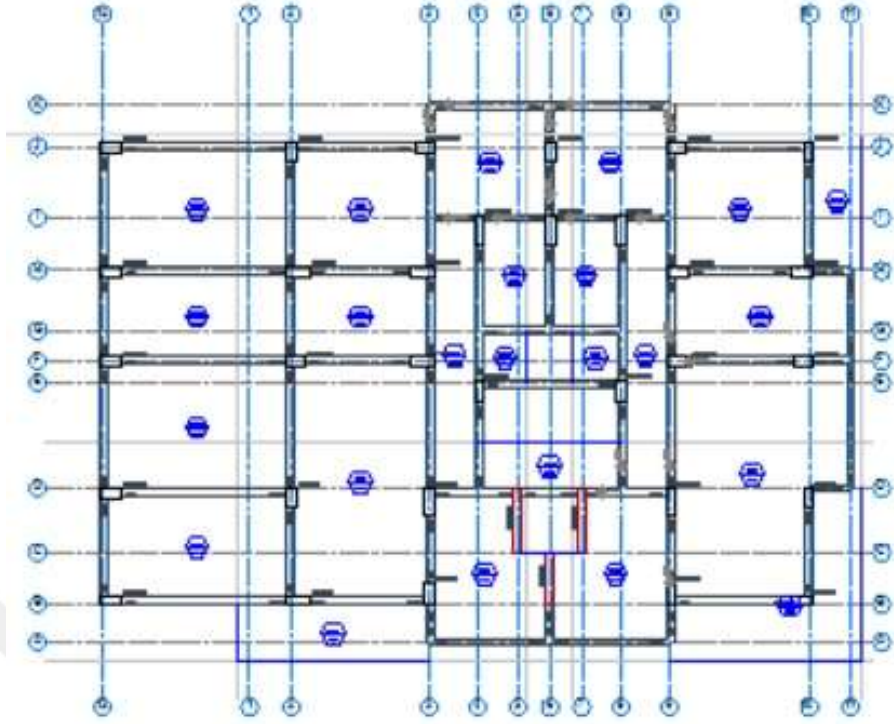
Şekil 4.8. B Blok 3 Boyutlu Sonlu elemanlar programı Görünümü



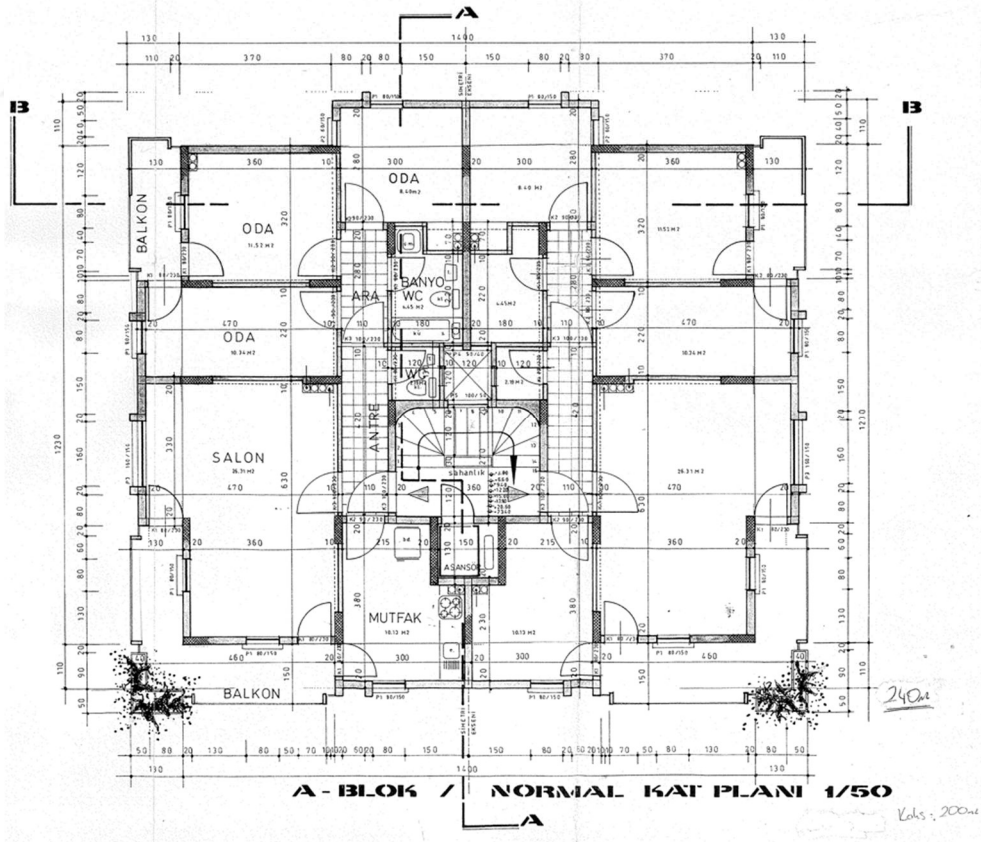
Şekil 4.9. A ve B Blok Yapılarının Bodrum Kat Kalıp Planı



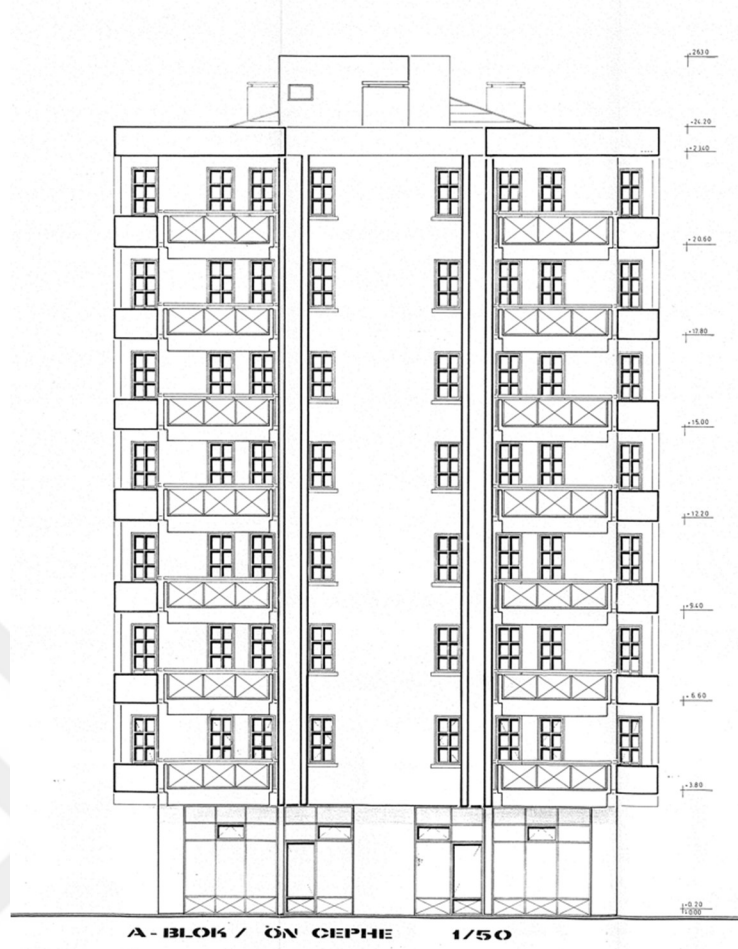
Şekil 4.10. A ve B Blok Yapılarının Normal Kat Kalıp Planı



Şekil 4.11. A Blok Yapısının Zemin Kat Kalıp Planı



Şekil 4.12. Arşiv Projesi Normal Kat Mimari Planı



Şekil 4.13. Arşiv Projesi Ön Cephe Görünümü

#### 4.2. Yapının Malzeme Özellikleri

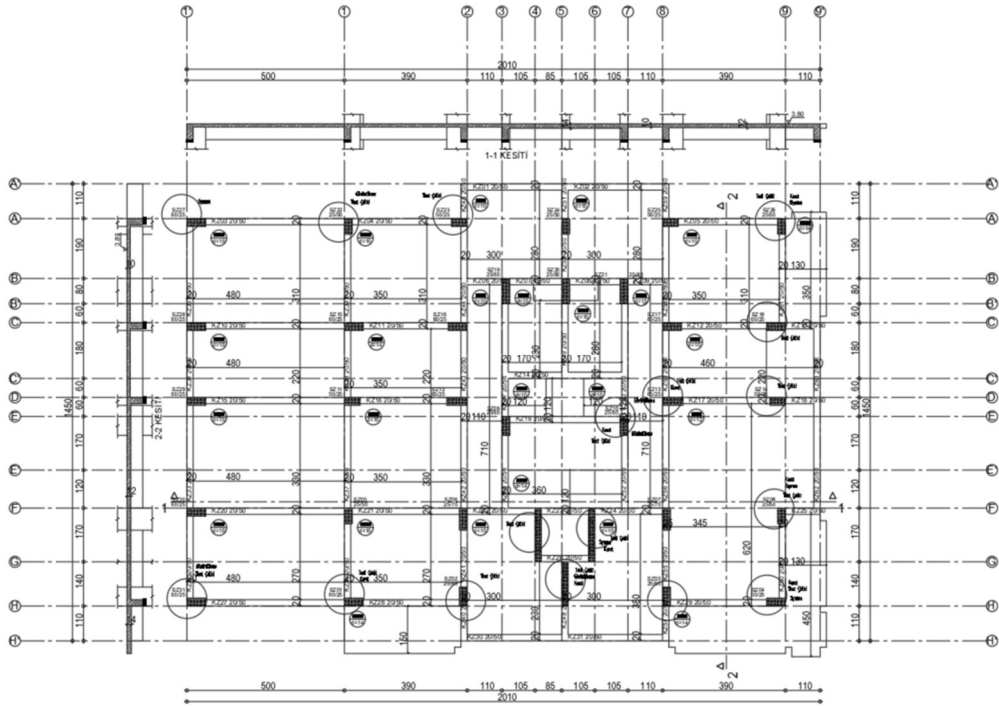
Aşağıdaki tablo ve şekiller doğrultusunda ETABS programında modellenen yapının beton dayanımı 8 MPa, donatı çeliği S220 nervürlü donatı çeliğidir.

Tablo 4.1. Beton Numune Dayanım Hesabı

A BLOK APARTMANI								
KAROTLAR	S1	S8	S10	S13	S26	P1	P3	S4
d	100	100	100	100	100	100	100	100
l	100	100	100	100	100	100	100	100
f(karot)	9.7	9.2	5.9	8.3	9.4	7.5	9.1	8.1
F(l/d)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
F(çap)	1	1	1	1	1	1	1	1
F(nem)	1	1	1	1	1	1	1	1
F(hasar)	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
f(kd)	8.99	8.52	5.46	7.69	8.71	6.94	8.43	7.50
Ortalama Kabul Edilen Tasarım Beton Basınç Dayanımı (fcd)=8.0 MPa								

Tablo 4.2. Donatı Tespiti Tablosu

Eleman Tipi	En (cm)	Boy (cm)	Ac (cm <sup>2</sup> )	Donatı Tasarımı				
				Boy Donatı		Enine Donatı		
				Majör	Minör	Sargı	Kanca 90/135	Etriye
Kolon	25	80	2000	4Ø16	6Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kolon	25	70	1750	4Ø16	6Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kolon	25	65	1625	4Ø16	6Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kolon	25	60	1500	4Ø16	4Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kolon	25	50	1250	4Ø16	4Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kolon	25	40	1000	4Ø16	2Ø16	Yok	90	Ø8/20
Perde	20	140	2800	4Ø16	10Ø16	Yok	90	Ø8/20
Perde	20	170	3400	4Ø16	12Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kiriş 1	20	50	1000	düz&montaj 3Ø12	-	Yok	90	Ø8/20
Kiriş 2	20	50	1000	düz&montaj 3Ø12	İlave mesnet 1Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kiriş 3	20	50	1000	düz&montaj 3Ø12	İlave mesnet 2Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kiriş 4	20	50	1000	düz&montaj 3Ø12	İlave mesnet 3Ø16	Yok	90	Ø8/20
Kiriş 5	20	50	1000	düz&montaj 3Ø12	İlave mesnet 4Ø16	Yok	90	Ø8/20



Şekil 4.14. Karot ve Donatı Tespiti Yapılan Bölgeler

Donatı tespiti işlemleri aşağıdaki şekilde yapılmıştır;

- Zemin kattaki toplam kolon sayısı=31 adet
- Sıyırma yöntemi ile donatı tespit yapılan kolon= 4 adet
- Görüntüleme yöntemi ile tespit yapılan kolon sayısı=4 adet
- Zemin kattaki toplam perde sayısı=3 adet
- Sıyırma yöntemi ile donatı tespit yapılan perde= 1 adet
- Görüntüleme yöntemi ile tespit yapılan perde sayısı=1 adet
- Bodrum kattaki toplam kolon sayısı= 24adet
- Sıyırma yöntemi ile donatı tespit yapılan kolon= 3 adet
- Görüntüleme yöntemi ile tespit yapılan kolon sayısı= 3 adet
- Bodrum kattaki toplam perde sayısı=20 adet
- Sıyırma yöntemi ile donatı tespit yapılan perde= 2 adet
- Görüntüleme yöntemi ile tespit yapılan perde sayısı= 2 adet



Şekil 4.15. Karot Alma İşlemleri



Şekil 4.16. Donatı Tespit Çalışmaları 1



Şekil 4.17. Donatı Tespit Çalışmaları 2



Şekil 4.18. Donatı Tespit Çalışmaları 3

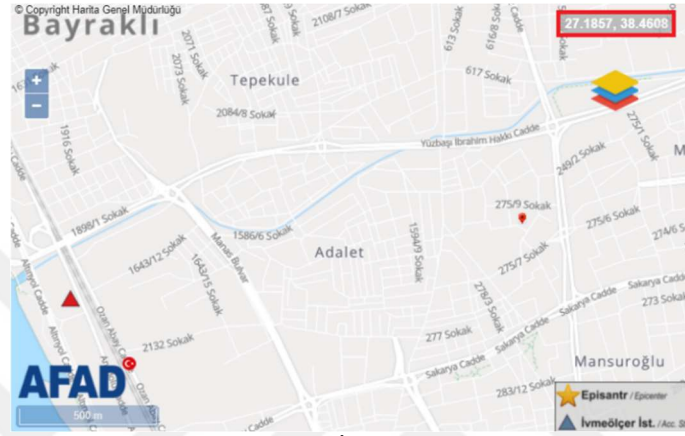


Şekil 4.19. Donatı Tespit Çalışmaları 4

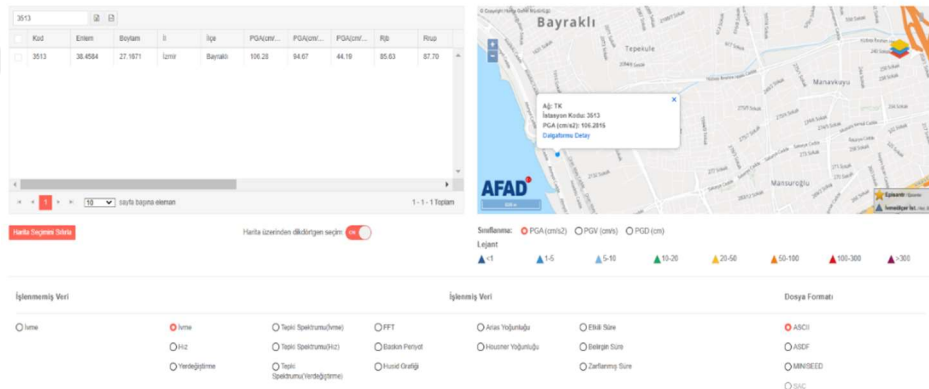
### 4.3. Deprem Kayıtları

#### 4.3.1. 30.10.2020 İzmir Seferihisar Deprem İvme Kaydı

Tek deprem ivme kaydıyla analiz için deprem yer hareketleri AFAD TADAS'tan yapıya en yakın konumda olan 3513 kodlu istasyondan alınmıştır. İstasyondan alınan ivme kayıtlarının her bir bileşeni aynı anda birlikte yapılara etki ettirmiştir.



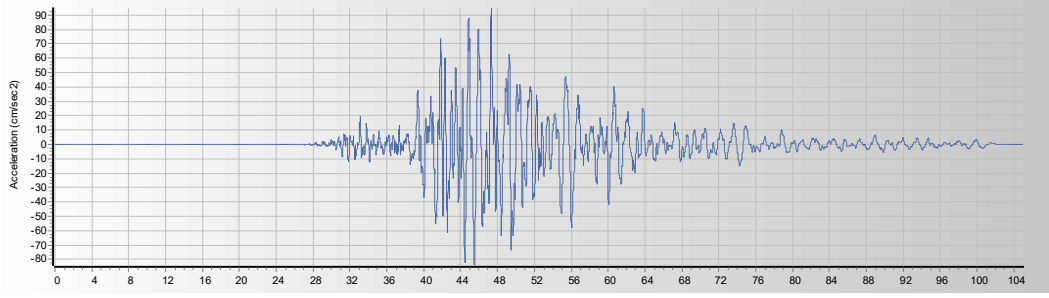
Şekil 4.20. 3513 Kodlu İstasyon ve Yapı Konumu



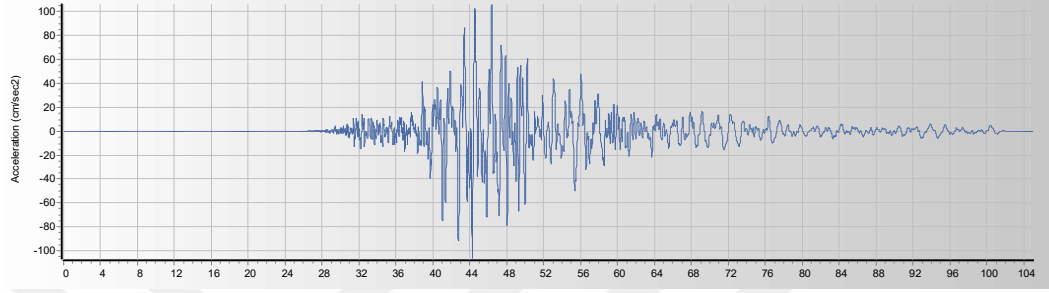
Şekil 4.21. AFAD TADAS'tan İvme Kayıtlarının İndirilmesi

Tablo 4.3.İvme Kayıtlarına Ait Bilgiler

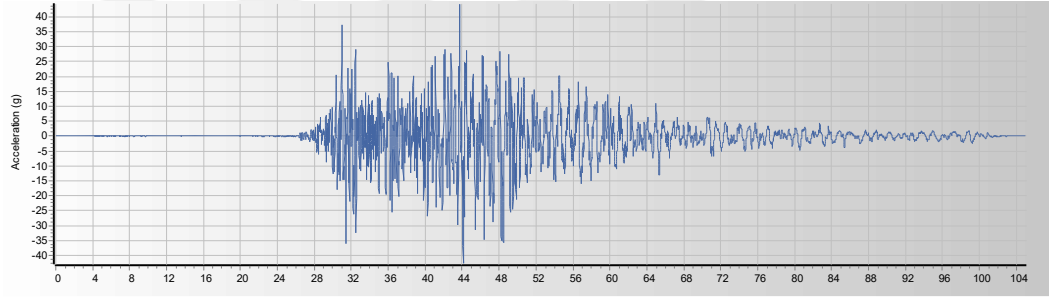
Deprem Adı	Seferihisar (İzmir) Depremi
İstasyon Kodu	3513
Enlem/Boylam [°]	38.4584°/ 27.1671°
PGA (cm/sn <sup>2</sup> )	106.28
PGV (cm/sn)	17.77
PGD (cm)	24.15
Rjb (km)	85.83
Rrup (km)	87.70
Etkili Süre (sn)	19.57



Şekil 4.22. E-W Yönündeki Kaydın İvme-Zaman Grafiği



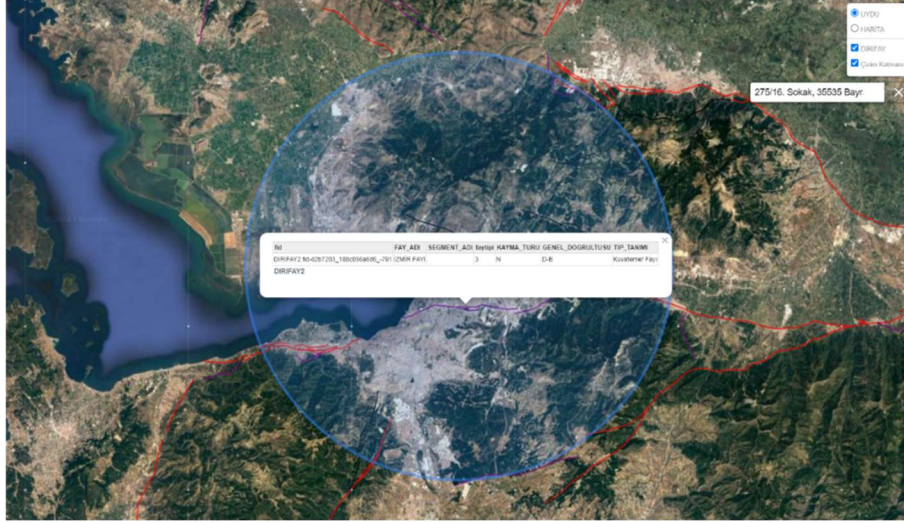
Şekil 4.23. N-S Yönündeki Kaydın İvme-Zaman Grafiği



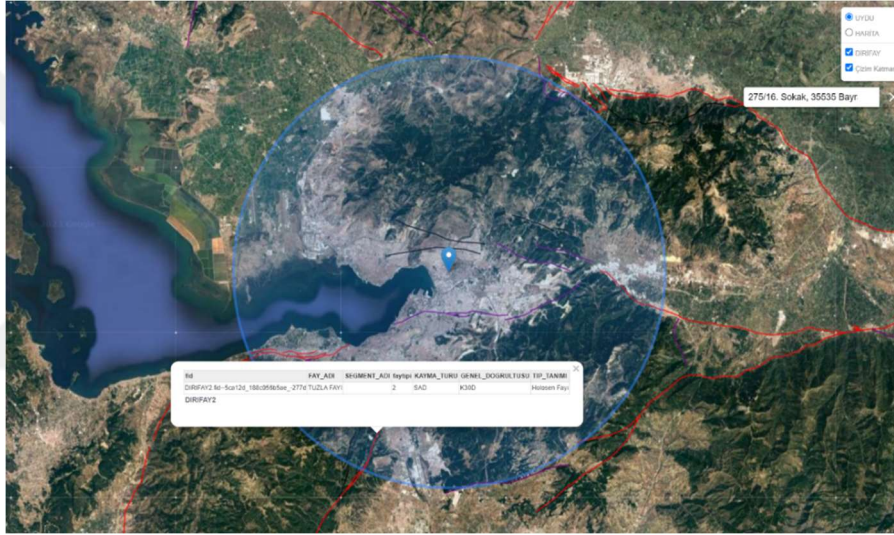
Şekil 4.24. Düşey Yönündeki Kaydın İvme-Zaman Grafiği

#### 4.3.2. TBDY 2018'e Göre 11 Deprem İvme Kaydının Seçilmesi

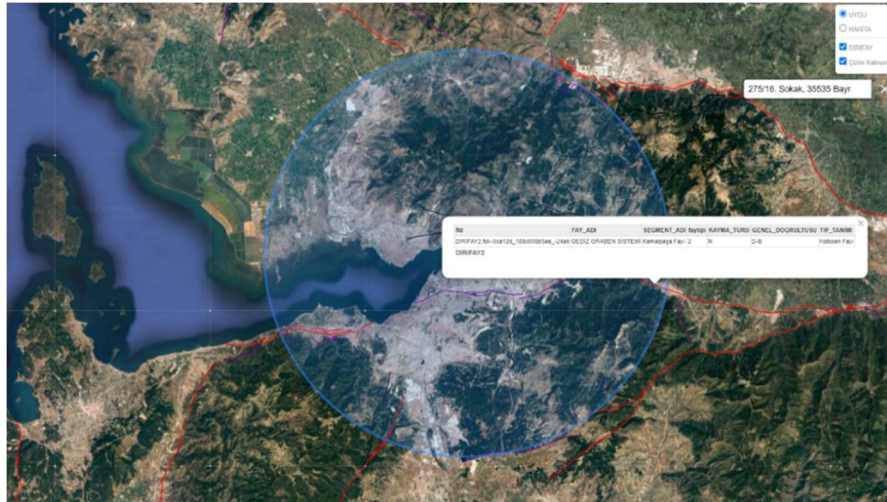
Analiz için Peer Yer Hareketleri Veri Tabanından 11 deprem ivme kaydı indirilmiştir. Yapının 25 km çapı içerisindeki diri fayların mekanizmaları dikkate alınmıştır. Aynı zamanda ZD zemin sınıfına denk gelen kayma hızları tercih edilmiştir. Bölgede beklenen deprem büyüklüğü doğrultusunda 6-7.1 arasındaki depremler seçilmiştir. Joyner-Boore mesafesi ( $R_{jb}$ ) ve fay kırığına en yakın mesafe ( $R_{rup}$ ) için 20km sınırı koyulmuştur. Deprem Kayıtlarının etkin süreleri için yapı periyodunun 5 katı ve 15 sn sınırı deprem ivmelerinin birçoğunda sağlanmıştır. Ölçeklendirme işlemi TBDY Bölüm 2.5.2.1(b)'ye göre basit ölçeklendirme yöntemi ile Sonlu elemanlar programı yazılımıyla yapılmıştır. Seçilen deprem kayıtlarının tek bir bileşeni her iki yönde aynı anda ve birlikte etki ettirilmiştir.



Şekil 4.25. Yapıyı Merkez alıp 20 km Sınırı İçerisinde Yer Alan İzmir Fayı



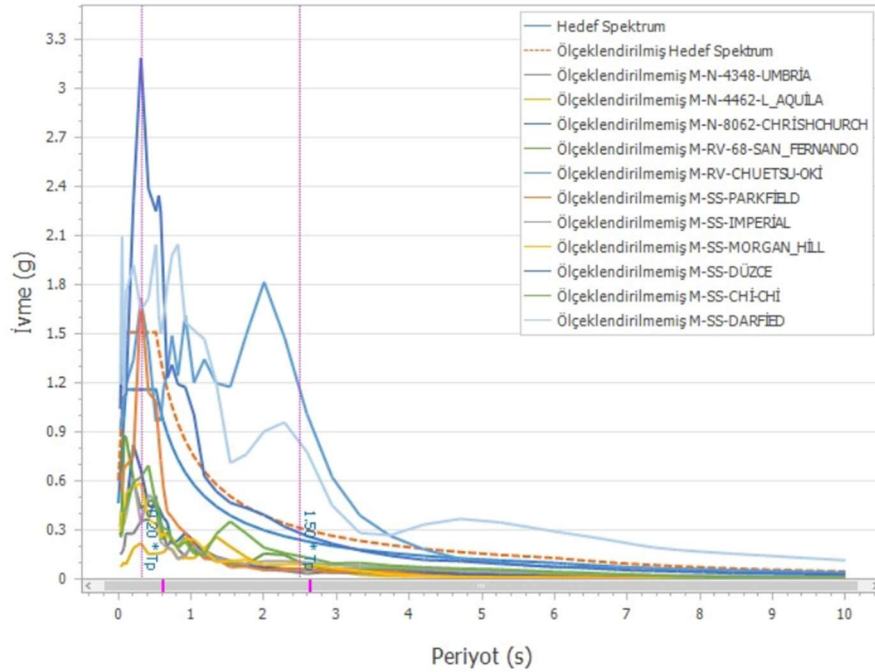
Şekil 4.26. Yapıyı Merkez alıp 20 km Sınırı İçerisinde Yer Alan Tuzla Fayı



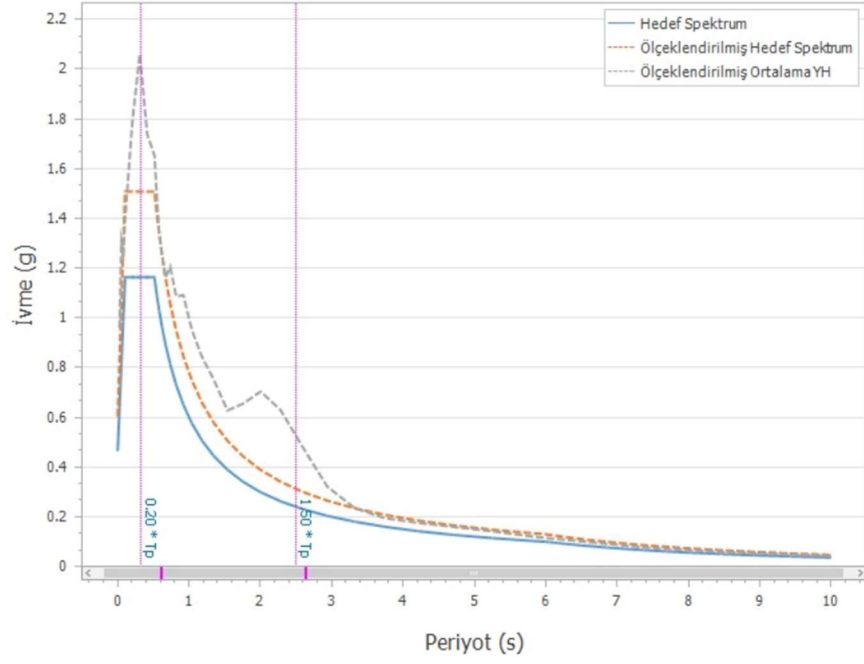
Şekil 4.27. Yapıyı Merkez alıp 20 km Sınırı İçerisinde Yer Alan Kemalpaşa Fayı

Tablo 4.4. Seçilen Deprem İvme Kayıtları ve Özellikleri

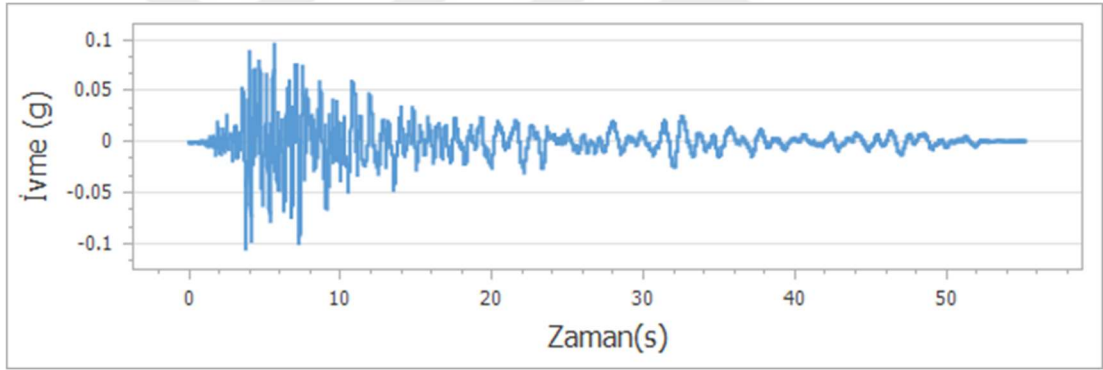
RSN	Yıl	Deprem	İstasyon	Rjb* (km)	Rrup* (km)	Mekanizma	Vs_30 (m/s)	En Düşük Kullanılabilir Frekans (Hz)	Büyüklik	DT (s)	NPTS
30	1966	Parkfield	Cholame - Shandon Array #5	9.58	9.58	Doğrultu Atımlı	290	0.1625	6.2	0.01	4400
187	1979	Imperial Valley-06	Parachute Test Site	12.69	12.69	Doğrultu Atımlı	349	0.0625	6.5	0.005	7874
457	1984	Morgan Hill	Gilroy Array #3	13.01	13.02	Doğrultu Atımlı	350	0.1	6.2	0.005	7999
2752	1999	Chi-Chi, Taiwan-04	CHY101	21.62	21.67	Doğrultu Atımlı	259	0.04	6.2	0.005	18000
1602	1999	Duzce, Turkey	Bolu	12.02	12.04	Doğrultu Atımlı	294	0.0625	7.1	0.01	5590
6906	2010	Darfield, New Zealand	GDLC	1.22	1.22	Doğrultu Atımlı	344	0.0625	7	0.005	21348
4348	1997	Umbria Marche, Italy	Castelnuovo-Assisi	17.28	17.28	Normal	293	0.1125	6	0.005	11062
4462	2009	L'Aquila, Italy	Avezzano	23.67	26.86	Normal	199	0.05	6.3	0.005	12001
68	1971	San Fernando	LA - Hollywood Stor FF	22.77	22.77	Ters	316	0.1	6.6	0.01	7945
4856	2007	Chuetsu-oki, Japan	Kashiwazaki City Center	0	11.09	Ters	294	0.0625	6.8	0.01	6000
8062	2011	Christchurch, New Zealand	Canterbury Aero Club	14.41	14.41	Ters Eğik	280	0.0625	6.2	0.005	10401



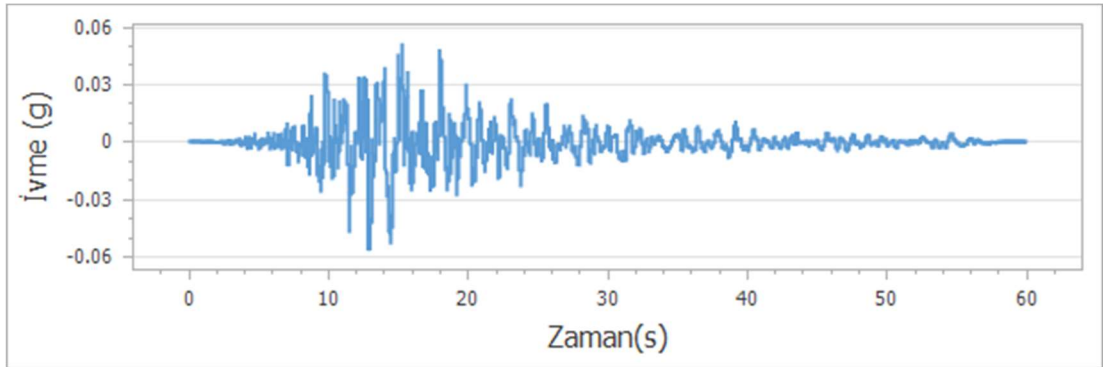
Şekil 4.28. İvme Kayıtlarının Ölçeklendirilmemiş Tepki Spektrumları



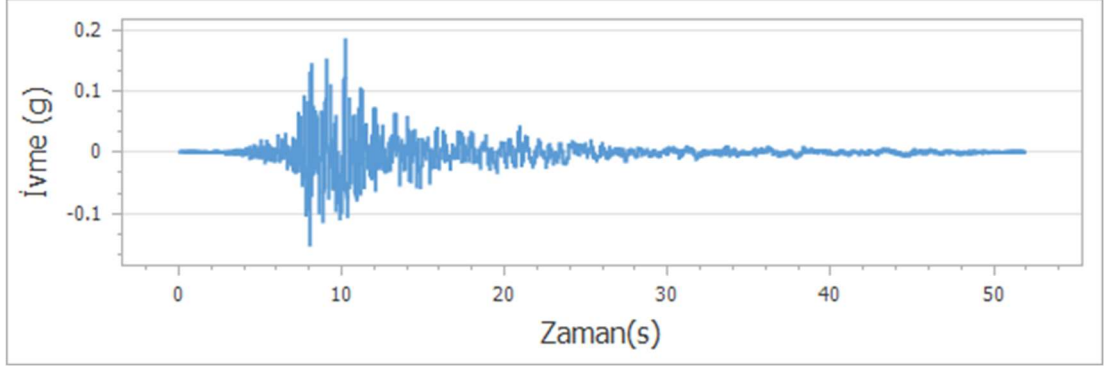
Şekil 4.29. Ortalama Ölçeklendirilmiş Tepki Spektrumu ve Hedef Spektrumlar



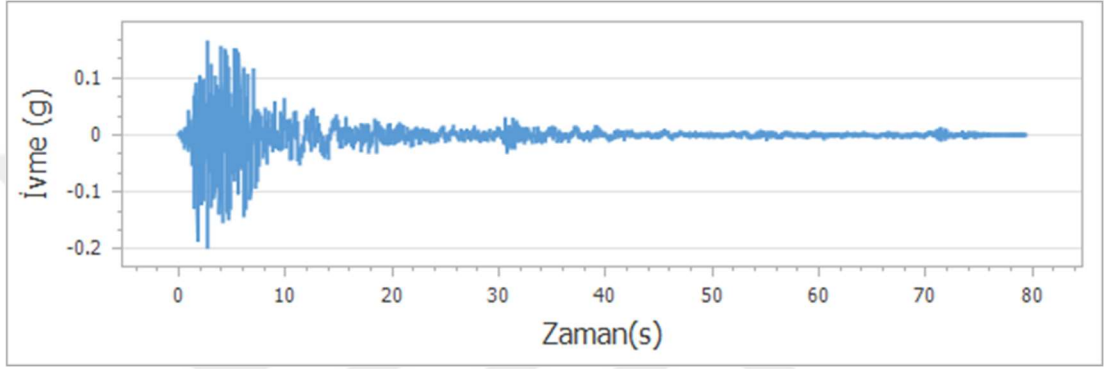
Şekil 4.30. Ölçeklendirilmemiş Umbria Deprem İvme Kaydı



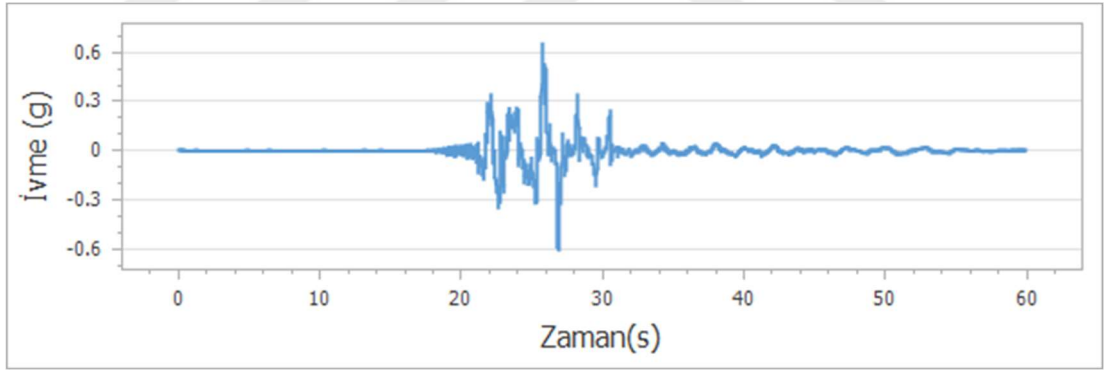
Şekil 4.31. Ölçeklendirilmemiş L'Aquila Deprem İvme Kaydı



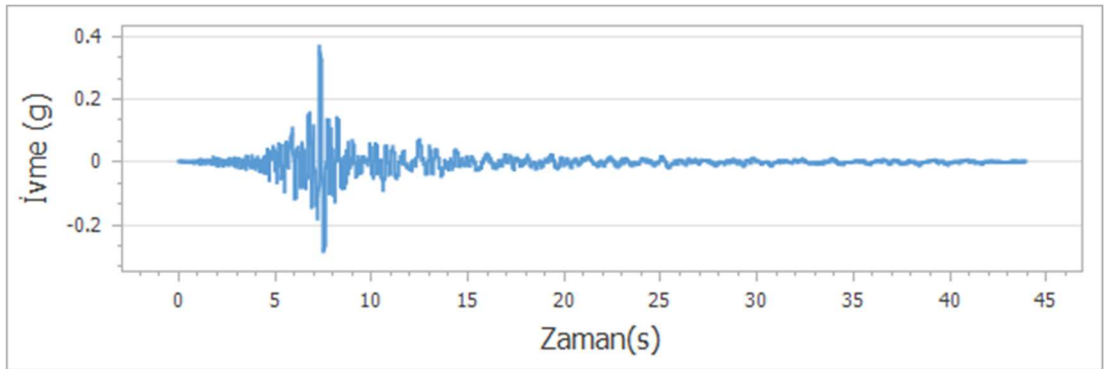
Şekil 4.32. Ölçeklendirilmemiş Christchurch Deprem İvme Kaydı



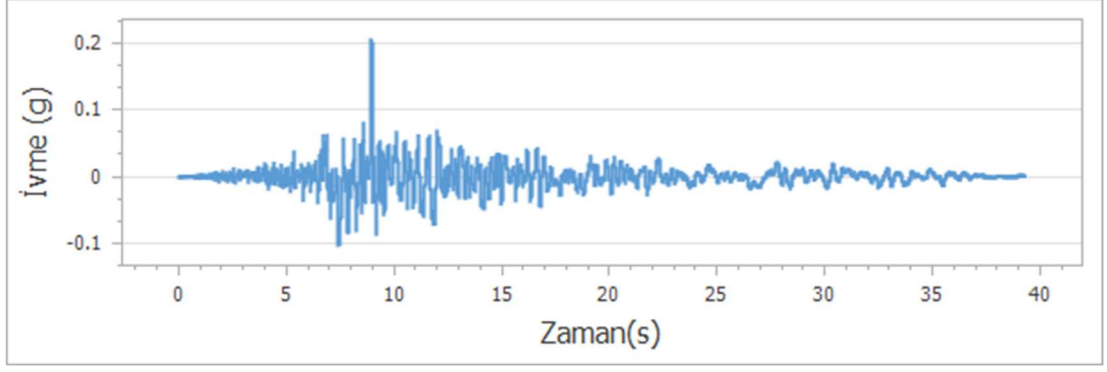
Şekil 4.33. Ölçeklendirilmemiş San Fernando Deprem İvme Kaydı



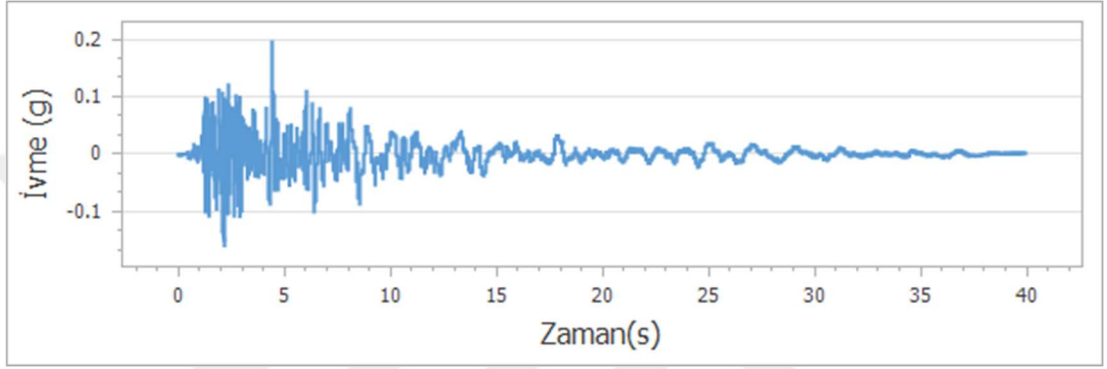
Şekil 4.34. Ölçeklendirilmemiş Chuetsu-oki Deprem İvme Kaydı



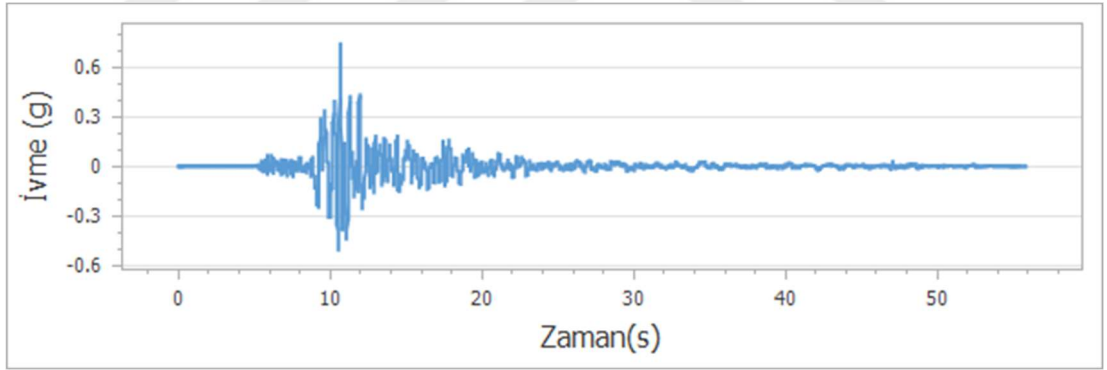
Şekil 4.35. Ölçeklendirilmemiş Parkfield Deprem İvme Kaydı



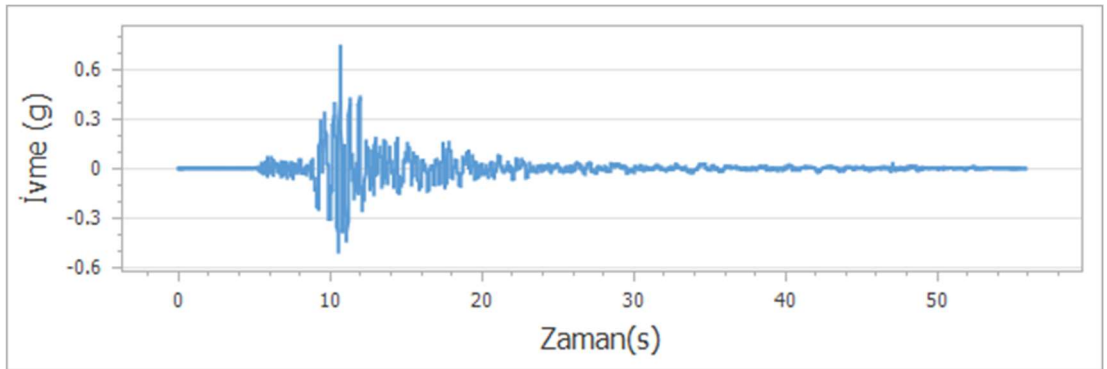
Şekil 4.36. Ölçeklendirilmemiş Imperial Valley Deprem İvme Kaydı



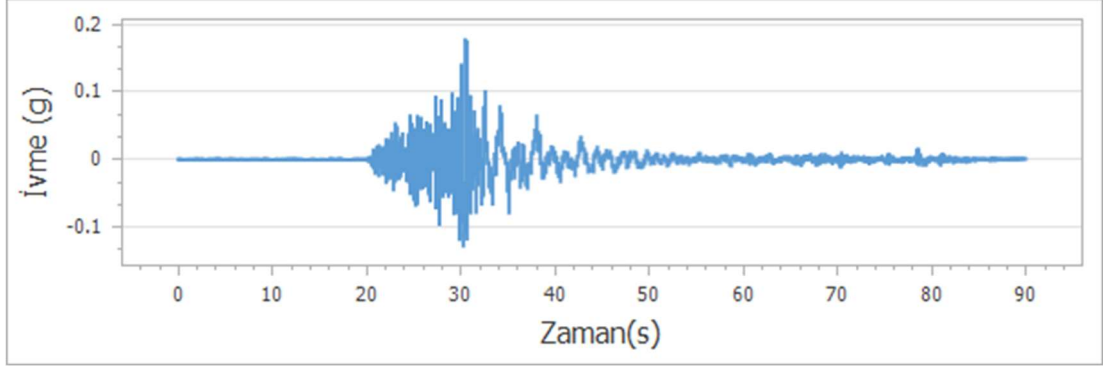
Şekil 4.37. Ölçeklendirilmemiş Morgan Hill Deprem İvme Kaydı



Şekil 4.38. Ölçeklendirilmemiş Düzce Deprem İvme Kaydı



Şekil 4.39. Ölçeklendirilmemiş Chi-Chi Deprem İvme Kaydı



Şekil 4.40. Ölçeklendirilmemiş Darfield Deprem İvme Kaydı

#### 4.4. Yapı Geometrilerinin Modellenmesi ve Analiz Sonuçları

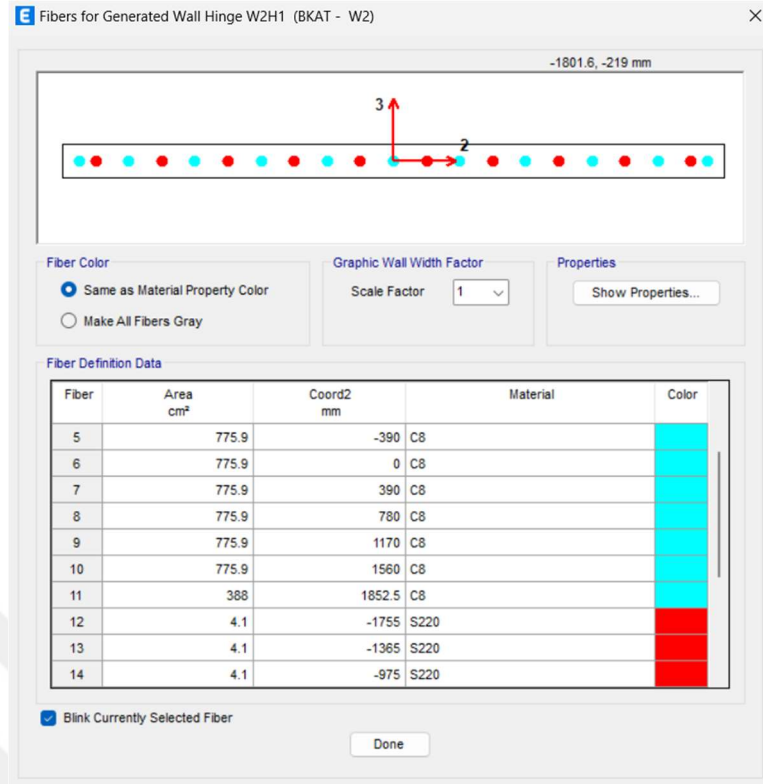
##### 4.4.1. İzmir Seferihisar Deprem İvme Kaydı ile Performans Analizi

Yapıların sonlu elemanlar programıyla performans analizi için ETABS V20 programı kullanılmıştır. Bodrum kattaki kolon ve perde elemanları temele ankastre olarak mesnetlenmektedir. Kolon, perde ve kiriş elemanlarındaki şekil değiştirmeler için fiber plastik mafsal modeli kullanılmıştır.

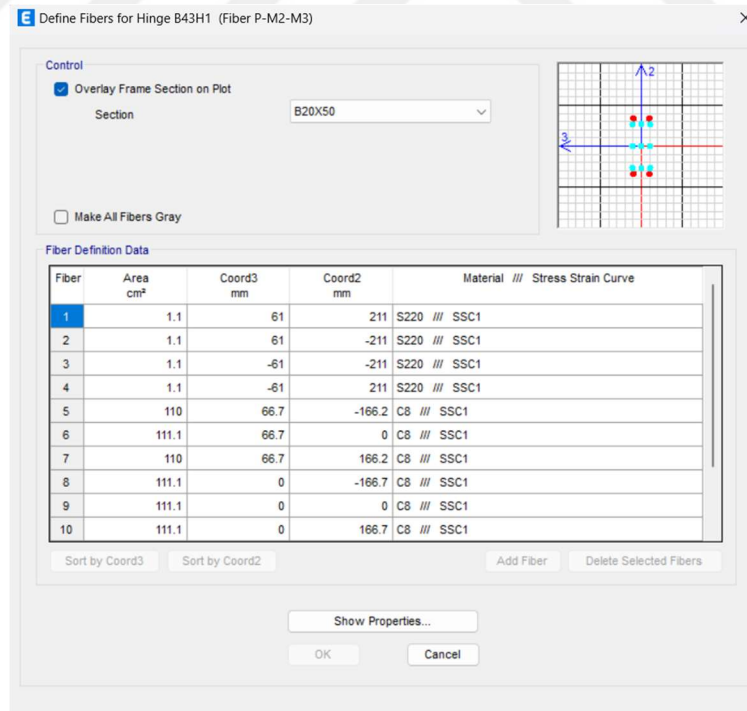
Bu bölümde yapıların incelenmesi sadece Seferihisar deprem ivme kaydıyla yapılmıştır. 3513 numaralı istasyonun deprem kayıtları AFAD TADAS'tan indirilmiş ve yapıya zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Elde edilen verilerden yola çıkarak burulma düzensizliği, kat yer değiştirmeleri, kat ötelemeleri, kat kesmeleri, kat ivmeleri ve performans analizi raporlanmıştır.

Tablo 4.5. Yapıların Periyotları

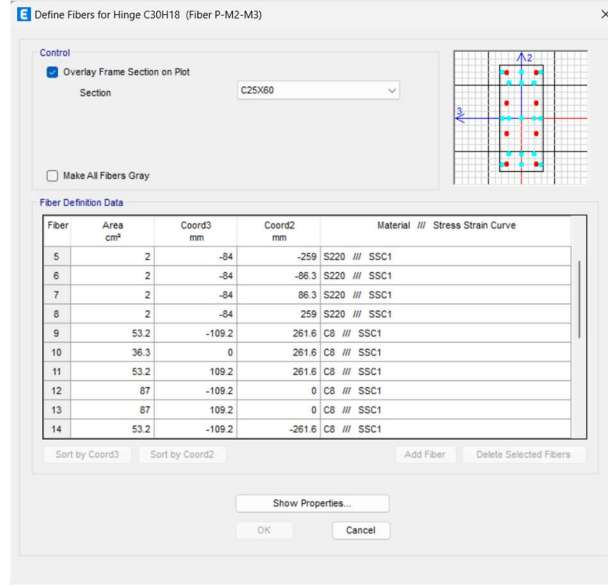
	Yön	Periyot	Mod	Mod Kütle Katılımı	Toplam Kütle Katılımı
B Blok	Tx	1.803 sn	1.Mod	0.46	$\sum UX=0.87$
		1.611 sn	2.Mod	0.25	
	Ty	1.313 sn	3.Mod	0.76	$\sum UY=0.85$
A Blok	Tx	1.736 sn	1.Mod	0.47	$\sum UX=0.85$
		1.555 sn	2.Mod	0.22	
	Ty	1.305 sn	3.Mod	0.66	$\sum UY=0.85$



Şekil 4.41. W2 Perdesi için Fiber Plastik Mafsalsal



Şekil 4.42. B43 Kirişi için Atanan Fiber Plastik Mafsalsal



Şekil 4.43. C30 Kolonu için Atanan Fiber Plastik Mafsalsal

Atanan plastik mafsallarda beton ve donatı malzemesi için birçok fiber alan bulunmaktadır. Bu alanlardan elde edilen şekil değiştirme değerleri, beton ve donatı malzemesinin TBDY 2018 Bölüm 5'te belirtilen sınır koşullarına göre değerlendirilmiştir.

Tablo 4.6. A Blok Burulma Düzensizliği Oranları

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ -A BLOK					
Kat	Yön	Maks. Öteleme	Ort. Öteleme	Oran	Kontrol
CATI	SeferihisarDepremi-X	7.17	5.72	1.25	VAR
KAT7		9.06	8.72	1.04	YOK
KAT6		14.68	13.16	1.12	YOK
KAT5		18.82	15.78	1.19	YOK
KAT4		20.64	18.29	1.13	YOK
KAT3		23.02	20.46	1.13	YOK
KAT2		23.67	20.89	1.13	YOK
KAT1		18.96	16.83	1.13	YOK
ZKAT		10.25	8.94	1.15	YOK
BKAT		0.25	0.23	1.10	YOK
Kat		Yön	Maks. Öteleme	Ort. Öteleme	Oran
CATI	SeferihisarDepremi-Y	17.01	13.40	1.27	VAR
KAT7		19.54	18.79	1.04	YOK
KAT6		24.20	22.74	1.06	YOK
KAT5		29.27	27.18	1.08	YOK
KAT4		33.23	30.43	1.09	YOK
KAT3		34.77	31.96	1.09	YOK
KAT2		34.17	31.07	1.10	YOK
KAT1		30.15	26.22	1.15	YOK
ZKAT		18.54	14.58	1.27	VAR
BKAT		1.08	1.03	1.05	YOK

Tablo 4.7. B Blok Burulma Düzensizliği Oranları

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ- B BLOK					
Kat	Yön	Maks. Öteleme	Ort. Öteleme	Oran	Kontrol
CATI	SeferihisarDepremi-X	7.31	5.62	1.30	VAR
KAT7		8.68	8.26	1.05	YOK
KAT6		12.65	12.21	1.04	YOK
KAT5		15.84	14.62	1.08	YOK
KAT4		17.82	16.33	1.09	YOK
KAT3		19.18	17.93	1.07	YOK
KAT2		20.30	18.68	1.09	YOK
KAT1		17.72	16.45	1.08	YOK
ZKAT		11.59	10.69	1.08	YOK
BKAT		0.33	0.31	1.07	YOK
Kat		Yön	Maks. Öteleme	Ort. Öteleme	Oran
CATI	SeferihisarDepremi-Y	16.67	12.78	1.31	VAR
KAT7		20.17	18.13	1.11	YOK
KAT6		25.83	22.01	1.17	YOK
KAT5		31.29	26.23	1.19	YOK
KAT4		34.29	29.04	1.18	YOK
KAT3		33.92	29.46	1.15	YOK
KAT2		30.80	27.45	1.12	YOK
KAT1		25.37	22.77	1.11	YOK
ZKAT		15.30	13.70	1.12	YOK
BKAT		1.02	0.98	1.04	YOK

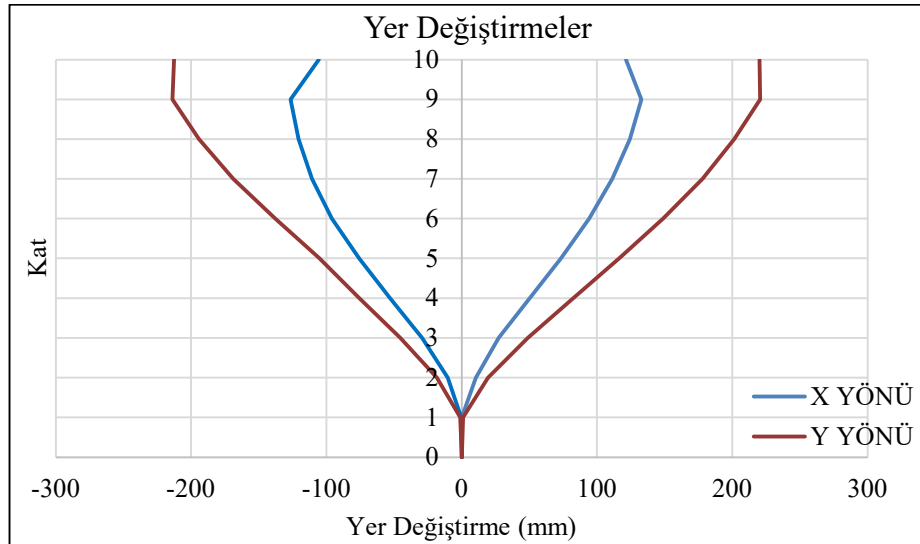
Tablo 4.8. A Blok Yumuşak Kat Düzensizliği Oranları

YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ- A BLOK											
X YÖNÜ						Y YÖNÜ					
Kat	Yük	Ort	Ort		Kontrol	Kat	Yük	Ort	Ort		Kontrol
		Öteleme	Öteleme					Öteleme	Öteleme		
		mm	/ Hk					mm	/ Hk		
CATI	Seferihisar-X	5.72	0.0022			CATI	Seferihisar-Y	13.40	0.0052		
KAT7		8.72	0.0031	1.42	YOK	KAT7		18.79	0.0067	1.30	YOK
KAT6		13.16	0.0047	1.51	YOK	KAT6		22.74	0.0081	1.21	YOK
KAT5		15.78	0.0056	1.20	YOK	KAT5		27.18	0.0097	1.20	YOK
KAT4		18.29	0.0065	1.16	YOK	KAT4		30.43	0.0109	1.12	YOK
KAT3		20.46	0.0073	1.12	YOK	KAT3		31.96	0.0114	1.05	YOK
KAT2		20.89	0.0075	1.02	YOK	KAT2		31.07	0.0111	0.97	YOK
KAT1		16.83	0.0060	0.81	YOK	KAT1		26.22	0.0094	0.84	YOK
ZKAT		8.94	0.0032	0.53	YOK	ZKAT		14.58	0.0052	0.56	YOK
Kat		Yük	Ort	Ort		Kontrol		Kat	Yük	Ort	Ort
		Öteleme	Öteleme					Öteleme	Öteleme		
		mm	/ Hk					mm	/ Hk		
CATI	Seferihisar-X	5.72	0.0022	0.71	YOK	CATI	Seferihisar-Y	13.40	0.0052	0.77	YOK
KAT7		8.72	0.0031	0.66	YOK	KAT7		18.79	0.0067	0.83	YOK
KAT6		13.16	0.0047	0.83	YOK	KAT6		22.74	0.0081	0.84	YOK
KAT5		15.78	0.0056	0.86	YOK	KAT5		27.18	0.0097	0.89	YOK
KAT4		18.29	0.0065	0.89	YOK	KAT4		30.43	0.0109	0.95	YOK
KAT3		20.46	0.0073	0.98	YOK	KAT3		31.96	0.0114	1.03	YOK
KAT2		20.89	0.0075	1.24	YOK	KAT2		31.07	0.0111	1.19	YOK
KAT1		16.83	0.0060	1.88	YOK	KAT1		26.22	0.0094	1.80	YOK
ZKAT		8.94	0.0032	36.23		ZKAT		14.58	0.0052	13.20	

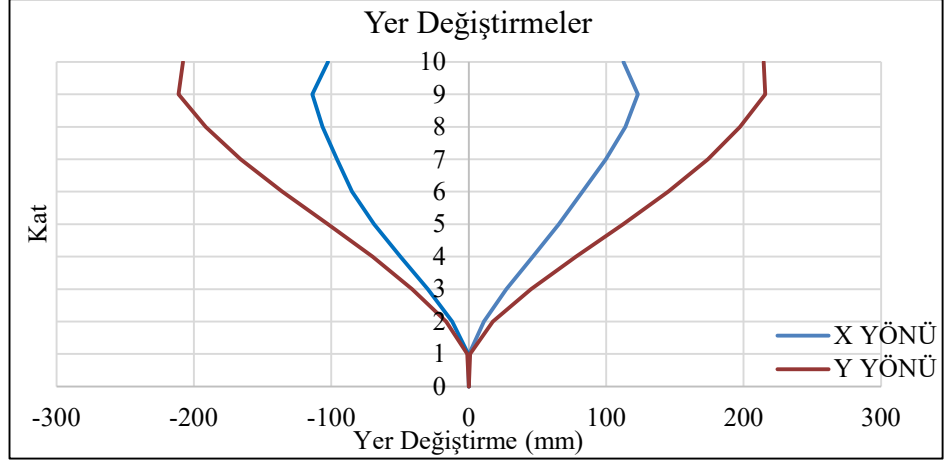
Tablo 4.9. B Blok Yumuşak Kat Düzensizliği Oranları

YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ- B BLOK											
X YÖNÜ						Y YÖNÜ					
Kat	Yük	Ort	Ort		Kontrol	Kat	Yük	Ort	Ort		Kontrol
		Öteleme	Öteleme					Öteleme	Öteleme		
		mm	/ Hk					mm	/ Hk		
CAT1	Seferihisar-X	5.62	0.0022			CAT1	Seferihisar-Y	12.78	0.0049		
KAT7		8.26	0.0029	1.36	YOK	KAT7		18.13	0.0065	1.32	YOK
KAT6		12.21	0.0044	1.48	YOK	KAT6		22.01	0.0079	1.21	YOK
KAT5		14.62	0.0052	1.20	YOK	KAT5		26.23	0.0094	1.19	YOK
KAT4		16.33	0.0058	1.12	YOK	KAT4		29.04	0.0104	1.11	YOK
KAT3		17.93	0.0064	1.10	YOK	KAT3		29.46	0.0105	1.01	YOK
KAT2		18.68	0.0067	1.04	YOK	KAT2		27.45	0.0098	0.93	YOK
KAT1		16.45	0.0059	0.88	YOK	KAT1		22.77	0.0081	0.83	YOK
ZKAT		10.69	0.0038	0.65	YOK	ZKAT		13.70	0.0049	0.60	YOK
Kat	Yük	Ort	Ort		Kontrol	Kat	Yük	Ort	Ort		Kontrol
		Öteleme	Öteleme					Öteleme	Öteleme		
		mm	/ Hk					mm	/ Hk		
CAT1	Seferihisar-X	5.62	0.0022	0.73	YOK	CAT1	Seferihisar-Y	12.78	0.0049	0.76	YOK
KAT7		8.26	0.0029	0.68	YOK	KAT7		18.13	0.0065	0.82	YOK
KAT6		12.21	0.0044	0.84	YOK	KAT6		22.01	0.0079	0.84	YOK
KAT5		14.62	0.0052	0.90	YOK	KAT5		26.23	0.0094	0.90	YOK
KAT4		16.33	0.0058	0.91	YOK	KAT4		29.04	0.0104	0.99	YOK
KAT3		17.93	0.0064	0.96	YOK	KAT3		29.46	0.0105	1.07	YOK
KAT2		18.68	0.0067	1.14	YOK	KAT2		27.45	0.0098	1.21	YOK
KAT1		16.45	0.0059	1.54	YOK	KAT1		22.77	0.0081	1.66	YOK
ZKAT		10.69	0.0038	32.55		ZKAT		13.70	0.0049	12.99	

Analiz sonucu yapılarda burulma düzensizliği oluşmuş fakat yumuşak kat düzensizliği oluşmamıştır.

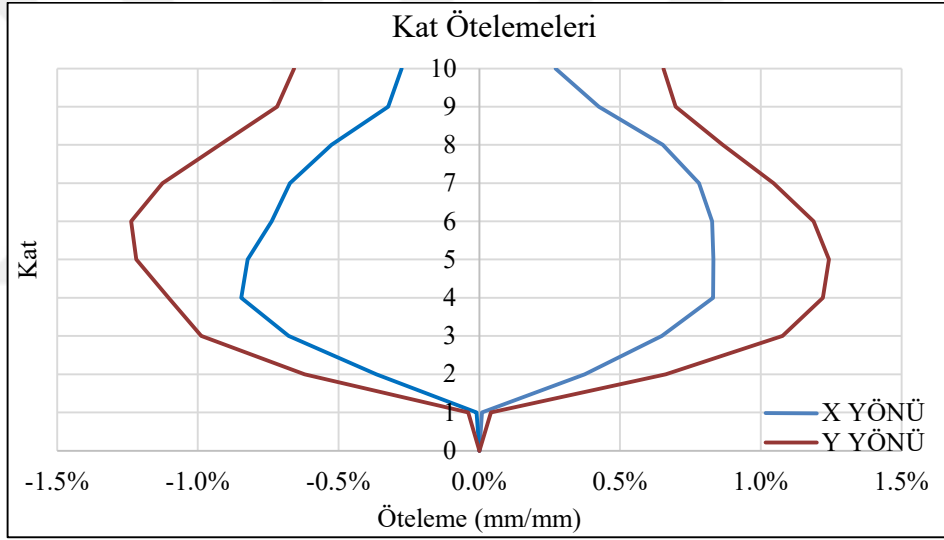


Şekil 4.44. A Blok Kat Yer Değişimleri

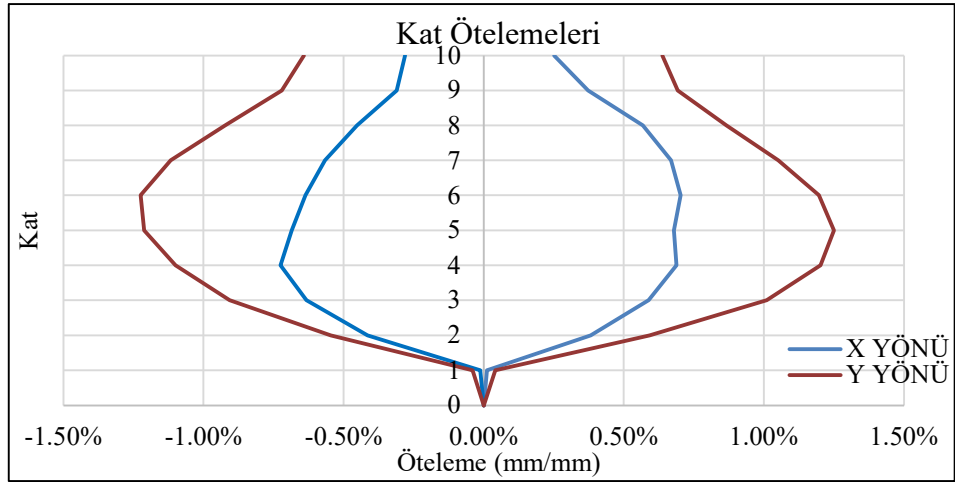


Şekil 4.45. B Blok Kat Yer Değişimleri

Kat yer değiştirmeleri her iki blok için de birbirine oldukça yakındır. Maksimum yer değiştirme değeri 220 mm civarındadır.

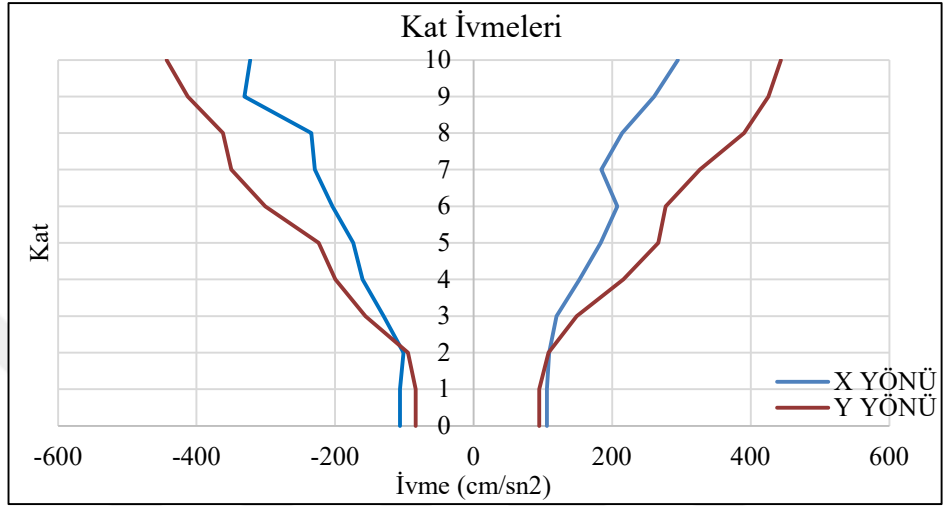


Şekil 4.46. A Blok Kat Ötelemeleri

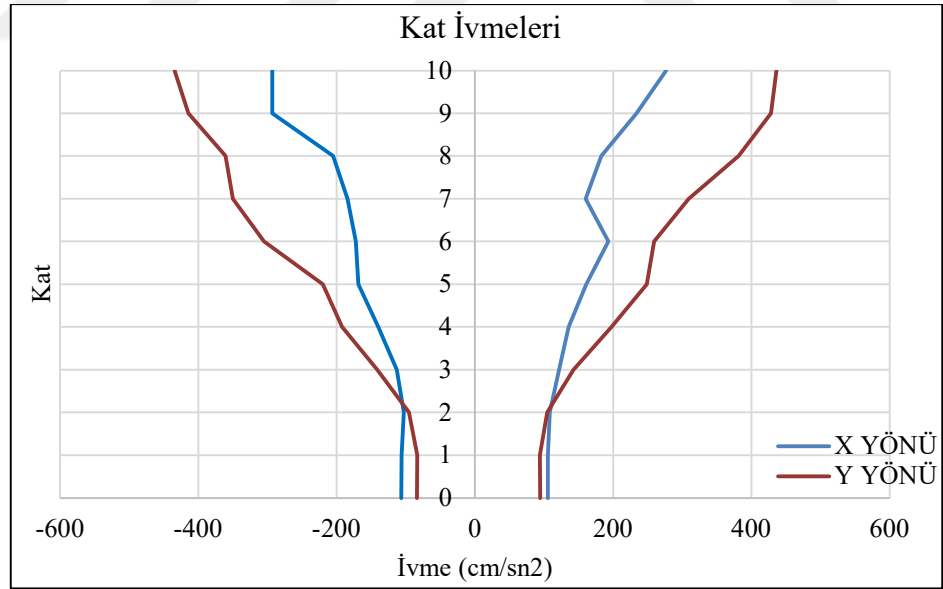


Şekil 4.47. B Blok Kat Ötelemeleri

Yapılarda yaklaşık %1'lik bir görelî öteleme değeri, hasarın başladığını ve %2'lik bir değeri ciddi hasarı gösterir. A bloktaki maksimum öteleme değerlerine bakıldığında %1.24'lük bir değeri görülmektedir. B bloktaki maksimum öteleme değerine bakıldığında ise %1.25'lik bir değeri görülmektedir. Her iki öteleme değeri de birbirine oldukça yakındır. Bu değeri hasarın başladığını göstermektedir.

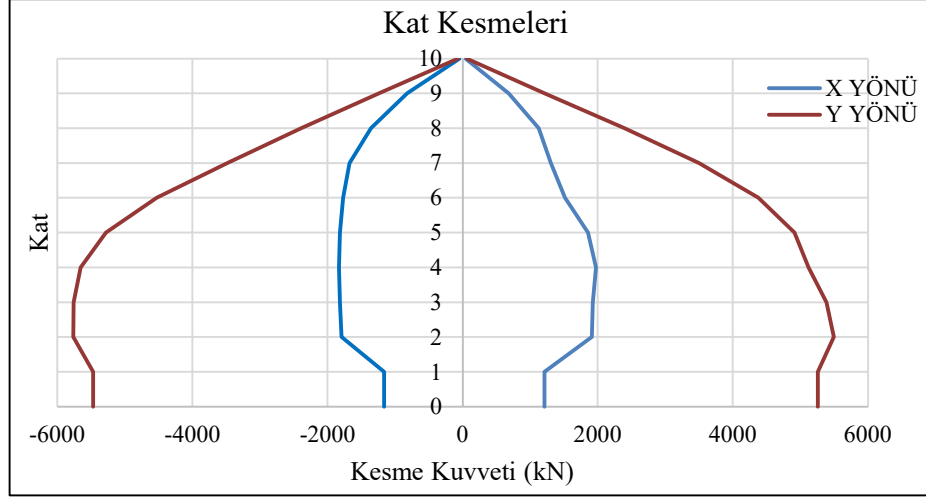


Şekil 4.48. A Blok Kat İvmeleri

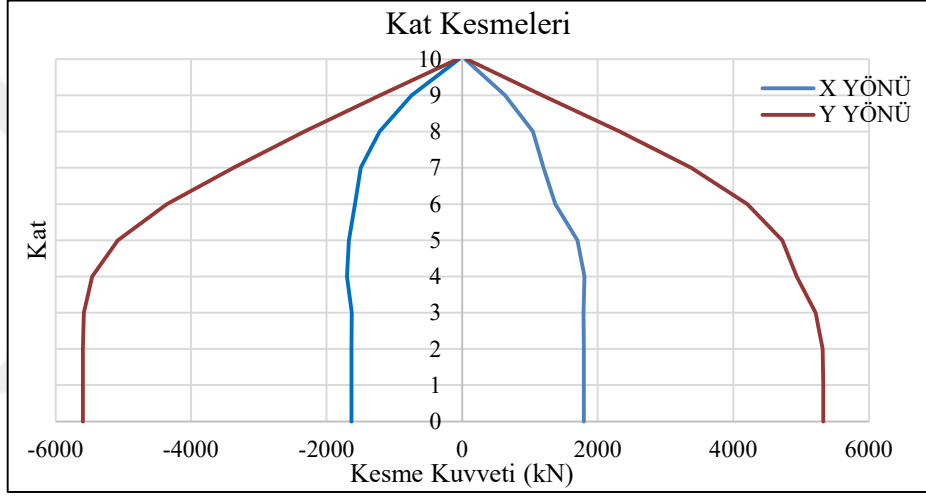


Şekil 4.49. B Blok Kat İvmeleri

Binadaki yer ivmelerinin karşılığı olan kat ivmelerinin azaltılması, oluşabilecek maddi ve manevi zararları azaltır. Yıkılan B blok ve yıkılmayan A bloğun kat ivmelerine bakıldığında ciddi bir fark görülmektedir. A blokta  $443 \text{ cm/sn}^2$  A blokta ise  $436 \text{ cm/sn}^2$  maksimum çatı katı ivmesi görülmüştür.



Şekil 4.50. A Blok Kat Kesmeleri



Şekil 4.51. B Blok Kat Kesmeleri

Kat kesme kuvvetleri, betonarme yapıların tasarımında önemli bir rol oynar. Bu kuvvetlerin taşınması için yapı elemanlarının kesme dayanımı yüksek olmalıdır. A ve B blokların her ikisinde de kat kesmelerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Her iki yapıda da taban kesmesi 5500 kN civarındadır.

Tablo 4.10. A Bloktaki Elemanların Hasar Bölgeleri

Eleman		Sınırlı Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Bölgesi	Toplam
Kolon	Adet	242	0	0	0	242
	Oran	%100	%0	%0	%0	%100
Kiriş	Adet	565	0	0	0	565
	Oran	%100	%0	%0	%0	%100
Perde	Adet	46	0	0	0	46
	Oran	%100	%0	%0	%0	%100

Tablo 4.11. B Bloktaki Elemanların Hasar Bölgeleri

Eleman		Sınır Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme Bölgesi	Toplam
Kolon	Adet	237	0	0	0	237
	Oran	%100	%0	%0	%0	%100
Kiriş	Adet	559	0	0	0	559
	Oran	%100	%0	%0	%0	%100
Perde	Adet	46	0	0	0	46
	Oran	%100	%0	%0	%0	%100

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizler sonucu elemanların birim şekil değiştirmeleri elde edilmiştir. Bu şekil değiştirmeler yönetmelik sınırlarına göre kontrol edilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında her iki blokta da tüm elemanların sınırlı hasar bölgesinde olduğu görülmüştür. Yapıya etkiyen deprem ivmeleri yapıyı yıkıma götürmeye yetecek büyüklükte olmadığı görülmüştür. Aynı özelliklere sahip iki yapıdan A blokta herhangi bir hasarın görülmemesi bunu kanıtlamaktadır.

#### 4.4.2. A Blok Yapısının Zaman Tanım Alanında Hesap İle Performans Analizi

Yapının 11 deprem ivme kaydıyla analizleri için Sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. TBDY 2.5.1'e göre seçilen ivme kayıtlarının bir bileşeni her iki yöne aynı anda ve birlikte etki ettirilmiştir. Yapının 11 deprem ivme kaydı altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Yapısal düzensizlik kontrolleri için eşdeğer statik deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçları aşağıdaki şekilde raporlanmıştır.

Tablo 4.12. A Blok Yapı Periyotları

MOD SAYISI	PERİYOD	FREKANS	AÇISAL FREKANS	ÖZDEĞER
	(SN)	(ÇEVİRİM/SN)	(RAD/SN)	(RAD/SN)**2
1	1.66175	0.601775	3.781066	14.296457
2	1.488755	0.671702	4.220428	17.812015
3	1.314073	0.760993	4.781459	22.862351
4	0.540978	1.848506	11.614503	134.896677
5	0.490188	2.040032	12.8179	164.298554
6	0.386199	2.589337	16.269284	264.689616
7	0.306192	3.265922	20.520394	421.086576
8	0.279663	3.575738	22.467022	504.767067
9	0.211116	4.736742	29.761827	885.766358
10	0.192796	5.186817	32.589732	1062.090602
11	0.189313	5.282265	33.18945	1101.539611
12	0.172281	5.804477	36.470605	1330.105035

Tablo 4.13. Bina Yüksekliği ve Bina Tabanı Kontrolü

	X Yönü			Y Yönü		
	Doğal Titreşim Periyodu (sn)	Mod No	Kütle Katılım Oranı	Doğal Titreşim Periyodu (sn)	Mod No	Kütle Katılım Oranı
Tüm Yapı	1.66	1	35.00	1.31	3	65.65
Üst Yapı	1.66	1	39.47	1.31	3	73.96
	$T_{p,Tüm} / T_{p,Üst} = 1.0000 \leq 1.1 \checkmark$			$T_{p,Tüm} / T_{p,Üst} = 1.0000 \leq 1.1 \checkmark$		

Her iki yönde de  $T_{p,Tüm} / T_{p,Üst} \leq 1.1$  olduğu için TBDY madde 3.3.1.1'e göre bina tabanı, bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır.

Tablo 4.14. Zayıf Kat (B1) Kontrolü (X Yönü)

Kat No	A-Kolon (m2)	A-Perde (m2)	A-Toplam (m2)	A-Duvar (m2)	$\eta_c$
Kat: 10	0.3000	0.0000	0.3000	0.0000	
Kat: 9	2.6000	0.0000	2.6000	0.0000	8.667 > 0.80
Kat: 8	2.6000	0.0000	2.6000	0.0000	1.000 > 0.80
Kat: 7	2.6000	0.0000	2.6000	0.0000	1.000 > 0.80
Kat: 6	2.7500	0.0000	2.7500	0.0000	1.058 > 0.80
Kat: 5	3.0000	0.0000	3.0000	0.0000	1.091 > 0.80
Kat: 4	3.2250	0.0000	3.2250	0.0000	1.075 > 0.80
Kat: 3	3.7000	0.0000	3.7000	0.0000	1.147 > 0.80
Kat: 2	4.6500	0.0000	4.6500	0.0000	1.257 > 0.80
Kat: 1	4.1250	5.5200	9.6450	0.0000	2.074 > 0.80

Tablo 4.15. Zayıf Kat (B1) Kontrolü (Y Yönü)

Kat No	A-Kolon (m2)	A-Perde (m2)	A-Toplam (m2)	A-Duvar (m2)	$\eta_c$
Kat: 10	0.3000	0.3400	0.6400	0.0000	
Kat: 9	2.6000	0.9600	3.5600	0.0000	5.563 > 0.80
Kat: 8	2.6000	0.9600	3.5600	0.0000	1.000 > 0.80
Kat: 7	2.6000	0.9600	3.5600	0.0000	1.000 > 0.80
Kat: 6	2.7500	0.9600	3.7100	0.0000	1.042 > 0.80
Kat: 5	3.0000	0.9600	3.9600	0.0000	1.067 > 0.80
Kat: 4	3.2250	0.9600	4.1850	0.0000	1.057 > 0.80
Kat: 3	3.7000	0.9600	4.6600	0.0000	1.114 > 0.80
Kat: 2	4.6500	0.9600	5.6100	0.0000	1.204 > 0.80
Kat: 1	4.1250	6.2800	10.4050	0.0000	1.855 > 0.80

TBDY 2018 Madde 3.6.2.3'e göre birbirine dik her iki yönde de zayıf kat (B1) düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 4.16. Burulma Düzensizliği (A1) Kontrolü (Ex)

Kat	$\delta_{Min}$ (m)	$\delta_{Max}$ (m)	$\Delta_{Min}$ (m)	$\Delta_{Max}$ (m)	$\Delta_{ort}$ (m)	$\eta_b$	Ek Dışmerkezlik (%)
Kat: 10	0.662920	0.726377	0.052954	0.062294	0.057624	$1.081 \leq 1.20$	---
Kat: 9	0.516559	0.697442	0.034537	0.052869	0.043703	$1.210 > 1.20$	Mod Birleştirme Gerekli X
Kat: 8	0.482022	0.644574	0.051411	0.072340	0.061875	$1.169 \leq 1.20$	---
Kat: 7	0.430610	0.572234	0.067159	0.091021	0.079090	$1.151 \leq 1.20$	---
Kat: 6	0.363451	0.481213	0.077557	0.103468	0.090513	$1.143 \leq 1.20$	---
Kat: 5	0.285894	0.377744	0.081683	0.109421	0.095552	$1.145 \leq 1.20$	---
Kat: 4	0.204211	0.268323	0.082849	0.110231	0.096540	$1.142 \leq 1.20$	---
Kat: 3	0.121362	0.158093	0.073178	0.097969	0.085573	$1.145 \leq 1.20$	---
Kat: 2	0.048184	0.060123	0.047054	0.083436	0.065245	$1.279 > 1.20$	Mod Birleştirme Gerekli X
Kat: 1	0.001100	0.001133	0.001100	0.001133	0.001116	$1.015 \leq 1.20$	---

Tablo 4.17. Burulma Düzensizliği (A1) Kontrolü (Ey)

Kat	$\delta_{Min}$ (m)	$\delta_{Max}$ (m)	$\Delta_{Min}$ (m)	$\Delta_{Max}$ (m)	$\Delta_{ort}$ (m)	$\eta_b$	Ek Dışmerkezlik (%)
Kat: 10	0.490717	0.500485	0.043729	0.050964	0.047346	$1.076 \leq 1.20$	---
Kat: 9	0.444503	0.451360	0.047663	0.049419	0.048541	$1.018 \leq 1.20$	---
Kat: 8	0.396840	0.401941	0.054306	0.056130	0.055218	$1.017 \leq 1.20$	---
Kat: 7	0.342534	0.345811	0.061567	0.063349	0.062458	$1.014 \leq 1.20$	---
Kat: 6	0.280967	0.282462	0.066287	0.067823	0.067055	$1.011 \leq 1.20$	---
Kat: 5	0.214639	0.214680	0.067071	0.068754	0.067912	$1.012 \leq 1.20$	---
Kat: 4	0.145886	0.147609	0.063240	0.063813	0.063527	$1.005 \leq 1.20$	---
Kat: 3	0.082073	0.084369	0.051418	0.052190	0.051804	$1.007 \leq 1.20$	---
Kat: 2	0.030102	0.032179	0.001267	0.030567	0.015917	$1.920 > 1.40$	---
Kat: 1	0.001612	0.001621	0.001612	0.001621	0.001616	$1.003 \leq 1.20$	---

TBDY 2018 Madde 3.6.2.1'e göre birbirine dik her iki yönde de burulma düzensizliği (A1) bulunmaktadır.

Görel kat ötelemesi kontrolü için;

$$T_x=1.662 \text{ için; } S_a(T, DD3) = 0.16090g, S_a(T, DD2) = 0.36178g$$

$$\lambda = 0.16090/0.36178 = 0.445$$

Betonarme yapı için;  $K = 1, R=5, I=1$

$$\text{Görel Öteleme Limiti} = 0.008K \times (R/I) = 0.04$$

Tablo 4.18. Görel Kat Ötelemeleri Kontrolü (Ex)

Kat	h (m)	$\Delta_{Max}$ (m)	$\delta_{etkin}$ (m)	$(\delta / h)_{etkin}$	$\lambda(\delta / h)_{etkin}$
Kat: 10	2.600	0.062294	0.062294	0.023959	$0.010656 \leq 0.04$ ✓
Kat: 9	2.800	0.052869	0.052869	0.018882	$0.008398 \leq 0.04$ ✓
Kat: 8	2.800	0.072340	0.072340	0.025836	$0.011490 \leq 0.04$ ✓
Kat: 7	2.800	0.091021	0.091021	0.032508	$0.014458 \leq 0.04$ ✓
Kat: 6	2.800	0.103468	0.103468	0.036953	$0.016435 \leq 0.04$ ✓
Kat: 5	2.800	0.109421	0.109421	0.039079	$0.017380 \leq 0.04$ ✓
Kat: 4	2.800	0.110231	0.110231	0.039368	$0.017509 \leq 0.04$ ✓
Kat: 3	2.800	0.097969	0.097969	0.034989	$0.015561 \leq 0.04$ ✓
Kat: 2	2.800	0.083436	0.083436	0.029799	$0.013253 \leq 0.04$ ✓

Kat: 1	2.600	0.001133	0.001133	0.000436	0.000194 ≤ 0.04 ✓
--------	-------	----------	----------	----------	-------------------

Tablo 4.19. Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü (Ey)

Kat	h (m)	$\Delta_{Max}$ (m)	$\delta_{etkin}$ (m)	$(\delta / h)_{etkin}$	$\lambda(\delta / h)_{etkin}$
Kat: 10	2.600	0.050964	0.050964	0.019601	0.008692 ≤ 0.04 ✓
Kat: 9	2.800	0.049419	0.049419	0.017650	0.007827 ≤ 0.04 ✓
Kat: 8	2.800	0.056130	0.056130	0.020046	0.008889 ≤ 0.04 ✓
Kat: 7	2.800	0.063349	0.063349	0.022624	0.010033 ≤ 0.04 ✓
Kat: 6	2.800	0.067823	0.067823	0.024222	0.010741 ≤ 0.04 ✓
Kat: 5	2.800	0.068754	0.068754	0.024555	0.010889 ≤ 0.04 ✓
Kat: 4	2.800	0.063813	0.063813	0.022790	0.010106 ≤ 0.04 ✓
Kat: 3	2.800	0.052190	0.052190	0.018639	0.008265 ≤ 0.04 ✓
Kat: 2	2.800	0.030567	0.030567	0.010917	0.004841 ≤ 0.04 ✓
Kat: 1	2.600	0.001621	0.001621	0.000623	0.000276 ≤ 0.04 ✓

TBDY 2018 Madde 4.9.1.3(a)'ya göre birbirine dik her iki yönde de görelî kat ötelemesi sınır değerleri aşılmamıştır.

Tablo 4.20. TBDY 2018 Tablo 3.6'ya Göre Düzensizlik Kontrolleri

Planda Düzensizlik Durumları		
(A1) Burulma Düzensizliği		-MEVCUT-
(A2) Kat Diyaframı Süreksizliđi		-YOK-
(A3) Planda Çıkıntılar Bulunması		-YOK-
Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları		
(B1) Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)		-YOK-
(B2) Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)		-YOK-
(B3) Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliđi		-YOK-

Tablo 4.21. Elemanların Hasar Bölgeleri (0°)

Kat	Elemanlar	Toplam	Eleman Adedi				Eleman Kesme Kuvvetleri Oranı			
			Sınırlı Hasar	Belirgin	İleri Hasar	Göçme	Sınırlı	Belirgin	İleri	Göçme Bölgesi
1	Kolonlar:	34	22	2	0	10	0.0951	0.0532	0.0000	0.8516
	Kirişler:	14	1	13	0	0				
2	Kolonlar:	31	5	2	0	24	0.0000	0.0113	0.0000	0.9887
	Kirişler:	21	3	17	0	1				
3	Kolonlar:	26	10	1	0	15	0.3302	0.0449	0.0000	0.6248
	Kirişler:	16	0	16	0	0				
4	Kolonlar:	26	6	0	0	20	0.1500	0.0000	0.0000	0.8500
	Kirişler:	16	0	16	0	0				
5	Kolonlar:	26	4	2	0	20	0.0932	0.0452	0.0000	0.8616
	Kirişler:	16	0	16	0	0				
6	Kolonlar:	26	0	5	0	21	0.0000	0.0772	0.0000	0.9228
	Kirişler:	16	0	16	0	0				
7	Kolonlar:	26	1	11	0	14	0.0002	0.3761	0.0000	0.6237
	Kirişler:	16	1	15	0	0				
8	Kolonlar:	26	16	1	0	9	0.5091	0.0475	0.0000	0.4433
	Kirişler:	16	1	15	0	0				
9	Kolonlar:	26	22	0	0	4	0.7069	0.0000	0.0000	0.2931
	Kirişler:	16	7	9	0	0				
10	Kolonlar:	3	0	0	0	3	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	Kirişler:	4	3	1	0	0				

Tablo 4.22. Elemanların Hasar Bölgeleri (90°)

Kat	Elemanlar	Toplam	Eleman Adedi				Eleman Kesme Kuvvetleri Oranı			
			Sınırlı Hasar	Belirgin	İleri Hasar	Göçme	Sınırlı	Belirgin	İleri	Göçme Bölgesi
1	Kolonlar:	39	21	0	0	18	0.0436	0.0000	0.0000	0.9564
	Kirişler:	15	3	12	0	0				
2	Kolonlar:	34	5	16	0	13	0.0000	0.5065	0.0000	0.4935
	Kirişler:	24	5	19	0	0				
3	Kolonlar:	29	16	0	0	13	0.4950	0.0000	0.0000	0.5050
	Kirişler:	18	1	17	0	0				
4	Kolonlar:	29	13	0	0	16	0.3744	0.0000	0.0000	0.6256
	Kirişler:	18	1	17	0	0				
5	Kolonlar:	29	10	0	0	19	0.2782	0.0000	0.0000	0.7218
	Kirişler:	18	1	17	0	0				
6	Kolonlar:	29	10	0	0	19	0.2569	0.0000	0.0000	0.7431
	Kirişler:	18	1	17	0	0				
7	Kolonlar:	29	13	0	0	16	0.3384	0.0000	0.0000	0.6616
	Kirişler:	18	1	17	0	0				
8	Kolonlar:	29	19	0	0	10	0.4294	0.0000	0.0000	0.5706
	Kirişler:	18	3	15	0	0				
9	Kolonlar:	29	10	8	0	11	0.3932	0.1723	0.0000	0.4344
	Kirişler:	18	7	11	0	0				
10	Kolonlar:	4	2	0	0	2	0.3682	0.0000	0.0000	0.6318
	Kirişler:	2	2	0	0	0				

Deprem ivme kayıtlarının 0°'lik sonuçlarına göre;

- Sınırlı Hasar Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %7.1- Sınırlı Hasar Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %64.7
- Belirgin Hasar Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %92.9- Belirgin Hasar Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %5.9
- İleri Hasar Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %0- İleri Hasar Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %0
- Göçme Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %0 < %20 ✓
- Göçme Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %29.4 X
- Alt ve Üst kesitlerinin İkisinde Birden Belirgin Hasar Sınırı Aşılmış Düşey Elemanların Toplam Kesme Kuvvetine Katkısı: %7.2 < %30 ✓

Deprem ivme kayıtlarının 90°'lik sonuçlarına göre;

- Sınırlı Hasar Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %20- Sınırlı Hasar Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %53.8
- Belirgin Hasar Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %80- Belirgin Hasar Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %0
- İleri Hasar Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %0- İleri Hasar Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %0
- Göçme Bölgesindeki Kiriş Yüzdesi: %0 < %20 ✓
- Göçme Bölgesindeki Düşey Elemanların Yüzdesi: %46.2 X

- Alt ve Üst kesitlerinin ikisinde Birden Belirgin Hasar Sınırı Aşılmış Düşey Elemanların Toplam Kesme Kuvvetine Katkısı: %8 < %30 ✓

Bu sonuçlar doğrultusunda TBDY 2018 Bölüm 15.8.6'ya göre yapının performans düzeyi göçme bölgesindedir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında 30 Ekim 2020 İzmir Seferihisar Depreminde benzer nitelikteki A ve B blok yapıları incelenmiştir. A blok İzmir Seferihisar Depremi sonrası yapılan incelemeler neticesinde hasarsız olarak tespit edilmiştir. Geometrisi, yapım yılı, müteahhidi, malzeme özellikleri birebir aynı olan B blok yapısı ise toptan göçmeye uğramıştır. A blok yapısının zemin katında B blok yapısınınkinden 5 kolonluk bir fazlalığı bulunmaktadır. Bu kolonların A blok yapısının ayakta kalmasına olan etkisinin araştırılması yanında, İzmir Seferihisar Depremi kayıtlarının yapılara olan etkisi üzerinde de durulmuştur. Çalışmada aynı zamanda İzmir ilinin depremselliği göz önüne alınarak TBDY 2018'e göre seçilen on bir deprem ivme kaydıyla zaman tanım alanında analizler yapılmış ve hasarsız olan yapının performans düzeyi belirlenmiştir.

Seferihisar Depremi ivme kaydıyla yapılan analiz sonucunda elde edilen kat yer değiştirmeleri, kat ötelemeleri, kat kesmeleri, kat ivmeleri ve performans analizi sonuçları raporlanmıştır. Ayrıca basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilen 11 deprem ivme kaydıyla zaman tanım alanında yapılan analizler sonucu yapısal düzensizlikler, görelî öteleme kontrolleri, kat deplasmanları, süneklik kontrolleri ve şekil değiştirme talepleri raporlanmıştır.

- İzmir Seferihisar Depremi kaydıyla yapılan analizlerde kat ötelemelerine bakıldığında yapıyı yıkıma götürecek oranlar (>%2) elde edilmemiştir. Fakat kat ötelemelerinin %1'den büyük olması hasarın başladığını göstermektedir.
- İzmir Seferihisar kaydıyla yapılan analiz sonucu yapılarda yumuşak kat düzensizliği oluşmamaktadır. Fakat burulma düzensizliği oranları bazı katlarda 1.2 sınır değerini aşmaktadır.
- İzmir Seferihisar kaydıyla yapılan analizler sonucunda yapı elemanlarındaki şekil değiştirme talepleri ileri hasar ve göçme bölgesine ulaşmamıştır.
- İzmir Seferihisar kaydıyla yapılan analizler sonucu yapılara etki eden sismik ivmelerin yapıları yıkıma götürecek kadar büyük olmadığı görülmüştür. Aynı özelliklere sahip iki yapıdan biri olan A blokta hasar olmaması bunu kanıtlamaktadır.
- B blok yapısının yıkılma sebebinin yapılan analizler ve incelemeler neticesinde imalat hataları olduğu sonucuna varılmıştır. Bu imalat hatalarının kalitesiz

beton, segregasyon, betonun yerleşme problemi, enine ve boyuna donatı eksikliği, aderans sorunları, taşıyıcı elemanlara kullanım esnasında hasar verilmesi olabileceği öngörülmektedir.

- TBDY 2018'e göre bölgenin depremselliği doğrultusunda seçilen on bir deprem ivme kaydıyla yapılan performans analizinde yapı hedef performans düzeyi olan kontrollü hasarı sağlamamış olup yapının göçme bölgesinde olduğu görülmüştür.
- Aynı zamanda yapının eşdeğer statik deprem yükü yöntemiyle düzensizlik kontrolleri yapılmış ve yapılarda burulma düzensizliği tespit edilmiştir.
- Düşey taşıyıcı ve yatay taşıyıcı elemanlarda kesme dayanımı yetersizliği sonucu gevrek elemanlar tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda, mevcut yapılar için yapılması gerekenler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Mevcut yapıların yetersizliklerinin/düzensizliklerinin giderilmesi için, yapıların taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Düzensizlikler, sismik kuvvetlere karşı düşük dirençli alanlar ortaya çıkararak yapının çökme riskini arttırmaktadır. Bu nedenle, yapının iyileştirilmesi için uygun mühendislik teknikleri kullanılmalıdır.
- Bir binada kullanılan malzemeler ve işçilik kalitesi, bir yapının deprem gibi doğal afetlere dayanma kabiliyetini etkileyen bir diğer faktördür. Bu nedenle yeni yapılar inşa edilirken veya mevcut yapılar güçlendirilirken kaliteli malzeme ve yeterli işçilik oldukça önemlidir. Yapı malzemelerinin ve işçiliğinin kalitesinin standartlara uygunluğu kontrol edilmeli, denetlenmeli ve onaylanmalıdır.
- Zayıf zemin üzerine inşa edilen binalar depreme karşı yetersizlikler sergileyebilir. Bu durumda yapının inşa edileceği alanda zemin etüdünün yapılması, gerekiyorsa uygun güçlendirmenin yapılması ve zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir.
- Hızlı değerlendirme teknikleriyle Türkiye genelindeki yetersiz yapı stoğu belirlenmeli, bu yapılar güçlendirilmeli veya yıkılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Sozbilir, H., Tatar, O., Akgün, M., Ankaya Pamukçu, O., Baba, A., Ozden, G., Özçelik, Ö., Çırmık, A., Utku, M., Softa, M., Uzelli, T., Eski, S., Özdağ, Ö., Çakır, Re., Tepe, C., Evlek, D. 30 EKİM 2020 SİSAM (SAMOS) DEPREMİ (Mw: 6,9) DEĞERLENDİRME RAPORU. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir. 2020,111s.
- [2] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD). (n.d.). List of Events [Website]. Erişim <https://tadas.afad.gov.tr/list-event>.
- [3] Demir, A., Özyüksel Çiftçioğlu, A., Sınır, B., Basari, E., Dogan, E., Nohutcu, H., Bozkurt, M., Erdem, R. Tugrul., Altıok, T. İzmir (Seferihisar-Sisam) Depreminin Sismik Karakteristiği ve Meydana Gelen Yapısal Hasarların İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi. Manisa. 2020, 128s.
- [4] Akansel V. H., Özkula G. The 30 October 2020, Mw 6.6 Sisam (Samos) Earthquake: Interpretation of Strong Ground Motions and Post Earthquake Condition of Nearby Structures. European Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021, 4(2), 66-86.
- [5] Aktepe, Ebru. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem Yönetimi Anabilim Dalı, İzmir, 2011, 75s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [6] Sezer L. İ. İzmir Sismotektonik Yöresinin Depremselliği. Aegean Geographical Journal. 2004, 13, 29-46,
- [7] Onay, Şefika. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Anabilim Dalı, İzmir, 2012, 150s (Doktora Tezi).
- [8] İzmir Büyükşehir Belediyesi (2022), İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı; İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir, Türkiye. (<https://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/>).
- [9] Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Ozaksoy, V., Yıldırım, C., Goktas, Fikret. İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara. 2005, 86s.
- [10] Burc, Oral, M., Reilinger, R. E., Nafi Toksöz, M., King, R. W., Aykut Barka, A., Kinik, I., and Lenk, O. Global Positioning System offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean, Eos Trans. 1995, AGU, 76(2), 9–24.
- [11] Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. İzmir körfezi ve dolaylarının aktif tektonizmasının sismik yansıma verileri ile incelenmesi. İTÜ Dergisi. 2005, 4(6), 93-104.

- [12] Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Tepe, Ç., Softa, M., Eski, S. İzmir Kenti İçinden Geçen Diri faylarda Fay Sakınım Bandı/Yüzey Faylanması Tehlikesi Kuşağı Oluşturma Kriterleri. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (3TDMSK), 14-16 Ekim 2015, İzmir, (1-14).
- [13] Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Sümer, Ö., Uzel, B., Eski, S., Tepe, Ç., Softa, M. İzmir-Manisa-Balıkesir illerini etkilemiş tarihsel depremlerin sismik kaynakları. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (3TDMSK), 14-16 Ekim 2015.
- [14] Kuruoğlu, M. And Eskişar Tefçi, T. "İzmir Körfezi Güney Kıyı Bölgesi Zeminlerinin Dinamik Davranışının İncelenmesi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (3TDMSK), 14-16 Ekim 2015, İzmir, (1-11).
- [15] Poyraz, F., Tatar, O., Hastaoglu, K., Tiryakioglu, I., Gürsoy, Ö., Koçbulut, F., Türk, T., & Demirel, M., Duman, H., Ciğer, A., GÜL, D., Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Güncel Tektonik Hareketlerin GPS Ve Ps-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi; İlk Sonuçlar. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi. 2015, 7(1), 17-28.
- [16] Koca, M. Y., Sözbilir, H., Uzel, B. Sarıgöl Fay Zonu Boyunca Meydana Gelen Deformasyonların Nedenleri Üzerine Bir Araştırma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. 2011, 35 (2), 151-174.
- [17] Kürçer, A., Elmacı, H., Savaş, F., Kayadibi, Ö. (2021). 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw:6.9) Üzerine Bir Değerlendirme. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara. 2020, 34s.
- [18] Celep, Z. Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallık Kabulü ve Çözümleme. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul, 167-180.
- [19] Yüksel, İsa. Betonarme Binalarda Sistem Sünekliliğinin Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2000, 161s. (Doktora Tezi).
- [20] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., Park, R. Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete. Journal of Structural Engineering-ASCE. 1988, 114, 1804-1826.
- [21] Chiou, Jiunn-Shyang., Yang, H., Chen, C. Plastic Hinge Setting For Nonlinear Pushover Analysis of Pile Foundations. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Ekim 12-17, 2008, Beijing, China.

- [22] Çağlar, F., Tatar, T. Fiber Based Modeling Strategies of RC Columns. Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management. 2021, 2(2), 85-95.
- [23] İnsapedia. “Yığılı Plastik-Yayılı Plastik Davranış Modelleri-Doğrusal Olmayan Davranış”.Erişim: 20.04.2023. <https://insapedia.com/yigili-plastik-yayili-plastik-davranis-modelleri-dogrusal-olmayan-davranis/>.
- [24] Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., Willford, M. R. Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design Technical Brief No. 4. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, 2010, 36 s.
- [25] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018, Türkiye.
- [26] Peer Ground Motion Database (2022), Spectras; Pasific Earthquake Engineering Research Center, California, USA. (<https://ngawest2.berkeley.edu/>).
- [27] Fahjan, Y. M. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi. İMO Teknik Dergi. 2008, 19(93), 4423 – 4444.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Ferhat Durmaz

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali :

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta :

## **Eğitim Durumu**

Lise : Karacasu Lisesi, 2006

Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi, 2011

## **Mesleki Deneyim**

Kurum Bilgisi :