

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME PREFABRİK YAPILARDA GÜÇLENDİRME
ÖNERİSİ

AHMET FURKAN SAKİN

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETONARME PREFABRİK YAPILARDA
GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ**

AHMET FURKAN SAKİN

Prof.Dr. Kemal Beyen

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç.Dr. Abdullah Can Zülfikar

Jüri, Gebze Teknik Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Hilal Meydanlı Atalay

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

A.Furkan SAKİN

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

A.Furkan SAKİN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisansüstü öğrenimim ve tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen, bizleri cesaretlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Kemal BEYEN ‘ beyefendilere,

Tez çalışmam boyunca bana her konuda destek olan değerli arkadaşlarım ve meslektaşlarıma,

Tüm öğrenim hayatım boyunca sabırla beni desteklemekten vazgeçmeyen değerli aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık – 2021

A.Furkan SAKİN



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. PREFABRİKE YAPILAR	2
2.1. Prefabriğin Genel Durumu	2
2.2. Prefabrik Yapı Sistemleri.....	3
2.2.1. Uygulamada Prefabrik Yapı Sistemleri	4
3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI	6
4. DEPREM HESABI.....	7
4.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri İle Deprem Hesabı.....	7
4.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	8
4.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi	8
4.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri İle Deprem Hesabı.....	10
4.2.1. İtme Yöntemleri.....	10
4.2.2. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi	11
5. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	12
5.1. Yapı Genel Bilgileri.....	12
5.1.1. Kesit ve Malzeme Bilgileri	12
5.1.2. Yapı Karakteristiğı	13
5.2. Plastik Mafsal Tanımı.....	18
5.2.1. Yığılı Plastik Davranış	18
5.2.2. Yayılı Plastik Davranış	20
5.3. Hasar Düzeylerinin Tanımlanması	23
5.3.1. Şekil Değıştirme Sınırları.....	24
5.4. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	29
5.5. Elastik Tasarım Spektrumunun Belirlenmesi.....	30
5.6. Yapının Analizi	31
5.7. Yapıda Güçlendirme	41
5.7.1. Viskoz Sönümleyicinin Tanımlanması	42
6. DÜŞEY DEPREM ETKİSİ	98
7. SÖNÜMLEYİCİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ	100
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR	106
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Stok sahasında bekleyen betonarme prefabrik kolon.....	4
Şekil 3.1.	TBDY 2018'e göre deprem hesabı yöntemleri.....	7
Şekil 5.1.	Kat planı.....	12
Şekil 5.2.	Üç boyutlu model.....	13
Şekil 5.3.	Sargı etkisi (TBDY2018)	14
Şekil 5.4.	Beton gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	16
Şekil 5.5.	Sargısız beton gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	16
Şekil 5.6.	Donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	17
Şekil 5.7.	Betonarme kiriş kesiti.....	19
Şekil 5.8.	Betonarme kirişe ait moment dönme grafiği.....	19
Şekil 5.9.	Betonarme kolon kesiti.....	20
Şekil 5.10.	Betonarme kolon kesitindeki fiber elemanlar.....	22
Şekil 5.11.	Kolon kesit özelliklerine ait Sap2000 ekran görüntüsü	22
Şekil 5.12.	Kesit hasar bölgeleri (TBDY,2018)	23
Şekil 5.13.	Sargılı beton davranış grafiği.....	26
Şekil 5.14.	Sargısız beton davranış grafiği.....	27
Şekil 5.15.	Betonarme çeliği davranış grafiği.....	27
Şekil 5.16.	Doğrusal ötesi mafsallar.....	28
Şekil 5.17.	Mafsal limitlerinin program bilgi girişi ekran görüntüsü.....	28
Şekil 5.18.	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.....	30
Şekil 5.19.	On bir adet deprem kaydına ait deprem spektrumu.....	31
Şekil 5.20.	Yerdeğiştirmeler için belirlenen çıktı noktaları.....	31
Şekil 5.21.	RSN-1158 depremine ait mafsallaşma durumu.....	33
Şekil 5.22.	RSN-1176 depremine ait mafsallaşma durumu.....	33
Şekil 5.23.	RSN-821 depremine ait mafsallaşma durumu.....	34
Şekil 5.24.	RSN-821 depremine ait donatı fiber davranışı.....	35
Şekil 5.25.	RSN-821 depremine ait sargısız beton fiber davranışı.....	36
Şekil 5.26.	RSN-821 depremine ait sargılı beton fiber davranışı.....	36
Şekil 5.27.	RSN-821 depremine ait ivme tepki zaman grafiği.....	37
Şekil 5.28.	RSN-821 depremine ait deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu.....	37
Şekil 5.29.	RSN-1158 depremine ait ivme tepki zaman grafiği.....	38
Şekil 5.30.	RSN-1158 depremine ait deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu.....	38
Şekil 5.31.	RSN-1176 depremine ait ivme tepki zaman grafiği.....	39
Şekil 5.32.	RSN-1176 depremine ait deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu.....	39
Şekil 5.33.	RSN-1151 depremine ait deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu.....	40
Şekil 5.34.	Pasif sönümleyicilerin makas doğrultusundaki yerleşimi.....	42
Şekil 5.35.	Pasif sönümleyicilerin makasa dik doğrultudaki yerleşimi.....	43
Şekil 5.36.	Yapı modelinde kolonların isimlendirilmesi.....	51
Şekil 5.37.	C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	51
Şekil 5.38.	C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	52
Şekil 5.39.	C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	52
Şekil 5.40.	C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	53
Şekil 5.41.	C1 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	53
Şekil 5.42.	C1 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	54
Şekil 5.43.	C1 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	54
Şekil 5.44.	C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	55
Şekil 5.45.	C4 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	55

Şekil 5.46.	C4 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	56
Şekil 5.47.	C8 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	56
Şekil 5.48.	C8 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	57
Şekil 5.49.	C8 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	57
Şekil 5.50.	C6 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	58
Şekil 5.51.	C6 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	58
Şekil 5.52.	C6 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	59
Şekil 5.53.	C3 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	59
Şekil 5.54.	C3 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	60
Şekil 5.55.	C3 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	60
Şekil 5.56.	C5 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	61
Şekil 5.57.	C5 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	61
Şekil 5.58.	C5 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	62
Şekil 5.59.	C9 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	62
Şekil 5.60.	C9 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	63
Şekil 5.61.	C9 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	63
Şekil 5.62.	C7 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	64
Şekil 5.63.	C7 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	64
Şekil 5.64.	C7 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	65
Şekil 5.65.	C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	65
Şekil 5.66.	C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	66
Şekil 5.67.	C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	66
Şekil 5.68.	C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	67
Şekil 5.69.	C1 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	67
Şekil 5.70.	C1 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	68
Şekil 5.71.	C1 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	68
Şekil 5.72.	C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	69
Şekil 5.73.	C4 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	69
Şekil 5.74.	C4 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	70
Şekil 5.75.	C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	70
Şekil 5.76.	C8 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	71
Şekil 5.77.	C8 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	71
Şekil 5.78.	C6 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	72
Şekil 5.79.	C6 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	72
Şekil 5.80.	C6 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	73
Şekil 5.81.	C3 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	73
Şekil 5.82.	C3 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	74
Şekil 5.83.	C3 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	74
Şekil 5.84.	C5 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	75
Şekil 5.85.	C5 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	75
Şekil 5.86.	C5 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	76
Şekil 5.87.	C9 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	76
Şekil 5.88.	C9 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	77
Şekil 5.89.	C9 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	77
Şekil 5.90.	C7 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	78
Şekil 5.91.	C7 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	78

Şekil 5.92.	C7 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	79
Şekil 5.93.	C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	79
Şekil 5.94.	C8 ve C6 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	80
Şekil 5.95.	C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	80
Şekil 5.96.	C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	81
Şekil 5.97.	C1 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	81
Şekil 5.98.	C1 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı	82
Şekil 5.99.	C1 kolonuna ait donatı lifi davranışı	82
Şekil 5.100.	C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	83
Şekil 5.101.	C4 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı	83
Şekil 5.102.	C4 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	84
Şekil 5.103.	C8 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	84
Şekil 5.104.	C8 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı.....	85
Şekil 5.105.	C8 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	85
Şekil 5.106.	C6 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	86
Şekil 5.107.	C6 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı	86
Şekil 5.108.	C6 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	87
Şekil 5.109.	C3 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	87
Şekil 5.110.	C3 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı	88
Şekil 5.111.	C3 kolonuna ait donatı lifi davranışı	88
Şekil 5.112.	C5 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı.....	89
Şekil 5.113.	C5 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı	89
Şekil 5.114.	C5 kolonuna ait donatı lifi davranışı	90
Şekil 5.115.	C9 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	90
Şekil 5.116.	C9 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı	91
Şekil 5.117.	C9 kolonuna ait donatı lifi davranışı	91
Şekil 5.118.	C7 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı	92
Şekil 5.119.	C7 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı	92
Şekil 5.120.	C7 kolonuna ait donatı lifi davranışı.....	93
Şekil 5.121.	C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	93
Şekil 5.122.	C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	94
Şekil 5.123.	C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	94
Şekil 5.124.	C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	95
Şekil 5.125.	C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi.....	95
Şekil 5.126.	C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	96
Şekil 5.127.	C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	96
Şekil 5.128.	C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi	97

TABLolar DİZİNİ

Tablo 5.1.	Donatı eliklerine ait bilgiler	17
Tablo 5.2.	Fiber model zellikleri.....	21
Tablo 5.3.	Beton Şekil değiştirme limitleri.....	25
Tablo 5.4.	Beton Şekil değiştirme limitleri.....	25
Tablo 5.5.	Seçilen deprem kayıtları.....	29
Tablo 5.6.	Yapıda meydana gelen yerdeğiştirmeler	32
Tablo 5.7.	Yapıda meydana gelen yerdeğiştirmeler	32
Tablo 5.8.	Güçlendirme sonrası yer değiştirmeler	44
Tablo 5.9.	Güçlendirme sonrası yer değiştirmeler	44
Tablo 5.10.	Güçlendirme sonrası performans iyileşme oranları.....	45
Tablo 5.11.	Güçlendirme öncesi makasa dik yöndeki yer değiştirmeler	45
Tablo 5.12.	Güçlendirme öncesi makasa dik yöndeki yer değiştirmeler	45
Tablo 5.13.	Güçlendirme sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler	46
Tablo 5.14.	Güçlendirme sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler	46
Tablo 5.15.	Güçlendirme sonrası performans iyileşme oranları	47
Tablo 5.16.	Güçlendirme öncesi kritik taban kesme kuvveti değerleri	47
Tablo 5.17.	Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvveti değerleri	48
Tablo 5.18.	Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler.....	48
Tablo 5.19.	Güçlendirme öncesi kritik taban kesme kuvveti değerleri	49
Tablo 5.20.	Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvveti değerleri.....	49
Tablo 5.21.	Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler	49
Tablo 5.22.	Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler	50
Tablo 6.1.	Düşey deprem etkisi.....	99
Tablo 7.1.	elik çaprazlar sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler.....	100
Tablo 7.2.	elik çaprazlar sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler.....	101
Tablo 7.3.	elik çaprazlar sonrası performans iyileşme oranları.....	101
Tablo 7.4.	elik çaprazlar sonrası kritik taban kesme kuvveti değerleri	102
Tablo 7.5.	elik çaprazlar sonrası taban kesme kuvvetlerindeki değişimler.....	102

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_i	:Kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık, (m)
A_s	:Boyuna donatı alanı, (m ²)
a_{se}	:Sargı donatısı etkinlik katsayısı
A_{sh}	:Enine donatı alanı, (m ²)
b_0	:Etriyelerin eksenleri arasında kalan kesitin birinci boyutu, (m)
b_k	:En dıştaki enine donatının eksenleri arasındaki uzaklık, (m)
c	:Sönüm katsayısı, (%)
E_s	:Donatı çeliğinin elastisite modülü, (Pa)
ε_c	:Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ε_{cu}	:Maksimum beton birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	:Göçme öncesi bölge için izin verilen beton birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_c^{(KH)}$	:Kontrollü hasar bölgesi için izin verilen beton birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_c^{(SH)}$	:Sınırlı hasar bölgesi için izin verilen beton birim şekil değiştirmesi
ε_s	:Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_s^{(GÖ)}$	:Göçme öncesi bölge için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_s^{(KH)}$	:Kontrollü hasar bölgesi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_s^{(SH)}$	:Sınırlı hasar bölgesi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
ε_{sy}	:Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	:Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
f_c	:Beton basınç gerilmesi, (kN)
f_{cc}	:Sargılı beton dayanımı, (kN)
f_{co}	:Sargısız beton dayanımı, (kN)
f_e	:Etkili sargılama basıncı, (kN)
f_s	:Donatı çeliği akma dayanımı, (kN)
f_{yw}	:Enine donatının akma dayanımı, (kN)
g	:Yer çekimi ivmesi, (m/sn ²)
h_0	:Etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu, (m)
k	:Yatay rijitlik
k_e	:Sargılama etkinlik kat sayısı oranı
m	:Kütle, (kg)
$PSa(g)$	:Spektral ivme (m/sn ²)
R	:Taşıyıcı sistem katsayısı
R_a	:Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
r	:Etki/Kapasite Oranı
R_{jb}	:Kayıt sahası ile fayın kopma noktasının yüzey iz düşümü arasındaki mesafe, (m)
R_{rup}	:Kayıt sahası ile fayın kopma noktası arasındaki en kısa mesafe, (m)
s	:Boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralık, (cm)
t	:Zaman, (sn)
$u(t)$	:Sistemin yatay deplasmanı, (m)
$\dot{u}(t)$	:Sistemin hızı, (m/sn)

$\ddot{u}(t)$	:Sistemin ivmesi
$\ddot{u}_g(t)$	:Yer çekimi ivmesi
V_{s30}	:Kayma dalgası hızlarının harmonik ortalaması
λ_c	:Sargılı beton ile sargısız beton arasındaki katsayı
$\rho_{sh}, \rho_x, \rho_y$	:Enine donatı hacimsel olarak oranı, (%)
$\theta_p^{(SH)}$	:Dönme sınırı, (rad)
ω_{we}	:Sargı donatısının mekanik donatı oranı
Z	:Zemin sınıfı

Kısaltmalar

TPB	:Türkiye Prefabrik Birliği
TBDY 2018	:Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
DBYBHY 2007	:Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
ASCE	:American society of civil engineers
SEI	:Structural Engineering Institute

BETONARME PREFABRİK YAPILARDA GÜÇLENDİRME ÖNERİSİ

ÖZET

Ülkemizdeki endüstriyel yapı stoğunun önemli bir kısmını oluşturan, dolayısıyla servis süresince kesintisiz kullanım sağlaması ekonomik olarak çok önemli olan prefabrik betonarme yapıların deprem performansları her ne kadar önceki depremlerde test edilmiş olsa da, mühendis çevrelerince henüz şiddetli bir deprem altında performansları titizlikle test edilememiş olarak kabul görmektedir. Bu doğrultuda mevcut endüstriyel yapıların depremde nasıl bir davranış sergileyeceği ülkemiz ekonomik çarklarını önemli ölçüde etkileyeceğinden, yapılar üzerinde çeşitli analizler yapılarak depreme hazır hale getirme çalışmaları yürütülmektedir.

Önceki depremlerde çok çeşitli tiplerde hasar mekanizması gözlenen prefabrik betonarme yapılarda bu hasar mekanizmaları doğrultusunda çeşitli önlemler gündeme getirilerek yapıların deprem performansı iyileştirilmiştir. Ancak özellikle eski deprem yönetmeliklerince tasarlanan ve yapı stoğunun büyük bölümünü oluşturan yapılarda performans analizleri yapıldığında gerek tasarım depremlerinde gerek kaydedilmiş deprem kayıtları altında deprem performanslarının zayıf olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada daha önceden sahada kaydedilmiş uzak ve yakın alan deprem kayıtları altında zaman tanım alanında doğrusal ötesi analizler ile betonarme prefabrik yapı analizi yapılmış, yapının mimari fonksiyonu ve kullanım amaçları ile çelişmeyen güçlendirme önerisi sunulurken, yapının hangi oranda performans iyileşmesi gösterdiği araştırılmıştır. Bu doğrultuda sismik sönümleyicilerin oldukça hızlı şekilde tatbik edilebilmesi ve mimari fonksiyonlar, kullanım amacı gibi parametrelerle çelişmemesi adına oldukça dikkat çekmiştir. Sismik sönümleyici ile güçlendirilen yapılarda deprem performanslarında ciddi artışlar olduğu da gözlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen bir diğer çarpıcı sonuç ise plastik mafsallaşma görülmeyen bazı elemanların fiber model ile modellendiğinde fiber elemanların bazılarında doğrusal ötesi davranış gözlenmiş olmasıdır. Esasen bu sonuç her ne kadar yapısal elemanlar doğrusal hareket yapmış olsalar dahi, lineer olmayan davranıştan beklenmeyecek şekilde; fiberlerin doğrusal kapasitelerini güvenle tamamladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Prefabrik Yapılar, Doğrusal Ötesi Davranış, Güçlendirme Önerisi, Lif Modelleri.

RETROFIT SUGGESTION ON REINFORCED CONCRETE PREFABRICATED STRUCTURES

ABSTRACT

Although the earthquake performances of prefabricated reinforced concrete structures, which constitute a significant part of the industrial building stock in our country and therefore it is very important economically to ensure uninterrupted use during service, have been tested in previous earthquakes, but it is accepted by the engineering circles that their performance has not been meticulously tested under a severe earthquake yet. In this direction, since the behavior of the existing industrial structures in an earthquake will significantly affect the economic wheels of our country, various analyzes are carried out on such structures and studies are carried out to prepare them for earthquakes.

In the prefabricated reinforced concrete structures, where various types of damage mechanisms were observed in earthquakes in previous earthquakes, various measures were brought to the agenda in line with these damage mechanisms, and the earthquake performance of the structures was improved.

In this study, non-linear analyzes in the time history and reinforced concrete prefabricated structure analysis were performed under the distant and near-field earthquake records previously recorded in the field, and it was investigated to what extent the building's performance improved by presenting a strengthening proposal that does not contradict the architectural functionality and services use of the building. For such purposes, it has attracted a lot of attention such as seismic dampers can be applied very quickly and they do not change architectural functions and serviceability. And observed significant increases in seismic performances of the structures strengthened when with seismic dampers.

Another striking result obtained from this study is that incase of plastic hinge modelling, if the fiber modelling is used, nonlinear deformation is observed in some of the fiber cells, although the structural elements that were constructed with the finite small fiber cells have undergone linear motion and safely complete their linear capacities, in contrast to expected nonlinearity.

Keywords: Reinforced Concrete Prefabricated Structures, Nonlinear Behavior, Retrofit Suggestion, Fiber Models.

1. GİRİŞ

Çeşitli imalat yöntemleri bulunan endüstriyel yapıların önemli bir kısmı prefabrik betonarme taşıyıcı sistemlerden oluşmaktadır. Endüstriyel üretimin ve ekonomik sürekliliğin sağlanması için bu yapıların servis ömürleri süresince kesintisiz hizmet verebilmesi beklenmektedir. Ancak her ne kadar beklentiler bu yönde olsa da ülkemizdeki endüstriyel yapıların %98'i deprem bölgesinde bulunmaktadır (Yılmaz, 2004). Bu sebeple mevcut endüstriyel yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve gerekiyorsa güçlendirilmesi ülkemiz adına çok büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada ülkemizdeki prefabrik betonarme yapı stoğunu temsil edebilecek bir örnek üzerinden yapı performansı belirlenmiştir. Daha önceden kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları altında zaman tanım alanında doğrusal ötesi analizi yapılan bu yapıda çeşitli durumlar altında hasar gözlenip gözlenmediği araştırılıp, bu hasar durumuna karşı yapının kullanım amacı ve mimari fonksiyonları da göz önüne alınarak çeşitli çözüm önerileri getirmek amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda önerilen çözümlerin yapıda hangi oranda iyileşme sağladığı da bu çalışmada tartışılmıştır. Böylelikle betonarme prefabrike sistemlerin davranışları ve bu davranışlara uygun güçlendirme önerileri ile ilgili bir fikir edinilmesi amaçlanmaktadır.

2. PREFABRİKE YAPILAR

2.1. Prefabriğin Genel Durumu

Prefabrik kelimesi köken itibari ile Fransızca den gelmektedir (Amani, 2018). İngilizce tanımı ile pre (-ön) ve fabricated (-üretilmiş) kelimelerinin birleşimi ile ön üretimli anlamını taşımaktadır. Tanımındaki bu açık ifade aslında prefabrik ürünlerin varoluş ve belki de en önemli tercih sebebi olmuştur. Çünkü prefabrik ürünlerin avantajları bu ürünlerin önceden özel bir ortamda üretilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sayede çeşitli kalite kontrol adımlarından geçen ürünler sahadaki şartlardan çok daha iyi şartlarda üretilmiş olurlar. Üretim ortamı fabrika olduğundan hem su/çimento oranı kontrollü şekilde uygulanmakta hem de etkili vibrasyon ve kür olanakları ile istenen proje dayanımı sağlanabilmektedir (Kayhan, 2008). Bununla beraber üretim süreçleri mevsim şartlarından etkilenmediğinden yıl boyunca çalışmaya imkan tanıyarak ekonomik olarak üstünlük sağlamaktadır (Kalkan, 2013). Her ne kadar bazı açılardan ekonomik üstünlükleri olsa da çelik ve prefabrik betonarme yapı maliyetlerinin tüm zemin sınıfları için yerinde dökme betonarme yapılardan daha maliyetli olduğuna dair çalışmalar da vardır (Dikmen, 2011).

2. Dünya savaşından sonra inşaat sektöründe barınma ve sosyal sebeplerle oluşan talebin karşılanması amacı ile bir çözüm önerisi olarak ortaya çıkan prefabrike yapılar, yalnızca endüstriyel alanlarda değil, konut sektöründe, ticari hizmet binalarında, turizm yapılarında bilhassa ulaşım ve altyapı elemanlarında da kullanılmaktadır (Şenel vd, 2013).

Türkiyede beton prefabrik uygulamaları 1965’li yıllarda tek katlı endüstriyel yapıların imalatında kullanılmış ve yüksek hızda üretime olanak tanıdığı farkedilerek hızlıca yaygınlaşmıştır (Bekiroğlu, 2006). Bununla beraber ulaştırma yapıları için de önemli uygulama imkanları oluşmuştur. Türkiye’de 2006 yılında bir buçuk milyon m³ seviyesine ulaşan prefabrik üretiminin %40’ı üst yapı elemanlarından %30’u alt yapı elemanlarından ve kalan %30 ise çevre düzenleme elemanlarından oluşmaktadır(Amani, 2018).

2.2. Prefabrik Yapı Sistemleri

Hızla gelişen ve birçok avantajları olan prefabrikasyonun dezavantajlı yönleri de mevcuttur. Getirdiği avantajlar sebebiyle mimari bir takım kısıtları olan prefabrik sistemlerin en gözle görülür etkisi deprem performanslarıdır. Prefabrik olarak inşa edilen yapıların 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde ciddi hasar gördüğü tespit edilmiştir (Ataköy,1999; Zorbozan ve diğ. 1998). Özellikle tek katlı, mafsallı bağlantılı prefabrik çerçevelerden oluşan endüstri yapılarının 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde büyük hasar gördüğü, çok sayıda yapının çöktüğü ve kullanılamaz hale geldiği gözlenmiştir (Giydirici, 2001). Bununla beraber son yıllarda yaşanan depremlerdeki can ve mal kayıplarının büyük bir kısmının depremde hasar gören prefabrike yapılardan kaynaklandığı anlaşılmıştır (Yılmaz, 2004). Türkiye’de oluşan son depremlerde mafsallı betonarme prefabrik yapıların zayıf bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. (Yılmaz, 2006). Bu tecrübelerin ardından 1998, 2007 ve nihai olarak 2018 Deprem yönetmeliklerince ciddi değişiklikler yapılarak yapıların deprem güvenliği sağlanmaya çalışılmıştır. Ancak özellikle 1999 yılından sonra çok sayıda büyük deprem yaşanmadığından gerek 2007 gerek çok yeni olan 2018 yönetmelikleri henüz test edilememiştir. Deprem riskinin yüksek olduğu ülkemizde meydana gelebilecek yeni depremlerdeki yapı performansları bu yönetmeliklerin ve dolayısıyla prefabrik yapıların; eğer varsa eksiklerini ortaya koyacaktır. Öte yandan (Ersoy ve diğ., 2000) yaptığı çalışmada TPB üyesi olan kuruluşlara ait yapılarda hasar oranının yalnızca %3 olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma deprem performansındaki zayıflığın prefabriğin kendi kusuru olmadığını, eğer ortada bir kusur varsa bunun yöntemi uygulayanlarla ilgili olduğunu ortaya koymaktadır.

Türkiye’de sanayi yapılarının önemli kısmı prefabrik yapılardan oluşmaktadır (Karaesmen , 2001). Sanayi yapılarının büyük bir çoğunluğu yüksek deprem riskine sahip bölgelerdedir (Dikmen, 2011). Sanayi yapılarının %60’ı Marmara bölgesinde yer almaktadır. Sanayi bölgelerindeki yapıların çoğu prefabrike betonarme, tek katlı, kolon alt uçları ankastre mesnet olan yapılardır. Bu yapıların kolon üst uçları ise üçgen çatı makasları ile mafsallı birleşim yapacak şekilde mesnetlenmektedir. Kısa açıklık yönündeki dere kirişleri de kolonlara mafsallı şekilde bağlanır. Uygulama ve imalat kolaylıkları, büyük açıklık geçebilme kabiliyetleri sebebi ile bu tarz yapılar yoğun olarak

tercih edilmektedir (Ekinci, 2019). Bu yapılar prefabrik düşey taşıyıcıların çelik makaslarla çerçeve teşkil ettiği sistemlerden oluştuğu gibi tamamen betonarme prefabrik yapılarda bulunmaktadır. Bu sistemdeki amaç geniş açıklıkların yatay ötelenmesi sınırlandırılmış moment aktarmayan çerçeveler ile geçilmesini sağlamaktır. Prefabrik teknolojisinin getirdiği bir avantaj olarak üstün kalitede üretilen taşıyıcı elemanların sahadaki mesnetlenmeleri blonlar, ankrajlar ve tijler yardımıyla yapılmaktadır. İşte bu bağlantı elemanlarının, elemanların kendilerinde bir hasar olmasa dahi yapının depremde hasar almasına neden olduğu çeşitli çalışmalarda gözlenmiştir (Ersoy ve diğ. , 2000).

2.2.1. Uygulamada Prefabrik Yapı Sistemleri

Prefabrik yapı elemanları genellikle montaj sahasına yakın olmayan tesislerde üretildiği için beraberinde bir takım ilave hesapları da getirmektedir. Yerinde döküm geleneksel sistemlerde taşıyıcı elemanlar düşey bir kalıbın içerisinde yer çekimi doğrultusunda betonla doldurularak üretilmektedir. Bu durum özellikle yüksekliği fazla olan düşey taşıyıcı elemanlarda donatı arasından seçilen beton agregasının segregasyona uğramasına ve sık donatı işçiliği sebebiyle yetersiz vibrasyona maruz kalmasına sebep olabilmektedir. Öte yandan prefabrik üretim tesislerinde düşey taşıyıcı elemanlar yatay kalıplarda dökülmektedir. Böylece segregasyon riski bertaraf edilmiş vibrasyon için ise sağlıklı koşullar sağlanmış olmaktadır.



Şekil 2.1. Stok sahasında bekleyen betonarme prefabrik kolon

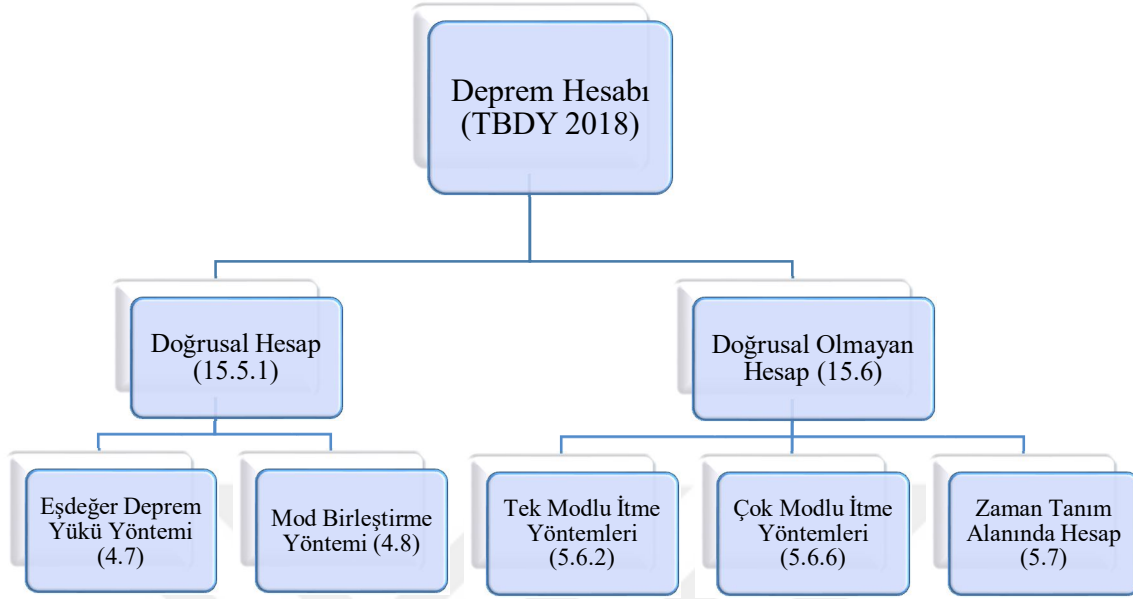
Ancak prefabrik kolonlar bulundukları yapıya ait düşeydeki zati ve hareketli yükleri taşımakla birlikte yataydaki deprem kuvvetlerini de taşımak üzere tasarlanmış birer eksenel basınç elemanlarıdır. Bu elemanlar her ne kadar eğilme elemanı olarak tasarlanmamış olsalar da, yatay düzlemdeki kalıptan vinç yardımı ile kaldırılırken halatlar ile bağlandıkları noktalar sabit mesnet gibi davranacak ve iki mesnet arasındaki kolon parçası eğilmeye çalışacaktır. Bu noktada ilave eğilme hesapları proje aşamasında yapılmalıdır. Bununla beraber yekpare olarak matematiksel modeli oluşturulan prefabrik düşey taşıyıcıların yatay kalıplarda imal edilmesi sırasında taşıyıcı eleman içerisinde bir takım boşluklar bırakılarak Şekil 1’de de görüldüğü gibi basınç kesiti boyunda süreksizliğe sebep olmaktadır. Bırakılan bu boşluklar ilgili elemanın nakliye aracındaki yatay pozisyonundan montaj alanındaki düşey pozisyonuna getirilmesi sırasında vinç askı bölgesi olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla uygulamada bırakılan bu askı boşlukları matematiksel hesaba dahil edilmektedir.

Benzer bir durum da montaj sahasına nakli tamamlanmış kolonların ilgili soketlere montajı sırasında yaşanmaktadır. Yatay olarak nakliye aracında montaj sahasına gelen kolonlar yine yatay olarak sahaya indirilmektedir. Ancak kolonlar düşeyde çalışacağından bir şekilde düşey konuma getirilmelidir (TPB, 2017). Kolonun dikleştirilip yerine yerleştirilmesi sırasında ise yine eksenel basınç elemanı olarak tasarlanan elemanlar konsol eğilme davranışına zorlanacaktır. Bu tip uygulama yüklemelerinden dolayı özellikle zayıf kesitlere sahip olan rüzgar kolonları gibi düşey taşıyıcılarda kaldırma hesapları uygun şekilde yapılmalıdır.

3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayına deprem denir (Koeri, 2021). Topraklarının %92'si deprem bölgesinde bulunan ülkemizde, 90'lı yıllarda meydana gelen depremler sonucu, yapılarda oluşan hasarlara ve göçmelere; hatalı yer seçiminin, mimarlık-mühendislik hizmetlerinden yararlanmamış olmanın, kullanım hatasının, tasarım ve uygulama hatalarının neden olduğu gözlemlenmiştir (Ayyıldız, 2005). Bu noktada depreme dayanıklı yapı tasarımının önemi gün yüzüne çıkmaktadır. Çift yarık deneyinin bir sonucu olarak evrendeki diğer herşey gibi depremde bir dalga fonksiyonudur. Yada daha basit bir anlatımla titreşimdir. Mühendisler bu titreşimin etkisini hesaplanabilir kılmak için depremi bir kuvvete indirgemektedirler. Kuvvet ise Newton'ın tanımıyla ivme ile ivmenin etki ettiği kütlelerinin çarpımı olarak ifade edilmektedir. O halde deprem kuvvetini hesaplayabilmek için kütle ve ivme değerlerini bilmemiz gerekmektedir. Kütle yapıda kullandığımız malzemelerin özelliklerine bağlı olarak kolayca hesaplanabilmektedir. Yönetmeliklerin ışığında yaptığımız mühendislik hesaplamalarındaki esas gaye ivme değerine ulaşabilmektedir. Zemin, yapı, yapı fonksiyonu, yükleme koşulları ve topoğrafik özelliklere bağlı olarak ivme değerine ulaşılabilir. İvme değerine ulaşıldığında deprem kuvveti hesaplanabilecektir. Deprem kuvvetleri doğru şekilde hesaplandığında sonraki adım bu kuvvetlere uygun tasarım yapmaktır. Depreme dayanıklı yapı, bu kuvvetlere uygun tasarım yapılan yapılardır. Bunun dışında bir yapının depreme dayanıklı olması yapının asla hasar almaması demek değildir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında hedeflenen şey, yapının sık tekrarlanan ve düşük şiddette olan depremlerde hasar almaması, orta şiddetteki depremlerde ise yapısal olmayan hasarlar almasına müsaade edilmesi, meydana gelme sıklığı nadir olan şiddetli depremlerde de yapısal olarak hasar görmesine izin verilmesi fakat kesinlikle can kaybına müsaade edilmemesidir (Kaplan vd, 1995).

4. DEPREM HESABI



Şekil 4.1. TBKY 2018'e göre deprem hesabı yöntemleri

TBKY 2018 'de deprem hesabında kullanılacak yöntemler Şekil 4.1'de görüldüğü gibi iki ana başlık altında incelenmiştir (TBKY, 2018). Bunlardan birincisi Doğrusal Hesap Yöntemleri diğeri Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri'dir. Bir önceki deprem yönetmeliğı olan DBYBHY 2007 'de de hesap yöntemleri benzer şekilde ayrılmıştı (DBYBHY, 2007). Ancak kullanımları ile ilgili kısıtlamalar getirilmemiş kullanım tercihi tasarımcılara bırakılmıştı. Aynı dönemde Amerika'da uygulanan ASCE/SEI 41-06 ve avrupa ülkelerinde kullanılan Eurocode 8 standartlarında çeşitli parametrelere göre kısıtlamalar bulunmaktadır. Daha sonra yayınlanan TBKY 2018 Bölüm 15.5.3 ile birlikte bu hesap yöntemlerinin kullanımı Türkiye için de sınırlandırılmıştır (ASCE, 2007 ; Eurocode 8, 2005).

4.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri İle Deprem Hesabı

Doğrusal hesap modeli adından da anlaşılacağı üzere yapı elemanın deprem talebi karşısında lineer bir davranış göstereceğini varsayan hesap modelidir. Bu hesap modelin yapı tıpkı yapı elemanı gibi yapı malzemeside üzerine uygulanan kuvvetler karşısında lineer bir şekil değiştirme yanıtı vererek Hook Kanuna uygun hareket etmektedir. Bu hesap yöntemleriyle kompleks ve kaotik olmayan birçok yapı çözümü hızlıca yapıldığından çok tercih edilmektedirler.

Doğrusal elastik teoriye dayanan bu yöntemlerde yapıya etkiyen deprem yüklerinin kritik kesitlerde oluşturacağı kesit tesirleri ve kesitlerin etkin kapasitelerinden yararlanılarak kesitteki süneklik taleplerinin yaklaşık olarak elde edilmesi ve bunların kesitin şekil değiştirme kapasiteleriyle kıyaslanarak hasar durumlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Aslında yapı kapasitesine bağlı olan deprem kuvvetleri yerine elastik deprem kuvvetlerinin kullanılması bu kuvvetlerin zamandan bağımsız olarak tek bir an için yapıya etkilmesi sonucu elemanlar arasındaki yeniden dağılım ilkesinin ihmal edilmesi ve kesitlerin süneklik taleplerinin kuvvet temelli bir yaklaşımla temsil ediliyor olması bu yöntemlerin en temel eksiklikleri arasında bulunmaktadır. Bu eksiklikleri sebebiyle doğrusal deprem hesabı yöntemlerinde gerçek davranıştan belli seviyede uzaklaşıldığı bilinmektedir (Türker, 2011). Ancak Celep'in 2007 tarihli çalışmasında "Doğrusal hesap yönteminde taşıyıcı sistem davranışının doğrusal olduğunu kabul etmek doğru değildir. Yeni yapılar doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artırımını tüm yapı için öngörülen Taşıyıcı Sistem Katsayısı R ve ona bağlı kullanılan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı R_a ile göz önüne alınmaktadır. Mevcut yapılarda ise değerlendirme sırasında göz önüne alınan Etki/Kapasite Oranı r katsayısı ile doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artırımını göz önüne alınmaktadır." (Celep, 2007) denmektedir.

4.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bu yöntemde yapının serbestlik derecesine ve kütesine bağlı olarak hesaplanan yapı hakim modu olan birinci titreşim modu esas alınarak toplam taban kesme deprem kuvveti hesaplanır. Bu deprem kuvveti hesabında yapının düşeyde konsol şekilde çalıştığı varsayımıyla genliklerin zeminden yukarıya çıktıkça arttığı dolayısıyla deprem kuvvetinde benzer şekilde artacağı kabulü yapılır (Celep, 2004). Her bir kata etkiyen kuvvet kat rijit diyaframları seviyesinde etkiltilerek hesap yapılır. Kata etkiyen toplam kuvvet üzerinden kattaki zorlanan kesitlerin gelen kuvvetleri karşılayıp karşılamadığı üzerinden tasarım yapılarak binanın sismik performansı belirlenir.

4.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntem temel eşdeğer deprem yüğü yönteminin çok modlu versiyonudur. Eş değer deprem yüğü yönteminde yapının tek bir hakim modu baz alınarak hesap yapılmıyordu. Bu

yöntem de ise taban kesme kuvveti hesabında yeterli sayıdaki titreşim moduna ait mod şekilleri dikkate alınır (Uçar, 2012). Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan ancak eş zamanlı olmayan en büyük modal davranış büyüklükleri istatistiksel olarak süperpoze edilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değeri elde edilmiş olur (TBDY 4.8.2.1, 2018). Hesapda kullanılacak yeterli sayıdaki titreşim modu, her iki deprem doğrultusundaki her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95 'inden daha az olmaması kuralına göre belirlenir. Ancak katkısı %3'den büyük olan bütün modlar gözönüne alınmalıdır(TBDY 4.8.1.2, 2018).

Mod birleştirme yönteminde yapıdaki katların titreşim modlarına karşılık gelen birim modal davranış büyüklükleri hesap yapılan doğrultuda yük olarak etki ettirildiği bir statik hesap yapılır. Yatayda her iki deprem doğrultusu için ayrı ayrı elde edilen en büyük davranış büyüklükleri TBDY 2018 bölüm 4.4.2 'de tanımlanan doğrultu birleştirmesi ile süperpoze edilir. Bu şekilde belirlenen modlar aracılığı ile en büyük modal tepkiye TBDY 2018 EK4B 'de belirlenen istatistiksel yöntem ile ulaşılır. Mod birleştirme yöntemi ile elde edilen deprem kuvveti değerleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen kuvvet değerlerinden %20 oranında az çıkmaktadır. Buna bakılarak eş değer deprem yükü yönteminin daha güvenli tarafta kalacak şekilde sonuçlar verdiği söylenebilir. Bu durumda daha ekonomik sonuçlar için mod birleştirme yönteminin seçilmesi daha doğru olacaktır (Aksoylu, 2021).

TBDY 2018 ' de modal hesap yöntemlerinin alt başlığında Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi'nden bahsedilmektedir. Mod birleştirme yöntemi ile aynı tanımdan hareket edilen bu yöntemde ise deprem hesabı eş zamanlı olarak birbirine dik iki doğrultuda yapıldığından Mod Birleştirme Yöntemi'nden farklı olarak zaman kavramı hesaba katılmaktadır. Böylece birbirine dik yatay yer hareketi bileşenleri dikkate alındığından Mod Birleştirme Yöntemi'ndeki gibi doğrultu birleştirmesi yapılmasına gerek kalmamaktadır. Ayrıca mod katkıları doğrudan zaman tanım alanında toplandığından istatistiksel olarak mod birleştirme kuralının uygulanmasına da gerek kalmamaktadır.

4.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri İle Deprem Hesabı

Doğrusal deprem hesabında yapısal malzemelerin davranış diyagramlarının lineer olduğu kabulü ile hesap yapılmaktadır. Yani doğrusal hesap yöntemlerinde elemana uygulanan kuvvet ne kadar artarsa oluşan deformasyonda o ölçüde artacaktır. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde ise yapı elemanlarının doğrusal ötesi davranışları dikkate alınmaktadır. Yapının doğrusal ötesi davranışı kendisini oluşturan elemanların doğrusal ötesi davranışına bağlı olarak ifade edilir (Kayhan, 2008). Yapı elemanlarının doğrusal ötesi davranışı iki sebeple oluşabilir; malzemenin doğrusal ötesi davranışı ve geometrik doğrusal ötesi davranış (Yerlici, 2007). Malzeme nonlineerliği çekme malzemesinin akmya başlaması ve basınç malzemesinin de çatlamaya başlaması ile yük taşıma karakteristiklerinde değişim meydana gelmesiyle oluşur (Özenir, 2014). Ancak bu yaklaşım gerçek hayattaki malzeme davranışını tam şekilde açıklamamaktadır. Doğrusal hesap yaygın kullanılan bir yöntem olduğu için, gerçek malzeme davranışının lineer olduğu, nonlineer davranışın ise istisna durumlarda geçerli olduğu kanısı vardır. Oysa yapıların büyük çoğunluğu servis sürelerince nonlineer davranmaktadırlar, sadece istisna olan belli servis yüklemelerinde lineer davranırlar. Geometrik nonlineerlik ise yapıya etkiyen kuvvetlerin yüksek şekil değiştirmelere sebep olmasıyla ilave iç kuvvet ve deformasyon oluşturması ile meydana gelir.

4.2.1. İtme Yöntemleri

Taşıyıcı sistemin yatay yükler altındaki davranış özelliklerinin ve performans seviyelerinin belirlenmesine yönelik yapılan itme (push over) analizleri, yapıya adım adım yüklenen deprem kuvvetleri etkisinde rijitlik ile dayanım değişiminin yapısal elemanlardaki elastik olmayan davranış niteliklerine bağlı olarak yapı performansının belirlendiği analiz yöntemidir (İnel ve diğ. 2007). Doğrusal olmayan statik itme analizlerinde kullanılan yöntem, taşıyıcı sistemin yatay kapasitesi ile deprem etkisi talebinin karşılaştırılarak, yöntemde yapı elemanları üzerindeki elastik olmayan davranışlar üzerinden depremin olduğu duruma karşı gelen performansın belirlenmesine dayanmaktadır (Celep, 2007). İtme analizinde yapı davranışı, taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesi ilişkisini içeren kapasite eğrisiyle karakterize edilir (İnel ve diğ. 2007). Bu doğrusal olmayan analiz sırasında yüklerin oranları ve doğrultuları analiz boyunca değişmez (Özer ve diğ , 2020).

4.2.2. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Bölüm 2 'de deprem hesabında temel parametrenin kuvvet eşittir kütle çarpı ivme formulünden hareketle, ivmenin bulunması olduğundan bahsedilmişti. Zaman tanım alanında yapılan hesap yönteminde diğer yöntemlerdeki gibi ivme değerine ulaşılmaya çalışılmaz. Bu analizde zaman ekseninde ilerlendikçe yapıda meydana gelen deplasman, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır (Dok, 2011). Analizde kullanılacak ivme kayıtları deprem istasyonlarından kaydedilmiş, yapay olarak üretilmiş veya benzeştirilmiş deprem kayıtları olarak kullanılabilir (Krawinkler, 1998). Bununla beraber kullanılacak ivme kaydının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi zaman tanım alanındaki hesaplamalarda en çok dikkat edilmesi gereken konulardan biridir (Sakin vd., 2021).

Bir yapı sisteminin herhangi bir yer hareketi etkisi altındaki hareket denklemi tıpkı diğer sönümlü zorlanmış titreşim yapan çok serbestlik dereceli sistemler gibi Denklem 4.1 ile ifade edilebilir (Chopra, 1995; Clough, 1993).

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (4.1)$$

Denklemdaki m sistemin toplam kütesini, c sönüm katsayısını, k ise yatay rijitliğini temsil etmektedir. Denklemin sol tarafındaki $u(t)$ ifadesi sistemin yatay deplasmanını ifade ederken, birinci türevi olan $\dot{u}(t)$ ifadesi sistemin hızına, ikinci türevi olan $\ddot{u}(t)$ ifadesi sistemin ivmesine karşılık gelmektedir. Eşitliğin diğer sağ tarafındaki $\ddot{u}_g(t)$ ifadesi ise yer çekimi ivmesidir. Deprem ivmesi zamana bağlı olarak çok düzensiz bir değişim gösterdiği için hareket denkleminin çözümü ancak Newmark metodu gibi iterasyon yöntemleri ile elde edilebilmektedir (Darılmaz, 2019).

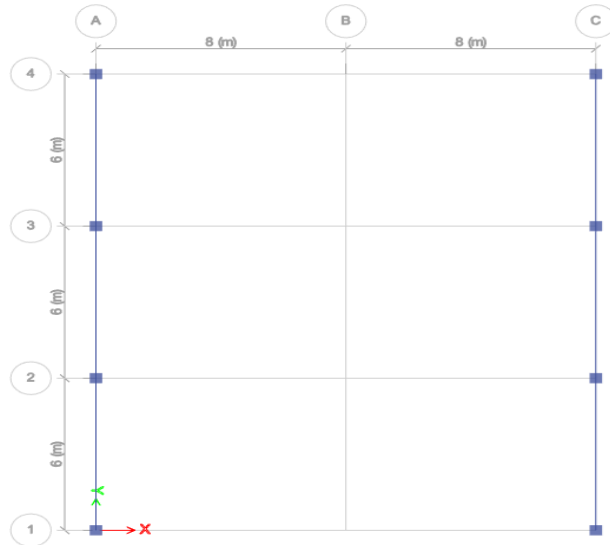
5. ANALİTİK ÇALIŞMA

Tez kapsamında tipik bir sanayi yapısını temsil etmesi açısından 2007 Deprem Yönetmeliği uyarınca tasarlanmış tek açıklıklı betonarme prefabrik bir endüstriyel yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Yapı davranışını daha gerçekçi şekilde ortaya koyabilmek için 11 adet yakın ve uzak alan deprem hareketi altındaki sismik performansları, bu depremlerin spektrumu karşısındaki performansları ve 2018 deprem yönetmeliğinin dizayn koşulları altındaki performansları incelenmiş ve güçlendirme önerisi sunulmuştur.

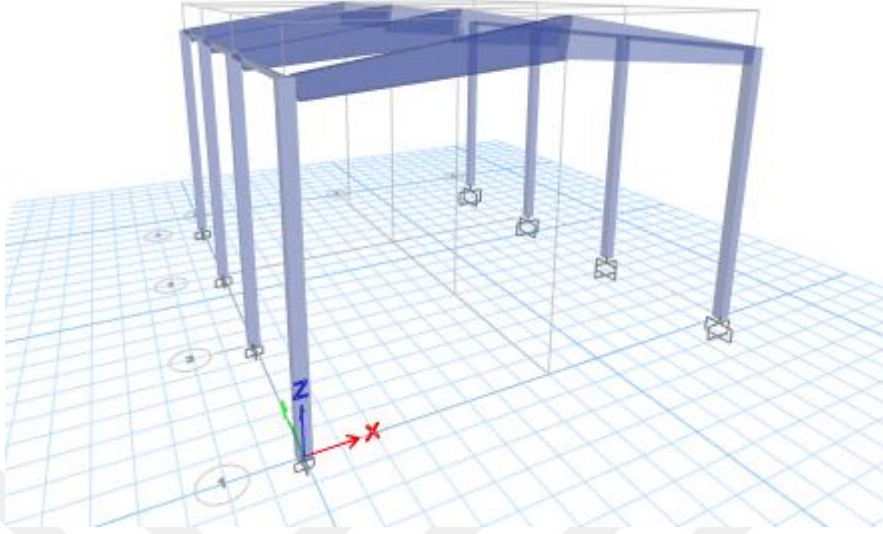
5.1. Yapı Genel Bilgileri

5.1.1. Kesit ve Malzeme Bilgileri

Yapıda düşey taşıyıcı olarak 400mm*400mm ebatlarında kolonlar kullanılmıştır. Kolonlarda pas payı 40mm olarak bırakılmıştır. Kolon kesiti 14mm çapında 8 adet donatı ile donatılmıştır. Kolonlarda 150 mm ara ile 8mm çapındaki donatılar ile etriye sağlanmıştır. Makas kirişleri mesnetlerde 400mm genişlik 600mm derinlik, mahyada ise 400mm genişlik 1200mm derinlik olacak şekilde teşkil edilmiştir. U kesitli dere elemanları 150mm genişliğinde ve 150mm yüksekliğinde kiriş eleman olarak modellenmiştir. Makas düzleminde çatı kaplamasını taşıyacak olan aşıklar, makas düzleminde rijit diyafram teşkil edecek şekilde modele dahil edilmiş, ağırlıkları zati yük olarak etkilmiştir. Yapıda kullanılan beton sınıfı C20, donatı sınıfı ise B420C'dir.



Şekil 5.1 Kat planı



Şekil 5.2 Üç boyutlu model

Şekil 5.1 ‘ de kat planı ve 5.2 ‘de üç boyutlu modeli görünen yapıya ilişkin sonlu elemanlar modeli ETABS Ultimate 18.0.2 programında oluşturulmuştur.

5.1.2. Yapı Karakteristiği

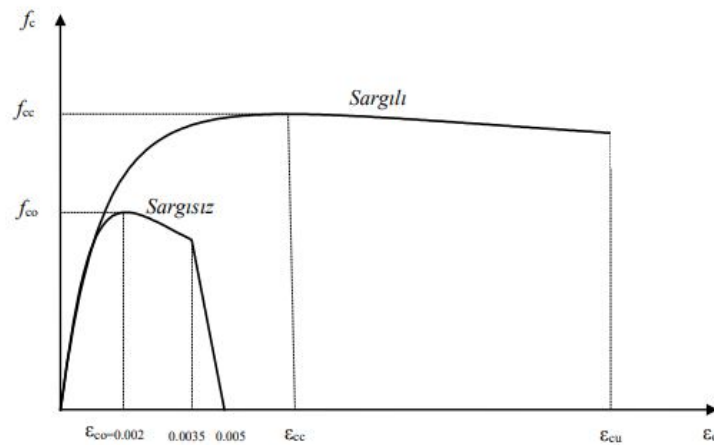
Yapı kavramı esasen birden çok elemanın bir ritim içerisinde birlikte bulunduğu durumu temsil etmektedir. Matematik modellerde yapıyı oluşturan bu elemanların sayıları her ne kadar mühendislerce sınırları çizilen kolon, kiriş, perde, plak gibi elemanlardan ileri gelmiş olsa da, gerçek yapılar bu elemanlardan daha fazlasını daha kompleks bir şekilde muhteviyatında bulundurmaktadır. Bahsi geçen her bir eleman kendi içerisinde kompleks kaotik bir davranış ve öz nitelik bulundurmasının yanı sıra, bu elemanların eş zamanlı davranışlarının da nasıl bir model ile ortaya konacağı oldukça bilinmezlik içermektedir.

Tüm bunlar göz önüne alındığında yapı kavramının doğası gereği davranışının ön görülebilitesi oldukça düşük olacağı ortaya konabilir. Betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışlarında tasarım parametreleriyle birlikte malzeme modeli de etkilidir (Foroughi vd. , 2020). O halde ön görülebilirliğin artırılması amacıyla ilk olarak yapısal elemanı oluşturan malzemenin ön görülebilir olması gerektiği aşikardır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarla Mander Modeli (Mander vd. , 1988), Kent-Park Modeli (Park vd., 1972) , S&R Modeli (Saatçioğlu vd., 1992) gibi çeşitli malzeme modelleri ortaya

konmuştur. Bu modellerin her biri kendi içerisinde farklı malzeme yaklaşımını deneysel ve nümerik olarak ortaya koymuş olmasıyla beraber Özmen ve diğerleri 2007 tarihinde yaptıkları çalışmada (Özmen vd., 2007) Mander Beton Modelinin özellikle etriye aralığının 10 cm olduğu yüksek sargılamalı durumlarda kesitin moment kapasitesini Kent – Park Modeli’ne göre daha yüksek gösterdiğini fakat bununla beraber Kent – Park tarafından geliştirilen kuşatılmış beton modelinde yüksek eğrilik değerlerinde daha düşük moment kapasitesi elde edildiği ortaya konmuştur. Yine aynı çalışmada matematiksel olarak güçlü bir alt yapısı olduğu ifade edilen S&P Modeli’nde ise malzeme davranışı yüksek kaliteli betonlarda Mander’e yakınsarken, düşük kalitedeki betonlarda Kent – Park modeline yakınsadığından bahsedilmiştir.

Yönetmelikte yapısal elamanların doğrusal olmayan davranışların modellenebilmesi için önerilen denklemler Mander Modeli’ne dayanmaktadır. Mander modelinde sargılı ve sargısız beton davranışı etriyeler çap adet ve kancalama açısıyla ile ilişkiyi olarak ortaya konmuştur.

Sayısal analizde kullandığımız yapının tasarımı 2007 yönetmeliğine göre yapıldığı için yapıda kullanılan betonarme kolonlarda özel deprem etriyesi kullanılmıştır. Etriyenin etkisi 2018 yönetmeliğinde sargı etkisi ile yapı karakteristiğine katılmaktadır. Sargı etkisinin malzeme dayanımına etkisi şekil 4.1.2. ‘de verilen grafikteki gibidir.



Şekil 5.3 Sargı etkisi (TBDY2018)

Sargılı betonda beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekil değişimi ϵ_c ‘nin bir fonksiyonu olarak denklem 5.1. ‘de verildiği gibidir.

$$f_c = \frac{f_{cc} r x}{r-1+xr} \quad (5.1)$$

Sargılı beton dayanımı ile sargısız beton dayanımı arasındaki bağıntı ise denklem 5.2 ‘ de verildiği gibidir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (5.2)$$

Denklemdaki lambda kat sayısı ise Denklem 5.3 ‘deki yöntem ile bulunmaktadır.

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (5.3)$$

Denklem 4.3 ‘de verilen f_e etkili sarma basıncını temsil etmektedir. Dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için Denklem 5.4 ve 5.5‘de verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad (5.4)$$

$$f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (5.5)$$

Bu bağıntılarda ifade edilen f_{yw} değeri enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını, k_e ise Denklem 5.6 ‘ da tanımlanan sargılama etkinlik kat sayısı oranı’nı göstermektedir.

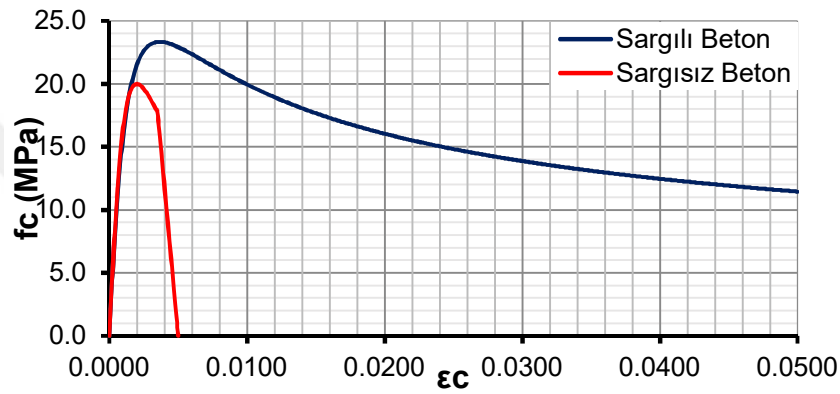
$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0 h_0}\right)^{-1} \quad (5.6)$$

Denklem 4.6 da verilen bağıntıda kullanılan a_i kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Bu denklemler vasıtası ile yapıda kullanılan beton malzemenin gerilme şekil değiştirme bağıntıları sargılı ve sargısız beton davranışı bazında elde edilmektedir.

Bağıntılar kullanılarak çeşitli tiplerdeki betonarme elemanlar için gerilme şekil değiştirme bağıntıları elde edilip malzeme davranışı incelendiğinde betonarme en kesit ve etriye aralığının malzeme davranışını ciddi oranda değiştirdiği gözlenebilmektedir.

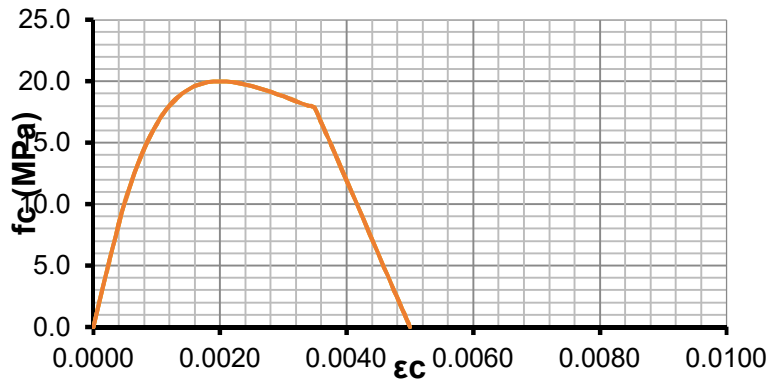
Benzer şekilde Kayhan ve diğerlerinin 2010 tarihinde yaptıkları çalışmada da kolon enkesit boyutunun ve etriye aralığının hasar görebilirlik üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu ortaya konmuştur(Kayhan vd, 2010). Etriye aralığının değişmesi maksimum deplasman talebinden ziyade kapasite eğrisi üzerinde hasar seviyelerine ait değerlerin değişmesine yol açtığı için, özellikle etriye aralığının azalmasının performans seviyesini önemli ölçüde düşürdüğü gözlenmiştir(Kayhan,2008).

Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak elde edilen sargılı ve sargısız malzeme modeli analizde kullanılacak yapı için şekil 5.4 ‘de görünen grafikteki gibidir.



Şekil 5.4 Beton gerilme – şekil değiştirme grafiği

Grafik incelendiğinde C20 sınıfı beton malzemenin sargı etkisiyle 23,3 MPa gerilme değerine ulaştığı buna karşılık sargısız betonun karakteristik beton dayanımı olan 20 MPa ‘ da kaldığı gözlenmektedir. Sargılı betonun karakteristik davranışı Mander Modeli vasıtasıyla ortaya konulmuştur. Ancak sargısız beton malzemenin limit değerleri yönetmelik bölüm 5 de tanımlandığı şekliyle Şekil 5.5 ‘de görüldüğü gibidir. Buna göre sargısız betonun akma birim şekil değiştirmesi 0.002 çekme birim şekil değiştirmesi 0.0035 ve kopma birim şekil değiştirmesi 0.005 olarak verilmiştir.



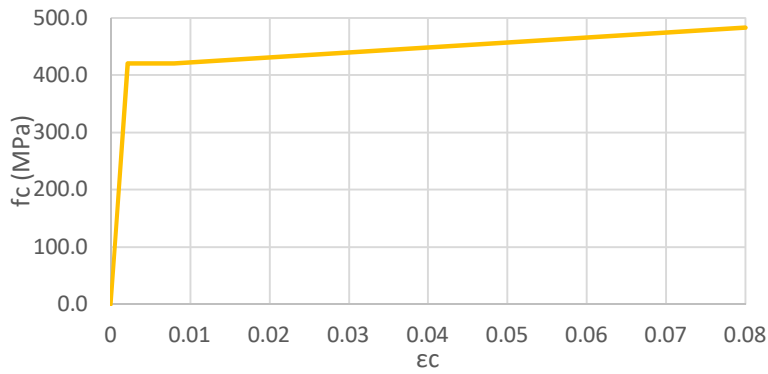
Şekil 5.5. Sargısız beton gerilme – şekil değiştirme grafiği

Betonarme elemanlarda kullanılacak olan donatının karakteristik özellikleri ise denlem 5.7 , 5.7 ve 5.9’ da verilen bağıntılar ile elde edilebilir.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (5.7)$$

$$f_s = f_{sy} \quad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (5.8)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (5.9)$$



Şekil 5.6 Donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme grafiği

Donatı çeliğinin elastik modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa olarak alınıp donatı çeliğine ait özellikler deprem yönetmeliği bölüm 5’ de Tablo 5A.1 ‘den alındığında yapıda kullanılan B420C donatı çeliği için gerilme şekil değiştirme grafiği Şekil 4.1.5. ‘ de görüldüğü gibi olmaktadır.

Yapının karakteristik davranışı, yapıyı oluşturan elemanların davranışlarının süperpoze edilmiş hali olacağından malzeme karakteristikleri net olarak ortaya konmuştur. Bu doğrultuda yapıda kullanılacak olan betonarme donatısına ait gerilme şekil değiştirme değerleri yönetmelik bölüm 5’de verilen tablo 5.1’deki değerler yardımı ile elde edilmiştir.

Tablo 5.1 Donatı çeliklerine ait bilgiler(TBDY2018,2018)

Kalite	f_{sy}	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{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 - 1.36
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 - 1.37

5.2. Plastik Mafsal Tanımı

Yapısal elemanlar çeşitli yüklemeler altında malzeme özelliklerine bağlı olarak doğrusal veya doğrusal olmayan davranışlarına göre çeşitli deformasyonlar sergileyebilirler. Ancak yapı maruz kaldığı yüklemelere her zaman doğrusal tepki vermeyebilir. Bu durumda yapının doğrusal ötesi davranış sergilemesi beklenir. Doğrusal ötesi davranışta kesitin belli bir moment değeri altında sergileği eğriliğin yoğunlaştığı bölgenin tanımı plastik mafsal ile yapılmaktadır (Kayhan, 2004).

Kesitin yüksek eğrilik gösterdiği bu plastik mafsal bölgesinin boyu ise kesit özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte kesitin eğilmeye çalışan boyutunun yaklaşık yarısı olarak değerlendirilmektedir (Moehle, 1992).

Eğilme elemanlarında moment diyagramının keskin olmayan değişimler göstermesi plastik mafsal boyunun büyümesine sebep olurken, kesitte normal kuvvet gibi kesme kuvvetlerinin bulunması dönme kapasitesini azaltmaktadır. Benzer şekilde basınç elemanlarında normal kuvvet etkisi daha yüksek olmaktadır. Normal kuvvetin varlığı plastikleşme bölgesinin ve dolayısıyla plastik mafsal boyunun artmasına sebep olacağı gibi, aşırı yükleme durumunda kesit tamamen plastikleşeceği için plastikleşme bölgesi çok genişleyecek ve plastik mafsal kabulü geçerliliğini yitirecektir (Celep, 2007).

5.2.1. Yığılı Plastik Davranış

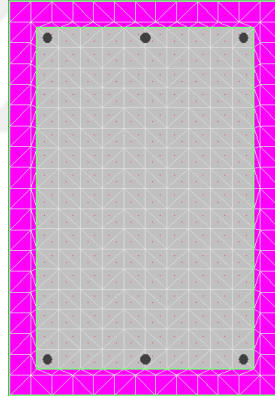
Yığılı plastik davranış modeli yapısal elemanların davranışı iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine ulaştığı kabulünün yapıldığı ve kalıcı deformasyonların meydana geleceği öngörülen sonlu uzunluktaki bölgelerde (plastik mafsal) plastik şekildeğiştirmelerin yığılı biçimde oluştuğu varsayımı üzerine kuruludur (Değer ve diğ. , 2021). Elemanların doğrusal olmayan davranışı moment-plastik dönme bağıntıları yardımı ile idealize edilerek yığılı plastik davranışı gösteren plastik kesit, yapı elemanı kesitinin tam ortasına yerleştirilmektedir.

Eleman boyunda ise, elemanın her iki ucunda plastik mafsal oluşumu olduğu kabulü yapılır. Kısaca bu yöntemde plastikleşmenin elemanın her iki ucunda kesit ortasına denk gelen yerlerde olduğu, elemanın diğer bölgelerinde lineer davranış gösterdiği varsayılır (Özenir, 2014).

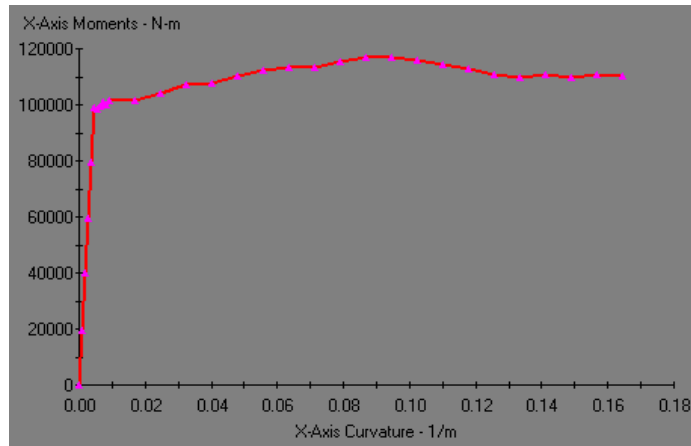
Elastik ötesi davranışın sonlu bir noktada toplanmış olduğu bu ilk jenerasyon yaklaşımında moment - normal kuvvet etkileşimi ihmal edilmekte ve dahası mafsallardaki histerik davranış parametrelerinin hassas şekilde ifade edilmeside zor bir işlemdir (Sevinç ve diğ., 2018).

Eksenel basınç elemanları, eğilme ve eksenel basınç etkisinde olduğundan bu tarz elemanların kritik kesitlerinde akma yüzeyi tanımlanır. Akma yüzeyi tanımlanırken beton ve çelik elemanların maksimum birim şekil değiştirmeleri kullanılır. Kirişler gibi yalnızca eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda ise brüt kesit ile değil çatlamış kesit ile etkin eğilme rijitliği bulunur.

Analiz modelindeki kiriş elemanların yığılı plastik davranış altında modellenmesi için XTRACT programında ilgili kesitin Şekil 5.7 deki gibi modellenmesi yapılmıştır. Modelde dış çerçeveyi oluşturan pembe renkli alan çekirdek betonun dışında bulunan kuşatılmamış sargısız betonu ifade ederken, merkezde bulunan gri taralı alan kuşatılmış sargılı betonu ifade etmektedir.



Şekil 5.7. Betonarme kiriş kesiti



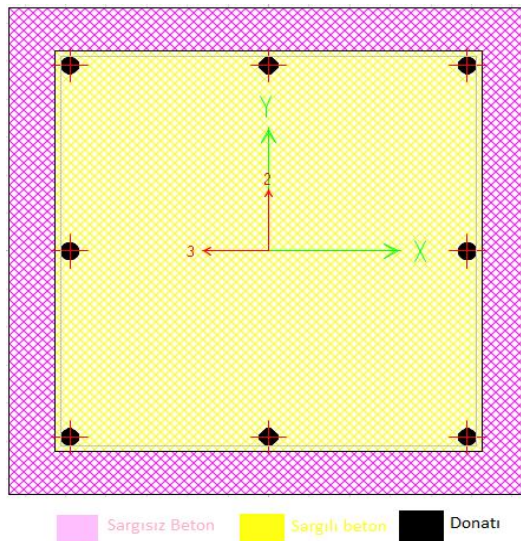
Şekil 5.8 Betonarme kirişe ait moment dönme grafiği

5.2.2. Yayılı Plastik Davranış

Yayılı plastik davranış varsayımı, sonlu eleman kesitlerinin her biri nümerik olarak modellenen küçük hücrelere ayrılarak tüm bu küçük parçaların analizinin süperpoze edilerek kesitin genel davranışına ulaşılması esasına dayanır. Kesiti tanımlamak için kullanılan bu küçük parçalar lif (fiber) olarak adlandırılır. Her bir fiber elemana ait gerilme şekil değiştirme bağıntısı tanımlanarak kesitin bölgeler olarak nasıl davrandığı sonucuna ulaşılabilir.

Yayılı plastik davranış modelinde, elastik ötesi davranışın sonlu bir bölgede toplandığı varsayımı üzerine kurulu modellerin aksine mafsallaşmanın eleman uç bölgelerinde değil, gerçek eleman davranışına uygun şekilde eleman uzunluğunca farklı seviyelerde plastik davranış gözleneceği varsayımı kullanılmaktadır (Sevinç ve diğ., 2018).

Bu haliyle fiber model ile oluşturulan tasarımlar yığılı plastik mafsal modellerinden daha gelişmiş bir teknik ile elde edilmiş olur. Bu modelleme tekniği kullanılırken kesitin davranışını etkin şekilde ifade edebilecek sayıda fiber eleman kullanılmalıdır. Her ne kadar yığılı plastik modele göre daha detaylı analiz adımları gerektirse de son yıllarda gelişen yazılım ve işlemci teknolojileri sayesinde eskisinden çok daha hızlı ve çok daha detaylı analizler yapma ortamı bulunduğundan yayılı plastik davranış modelinin kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Bu kapsamda çalışma konusu yapıyı oluşturan yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışlarını incelemek için yayılı plastik davranış modelinden yararlanılmıştır.



Şekil 5.9 Betonarme kolon kesiti

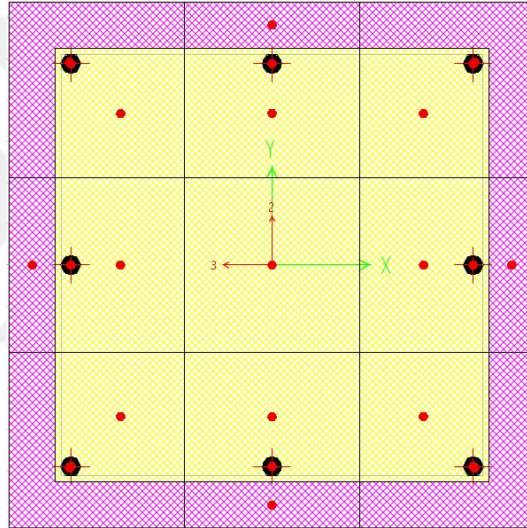
Kolon elemana fiber tanımı yapılmadan önce, fiber elemanlara ait malzeme modelinin oluşturulması gerekmektedir. Şekil 5.9’da görüldüğü üzere ilgili kolonun çekirdek betonunda kalan kısım sargılı beton davranışı göstereceğinden Şekil 5.4’deki sargılı beton davranışı gösterecek fakat çekirdek betonun dışında kalan kısım ise Şekil 5.4’deki sargısız beton davranışı gösterecektir. Şekil 5.9’da siyah renk ile temsil edilen B420C donatı çelikleri ise Şekil 5.5’deki çelik malzeme modeli ile temsil edilecektir. Şekil 5.9’da verilen kolon kesitinde teşkil edilen fiber elemanların malzeme, konum ve alan özellikleri tablo 5.9’da gösterildiği gibidir. Kesitin orjini aynı zamanda fiber elemanların da orjini olacak şekilde fiber elemanlar modele yerleştirilmiştir.

Tablo 5.2 Fiber model özellikleri

	Lif	Alan(mm2)	Koordinat - y(mm)	Koordinat - x(mm)	Malzeme
Donatı	1	154	153	153	B420C
Donatı	2	154	153	-153	B420C
Donatı	3	154	-153	-153	B420C
Donatı	4	154	-153	153	B420C
Donatı	5	154	153	0	B420C
Donatı	6	154	0	-153	B420C
Donatı	7	154	-153	0	B420C
Donatı	8	154	0	153	B420C
Sargılı Beton	9	9500	115,1	-115,1	C20
Sargısız Beton	10	8200	154,1	-154,1	C20
Sargılı Beton	11	12900	115,3	0	C20
Sargısız Beton	12	4700	182,4	0	C20
Sargılı Beton	13	9500	115,1	115,1	C20
Sargısız Beton	14	8200	154,1	154,1	C20
Sargılı Beton	15	12900	0	-115,3	C20
Sargısız Beton	16	4700	0	-182,4	C20
Sargılı Beton	17	18800	0	0	C20
Sargılı Beton	18	12900	0	115,3	C20
Sargısız Beton	19	4700	0	182,4	C20
Sargılı Beton	20	9500	-115,1	-115,1	C20
Sargısız Beton	21	8200	-154,1	-154,1	C20
Sargılı Beton	22	12900	-115,3	0	C20
Sargısız Beton	23	4700	-182,4	0	C20
Sargılı Beton	24	9500	-115,1	115,1	C20
Sargısız Beton	25	8200	-154,1	154,1	C20

Tablo 5.2’de özellikleri verilen fiber elemanlar kolon kesitine yerleştirildiğinde şekil 5.10’da görüldüğü gibi modellenmektedir. Her bir fiber elemanın rijitlik merkezi kırmızı nokta ile şekilde işlenmiştir.

Pembe renk taralı alanlar sargısız betonu ifade ederken sarı renk taralı alanlar çekirdek betonda bulunan sargılı betonu ifade etmektedir. Bu haliyle kolon kesitinin çekirdek betonu 9 adet, sargısız betonu 8 adet olmak üzere 17 adet fibere bölünmüştür. Kesitte bulunan 8 adet donatı da fiber eleman olarak modellendiğinde toplam fiber eleman sayısı tablo 5.9’da verildiği gibi 25 ‘e ulaşmaktadır. Böylece analizde kullanılacak olan betonarme kolon elemanın kesit özellikleri şekil 5.11 ‘de verildiği gibi olmaktadır.



Şekil 5.10 Betonarme kolon kesitindeki fiber elemanlar

Fiber Section Properties for SDSection KOLON		
Properties		
Item	Fiber Section	Solid Section
Area	0.16	0.16
Centroid3	0	0
Centroid2	0	0
I33	2.000E-03	2.100E-03
I22	2.000E-03	2.100E-03

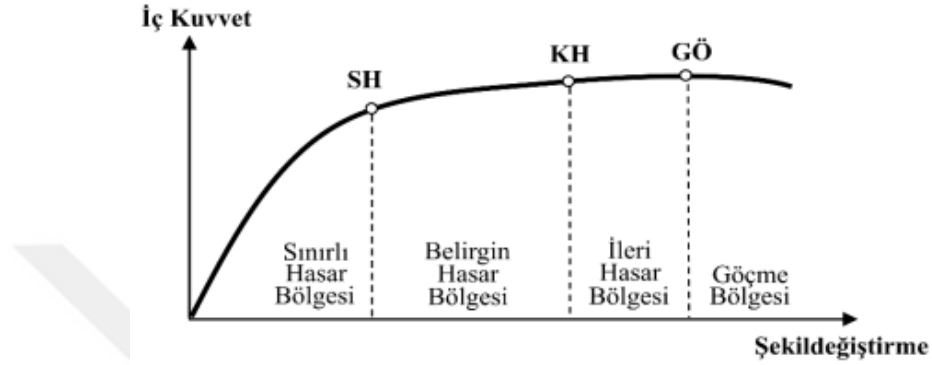
Note: Properties are not transformed; no modular ratio is considered.

Done

Şekil 5.11. Kolon kesit özelliklerine ait Sap2000 ekran görüntüsü(Sap200,2001)

5.3. Hasar Düzeylerinin Tanımlanması

2018 Deprem Yönetmeliği şekildeğiştirme sınırlarını bölüm 5.8' de ayrıntılı şekilde tanımlamıştır. Bu sınırlar elverişsizlik sırasına göre; Göçme Öncesi Hasar (GÖ), Kontrollü Hasar (KH) ve Sınırlı Hasar (SH) olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımda yapının hasar düzeyleri yapıdaki yerdeğiştirmeler üzerinden hesaplanmaktadır.



Şekil 5.12 Kesit hasar bölgeleri (TBDY,2018)

Kritik kesitlerinin hasarı sınırlı hasar bölgesine ulaşmayan elemanlar Şekil 5.12'deki gibi Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, sınırlı hasar ile kontrollü hasar bölgeleri arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, kontrollü hasar ile göçme öncesi hasar bölgesinde kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, göçme öncesi hasar bölgesini aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar.

Yönetmelikte verilen hasar bölgeleri üzerine yapılan çalışmalarda sabit beton basınç dayanımı ve sabit çekme donatısı altında betonarme elemanlardaki basınç donatısının artmasının mafsallın dönmesini azalttığı ve böylece sünekliği arttırdığı, benzer şekilde betonun kontrollü hasar limitini ve göçme öncesi hasar limitini arttırdığı, bununla beraber bu limitlere ait dönme sınırlarında arttığı gözlenmektedir. Kesitteki donatı oranları sabit tutulduğunda ise beton dayanımının artması akma ve kırılma momentini artırırken betonun kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar limitlerini azaltmaktadır (Jamal ve diğ., 2021).

Betonarme kolonlarda mevcut eksenel yükün eksenel yük kapasitesine oranının ve sargı donatısının aralığının azalması göçme öncesi ve kontrollü hasar bölgesine ait şekil değiştirme limitlerini arttırmaktadır. Sabit eksenel yük altında sargı donatısı çapının artması göçme öncesi ve kontrollü hasar bölgesine ait limitleri arttırmaktadır (Foroughi ve diğ., 2019).

5.3.1. Şekil Değiştirme Sınırları

Yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi bazı şekil değiştirme kriterlerine bağlanmıştır. Bu bölümde deprem yönetmeliğinde izin verilen beton ve demir malzemeye ait şekil değiştirme sınırları açıklanmıştır. Denklem 5.10’da betonun göçme öncesi bölge için izin verilen birim şekil değiştirmesi dikdörtgen kesitler için $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ ile ifade edilmiştir. Dairesel kesitler de ise beton malzemenin göçme öncesi bölge için izin verilen birim şekil değiştirmesi denklem 5.11 ‘deki gibidir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (5.10)$$

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (5.11)$$

Denklem 5.12 ‘de verilen ω_{we} ifadesi etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı’nı gösterir. Denklemin birinci terimindeki ifade ise sargısız kabuk betonunun birim kısalmasına karşılık gelir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (5.12)$$

Denklem 5.12 ‘de verilen α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısı’nı, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitteki iki yatay doğrultudaki hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} ise enine donatının akma dayanımını göstermektedir. Sargı donatısı etkinlik katsayısının bulunuşu denklem 5.13’ de gösterildiği gibidir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad (5.13)$$

Denklem 5.14’ de verilen A_{sh} ve ρ_{sh} , hesap yapılan doğrultudaki enine donatı alanını ve hacimsel olarak oranını, b_k ise dik doğrultudaki çekirdek boyutunu yani en dıştaki enine donatının eksenleri arasındaki uzaklığı temsil etmektedir.

s enine donatının (etriye) aralığını , b_o ve h_o sargı donatısı ekseninden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriyenin kolu veya çiroz ile mesnetlenmiş boyuna donatıların eksenleri arasındaki mesafeyi göstermektedir.

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (5.14)$$

Çelik donatısı için ise göçme öncesi bölge için izin verilen sınır $\varepsilon_s^{(GÖ)}$ denklem 5.15’de verilen eşitlik ile bulunmaktadır.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4 \varepsilon_{su} \quad (5.15)$$

Denklem 5.15’de verilen ε_{su} değeri kesitteki donatının çekme dayanımına karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi ifade etmektedir.

Kontrollü hasar performans seviyesi için kullanılacak birim şekil değiştirmeler beton elmanlar için $\varepsilon_c^{(KH)}$ olarak denklem 5.16 ‘daki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır. Çelik donatılar için ise $\varepsilon_s^{(KH)}$ olarak denklem 5.17 ‘deki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (5.16)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (5.17)$$

Sınırlı hasar performans seviyesi için kullanılacak birim birim şekil değiştirmeler beton elemanlar için $\varepsilon_c^{(SH)}$ olarak denklem 5.18’deki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır. Çelik donatılar için ise $\varepsilon_s^{(SH)}$ olarak denklem 5.19 ‘daki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad (5.18)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (5.19)$$

Sınırlı hasar performans seviyesi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmeyeceği için, sistemdeki dönme sınırı $\theta_p^{(SH)} = 0$ olarak değerlendirilecektir. Bu doğrultuda analizi yapılacak yapı sistemi için beton elemanlarda kullanılmak üzere elde edilen şekil değiştirme sınırları tablo 5.3 ‘deki gibidir.

Tablo 5.3 Beton şekil değiştirme limitleri

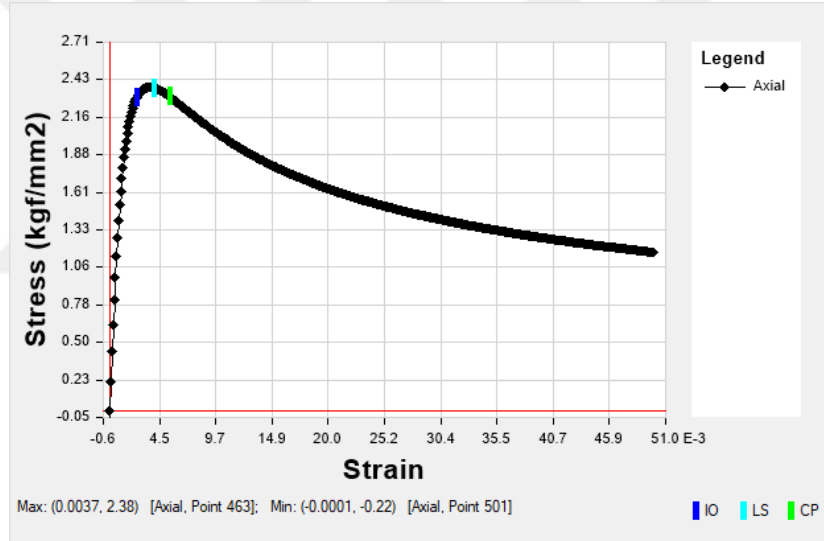
Malzeme	$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_c^{(KH)}$	$\varepsilon_c^{(SH)}$
Sargılı Beton	0,00551	0,004	0,003
Sargısız Beton	0,0035	0,003	0,003

Betonarme donatısı olarak kullanılacak elik malzeme için izin verilen ekil değiştirme sınırları ise tablo 5.4 ‘deki gibidir.

Tablo 5.4 Beton ekil değiştirme limitleri

Malzeme	$\epsilon_s^{(GÖ)}$	$\epsilon_s^{(KH)}$	$\epsilon_s^{(SH)}$
B420C	0,032	0,024	0,0075

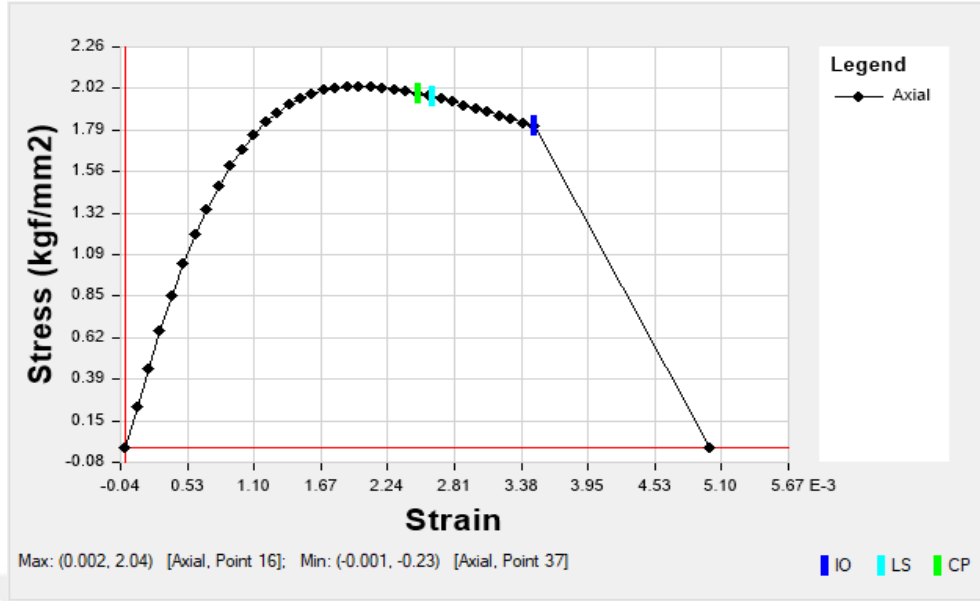
Bu veriler ışığında matematiksel modeli oluşturulan sargılı beton malzemenin gerilme ekil değiştirme grafiği ekil 5.13’deki gibi olmaktadır. Grafikteki -y eksenine en yakın nokta olarak lekelenen lacivert nokta sınırlı hasar bölgesine ait sınırı, daha sonra gelen turkuaz lekeli nokta kontrollü hasar bölgesine ait sınırı, son olarak açık yeşil olarak lekelenen nokta ise göçme öncesi bölgeye ait sınırı gösterecek şekilde ETABS 18.0.2 programına girilmiştir.



Şekil 5.13 Sargılı beton davranış grafiği

Sargılı beton davranışına benzer olarak matematiksel modeli oluşturulan sargısız beton malzemenin gerilme ekil değiştirme grafiği ise ekil 5.14’deki gibi olmaktadır. Grafikteki -y eksenine en yakın nokta olarak lekelenen lacivert nokta sınırlı hasar bölgesine ait sınırı, daha sonra gelen turkuaz lekeli nokta kontrollü hasar bölgesine ait sınırı, son olarak açık yeşil olarak lekelenen nokta ise göçme öncesi bölgeye ait sınırı gösterecek şekilde ETABS 18.0.2 yapısal analiz programına girilmiştir.

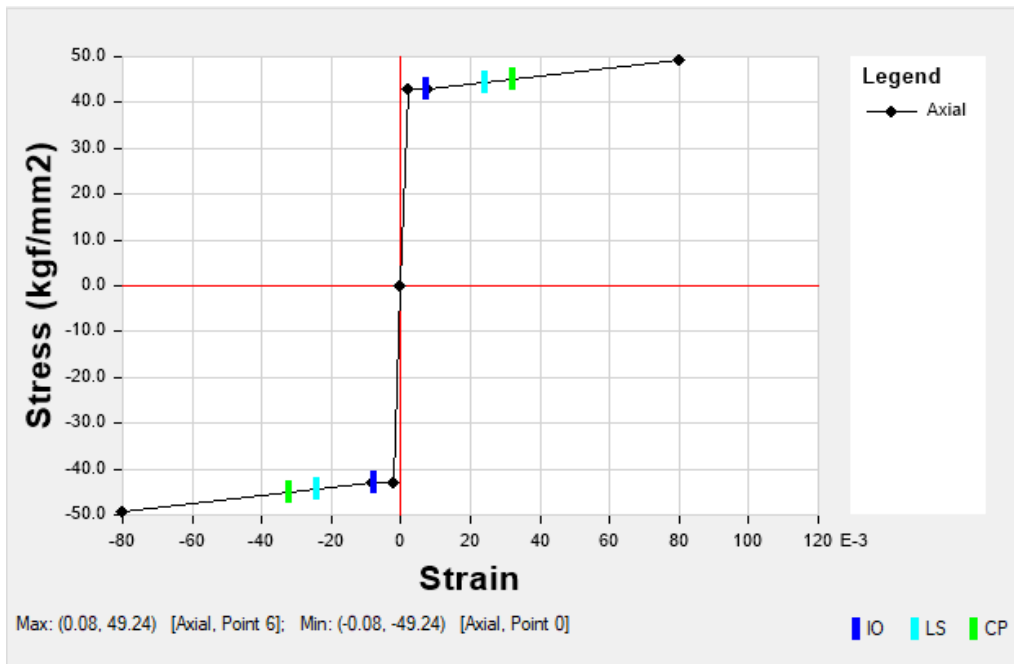
Grafiklerde her ne kadar göçme bölgesinden sonrada da malzemenin dayanım göstermiş olduğunu gözleyebilir olsak da, yapısal çözümlleme için göçme sınırını aşan elemanlar için taşıma gücünü kaybettiği yorumu yapılacaktır.



Şekil 5.14 Sargısız beton davranış grafiği

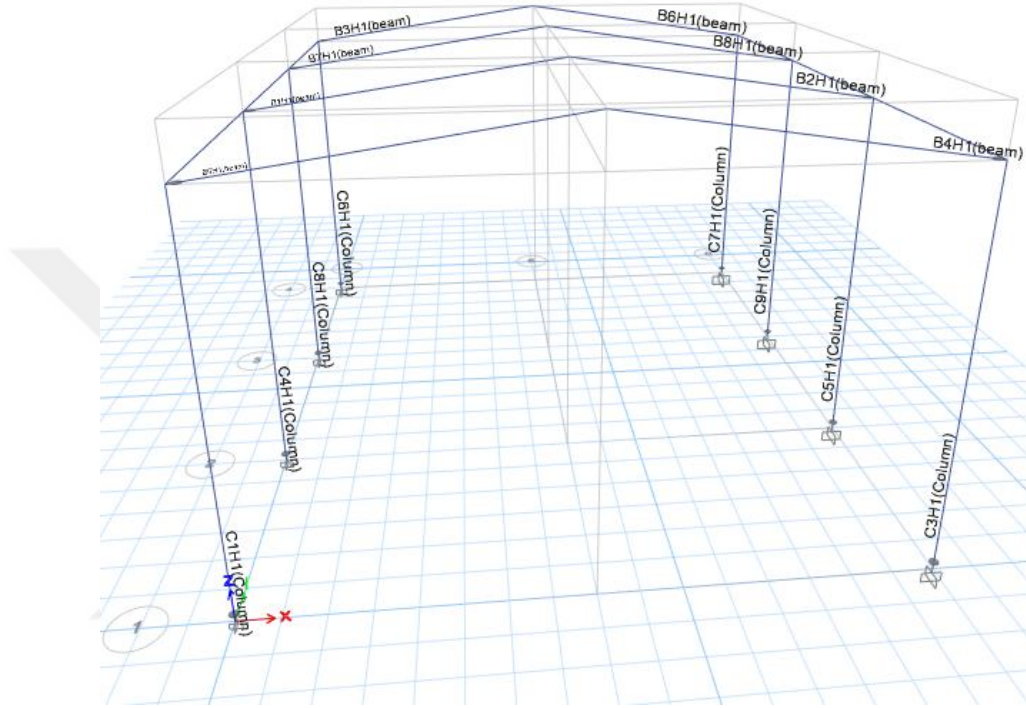
Sargısız betonun davranış grafiği incelendiğinde göçme bölgesi sınırından sonra ani şekilde düşüşün gözleniyor olması, yapısal elemanların bu limitten sonra taşıma gücünü kaybedeceği ön görüşüyle sıfır noktasına götürülecek şekilde paket programa tanımlanmasından dolayıdır.

Tablo 5.4 deki veriler ışığında betonarme donatısı olarak kullanılacak çelik malzemeye ait gerilme şekil değiştirme grafiği ise şekil 5.15'deki gibidir.



Şekil 5.15 Betonarme çeliği davranış grafiği

Şekil 5.15'deki çelik malzeme davranış grafiğinde -y eksenine en yakın nokta olarak lekelenen lacivert nokta sınırlı hasar bölgesine ait sınırı, daha sonra gelen turkuaz lekeli nokta kontrollü hasar bölgesine ait sınırı, son olarak açık yeşil olarak lekelenen nokta ise göçme öncesi bölgeye ait sınırı gösterecek şekilde ETABS 18.0.2 programına girilmiştir.



Şekil 5.16 Doğrusal ötesi mafsallar

Yapıda malzeme modeli üzerinden üretilen sınır şekil değiştirme limitlerinin aşılp aşılmadığı kontrolünün yapılabilmesi için yapısal elemanlara Şekil 5.16'da görüldüğü gibi doğrusal ötesi mafsallar tanımlanmıştır. Plastik mafsalların tanımında da mander modelinden elde edilen şekil değiştirme limitleri, Şekil 5.17 'de görüldüğü gibi hasar bölgesine göre tanımlanarak modele aktarılmıştır.

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)		
	Positive	Negative
■ Immediate Occupancy	0.001	
■ Life Safety	0.028455	
■ Collapse Prevention	0.03794	
☒ Show Acceptance Criteria on Plot		

Şekil 5.17 Mafsallimitlerinin program bilgi girişi ekran görüntüsü (Sap2000,2001)

5.4. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Deprem yönetmeliğimiz kapsamında zaman tanım alanında analiz yapılabilmesi için elastik tasarım ivme spektrumları kullanılabileceği gibi mevcut deprem kayıtları da kullanılabilmektedir (Sakin ve diğ., 2021). Ancak deprem kayıtlarının kullanılabilmesi yönetmelikçe bir takım şartlarla kısıtlanmıştır. Deprem kaydının kaynağı olarak ise çeşitli deprem kayıt veri tabanları kullanılabilmektedir. Tez çalışmasında kullanılacak deprem kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi güçlü yer hareketi veritabanından alınmıştır.

Bölüm 6.1. ‘ de bilgileri verilen yapının zaman tanım alanında doğrusal ötesi analizlerinde kullanılmak üzere yapının konumuna en yakın noktada bulunan fay özelliklerini en iyi temsil edebilecek depremler tablo 5.5’ de görüldüğü şekliyle seçilmiştir.

Tablo 5.5 Seçilen deprem kayıtları

RSN	Deprem	Tarih	Kayıt İstasyonu	Magnitüd	R_{jb} (km)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/sec)
821	Erzincan	1992	Erzincan	6,69	0	4,38	352
1136	Dinar	1995	Balıkesir	6,4	255,44	255,44	468
1137	Dinar	1995	Burdur	6,4	35,59	36,82	468
1141	Dinar	1995	Dinar	6,4	0	3,36	219
1151	Gölcük	1999	Balıkesir	7,51	180,24	180,24	468
1158	Gölcük	1999	Düzce	7,51	13,6	15,37	281
1161	Gölcük	1999	Gebze	7,51	7,57	10,92	792
1165	Gölcük	1999	İzmit	7,51	3,62	7,21	811
1167	Gölcük	1999	Kütahya	7,51	145,06	145,06	399
1176	Gölcük	1999	Yarımca	7,51	1,38	4,83	297
1177	Gölcük	1999	Zeytinburnu	7,51	51,98	53,88	341

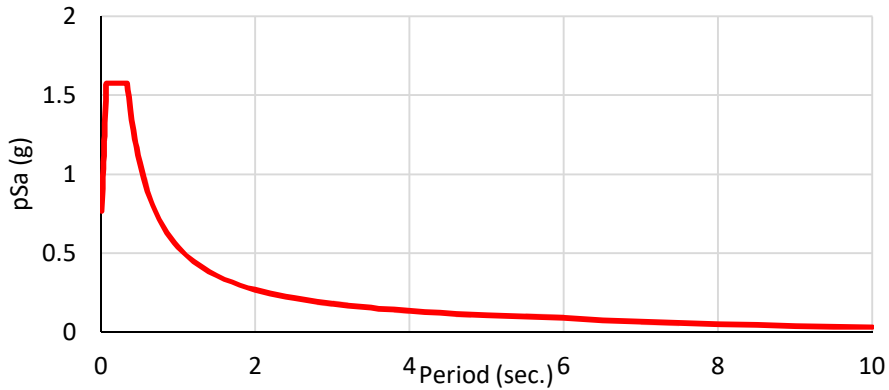
Tablo 5.5 ‘de RSN (Record Sequence Number) olarak kısaltılan ibare ilgili deprem kaydının Berkeley Üniversitesi NGA-West2 deprem veri tabanındaki kayıt sıra numarasını göstermektedir. R_{jb} değeri ise Joyner-Boore metoduna göre kayıt sahası ile fayın ilk yırtılma noktasının yüzey istasyonu arasındaki mesafeyi göstermektedir. Joyner-Boore mesafesi kayıt sahası ile kopma düzleminin yüzey iş düşümüne olan en kısa mesafeyi göstermektedir (Cruz-Jiménez ve diğ., 2018). R_{rup} olarak ifade edilen değer kayıt sahası ile fayın enerjik yırtılma noktası arasındaki en kısa mesafedir (Kaklamanos ve diğ., 2011). V_{s30} ifadesi zemin ve saha özelliklerini karakterize etmek için kullanılan

bir hız bileşeni olup, zemin kesitinin ilk 30 metresine ait ortam kayma dalgası hızlarının harmonik ortalamasını göstermektedir (Eker ve diğ., 2013). Tabloda aynı depreme ait uzak ve yakın alan kayıtları, uzak ve yakın alan depremleri altında yapı davranışını ve yapıdaki performans seviyelerini tespit edebilmek için seçilmiştir.

5.5. Elastik Tasarım Spektrumunun Belirlenmesi

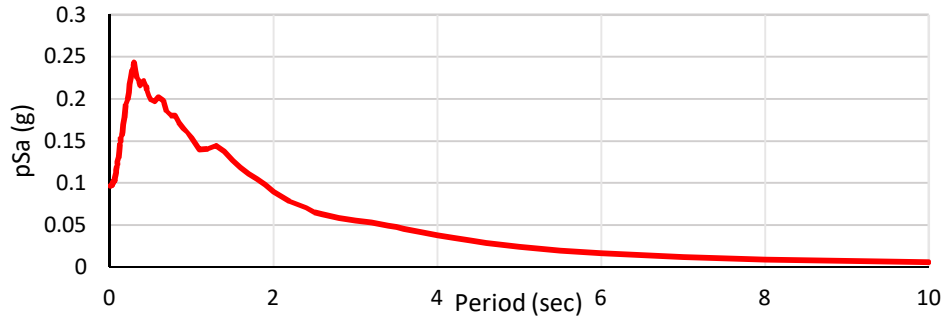
TBDY 2018 deprem yönetmeliğinde elastik tasarım spektrumları yatay ve düşey olarak belirlenebilmektedir (Sakin ve diğ., 2021). Tez çalışmasında kullanılan yatay elastik tasarım ivme spektrumu AFAD veritabanından Z_c zemin sınıfı için; Enlem:40.8202 , Boylam: 29.5644 ve DD2 deprem yer hareketi düzeyine karşılık gelen değerler ile oluşturulmuştur.

Buna göre analizde kullanılacak elastik tasarım ivme spektrumu şekil 5.18’de görüldüğü gibi olmaktadır. Grafikteki yatay eksen periyot değerini birimi saniye olacak şekilde ifade ederken, düşey eksen spektral ivme değerini birimi boyutsuz olacak şekilde ifade etmektedir.



Şekil 5.18 Yatay elastik tasarım ivme spektrumu

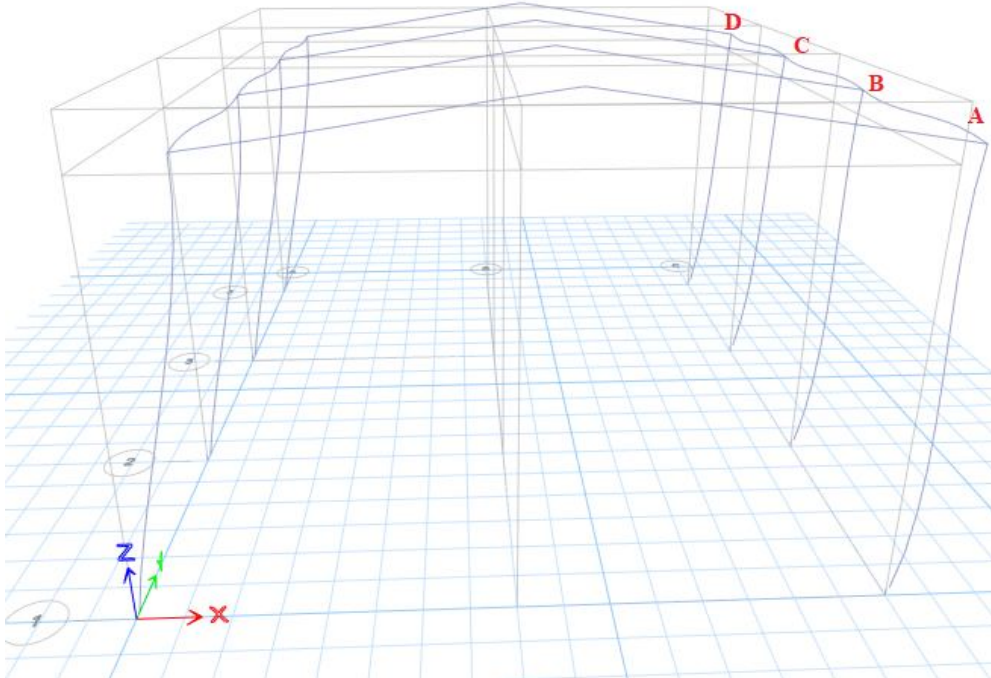
Analizde kullanmak üzere bölüm 5.4 ‘ de seçilen on bir adet deprem kaydının da deprem spektrumu şekil 5.19’daki grafikte görüldüğü gibi çıkarılmıştır. Deprem kayıtlarından elde edilen deprem spektrumu incelendiğinde spektral ivme katsayısı tepe değerinin tasarım spektrumuna göre düştüğü gözlenmektedir. Bunun sebebi uzak alan depremlerinin düşük genliklerinin etkisidir.



Şekil 5.19 On bir adet deprem kaydına ait deprem spektrumu

5.6. Yapının Analizi

Bölüm 5.1’de tanımlanan endüstriyel yapıya kendi ağırlığının yanı sıra aşık kaplama gibi ilave zati yükler, hareketli yükler, kar yükleri ve deprem yükleri etkilmiştir. Bu yüklemeler altında yapıda oluşan yer değiştirmeler Şekil 5.20’de gösterilen; A, B, C ve D olarak isimlendirilen düğüm noktalarından kaydedilerek sonuçlar yorumlanacaktır. Bu yüklemeler altında yapıda meydana gelecek şekil değiştirmeler ise daha önce malzeme modeline uygun şekilde yapıya tanımlanan plastik mafsallar vasıtasıyla değerlendirilecek sonra sonuçları tartışılacaktır.



Şekil 5.20 Yerdeğiştirmeler için belirlenen çıktı noktaları

Verilen yüklemeler doğrultusunda yapıda meydana gelen yer değiştirmeler tablo 5.6 ve 5.7 ‘ de görüldüğü gibi olmaktadır.

Tablo 5.6 Yapıda meydana gelen yerdeşiftirmeler

En Büyük Yer Değiştirmeler (mm)						
Düğüm Noktası	Depremler					
	<u>821</u>	<u>1136</u>	<u>1137</u>	<u>1141</u>	<u>1151</u>	<u>1158</u>
A	219,54	32,83	210,38	951,88	85,21	1063,62
B	219,41	32,83	210,32	951,82	85,21	1024,59
C	219,41	32,96	210,31	951,82	85,21	1024,59
D	219,52	32,97	210,37	951,88	85,21	1024,68

Tablo 5.7 Yapıda meydana gelen yerdeşiftirmeler

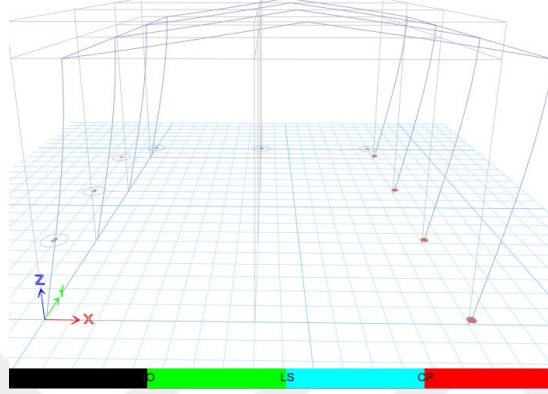
En Büyük Yer Değiştirmeler (mm)							
Düğüm Noktası	Depremler					Spektrumlar	
	<u>1161</u>	<u>1165</u>	<u>1167</u>	<u>1176</u>	<u>1177</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	677,11	630,18	631,85	1011,15	277,28	497	1055,65
B	677,07	630,14	631,87	1011	277,27	497	1055,56
C	679,58	630,14	631,81	1011	277,27	497	1055,56
D	677,11	630,17	631,85	1011,15	277,28	497	1055,65

Tablolarda A,B,C ve D olarak verilen noktalar Şekil 5.20’de gösterilen çıktı noktalarını, düşey eksenindeki numaralar Tablo 5.5 ‘de verilen depremlerin Berkeley Üniversitesi NGA-West2 deprem veri tabanındaki kayıt sıra numarasını göstermektedir. 11EQ sütunu 11 adet deprem kaydından oluşan deprem spektrumunu, DD2 ise TBDY2018 ‘ e göre AFAD veritabanından alınan tasarım deprem spektrumunu ifade etmektedir.

Buna göre yer değiştirmeler incelendiğinde deprem kayıtlarının ortalama deprem spektrumlarının tasarım depreminden daha düşük bir yer değiştirme talebinde olduğu gözlenmektedir.

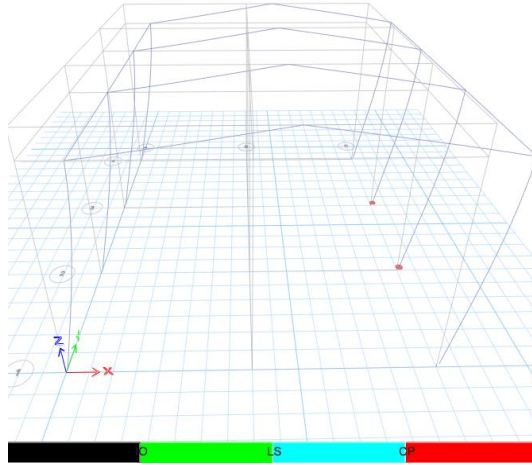
En önemlisi ise depremin merkez üssünden hemen hemen aynı uzaklıkta bulunan iki farklı kayıt istasyonu verilerinin deplasman talepleri arasında herhangi bir lineer korelasyon olmadığı göze çarpmaktadır. Bunun sebebi depremin odak üssünden iki farklı eksen üzerinde aynı uzaklıkta bulunan zemin koşullarının lineer şekilde değişmesinin olasılık dahilinde olmamasıdır. Tablo 5.6 ve Tablo 5.7 ‘deki veriler de bu yaklaşımı doğrular niteliktedir.

Zaman tanım alanında lineer ötesi analizlerde ise; yapıdan 1158 sıra numaralı deprem kaydı için 27.20 sn toplam maruziyet süreci boyunca 5440 adımda veriler toplanmış olup kaydın 8.93. saniyesinde yani 1786. adımda yapıda bulunan düşey taşıyıcıların C aksı boyunca Şekil 5.21 'de görüldüğü gibi göçme bölgesine geldikleri gözlenmiştir.



Şekil 5.21 RSN-1158 depremine ait mafsallaşma durumu

Zaman tanım alanında lineer ötesi yapılan bir diğer analiz olan 1176 sıra numaralı depremde ise toplam 30.10sn süren ve 6020 adımdan oluşan zaman tanım alanında hesap yapılmıştır. Yapıda 1064.adıma denk gelen 5.32. saniyede C aksı üzerinde bulunan orta iki kolonda Şekil 5.22 'de görüldüğü şekliyle göçme bölgesine ulaşan mafsallaşma gözlenmiş olup analiz yalnızca 2 adım daha devam ettirilip 5.33. saniyeye ulaşıldığında C aksı üzerindeki tüm kolonlar göçme bölgesine ulaşmıştır.

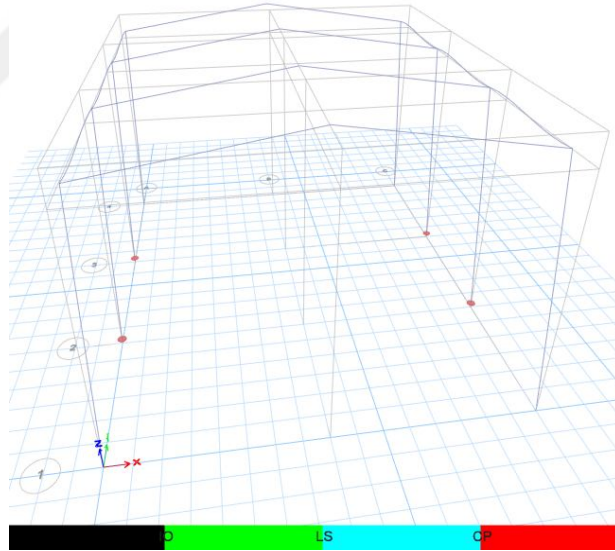


Şekil 5.22 RSN-1176 depremine ait mafsallaşma durumu

Yine zaman tanım alanında 821 sıra numaralı deprem kaydı etkisinde toplam maruziyet süresi 20.80 saniye olan ve 4160 adımda gerçekleştirilen analizde her bir 0.005 saniyede bir yapının tepkileri toplanmıştır.

Buna göre yapıdaki ilk hasar şekil 5.23’de görüldüğü gibi başlangıçtan 2.50 saniye sonra A-2 , A-3 ve C-2 , C-3 akslarındaki kolon diblerinde plastik mafsallaşma ile kendini göstermiştir. 2.50 saniye geçmesinin ardından öncelikle diğer kolonlarda da göçme bölgesine hızlıca ulaşıldığı gözlenmiş olup, tüm kolonlar kapasitesini tamamladığında dahi makas elemanlarda hasar gözlenmemektedir. Ancak analiz her ne kadar teknik olarak devam ettirilmiş olsa da orta akslarda bulunan kolonların hasar almasının ardından yapıdaki düşey taşıyıcıların %50’ si göçme durumuna ulaşmış olacağından yapının toptan göçmeyle karşı karşıya kalacağı açıktır. Dolayısıyla bu adımdan sonra analizin devam ettirilmesine gerek yoktur.

Yapıda gözlenen ilk hasarın kolon mesnet bölgelerinde olması, depreme dayanıklı yapı tasarımında benimsenen davranış felsefesine ters düşmektedir. İlk hasarın eğilme elemanlarında meydana gelmesi beklenirken analizlerdeki tüm örneklerde ilk hasarlar düşey taşıyıcılarda meydana gelmiştir. Prefabrik betonarme yapıların deprem performansını değerlendirirken bu örnekler göz önünde bulundurulmalıdır.

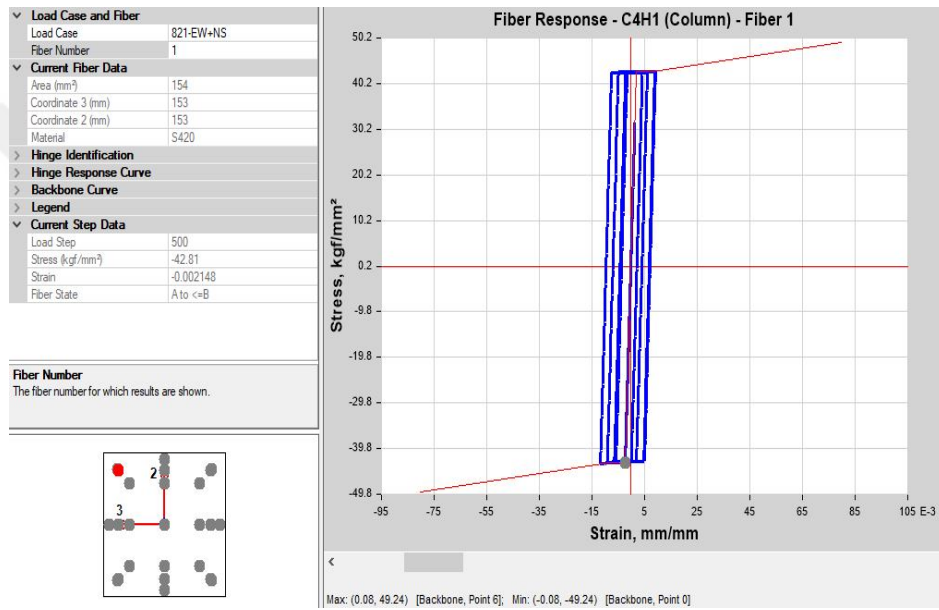


Şekil 5.23 RSN-821 depremine ait mafsallaşma durumu

821 sıra numaralı deprem analizinde ortaya çıkan sonuçların tartışılması adına hasar meydana gelen kolonların fiber davranışları incelenmiştir. Öncelikle Tablo 5.2’de verildiği haliyle her bir düşey taşıyıcı elemanın alt ucunda 25 adet fiber eleman tanımlanmıştır. Bunların dokuz tanesi deprem etriyeleri ile çevrelenmiş çekirdek betonunu temsil eden fiberler, sekiz tanesi etriye dışarısında kalan sargısız betonu temsil eden fiberler ve sekiz tanesi de taşıyıcı eleman içerisindeki donatıyı temsil eden fiberlerdir.

Kesitin fiber davranışları ilk hasar görülen an olan 2.50.saniyede incelendiğinde köşe noktalarında bulunan donatıların zaman tanım alanındaki yüklemeye verdiği tepki birbirleriyle büyük oranda aynı olup Şekil 5.24 de görüldüğü gibidir.

Şekil 5.24’de sol altta kesitin bir temsili yapılmış olup seçili donatı elemanı kırmızı ile lekelenmiştir. Şekil 5.24 ‘deki grafik incelendiğinde ise kesitte dört köşeye yerleştirilen donatının doğrusal sınırlar içerisinde çevrim hareketlerini yaptığı söylenebilir. Bu anlamda kesit kapasitesini doldurmuş olsa dahi bu donatı elemanları kapasilerini aşmamışlardır.

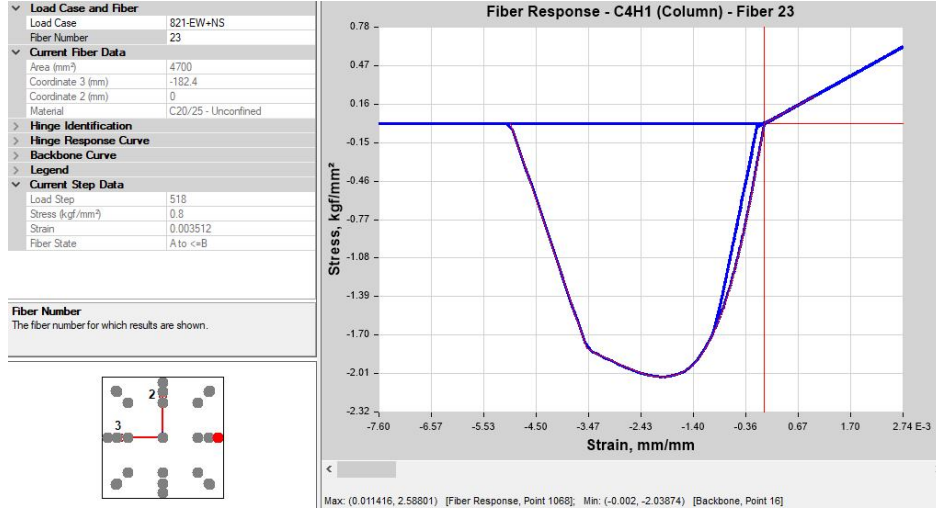


Şekil 5.24 RSN-821 depremine ait donatı fiber davranışı

Kesitte köşelere yerleştirilmiş donatıların davranışa benzer şekilde, kesit kenarı boyunca yerleştirilen donatılarda çevrim hareketlerini doğrusal sınırlar içerisinde gerçekleştirmiş olup kapasitelerini aşmamışlardır. Ancak analiz ilk hasar görülen andan sonrasına taşındığında donatıların büyük çoğunluğunda kapasite aşımı gözlenmiştir.

Şekil 5.25’de sol altta bulunan kesitin temsili şemasında sargısız betonu temsil eden fiberin kesitteki yeri kırmızı renk ile lekenmiştir. Kesitteki beton fiberlerinin davranışı ilk hasar gözlenen adım olan 2.50.saniye içerisinde incelendiğinde ise Şekil 5.25 de görüldüğü gibi ilk kapasite aşımının çekirdek betonun dışında bulunan sargısız betonlarda gerçekleştiği göze çarpmaktadır.

Kesitte bulunan sekiz adet sargısız beton fiber modelinden altı tanesinin kapasitesini doldurduğu gözlenirken kalan iki adet sargısız beton fiber kapasitelerini aşmamışlardır.



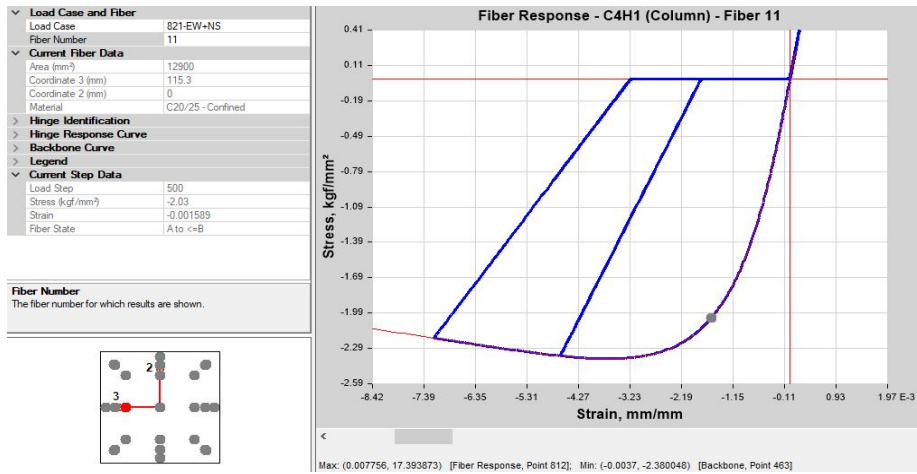
Şekil 5.25 RSN-821 depremine ait sargısız beton fiber davranışı

Kesitteki sargılı beton davranışı incelendiğinde ise ilk hasar gözlenen anda doğrusal limitlerde bulunan sargılı betonların yükleme devam ettikçe doğrusal sınırlarını aştıkları şekil 5.26’ daki grafikte gözlenmektedir.

O halde bu yapı için hasar alma mekanizmasını şöyle açıklayabiliriz;

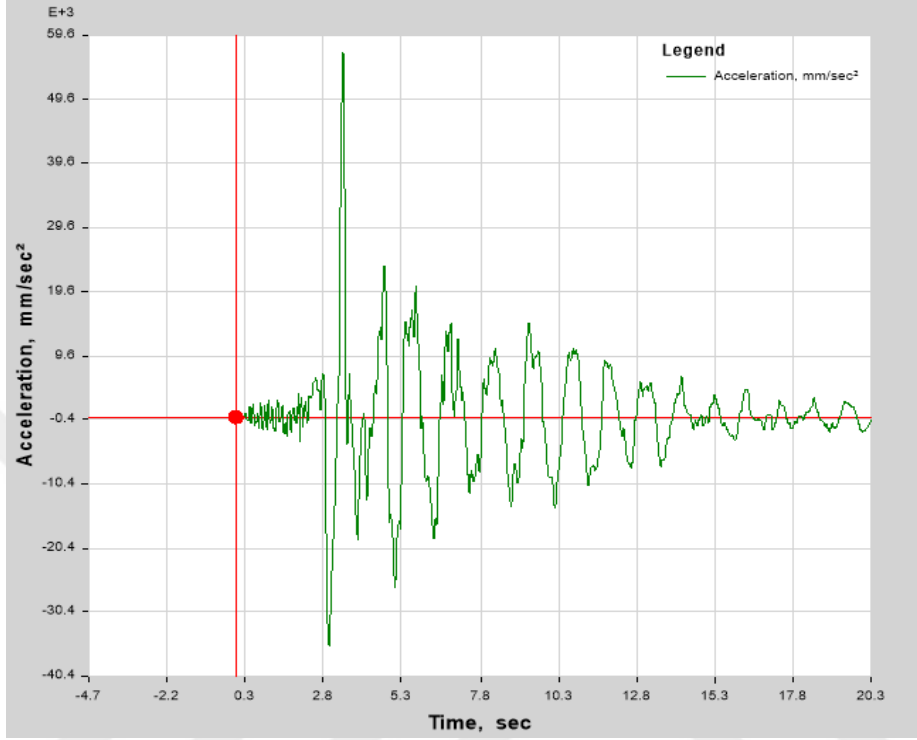
İlk hasar sargısız betonun kapasitesini tamamlaması ile gerçekleşmektedir. Sargısız betonun kapasitesini tamamlamasından ardından, sargılı beton kısımlarında ve benzer şekilde donatı çeliğinde kapasite aşımı oluşmasıyla kesitte plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir.

Her ne kadar analiz sonunda bazı fiber bölgelerinin şekil değiştirme kapasitelerini aşmadıkları gözlenmiş olsa dahi kesitteki ekseri çoğunluğun kapasitesini aşması sonucu kesit plastik mafsallara maruz kalmaktadır.



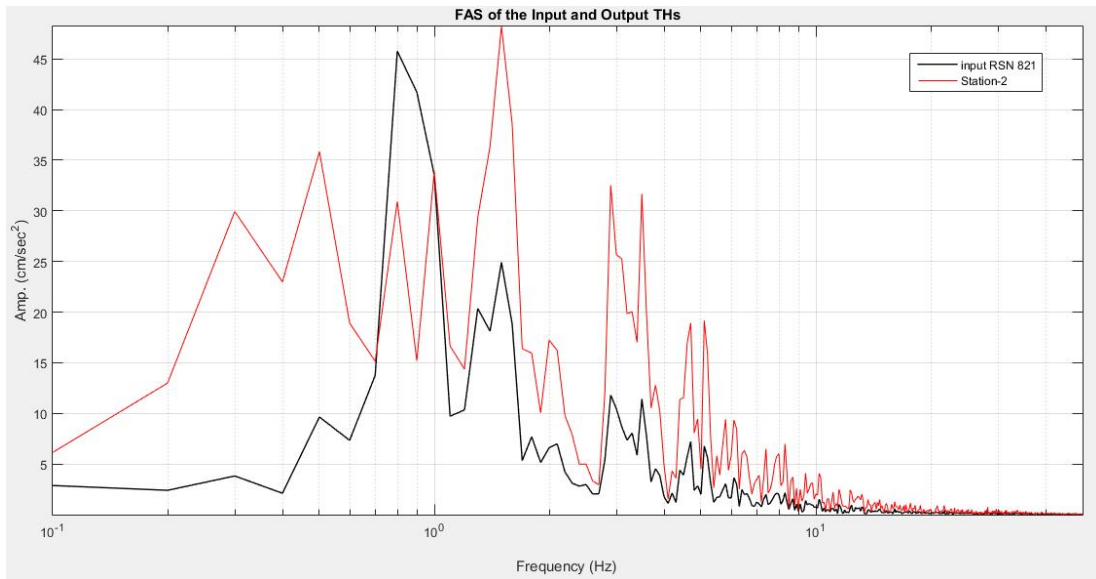
Şekil 5.26 RSN-821 depremine ait sargılı beton fiber davranışı

Bu deprem yüklemesi altında yapının en üst kotunda mahya hizasında belirlenen notkadan tepki olarak okunan ivme zaman grafiği ise şekil Şekil 5.27' de görüldüğü gibidir.



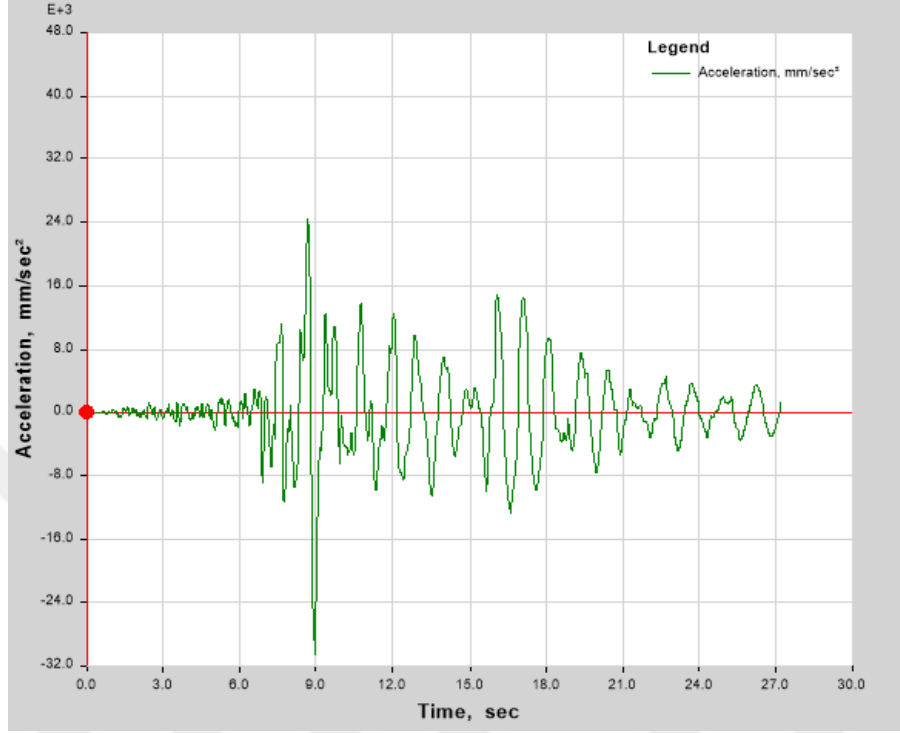
Şekil 5.27 RSN-821 depremine ait ivme tepki zaman grafiği

Yapının 821 nolu deprem kaydı altındaki davranışına ait tepkisi ile deprem kaydının fourier genlik spektrumu şekil 5.28'deki gibi incelendiğinde düşük frekanslardaki ivmelenme taleplerinin yapıda yüksek genlikli tepkilere yol açtığı gözlenmektedir.



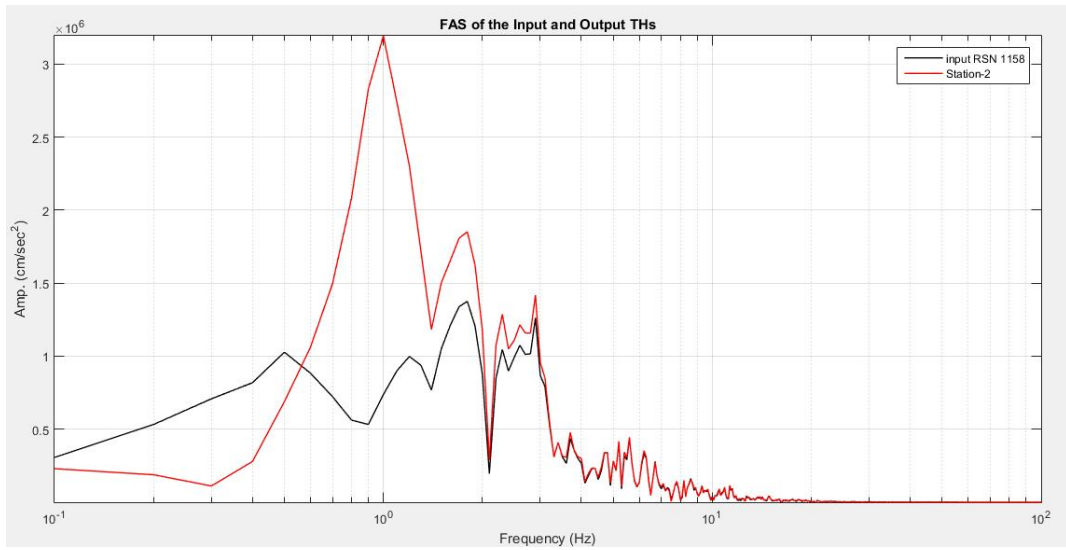
Şekil 5.28 RSN-821 depremine ait, deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu

Diğer bir hasar gözlenen deprem olan 1158 kayıt sıra numaralı depremin yapıda meydana getirdiği ivmelenme yapının en üst kotundan izlendiğinde ise Şekil 5.29'da görüldüğü gibi bir ivme kaydı gözlenmektedir.



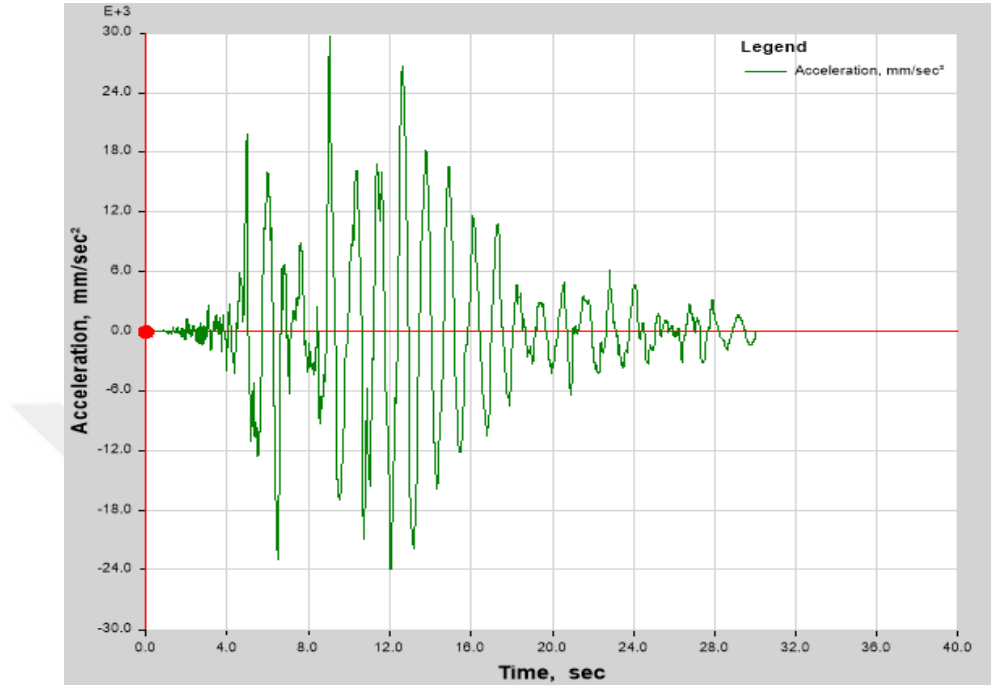
Şekil 5.29 RSN-1158 depremine ait ivme tepki zaman grafiği

Yapının 1158 nolu deprem kaydı altındaki davranışına ait tepkisi ile deprem kaydının fourier genlik spektrumu şekil 5.30'daki gibi incelendiğinde düşük frekanslardaki ivmelenme taleplerinin yapıda yüksek genlikli tepkilere yol açtığı birkez daha gözlenmektedir.



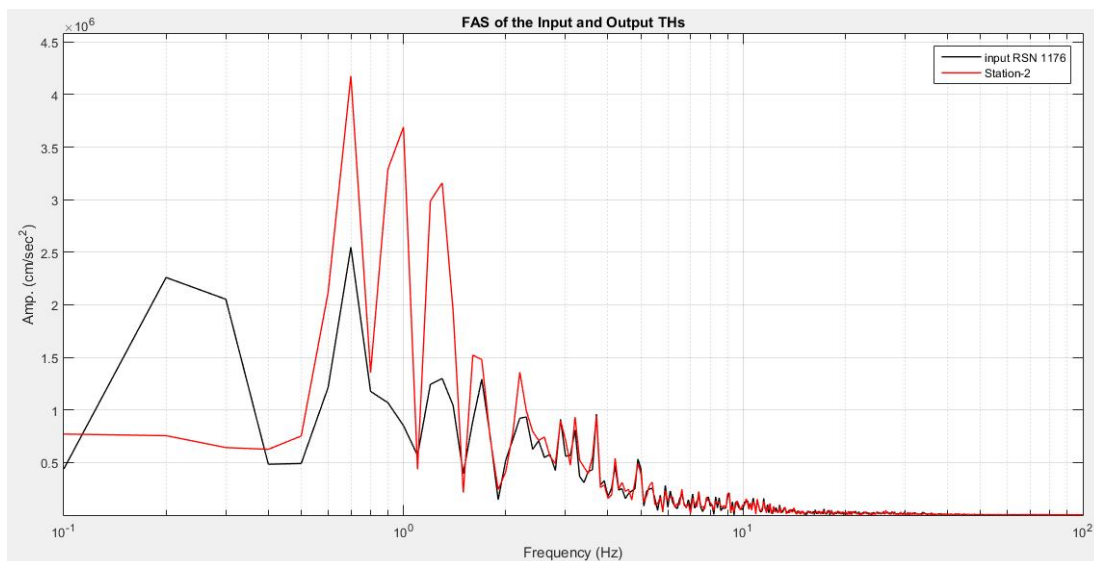
Şekil 5.30 RSN-1158 depremine ait deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu

Bir diğer hasar gözlenen deprem olan 1176 kayıt sıra numaralı depremin yapıda meydana getirdiği ivmelenme yapının en üst kotundan izlendiğinde ise Şekil 5.31’de görüldüğü gibi bir ivme kaydı gözlenmektedir.



Şekil 5.31 RSN-1176 depremine ait ivme tepki zaman grafiği

Yapının 1176 nolu deprem kaydı altındaki davranışına ait tepkisi ile deprem kaydının fourier genlik spektrumu şekil 5.32'deki gibi incelendiğinde tıpkı önceki genlik spektrumlarındaki gibi düşük frekanslardaki ivmelenme taleplerinin yapıda yüksek genlikli tepkilere yol açtığı birkez daha gözlenmektedir.



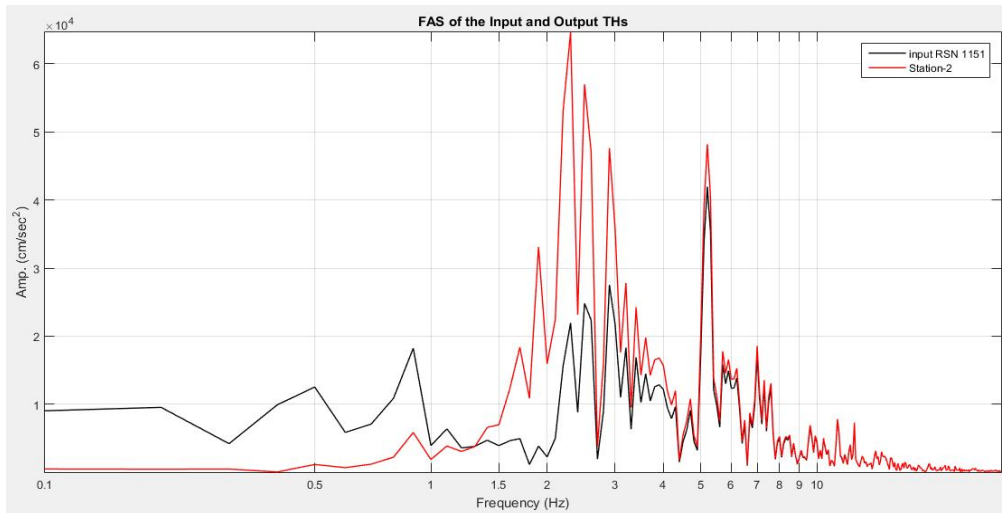
Şekil 5.32 RSN-1176 depremine ait, deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu.

Yapıda tepkiye neden olan deprem kayıtlarının ve yapıdaki ivmelenmelerin fourrier genlik spektrumları incelendiğinde yapıya transfer fonksiyonunun düşük frekanslarda yüksek genlikli tepkiler veren fakat frekans yükseldikçe tepki genliklerini düşüren bir davranışa neden olduğu gözlenmektedir. Yüksek frekanslı talepler incelendiğinde ise yapının bu talepleri bazı noktalarda büyüttüğü gözlenmektedir.

Yapı analizinden elde edilen plastik mafsal sonuçlarına göre yapının 821 sıra numaralı deprem kaydı altında, kaydın başlangıcından 2.50 saniye sonra yapıda ilk hasarın gözleendiği benzer şekilde 1158 sıra numaralı deprem kaydında da başlangıçtan 8.93 saniye sonra ve 1176 sıra numaralı deprem kaydında ise başlangıçtan 5.32 saniye sonra yapıdaki ilk hasarların meydana geldiği göz önüne alınırsa düşük frekanslı taleplerde yapının yüksek genlikli tepkilerinin bu hasar mekanizmasından kaynaklandığı düşünülebilir.

Örneğin herhangi bir zamanda hasar gözlenmyen 1151 kayıt sıra numaralı deprem kaydının fourrier genlik spektrumu, yapının üst kotundaki sabit noktadan kaydedilen tepkilerinin ivme cinsinden ölçümünün fourrier genlik spektrumu Şekil 5.33 'de görüldüğü gibi birlikte incelendiğinde yapının transfer fonksiyonuna ait özellikler hasarsız durumda dahi gün yüzüne çıkmaktadır.

Yapının hakim modu olan birinci modun periyodu 1.944sn. ile gerçekleşmiştir. Yapının deprem kayıtları altındaki davranışına ait fourrier genlik spektrumları incelendiğinde 1.944sn periyoda karşılık gelen 0.5 Hz seviyelerinde yapı davranışında anomali gözlenmemiştir.



Şekil 5.33 RSN-1151 depremine ait, deprem ve Fourier tepki genlik spektrumu

5.7. Yapıda Güçlendirme

Bölüm 5.6'da detaylıca açıklanan yapı analizine göre bazı deprem kayıtları altında yapının göçme bölgesine ulaştığı bazı deprem kayıtları altında ise kapasitesini aşmayarak doğrusal bölgede kaldığı gözlenmişti. Bu bölümde yapıda hasara sebep olan deprem kayıtları altında yapı performansını iyileştirecek önerilerde bulunulmuş ve bu önerilerin hangi oranda yapı performansını iyileştirdiği tartışılmıştır.

Prefabrik betonarme yapıların güçlendirilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Betonarme prefabrik yapılar çoğunlukla endüstriyel amaçlarla kullanıldığı için güçlendirme öncesinde ve güçlendirme sırasında servis dışı kalmasının ciddi ekonomik sonuçları olabileceğinden dolayı betonarme prefabrik yapıların güçlendirilme yöntemleri önemli bir çalışma dalıdır (Kaplan ve diğ., 2009). Prefabrik betonarme yapıların teşkil ettiği endüstriyel yapıları güçlendirmek için seçilecek yapısal güçlendirme yöntemi, yapının hasar durumu, konumu vs gibi özelliklere bağlı olduğu gibi yapının kullanım şekline de bağlıdır.

Güçlendirme önerisi olarak, çeşitli doğrultularda rijit perdeler teşkil edilebilir. Perdelerin görevini yerine getirebilecek çapraz çubuklar kullanılabilir. Hatta endüstriyel yapıyı teşkil eden çerçevenin içerisine veya dışarısına ilave çerçeve eklenerek yapının performansı iyileştirilebilir. Bunun dışında yapı ilave sönümleyici veya izolatörler eklenerek yapı performansı iyileştirilebilir. Fakat tüm bu öneri yöntemleri yerinde uygulanabilirlik açısından çokda optimum çözümler değildir.

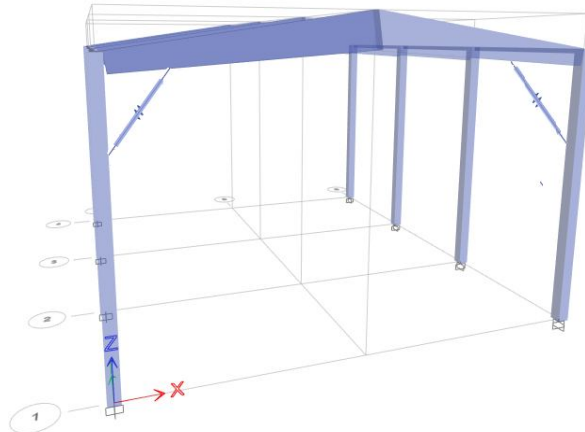
Bu yüzden çoğunlukla uygulanan yöntem yapının çelik çaprazlarla güçlendirilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak çelik çaprazlar yanal rijitliklerin artırılması noktasında fayda sağlıyor olsa dahi genellikle tek başına kullanılan bir çözüm olarak kullanılmamaktadır (Şeren , 2006). Bu yüzden bu çalışmada daha pratik olarak uygulanabilecek sönümleyicilerin kullanılması önerisi üzerinde durulacaktır.

Her ne kadar bu çalışmada yapının zayıf eksenini olan makas doğrultusundaki hareketlerini sınırlandırmak için makas doğrultusunda teşkil edilecek sönümleyiciler üzerinden performans iyileştirmesi yapılmış olsa dahi sönümleyici vasıtasıyla veya mantolama yöntemiyle makas doğrultusuna dik çalışan kren krişlerini işlevsiz hale getireceğinden her yapıda uygulanabilecek çözüm değildir.

Depremler yapının servis ömrü süresince çeşitli kombinasyonlarla yapıyı zorlanmaya maruz bırakarak çatlak, kesit kaybı gibi önemli hasarlara sebep olabileceği için geleneksel yöntemlerce kesitlerin arttırılması yöntemiyle dayanım esaslı, elastik ötesi davranışın iyileştirilerek süneklik esaslı güçlendirmeler yapılmaktadır. Her iki durumda da deprem enerjisi doğrudan taşıyıcı yapı elemanlarınca karşılanmaktadır. Öte yandan morden yaklaşım sismik etkilerin taşıyıcı yapı elemanlarına ulaşmadan sönmülenmesi üzerine kuruludur (Atasever, 2016). Teze konu olan yapıda güçlendirme önerisi olarak montalama veya çelik çapraz ile güçlendirme yerine histerik sönmüleyici kullanılması diğer bir sebebi de budur.

5.7.1. Viskoz Sönmüleyicinin Tanımlanması

Pasif kontrol sistemi olarak görev yapan viskoz sönmüleyiciler, yerleştirildikleri yapılarda; yapının sönm kapasitesini arttırarak sismik performansı yükseltirler (Gönen ve diğ, 2015). Viskoz sönmüleyicinin karşılayacağı kuvvet, sönmüleyicinin iki ucu arasındaki rölatif hızın sönm katsayısı ile çarpılması ile elde edilir (Lee ve Taylor, 2001). Viskoz sönmüleyicinin sönm kat sayısının sabit ve karakteristik bir değer olduğu düşünülürse, sönmüleyicinin karşılayacağı kuvvet sadece rölatif hız bileşenine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Yapının sismik performansının iyileşmesi için yapıda her iki doğrultuda çeşitli akslara uygulanacak olan sönmüleyicinin kapasitesi deneme yanılma yöntemiyle yapılan analizler sonucunda optimum kapasite olan 150 kN olarak belirlenmiştir. Bu sönmüleyiciler makas doğrultusunda ve makasa dik doğrultudaki akslarda yapının en üst kotunda çapraz olarak teşkil eden kutu profiller aracılığıyla şekil 5.34’ de görüldüğü gibi yapıya eklenmiştir.



Şekil 5.34 Pasif sönmüleyicilerin makas doğrultusundaki yerleşimi

Şekil 5.35'deki gibi yapıya eklenen sönümleyicilerin iki uçlarında mafsal tanımlanarak düğüm noktalarında moment almaları engellenmiştir. Bu haliyle sönümleyici mekanizması tasarımına uygun şekilde eksenel hareketini yapabilecektir.

Toplam uzunluğu 3 metre olan sönümleyicinin kutu profillerden kaynaklanan rijitliğini ve sönümleyicinin kendi zaati ağırlığının yapısal elemanlara etkisini göz ardı etmemek için bunlarda yapıya ilave olarak eklenmiştir.

Çapraz kutu profillerin rijitliği;

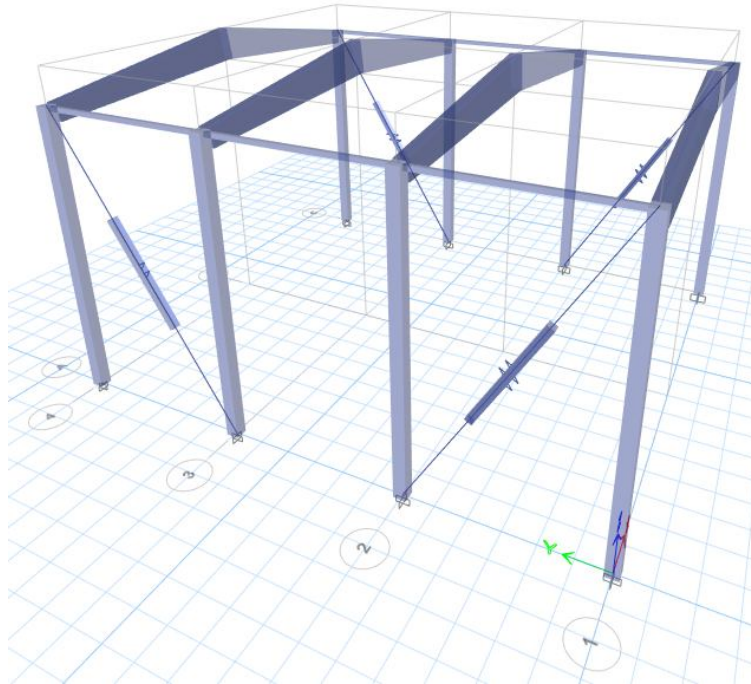
$k = AE/L$ olarak ifade edilmektedir.

150x150x8 mm kutu profil için kesit alanı olan $A = 4.32 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ve elastisite modülü olan $E = 2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ denkleme yerleştirildiğinde,

$k = (4.32 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^8) / 3 = 288000 \text{ kN/m}$ dir.

Herbir sönümleyicinin ağırlığı ise 300kg dir.

Yapıya makas doğrultusunda eklenen sönümleyiciler çeşitli deneme yanılma analizlerinden sonra yapının 1 ve 4 nolu aksları boyunca yerleştirilmiştir. Bu yerleşim sonrasında yapı tekrar analiz edilerek sonuçlar toplanmıştır. Benzer hesaplamalar makasa dik doğrultuda da yapılarak analiz sonuçlarına eklenmiştir.



Şekil 5.35 Pasif sönümleyicilerin makasa dik doğrultudaki yerleşimi

Yapının ham hali ile makas doğrultusunda yapmış olduğu yer değiştirmeler Tablo 5.6 ve Tablo 5.7 'de gösterilmiştir. Yapıya makas doğrultusunda eklenen sönümleyiciler ile birlikte yapının makas doğrultusundaki yer değiştirmeleri Tablo 5.8 ve Tablo 5.9 'da görüldüğü gibidir.

Tablo 5.8 Güçlendirme sonrası yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)						
Düğüm Noktası	Depremler					
	<u>821</u>	<u>1136</u>	<u>1137</u>	<u>1141</u>	<u>1151</u>	<u>1158</u>
A	2,27	0	0,25	2,88	0	9,37
B	2,88	0	0,46	5,32	0	4,87
C	2,45	0	0,47	5,32	0	4,87
D	1,93	0	0,27	2,88	0	2,64

Tablo 5.9 Güçlendirme sonrası yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)							
Düğüm Noktası	Depremler					Spektrumlar	
	<u>1161</u>	<u>1165</u>	<u>1167</u>	<u>1176</u>	<u>1177</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	1,37	1	0,22	1,68	0,49	0,56	3,66
B	2,44	1,71	0,38	3,13	0,87	1	6,86
C	2,44	1,71	0,38	3,13	0,87	1	6,86
D	1,38	1	0,22	1,68	0,5	0,56	3,66

Güçlendirme sonrasında makas doğrultusunda gerçekleşen yer değiştirmeler incelendiğinde hem deprem kayıtları altında hemde deprem spektrumları altında yapı performansında gözle görülür bir artış olduğu gözlenmektedir.

Bu performans artışının en önemli sebebi sönümleyicilerin sismik etkileri, yapısal elemanlardan daha önce üzerlerine almalarıdır. Sönümleyici üzerine gelen sismik etkiler, sönümleyicilerin enerji absorbe edebilme kapasiteleri kadar enerjiyi soğurduktan sonra kalan enerji yapısal elemanlarda moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet gibi etkilere dönüşerek sönümlenmektedir. Bu durumda da yapının deplasman talebi düşmekte ve yapının genel performans seviyesi artmaktadır.

Özellikle önceki performans seviyesi göçme bölgesinde kalan deprem kayıtları altında sönümleyicili davranış incelendiğinde, yapıya eklenecek sönümleyicinin yapının

göçmesini tamamen önlediği böylece yapının servis ömrüne devam ederek ekonomik kayıpların yanı sıra can ve mal kayıplarını da önleyeceği görülmektedir.

Yapının makas doğrultusundaki yer değiştirmelerindeki performans artışları Tablo 5.10’da görüldüğü gibi deprem kayıtları altında %95 ‘in üzerinde gerçekleşirken, kaydedilmiş depremlere ait spektrum altında %98’in üzerinde gerçekleşmiştir. Deprem yönetmeliğince verilen tasarım depremi etkisindeki performans artışı ise yine %98’in üzerinde gerçekleşmiştir.

Tablo 5.10 Güçlendirme sonrası performans iyileşme oranları

Makas Doğrultusunda Performans Artışı			
Düğüm Noktası	Depremler	Spektrumlar	
	<u>Mean</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	97,73%	98,51%	99,65%
B	95,38%	98,63%	98,42%
C	95,38%	98,63%	98,42%
D	97,73%	98,51%	99,65%

Sönümleyici kullanılmadan önce, yapının ham hali ile makasa dik doğrultuda gerçekleşen yer değiştirmeler Tablo 5.11’de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.11 Güçlendirme öncesi makasa dik yöndeki yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)						
Düğüm Noktası	Depremler					
	<u>821</u>	<u>1136</u>	<u>1137</u>	<u>1141</u>	<u>1151</u>	<u>1158</u>
A	119,72	86,28	124,96	91,58	35,28	106,74
B	119,59	83,36	122,65	90,24	35,28	102,17
C	119,59	83,36	122,65	90,24	35,28	102,17
D	119,72	86,28	124,96	91,58	35,28	106,74

Tablo 5.12 Güçlendirme öncesi makasa dik yöndeki yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)							
Düğüm Noktası	Depremler					Spektrumlar	
	<u>1161</u>	<u>1165</u>	<u>1167</u>	<u>1176</u>	<u>1177</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	75,33	84,52	55,35	136,74	62,56	82,14	126,34
B	71,66	82,96	55,30	134,41	61,78	81,97	125,86
C	71,66	82,96	55,30	134,41	61,78	81,97	125,86
D	75,33	84,52	55,35	136,74	62,56	82,14	126,34

Tablolar incelendiğinde yapının orta akslarındaki deplasmanların yapıdaki kenar akslara göre daha az olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebi orta akslardaki normal kuvvetin daha fazla olmasıyla yapının yer değiştirmeye karşı koyan kuvvetlerinin artması olarak düşünülebilir.

Öte yandan aynı depremlere ait davranışlar incelendiğinde yapının makas doğrultusunda gözlenen yüksek yer değiştirme taleplerinin makasa dik doğrultuda gözlenmediği dolayısıyla yapının zayıf eksenin makas doğrultusundaki eksen olduğu çıkarılabilir. Buradan hareketle makasa dik doğrultuda yapılacak güçlendirmeler fonksiyonun korunması için çok daha uygulanabilir olduğu için yaygın kullanım olarak endüstriyel yapıların güçlendirilmesinde kullanılıyor olsa da uygulamada kren kirişlerinin kullanılmasını engellemek gibi bir takım zorluklar çıkarabilecek olmasına rağmen makas doğrultusunda yapılacak güçlendirmeler yapı davranışı için daha yüksek önem arz etmektedir.

Güçlendirme sonrasında yapıda makasa dik doğrultuda gerçekleşen yer değiştirmeler ise Tablo 5.13’de ve Tablo 5.14’de görüldüğü gibi olmaktadır.

Tablo 5.13 Güçlendirme sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)						
Düğüm Noktası	Depremler					
	<u>821</u>	<u>1136</u>	<u>1137</u>	<u>1141</u>	<u>1151</u>	<u>1158</u>
A	1,13	0,02	2,3	1,06	0,87	6,41
B	1,25	1,02	3,78	5,85	1,36	7,76
C	1,25	1,02	3,78	5,85	1,36	7,76
D	1,13	0,02	2,3	1,06	0,87	6,41

Tablo 5.14 Güçlendirme sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)							
Düğüm Noktası	Depremler					Spektrumlar	
	<u>1161</u>	<u>1165</u>	<u>1167</u>	<u>1176</u>	<u>1177</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	0,54	1,01	1,37	1,68	1,52	0,06	2,18
B	3,22	2,71	4,81	3,13	5,16	4,41	4,75
C	3,22	2,71	4,81	3,13	5,16	4,41	4,75
D	0,54	1,01	1,37	1,68	1,52	0,06	2,18

Yapının makasa dik doğrultudaki yer değiştirmelerindeki performans artışları Tablo 5.15 ‘de görüldüğü gibi deprem kayıtları altında %95 ‘in üzerinde gerçekleşirken, kaydedilmiş depremlere ait spektrum altında %98’in üzerinde gerçekleşmiştir. Deprem yönetmeliğince verilen tasarım depremi etkisindeki performans artışı ise yine %98’in üzerinde gerçekleşmiştir.

Tablo 5.15 Güçlendirme sonrası performans iyileşme oranları

Makasa Dik Doğrultuda Performans Artışı			
Düğüm Noktası	Depremler	Spektrumlar	
	<u>Ortalama</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	98,17%	98,46%	98,34%
B	97,69%	96,18%	96,12%
C	97,69%	96,18%	96,12%
D	98,17%	98,46%	98,34%

Tablo 5.15 incelendiğinde makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyicilerin tıpkı makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler gibi yapı performansını çok yüksek oranda arttırdığı gözlenmektedir.

Güçlendirme öncesinde yapıyı göçme bölgesine iten deprem kayıtları altında yapıda meydana gelen toplam taban kesme kuvvetleri makas doğrultusu için Tablo 5.16’da görüldüğü gibidir.

Tablo 5.16 Güçlendirme öncesi kritik taban kesme kuvveti değerleri

Yükleme Durumu	Maks. Taban Kesme Kuvveti (tonf)	Min Taban Kesme Kuvveti (tonf)
<u>821</u>	275,24	-218,80
<u>1158</u>	169,13	-176,75
<u>1176</u>	245,14	-217,30
<u>DD2</u>	241,86	-
<u>11EQ</u>	69,09	-

Sisteme güçlendirme elemanı olarak makas doğrultusunda sönümleyicilerin eklenmesi ile oluşan kritik taban kesme kuvvetleri Tablo 5.17’de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.17 Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvveti değerleri

Yükleme Durumu	Maks. Taban Kesme Kuvveti (tonf)	Min Taban Kesme Kuvveti (tonf)
<u>821</u>	149,66	-148,49
<u>1158</u>	91,9	-91,24
<u>1176</u>	89,48	-123,05
<u>DD2</u>	132,33	-
<u>11EQ</u>	37,33	-

Tablo 5.17 de görüldüğü üzere sisteme makas doğrultusunda sismik sönümleyici eklenmesi taban kesme kuvvetlerini düşürmüştür. Bu düşüşün oranları Tablo 5.18 de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.18 Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler

Yükleme Durumu	Maks. Değişim	Min Değişim
<u>821</u>	-46%	-32%
<u>1158</u>	-46%	-48%
<u>1176</u>	-63%	-43%
<u>DD2</u>	-45%	-
<u>11EQ</u>	-46%	-

Tablolar incelendiğinde 821 ve 1158 kayıt sıra numaralı deprem kaydı altında güçlendirilen yapının maksimum taban kesme kuvveti altında %46 daha az taban kesme kuvveti aldığı, minimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında %32 daha az taban kesme kuvveti aldığı gözlenmektedir. Benzer şekilde 1176 kayıt sıra numaralı deprem kaydı altında, yapının maksimum taban kesme kuvveti etkisi altında %63 daha az taban kesme kuvveti aldığı, minimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında ise %43 daha az taban kesme kuvveti aldığı gözlenmektedir.

Yapıda güçlendirme uygulanmadan önce ham hali ile kritik depremler altında oluşan taban kesme kuvvetleri makasa dik doğrultu için Tablo 5.19’de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.19 Güçlendirme öncesi kritik taban kesme kuvveti değerleri

Yükleme Durumu	Maks. Taban Kesme Kuvveti (tonf)	Min. Taban Kesme Kuvveti (tonf)
<u>821</u>	196,92	-208,95
<u>1158</u>	129,5	-144,63
<u>1176</u>	212,54	-162,93
<u>DD2</u>	241,86	-
<u>11EQ</u>	69,09	-

Sisteme güçlendirme elemanı olarak makasa dik doğrultuda sönümleyicilerin eklenmesi ile oluşan kritik taban kesme kuvvetleri Tablo 5.20’de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.20 Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvveti değerleri

Yükleme Durumu	Maks. Taban Kesme Kuvveti (tonf)	Min. Taban Kesme Kuvveti (tonf)
<u>821</u>	154,28	-95,82
<u>1158</u>	174,35	-72,56
<u>1176</u>	66,89	-107,56
<u>DD2</u>	125,8	-
<u>11EQ</u>	42,93	-

Tablo 5.20 de görüldüğü üzere sisteme makasa dik doğrultuda sismik sönümleyici eklenmesi taban kesme kuvvetlerini düşürmüştür. Bu düşüşün oranları Tablo 5.21’ de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.21 Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler

Yükleme Durumu	Maks. Değişim	Min. Değişim
<u>821</u>	-22%	-54%
<u>1158</u>	35%	-50%
<u>1176</u>	-69%	-34%
<u>DD2</u>	-48%	-
<u>11EQ</u>	-38%	-

Tablolar incelendiğinde 821 kayıt sıra numaralı deprem kaydı altında güçlendirilen yapının maksimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında %22 daha az taban kesme kuvveti aldığı, minimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında %54 daha az taban kesme kuvveti aldığı gözlenmektedir. Ek olarak 1158 kayıt sıra numaralı deprem kaydı altında güçlendirilen yapının maksimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında %35 daha az taban kesme kuvveti aldığı, minimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında %50 daha az taban kesme kuvveti aldığı gözlenmektedir. Benzer şekilde 1176 kayıt sıra numaralı deprem kaydı altında, yapının maksimum taban kesme kuvveti etkisi altında %69 daha az taban kesme kuvveti aldığı, minimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında ise %34 daha az taban kesme kuvveti aldığı gözlenmektedir.

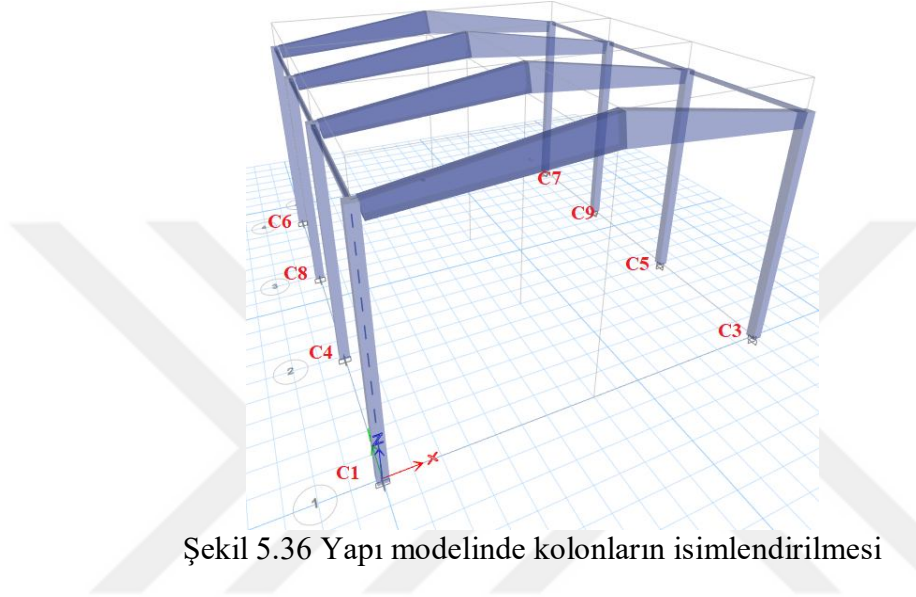
Tablo 5.22 Güçlendirme sonrası kritik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler

Yükleme Durumu	Maks. Değişim (x yönü)	Min. Değişim (x yönü)	Maks. Değişim (y yönü)	Min. Değişim (y yönü)
<u>821</u>	-46%	-32%	-22%	-54%
<u>1158</u>	-46%	-48%	35%	-50%
<u>1176</u>	-63%	-43%	-69%	-34%
<u>DD2</u>	-45%	-	-48%	-
<u>11EQ</u>	-46%	-	-38%	-

Deprem yönetmeliğince kullanılan tasarım depremine ait spektrum etkisinde ise taban kesme kuvvetinin %48 azaldığı benzer şekilde daha önceden analiz için seçilen on bir adet deprem kaydına ait spektrum etkisinde taban kesme kuvvetinin %38 oranında azaldığı gözlenmektedir.

Her iki yöndeki sönümlendirici etkisini taban kuvvetleri açısından Tablo 5.22'deki gibi incelediğimizde makas doğrultusu olan -x yönünde maksimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında 821 kayıt sıra numaralı depremin diğer yöne göre daha duyarlı olduğu, minimum taban kesme kuvveti yüklemesi altında ise makasa dik doğrultu olan -y yönünde daha duyarlı olduğu gözlenmektedir. Benzer duyarlılıklar 1158 kayıt sıra

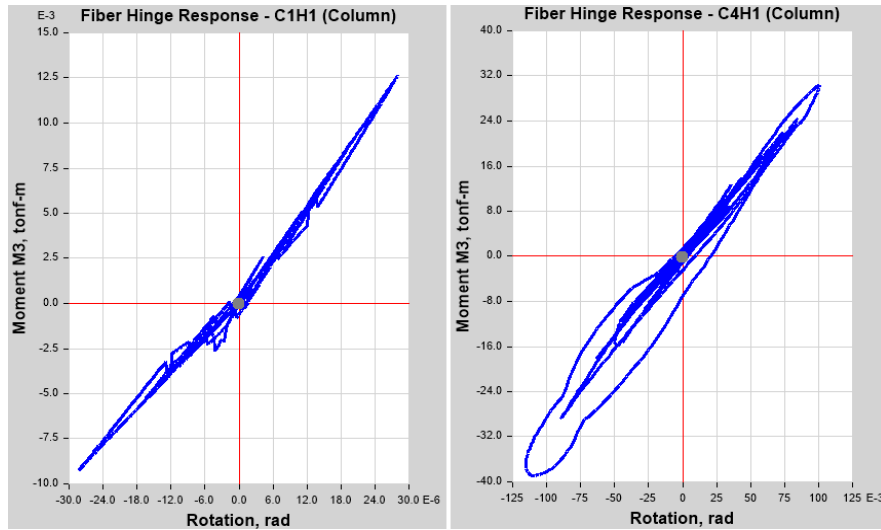
numaralı deprem içinde geçerli olmaktadır. Deprem yönetmeliğince kullanılan tasarım depremine ait spektrum etkisinde ise taban kesme kuvvetinin makas doğrultusu olan -x yönünde, makasa dik doğrultu olan -y yönüne nazaran daha az duyarlılık gösterdiği gözlenmektedir Tersî şekilde daha önceden analiz için seçilen on bir adet deprem kaydına ait spektrum etkisinde taban kesme kuvvetinin makas doğrultusu olan -x yönünde, makasa dik doğrultu olan -y yönüne nazaran daha yüksek duyarlılık gösterdiği gözlenmektedir.



Şekil 5.36 Yapı modelinde kolonların isimlendirilmesi

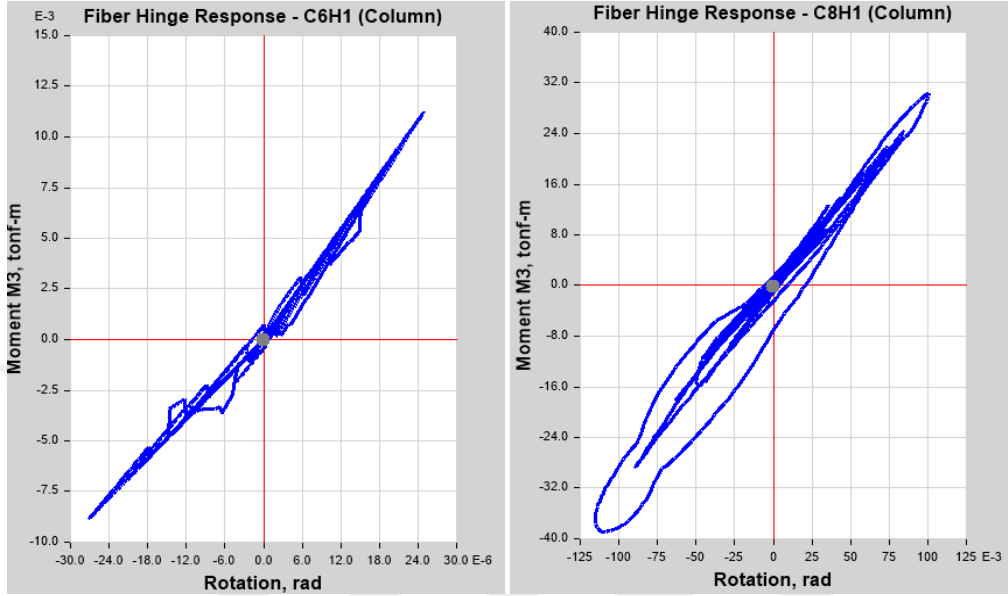
Yapının modellenmesi sırasında İngilizcesi coloumn olan ifadenin kısaltması olarak kolonlar 'C' notasyonu ile sıralanmıştır. Bu sıralama Şekil 5.36'da görüldüğü gibidir.

Buna göre C1 ve C4 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.37 'de görüldüğü gibidir.



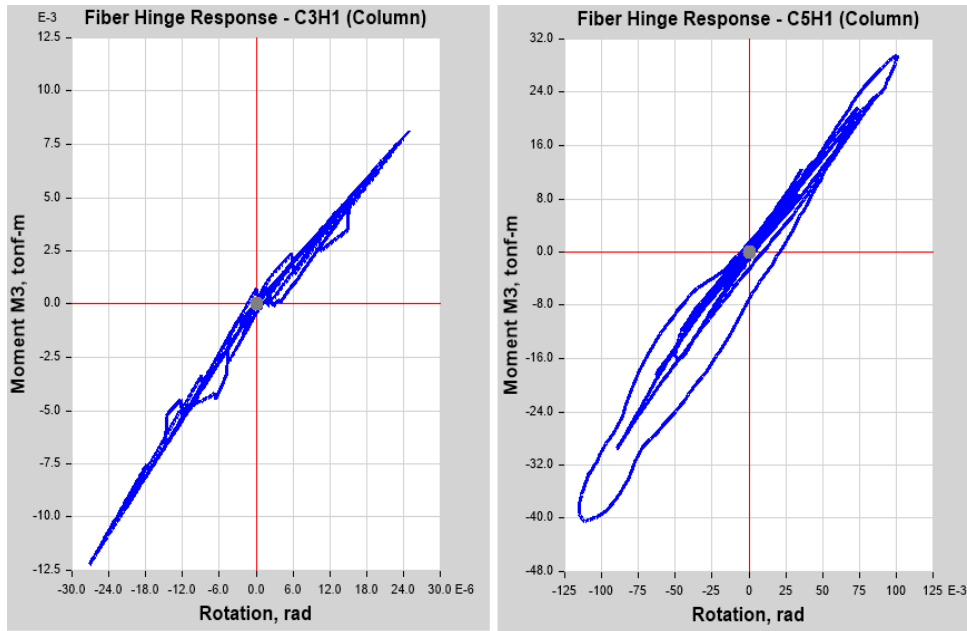
Şekil 5.37 C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C8 ve C6 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.38 ‘de görüldüğü gibidir.



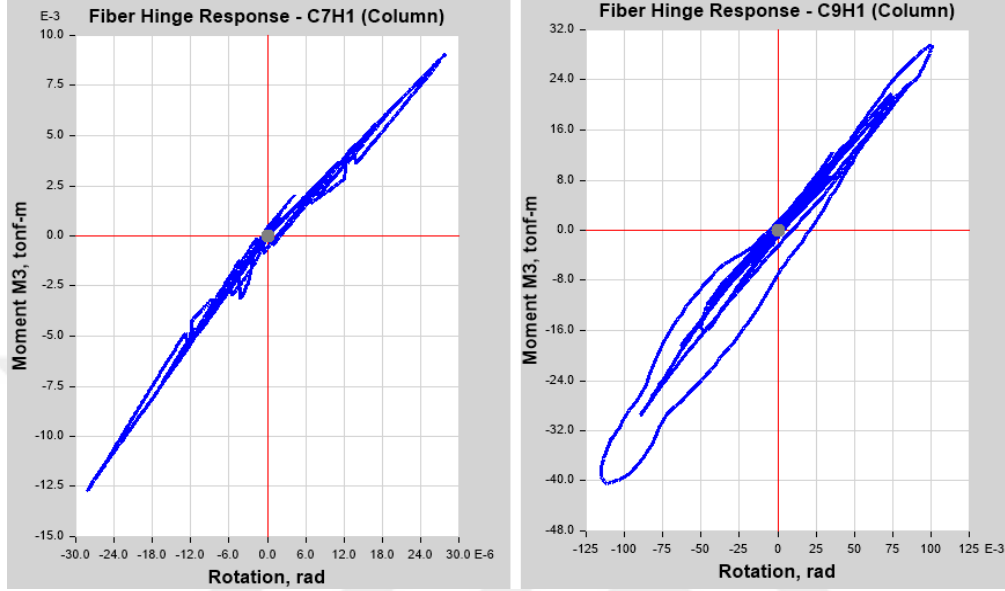
Şekil 5.38 C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C3 ve C5 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.39 ‘de görüldüğü gibidir.



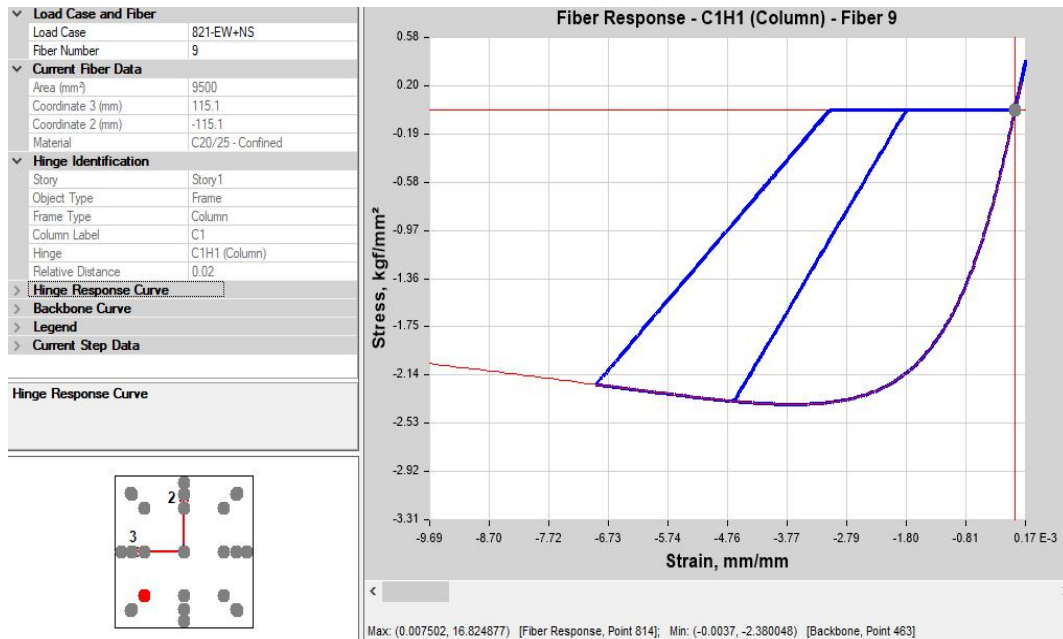
Şekil 5.39 C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C7 ve C9 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.40 ‘da görüldüğü gibidir.



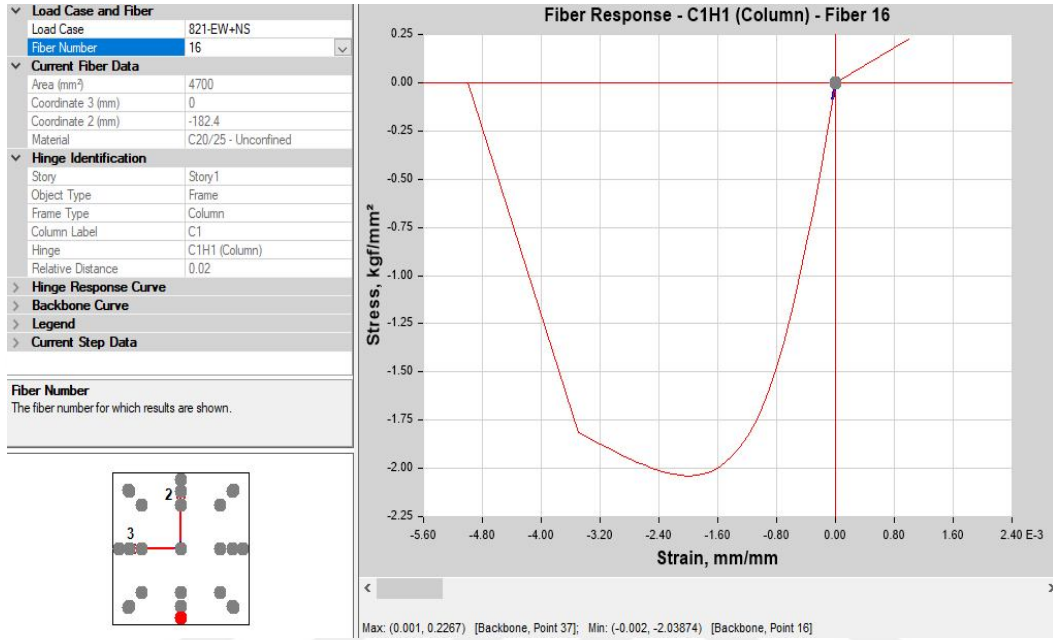
Şekil 5.40 C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.41 ‘de görüldüğü gibidir.



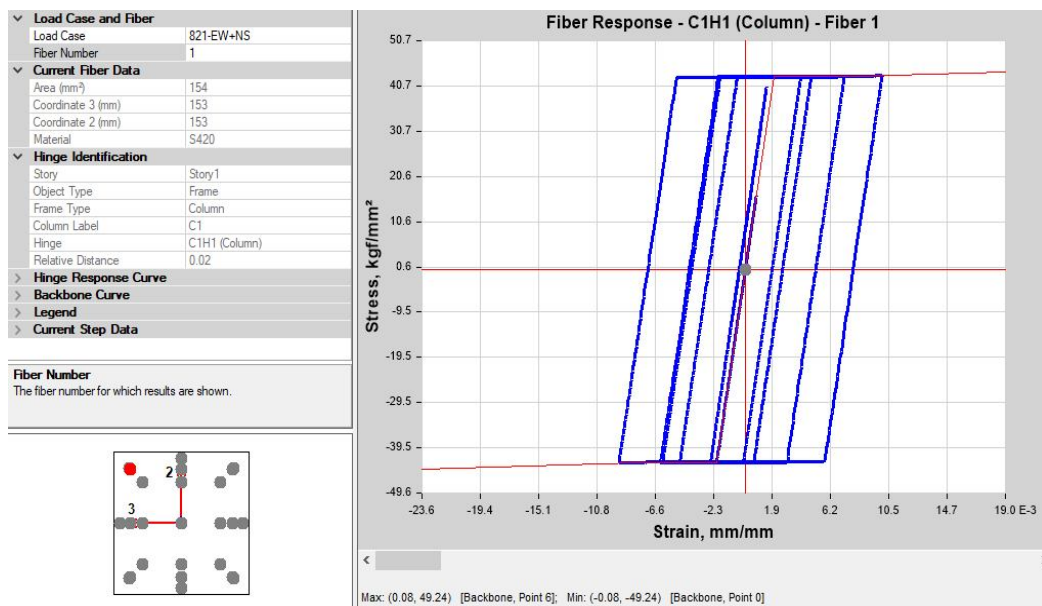
Şekil 5.41 C1 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.42 ‘de görüldüğü gibidir.



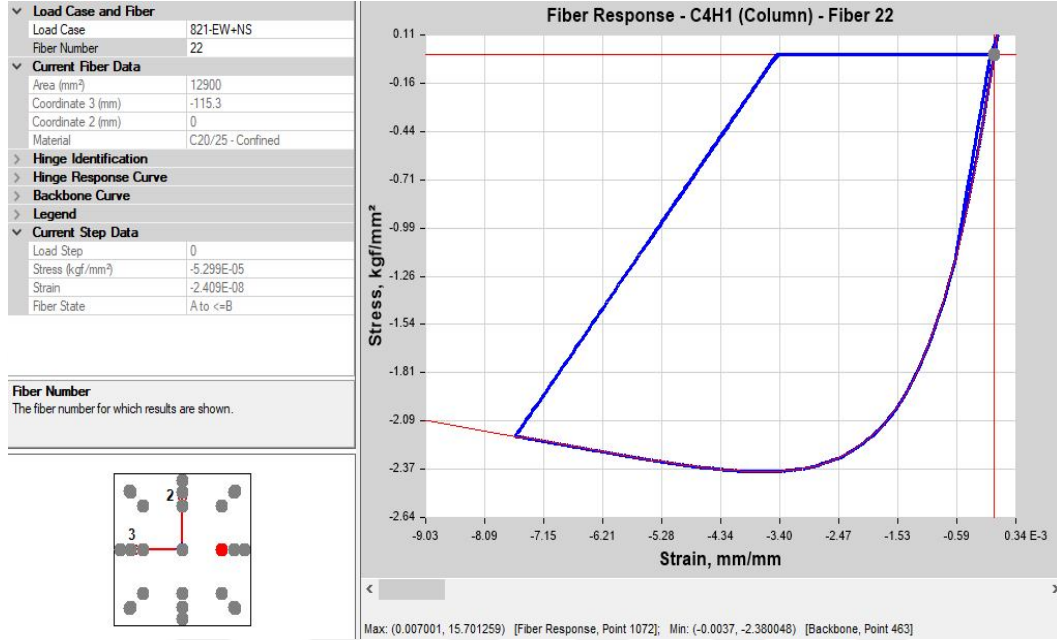
Şekil 5.42 C1 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.43 ‘de görüldüğü gibidir.



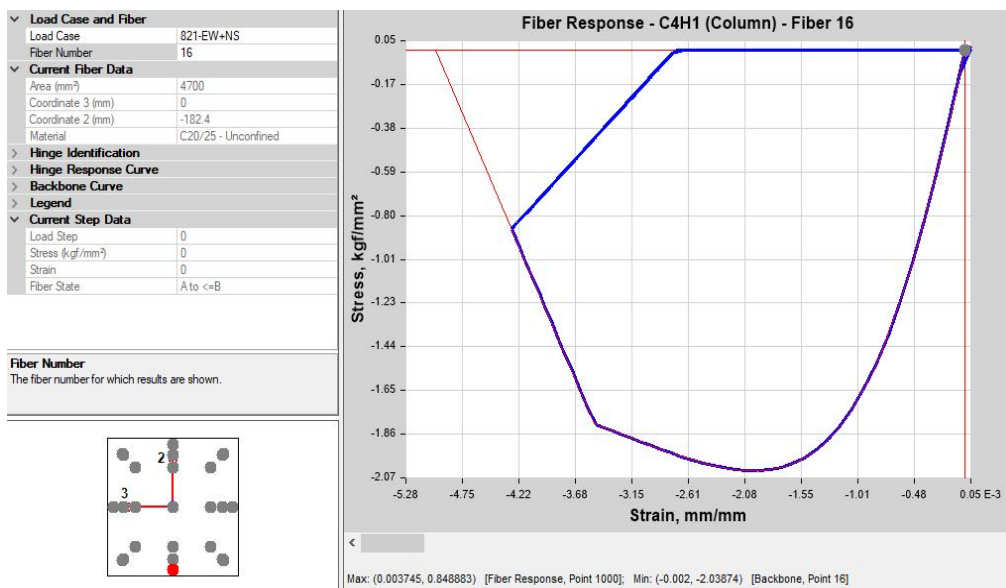
Şekil 5.43 C1 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.44 ‘de görüldüğü gibidir.



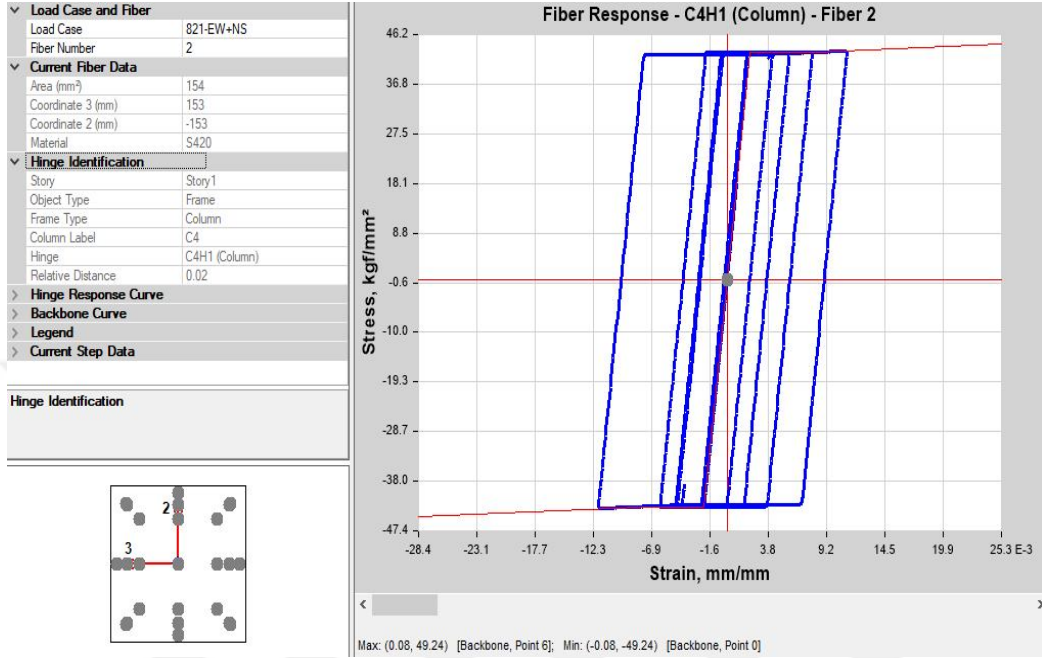
Şekil 5.44 C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.45 ‘de görüldüğü gibidir.



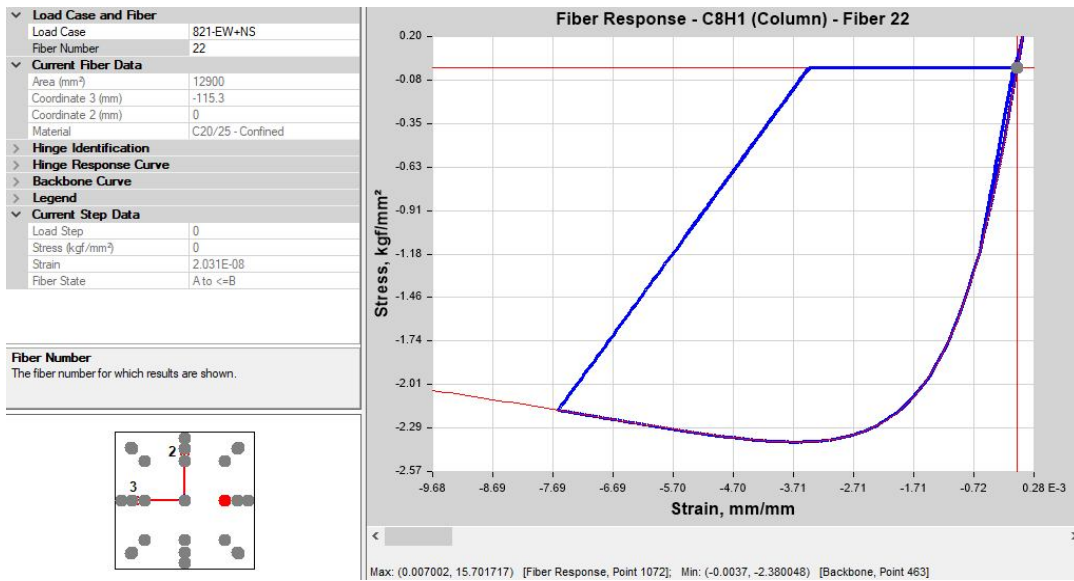
Şekil 5.45 C4 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.46 ‘da görüldüğü gibidir.



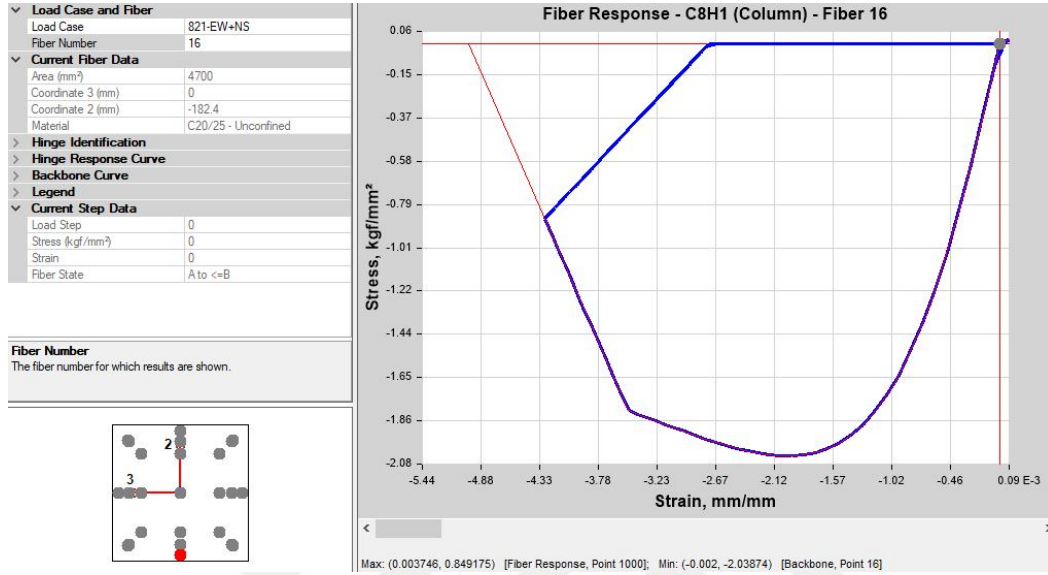
Şekil 5.46 C4 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.47 ‘de görüldüğü gibidir.



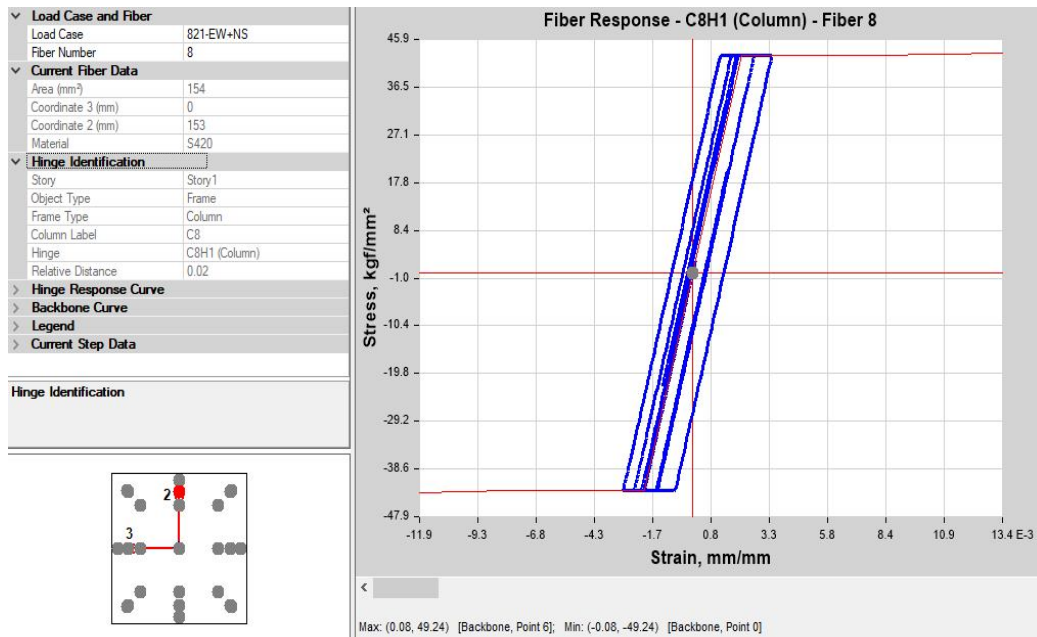
Şekil 5.47 C8 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.48 ‘de görüldüğü gibidir.



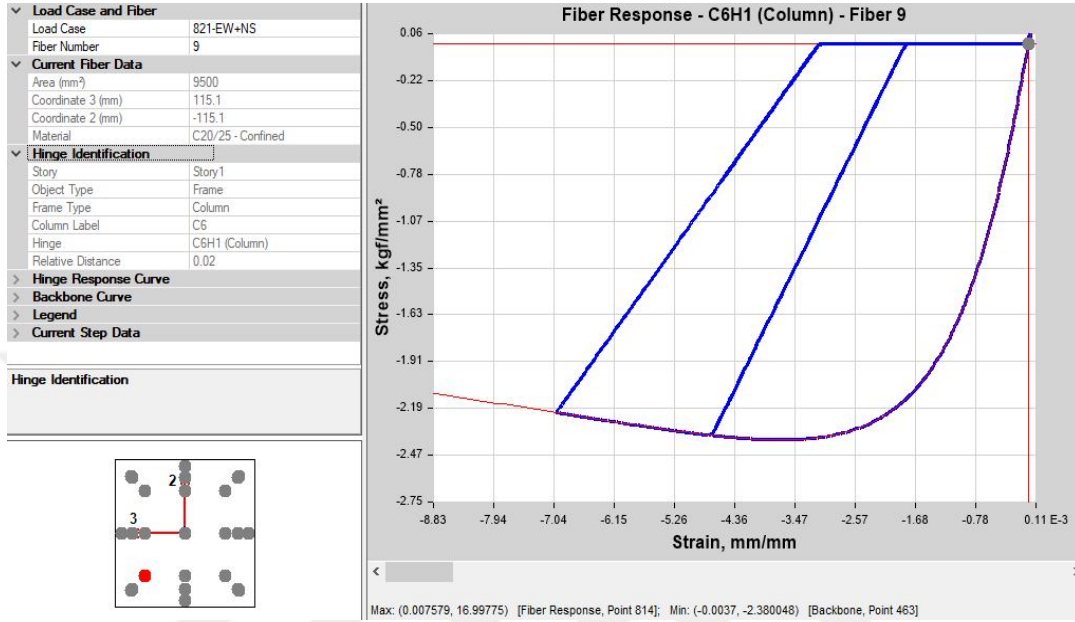
Şekil 5.48 C8 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.49 ‘de görüldüğü gibidir.



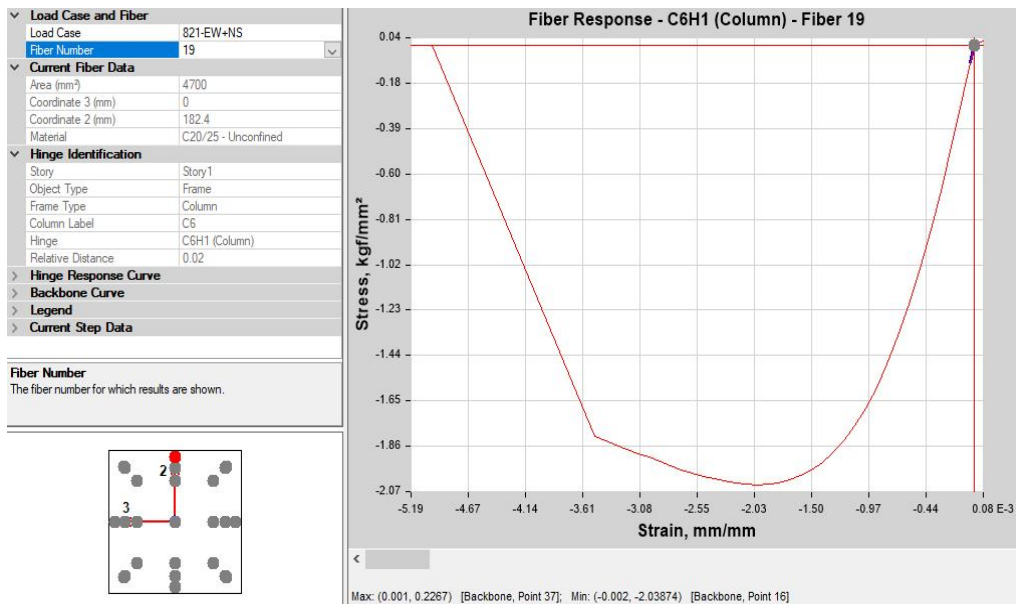
Şekil 5.49 C8 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.50 ‘de görüldüğü gibidir.



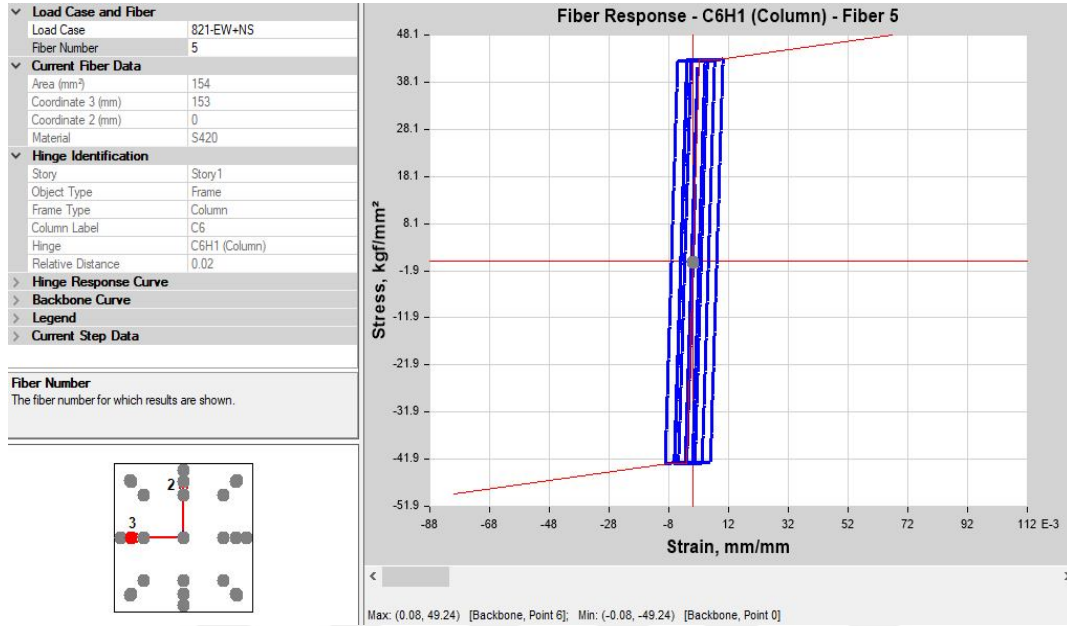
Şekil 5.50 C6 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.51 ‘de görüldüğü gibidir.



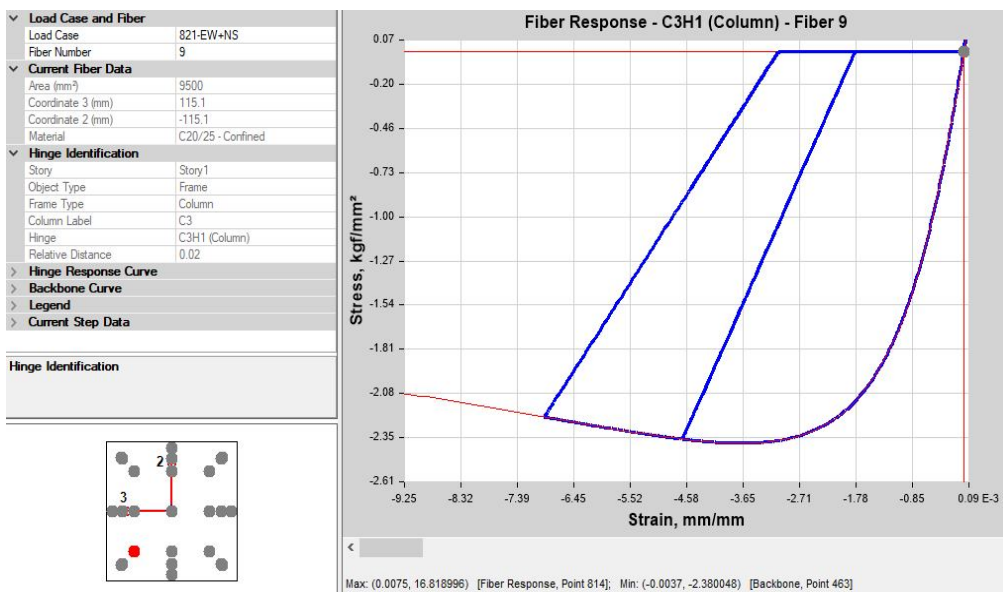
Şekil 5.51 C6 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.52 ‘de görüldüğü gibidir.



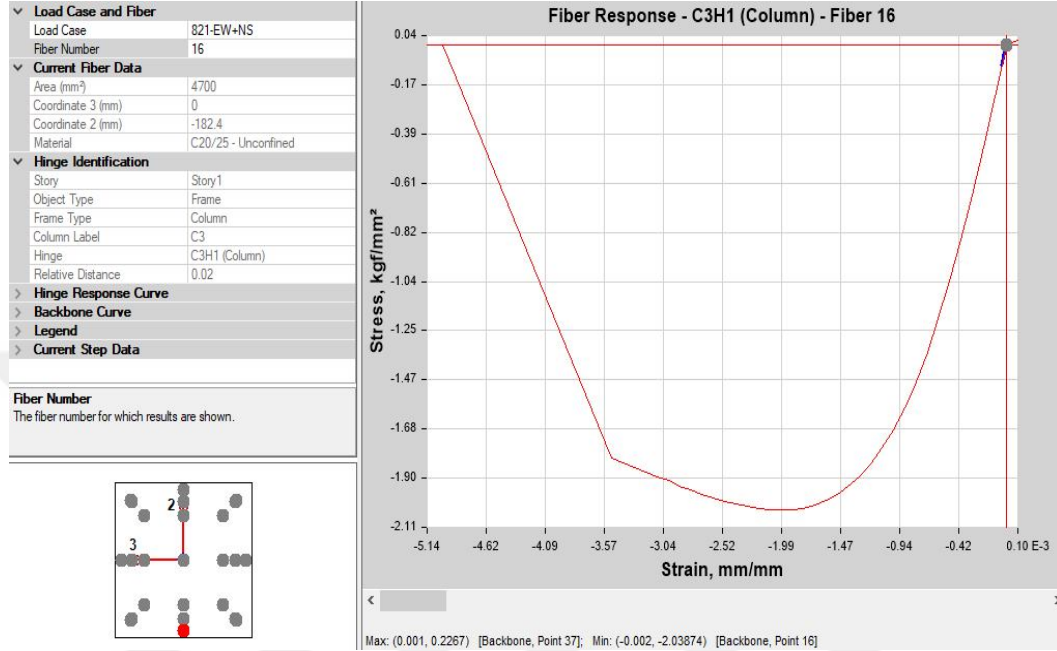
Şekil 5.52 C6 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.53 ‘da görüldüğü gibidir.



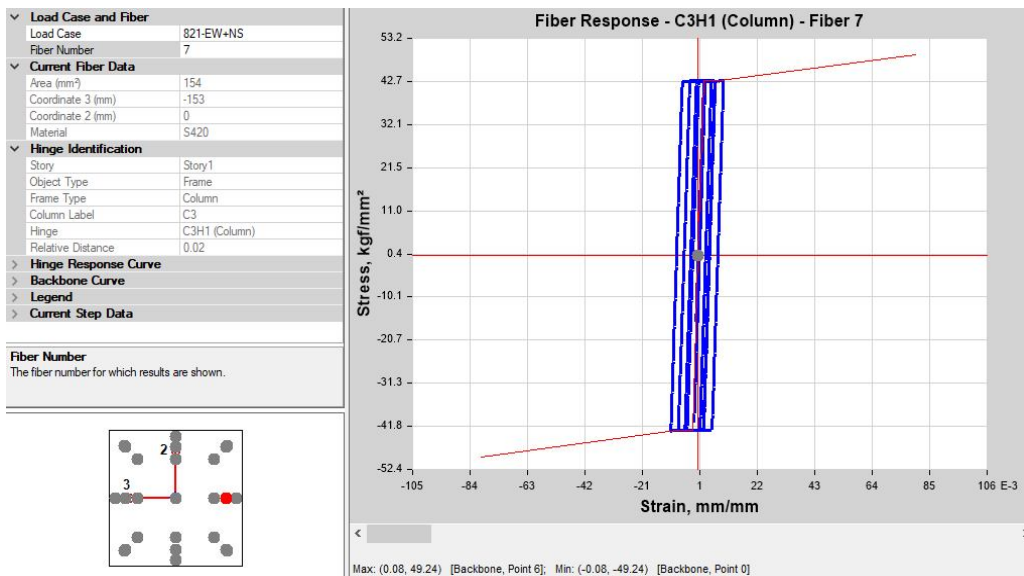
Şekil 5.53 C3 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.54 ‘de görüldüğü gibidir.



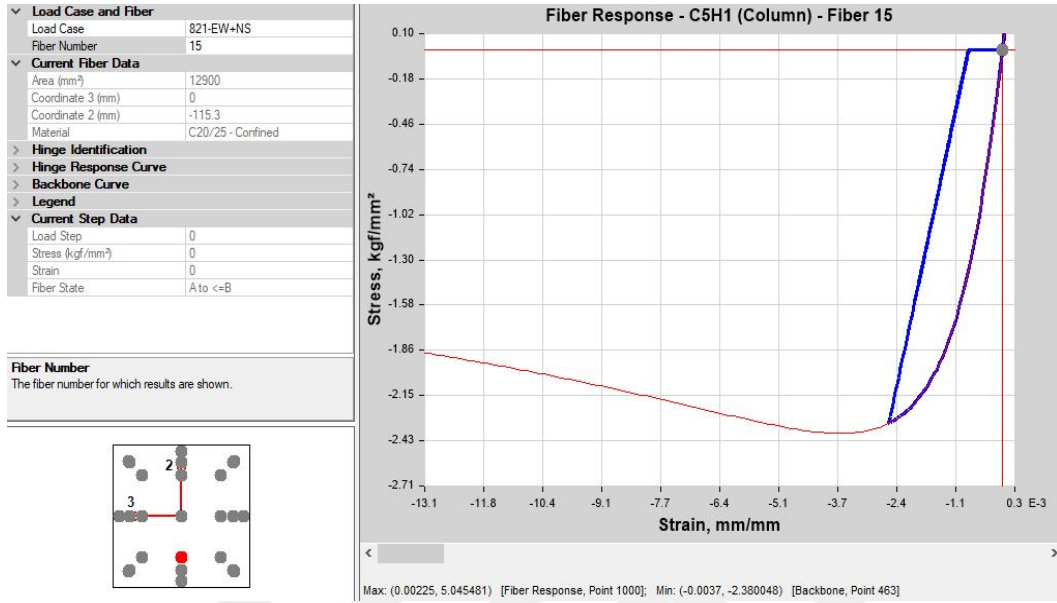
Şekil 5.54 C3 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.55 ‘de görüldüğü gibidir.



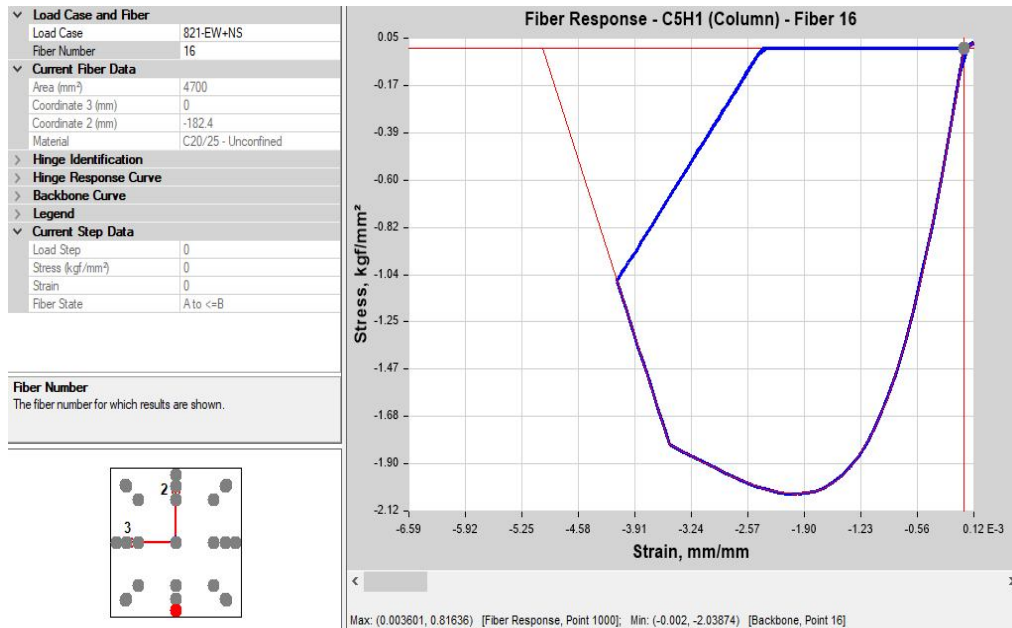
Şekil 5.55 C3 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.56 ‘de görüldüğü gibidir.



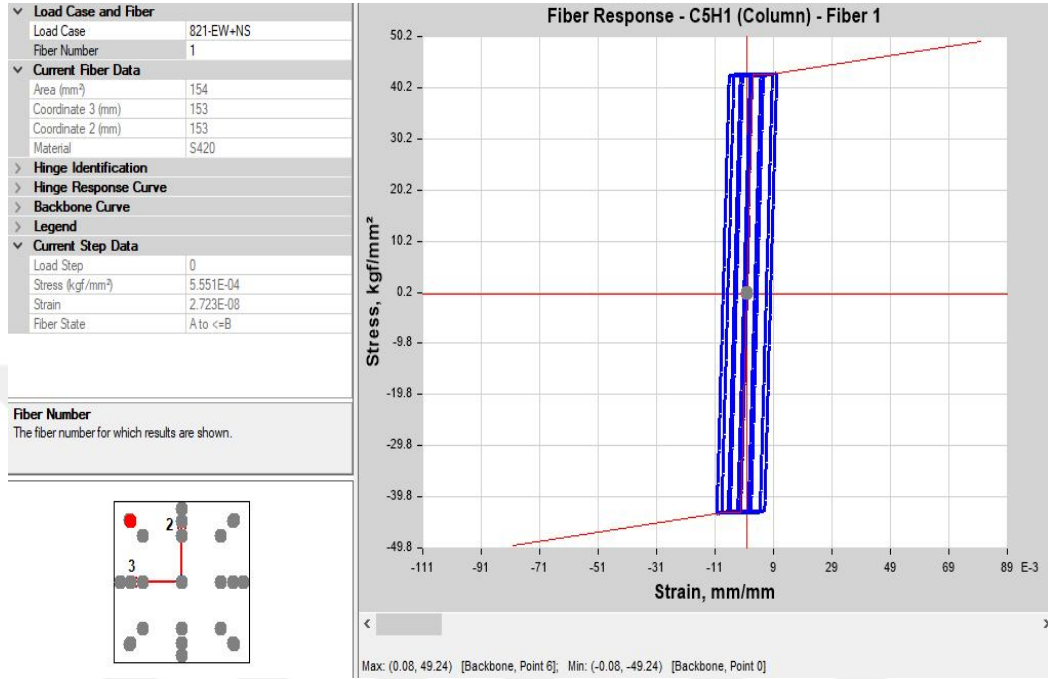
Şekil 5.56 C5 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.57 ‘de görüldüğü gibidir.



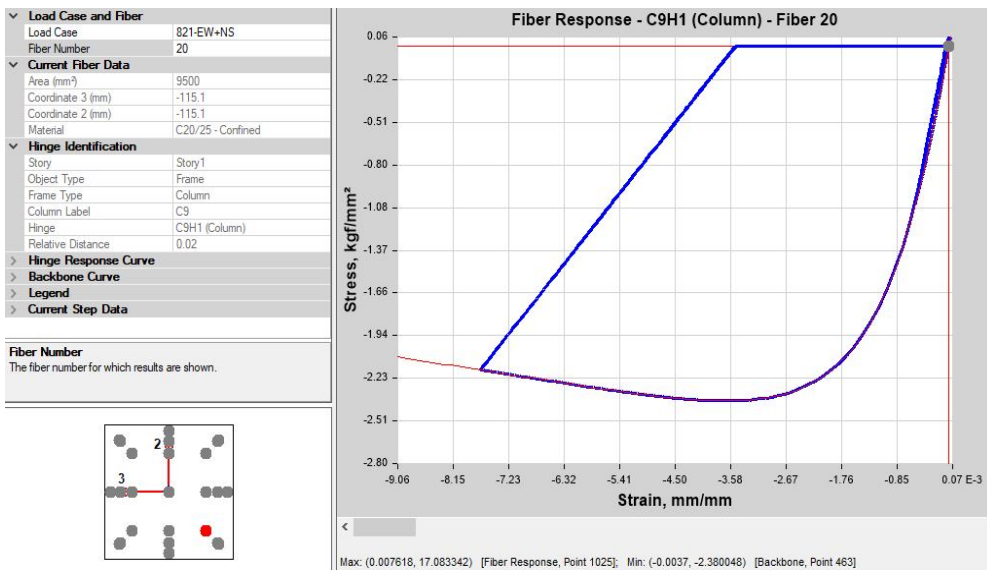
Şekil 5.57 C5 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.58 ‘de görüldüğü gibidir.



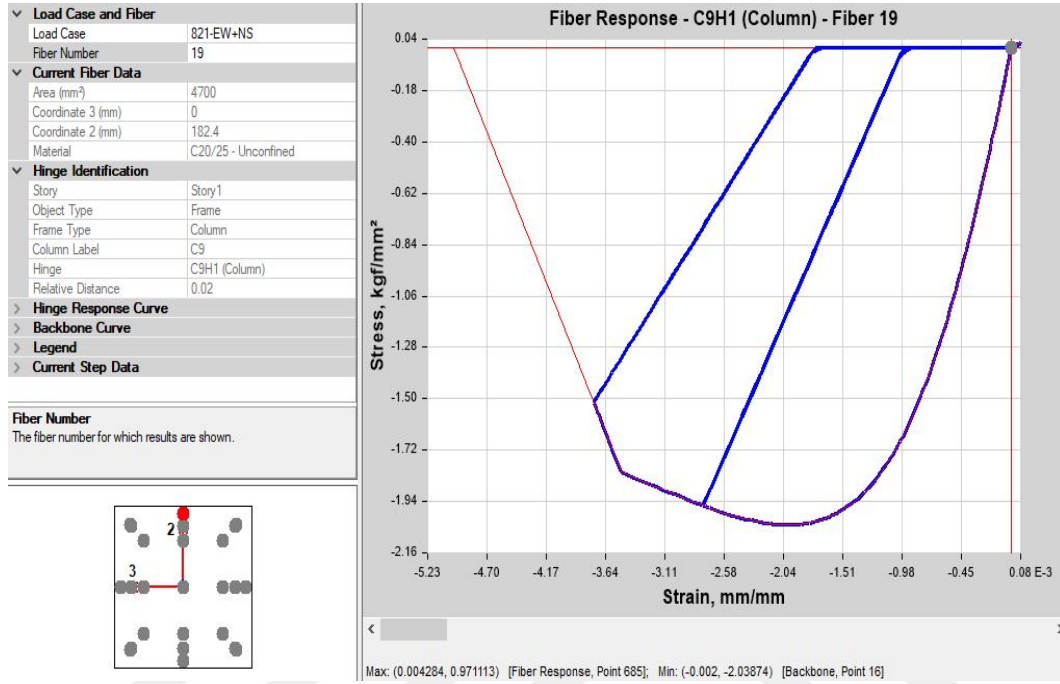
Şekil 5.58 C5 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.59 ‘da görüldüğü gibidir.



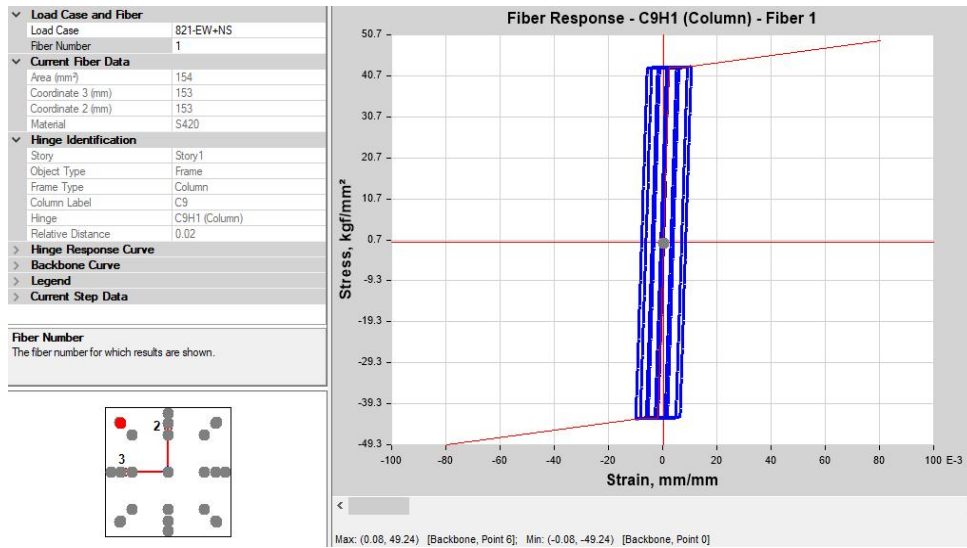
Şekil 5.59 C9 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.60 ‘da görüldüğü gibidir.



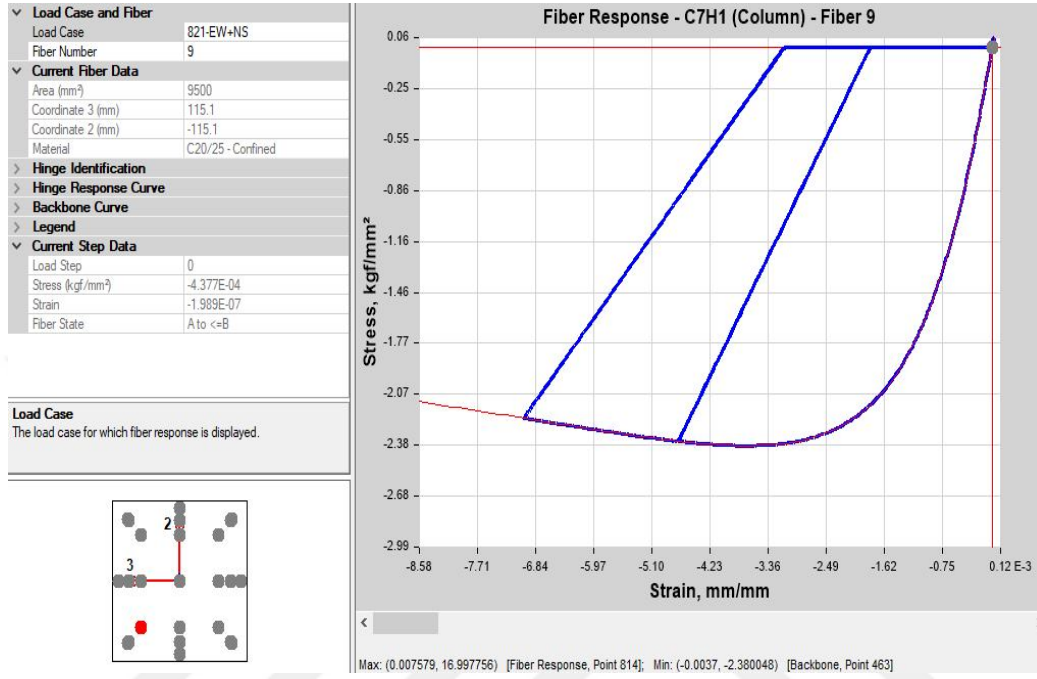
Şekil 5.60 C9 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.61 ‘de görüldüğü gibidir.



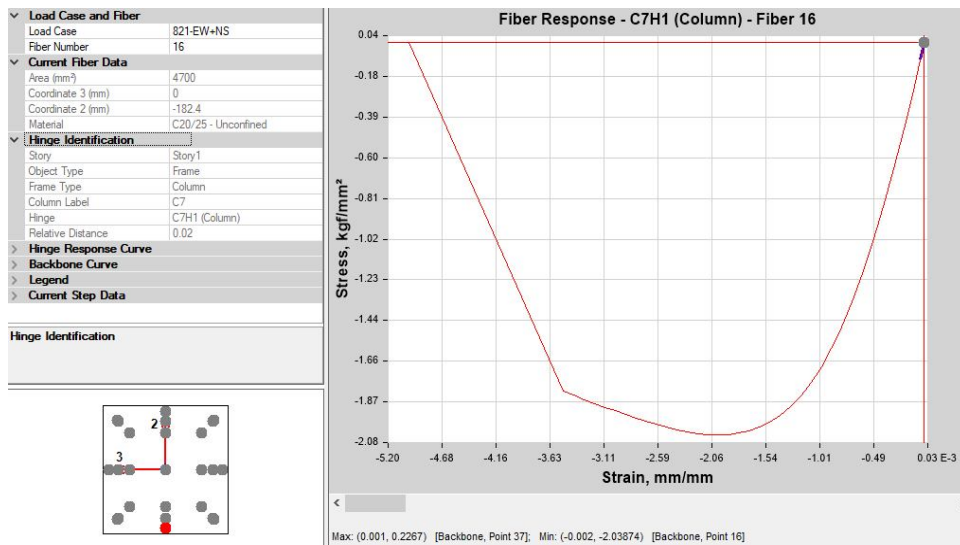
Şekil 5.61 C9 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.62 ‘de görüldüğü gibidir.



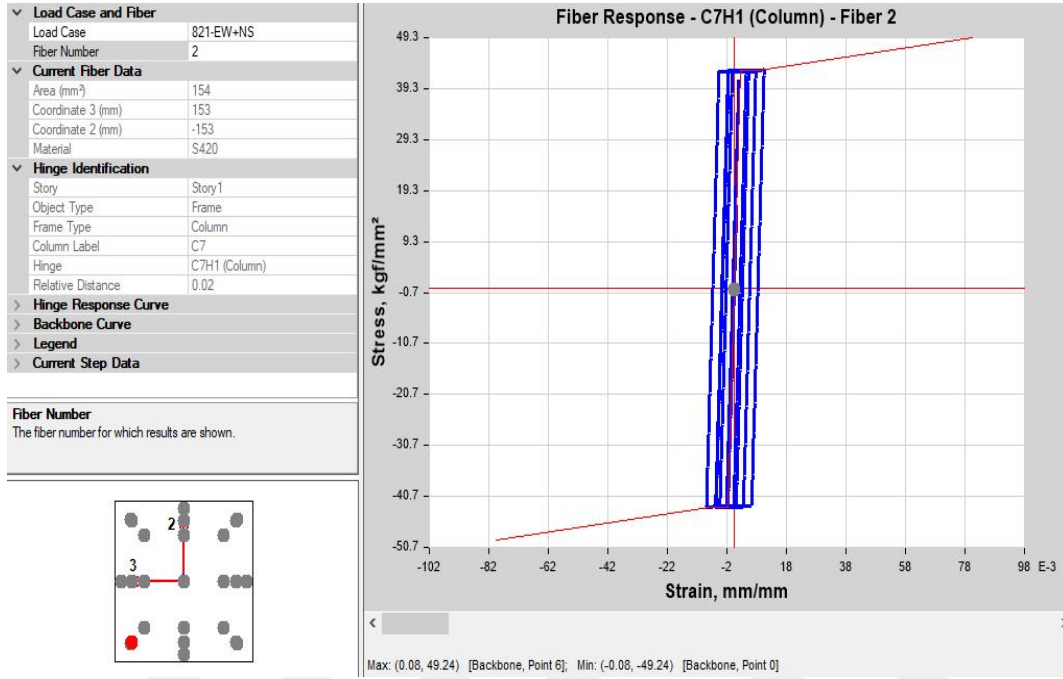
Şekil 5.62 C7 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.63 ‘de görüldüğü gibidir.



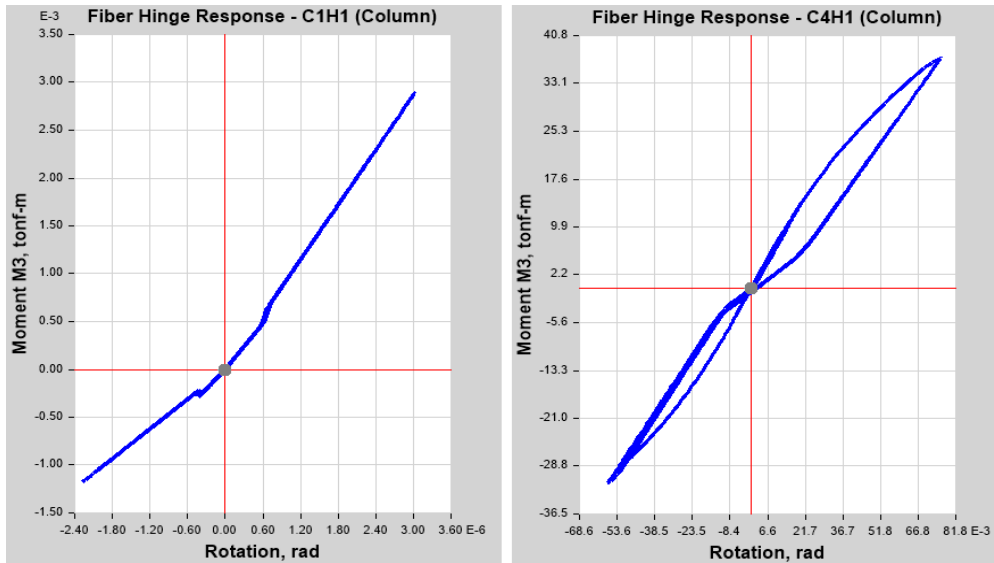
Şekil 5.63 C7 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.64 ‘de görüldüğü gibidir.



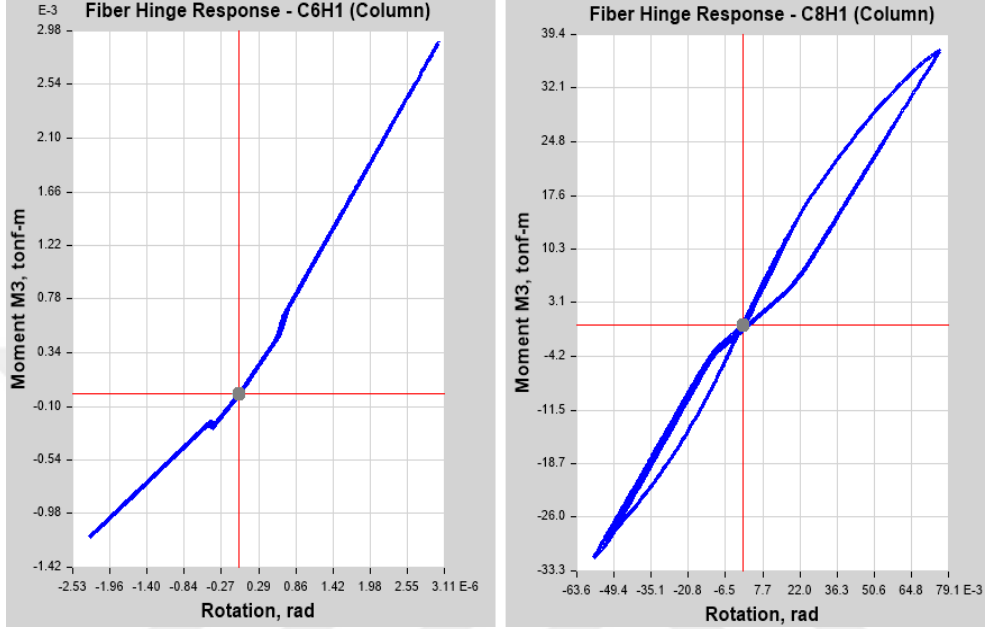
Şekil 5.64 C7 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 ve C4 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.65’de görüldüğü gibidir.



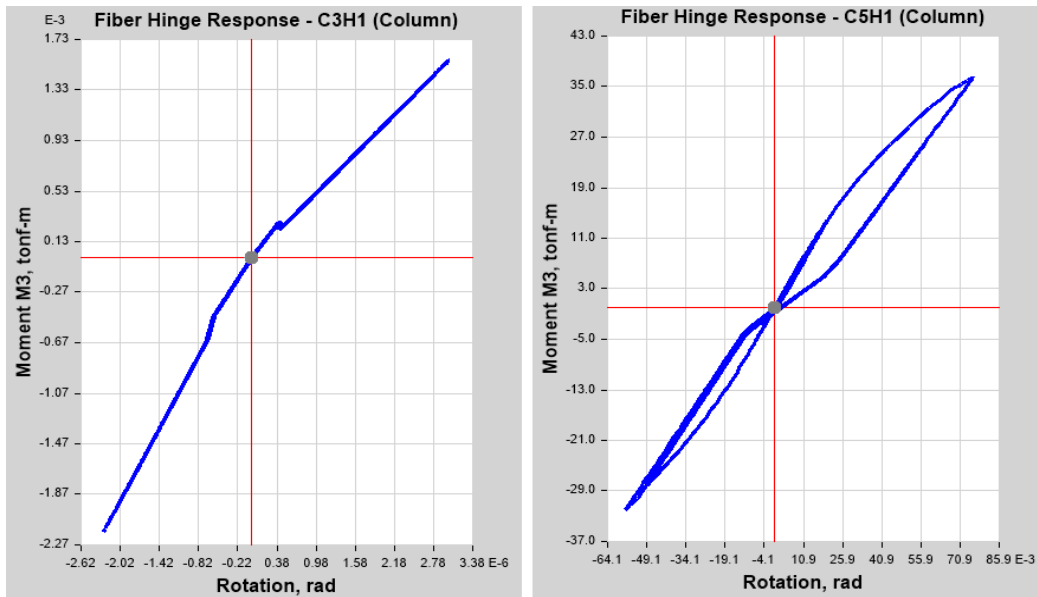
Şekil 5.65 C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C6 ve C8 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.66’da görüldüğü gibidir.



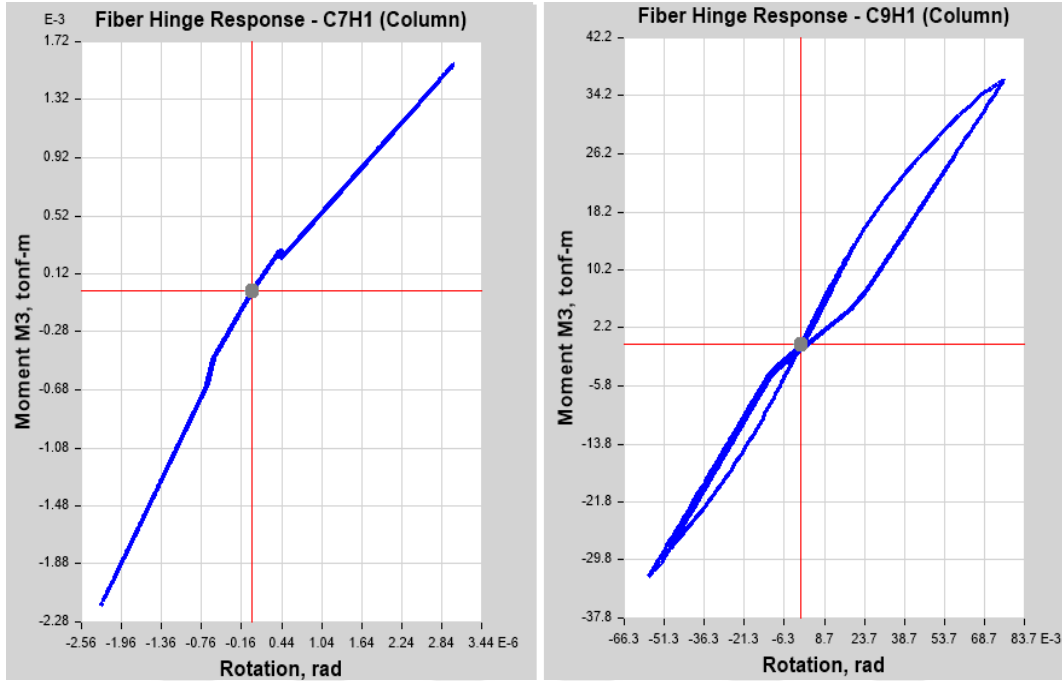
Şekil 5.66 C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C3 ve C5 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.67’de görüldüğü gibidir.



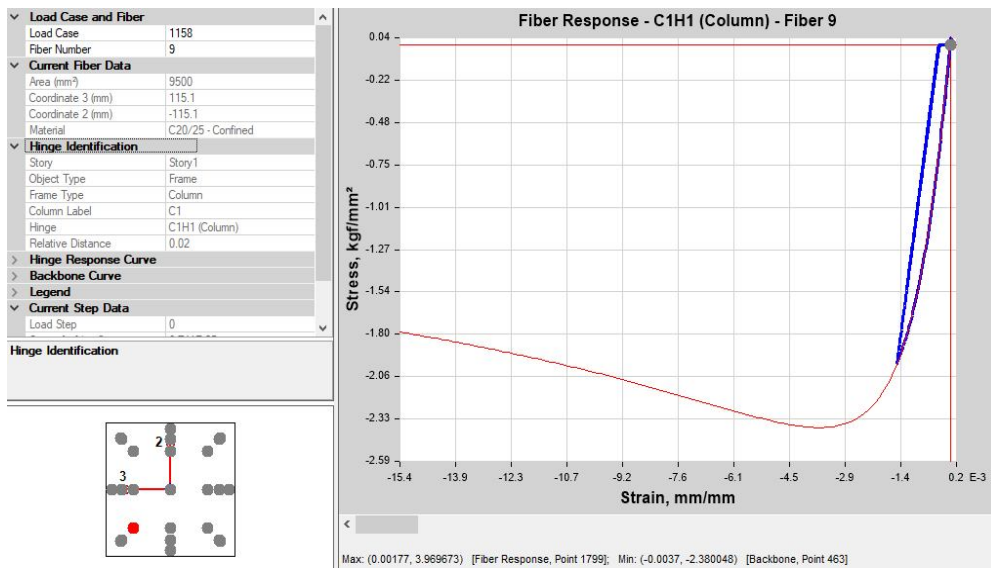
Şekil 5.67 C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C3 ve C5 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.68’de görüldüğü gibidir.



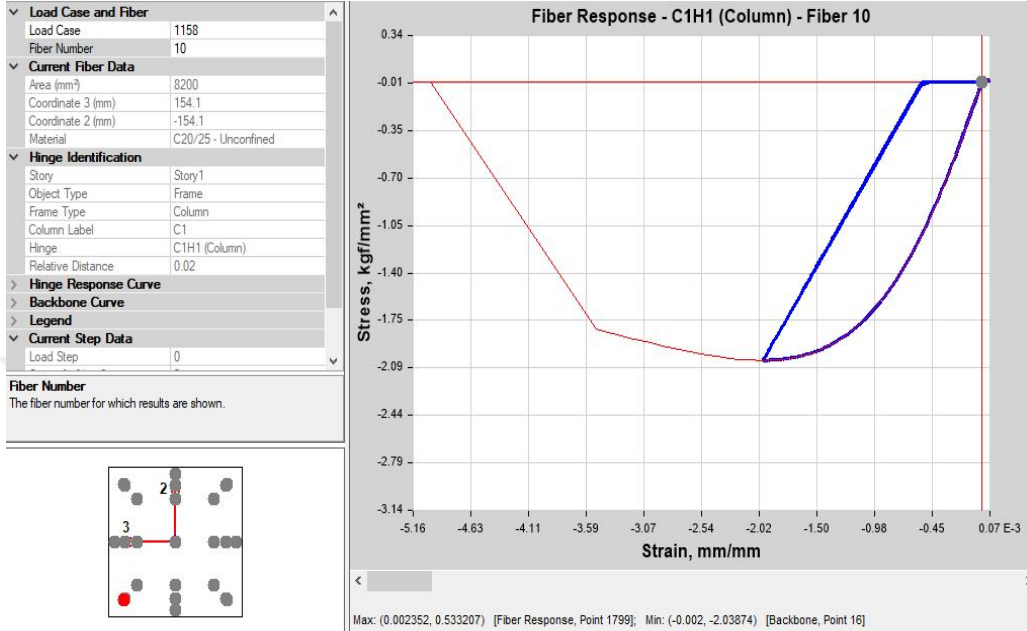
Şekil 5.68 C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.69 ‘de görüldüğü gibidir.



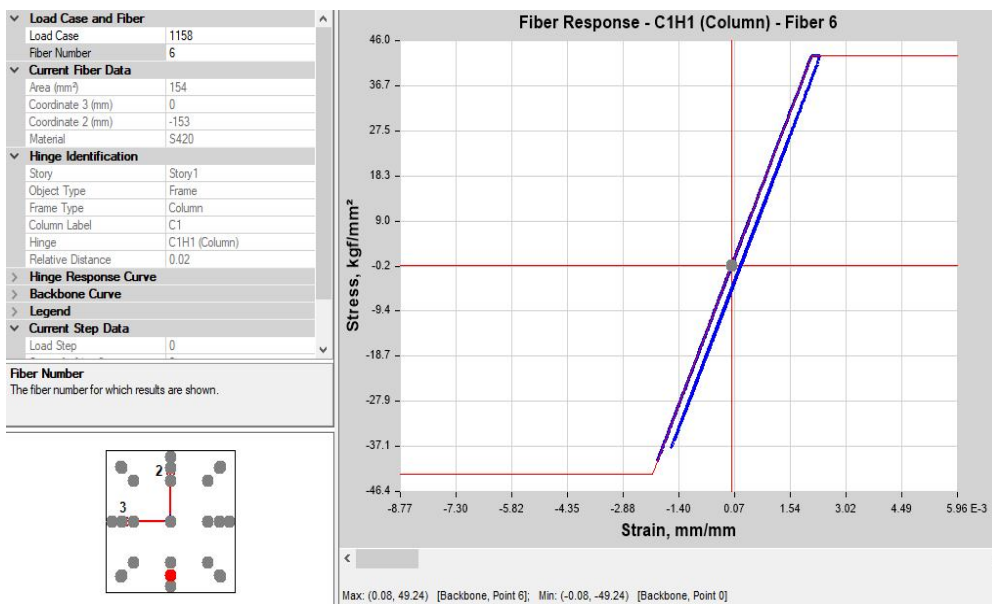
Şekil 5.69 C1 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.70 ‘de görüldüğü gibidir.



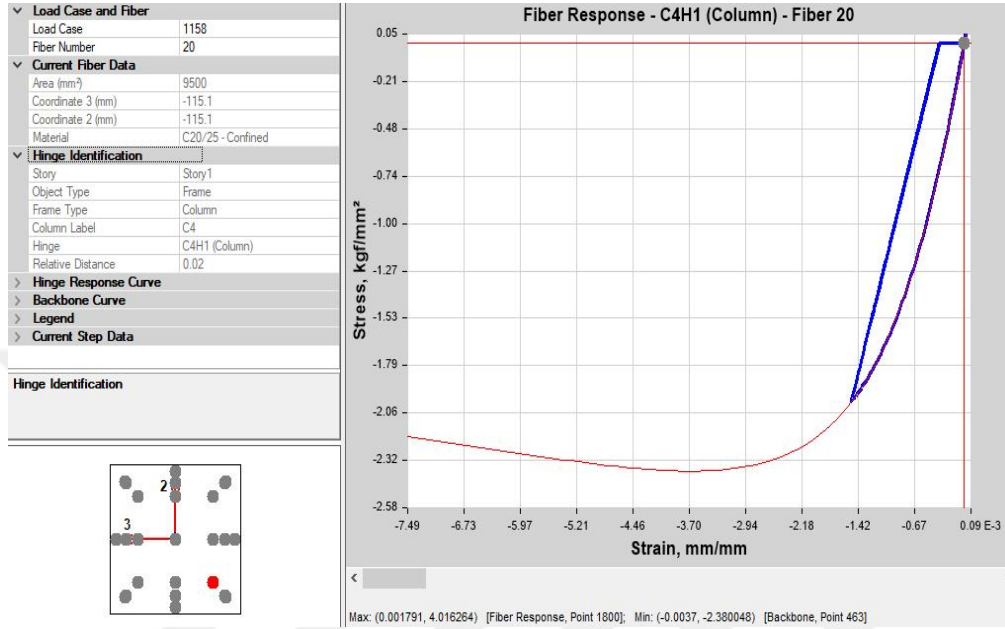
Şekil 5.70 C1 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.71 ‘de görüldüğü gibidir.



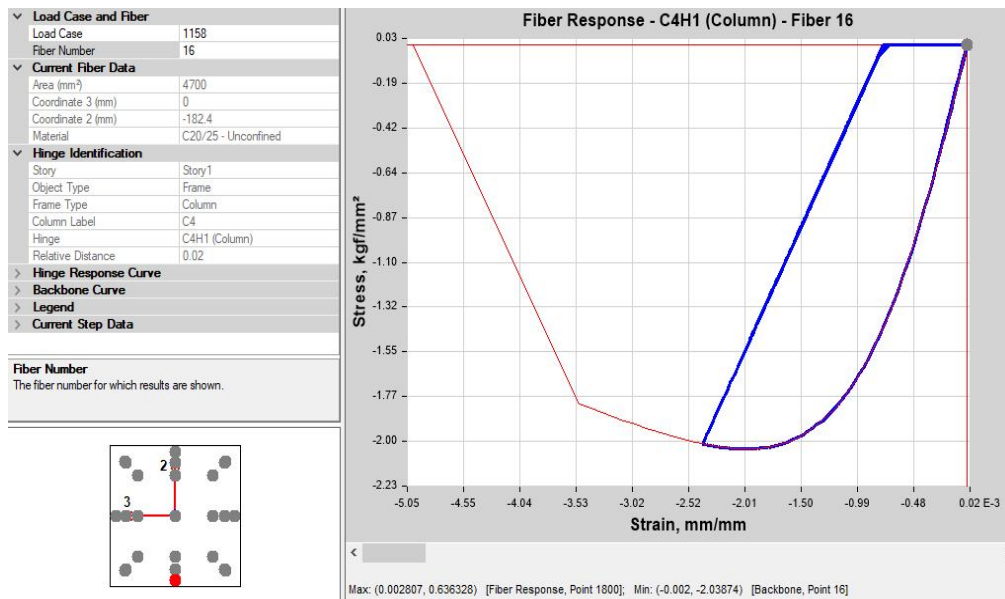
Şekil 5.71 C1 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.72 ‘de görüldüğü gibidir.



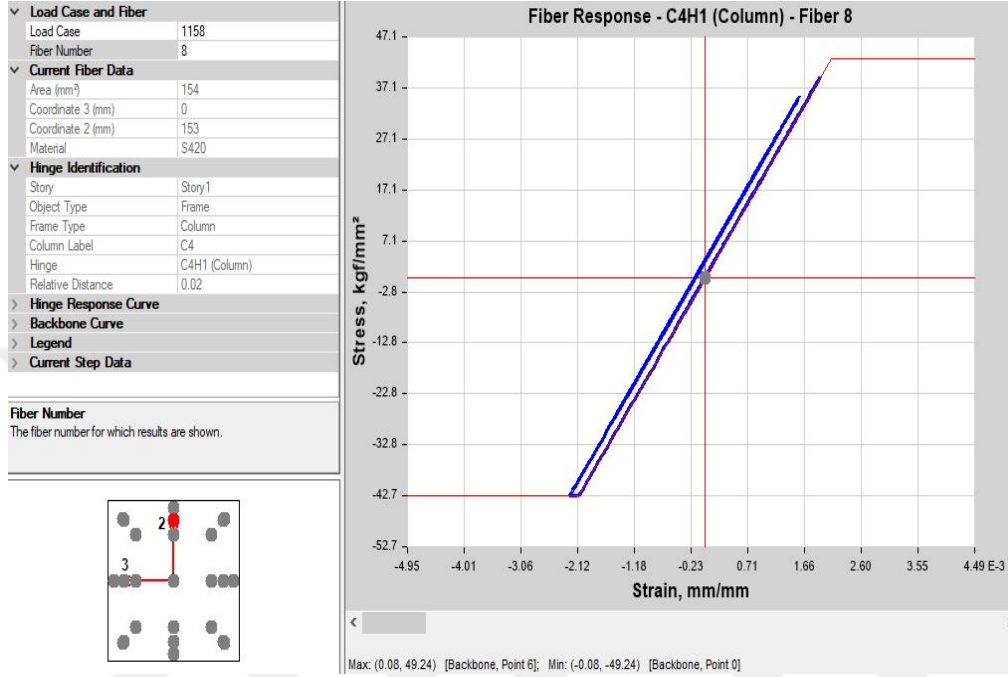
Şekil 5.72 C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.73 ‘de görüldüğü gibidir.



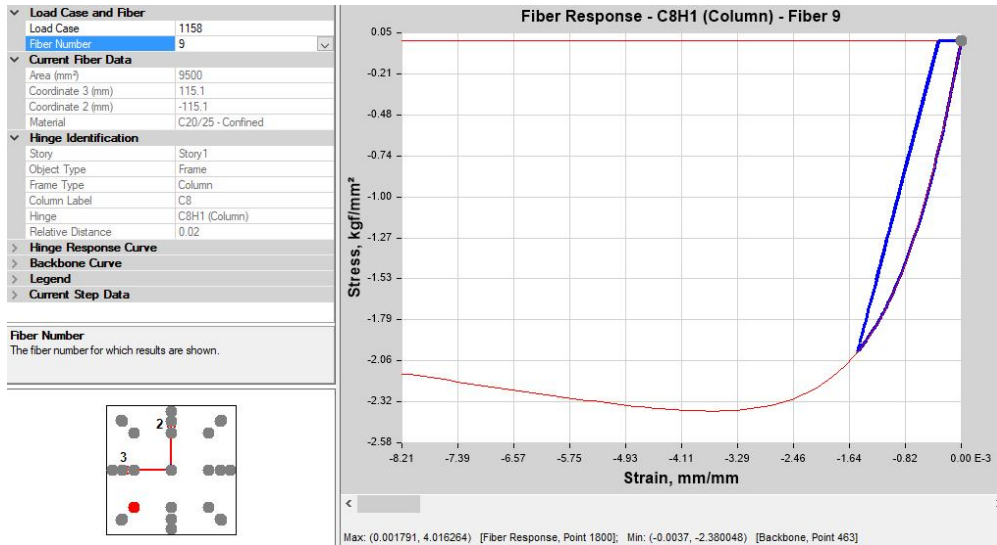
Şekil 5.73 C4 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.74 ‘de görüldüğü gibidir.



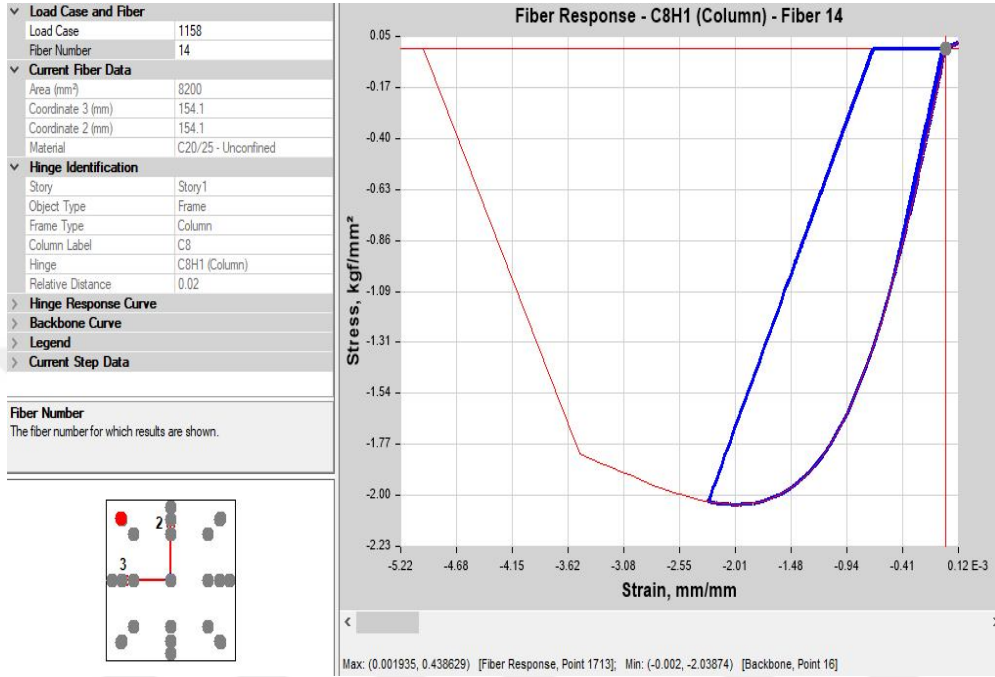
Şekil 5.74 C4 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.75 ‘de görüldüğü gibidir.



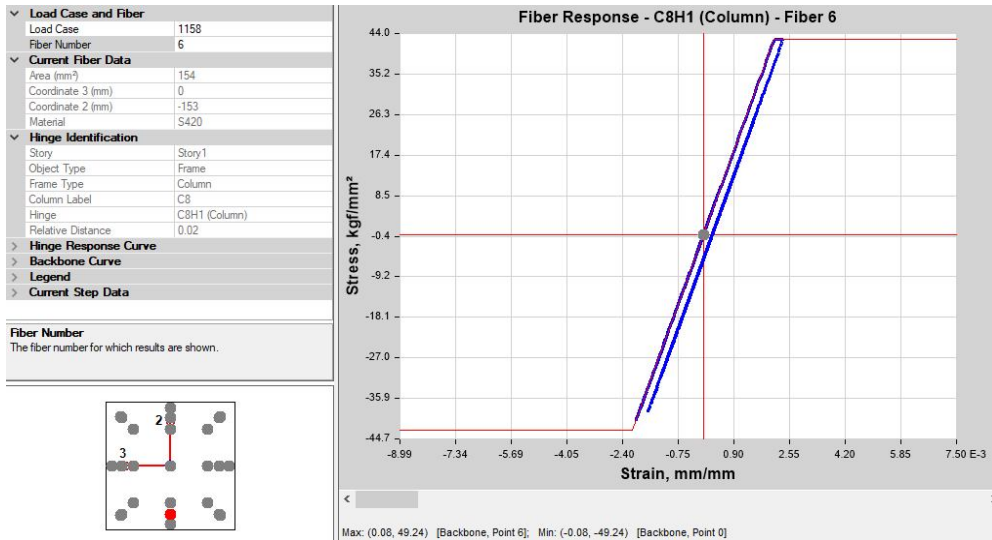
Şekil 5.75 C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.76 ‘da görüldüğü gibidir.



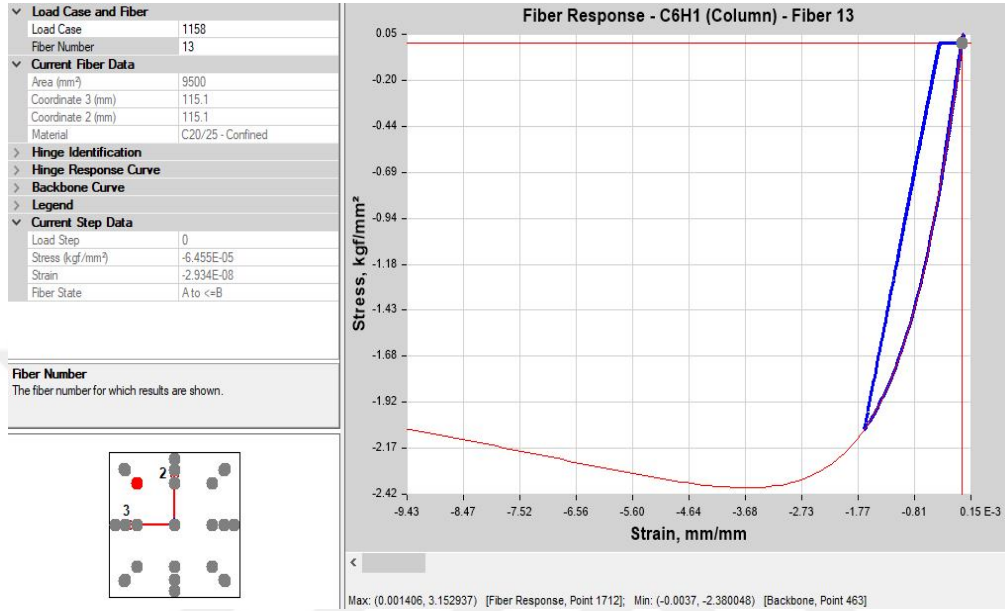
Şekil 5.76 C8 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.77 ‘de görüldüğü gibidir.



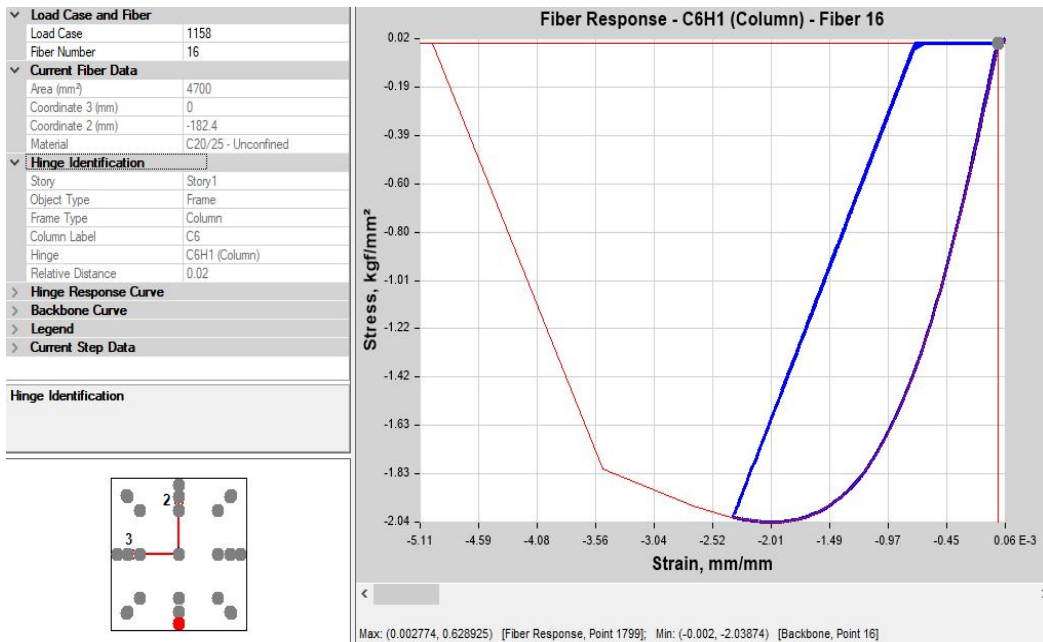
Şekil 5.77 C8 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.78 ‘de görüldüğü gibidir.



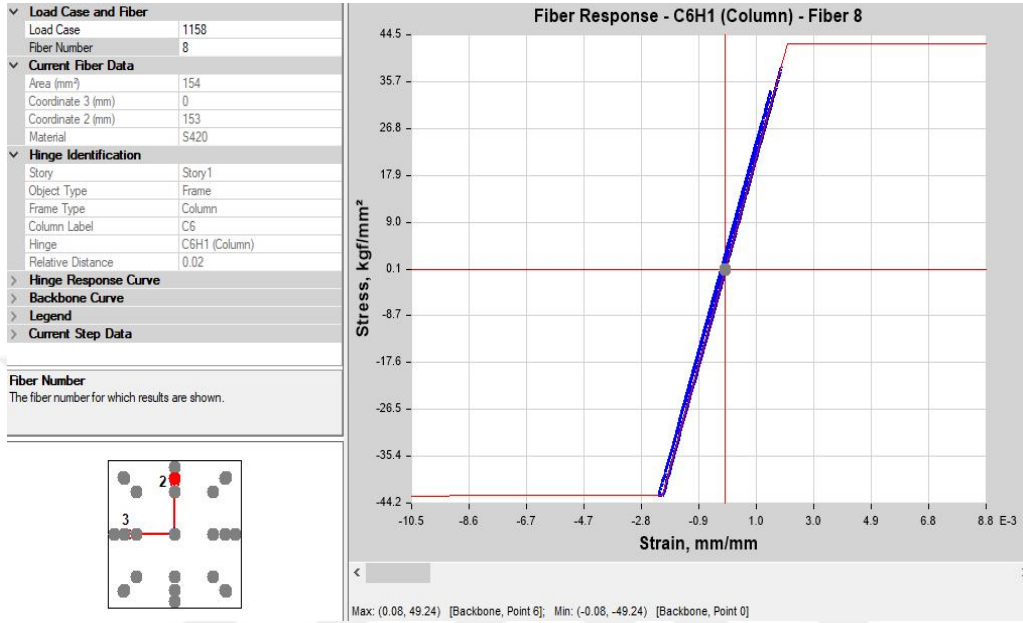
Şekil 5.78 C6 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.79 ‘da görüldüğü gibidir.



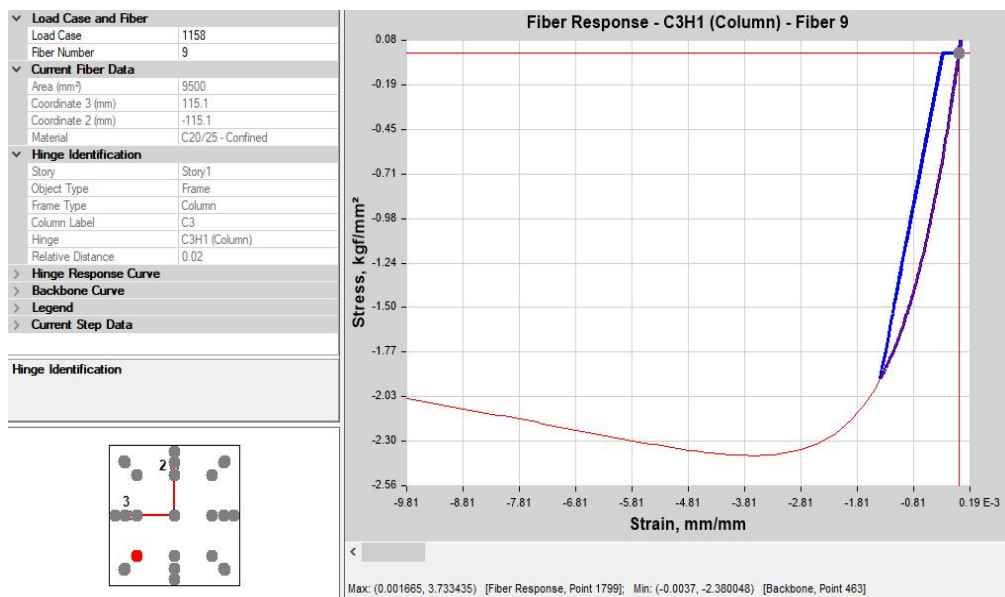
Şekil 5.79 C6 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.80 ‘de görüldüğü gibidir.



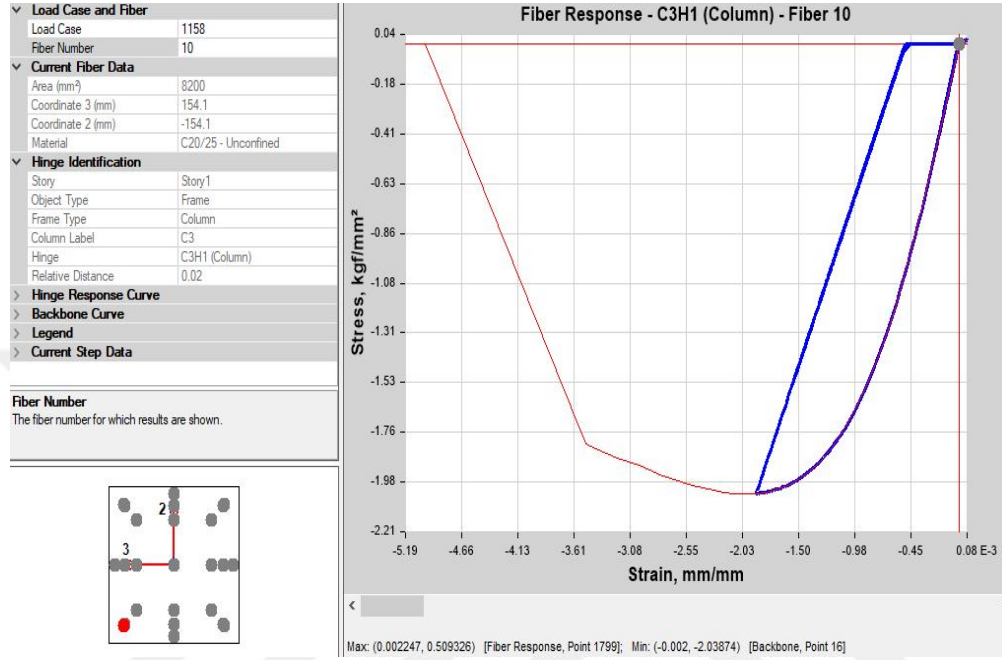
Şekil 5.80 C6 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.81 ‘de görüldüğü gibidir.



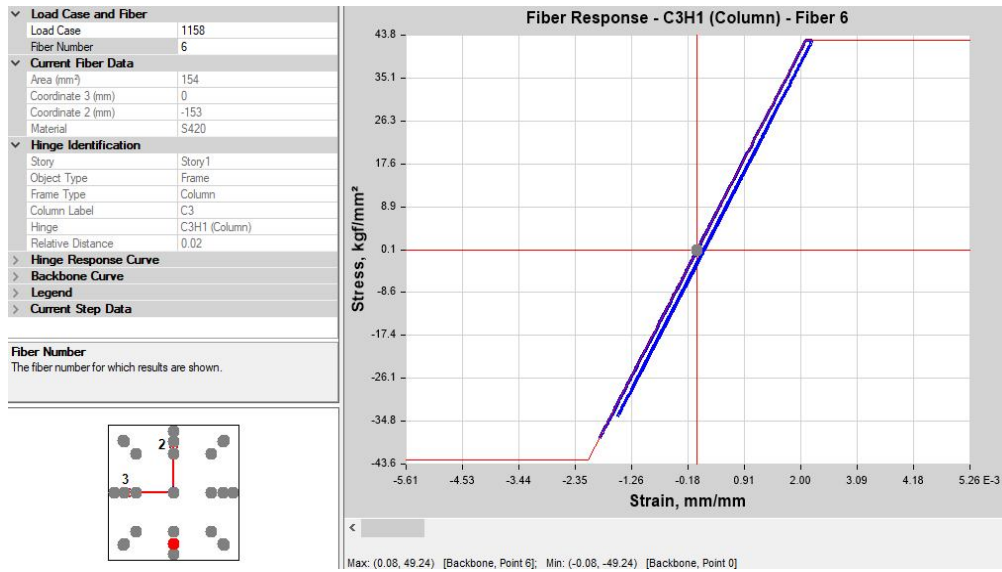
Şekil 5.81 C3 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.82 ‘de görüldüğü gibidir.



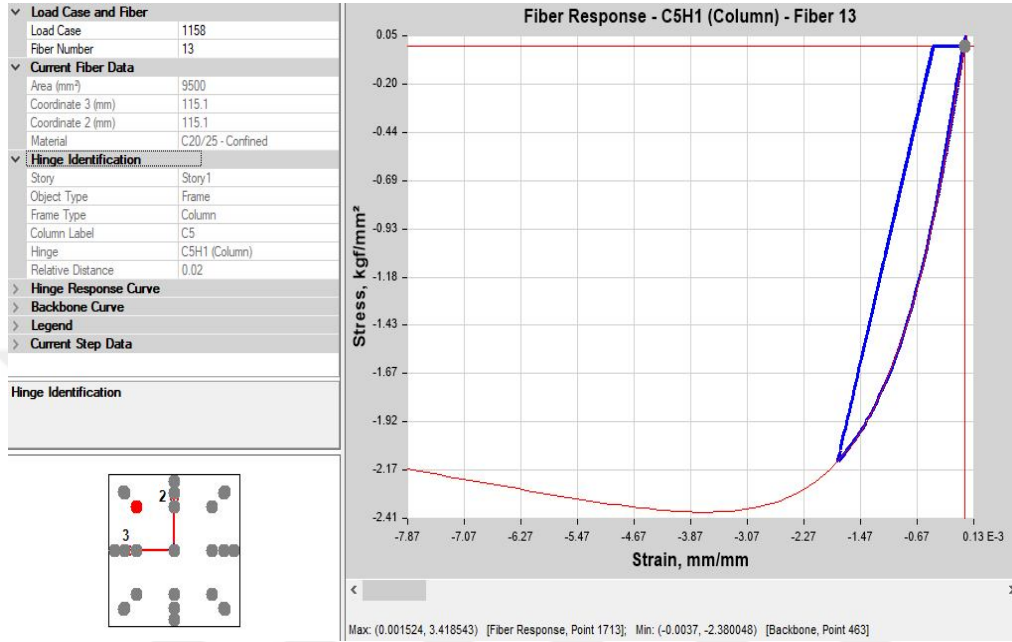
Şekil 5.82 C3 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 8.83 ‘de görüldüğü gibidir.



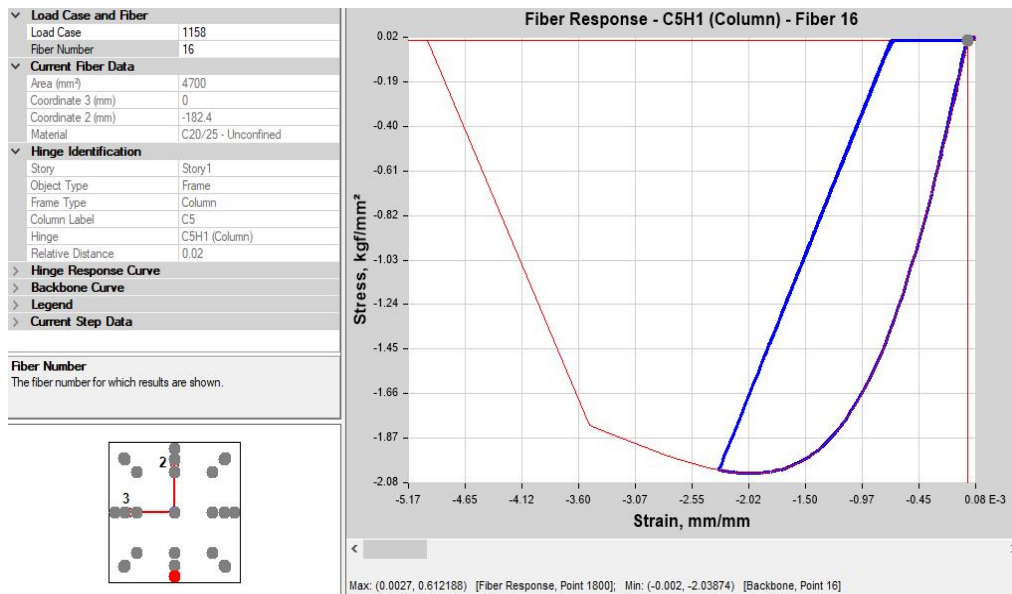
Şekil 5.83 C3 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.84 ‘de görüldüğü gibidir.



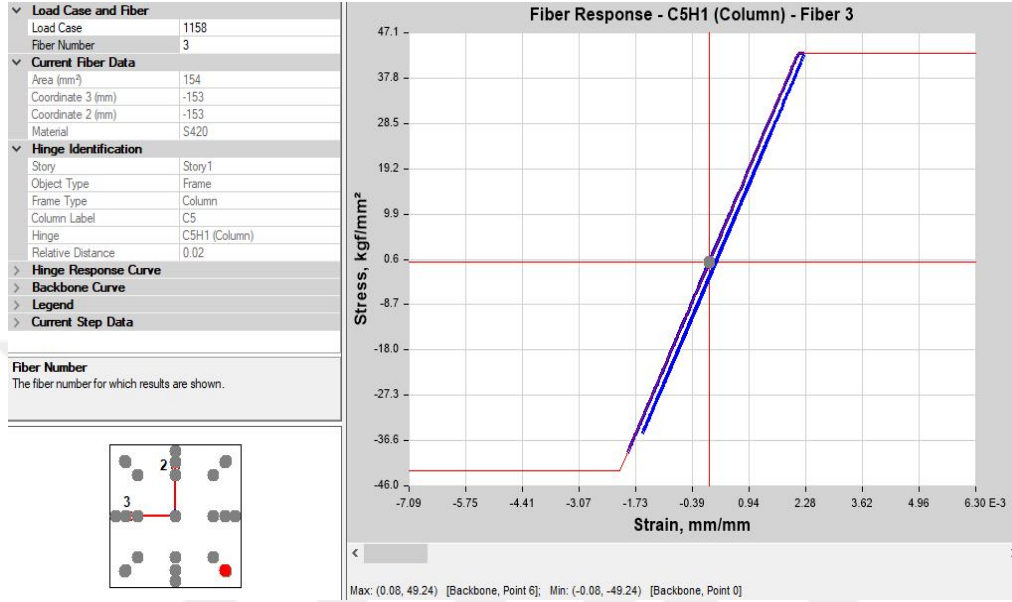
Şekil 5.84 C5 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.85 ‘de görüldüğü gibidir.



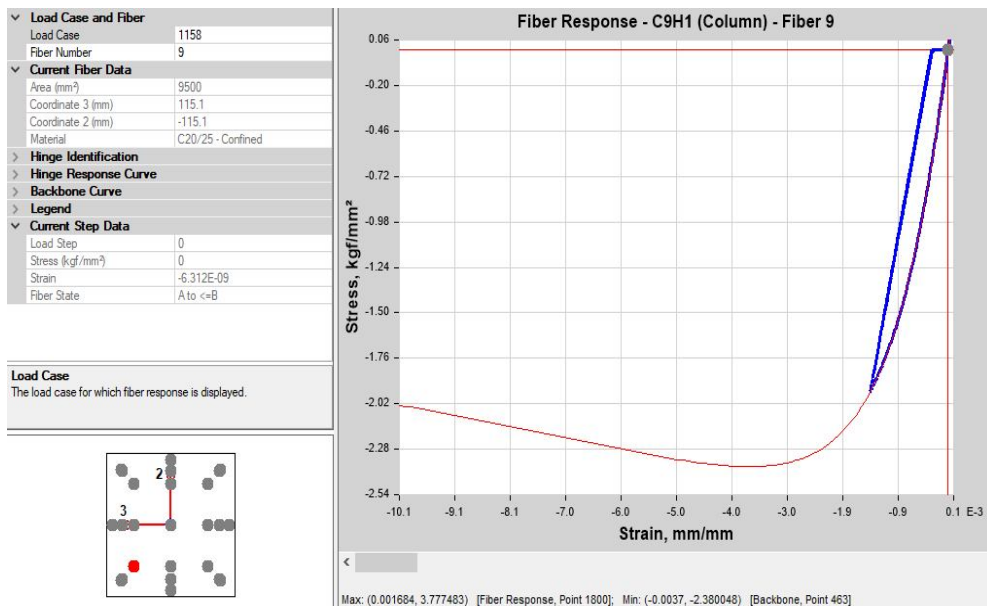
Şekil 5.85 C5 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.86 ‘de görüldüğü gibidir.



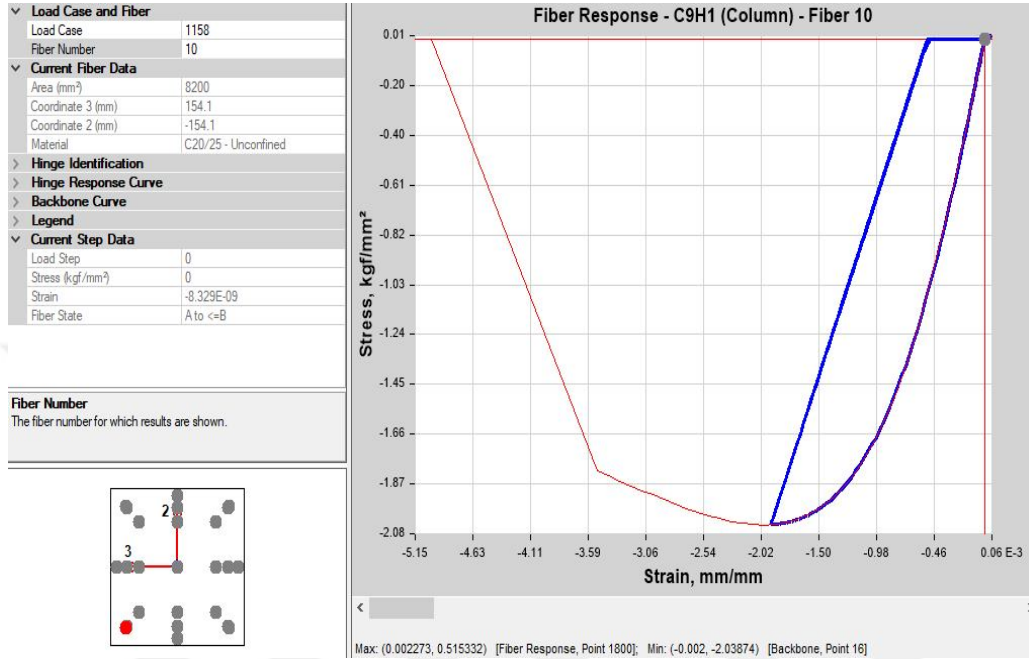
Şekil 5.86 C5 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.87 ‘de görüldüğü gibidir.



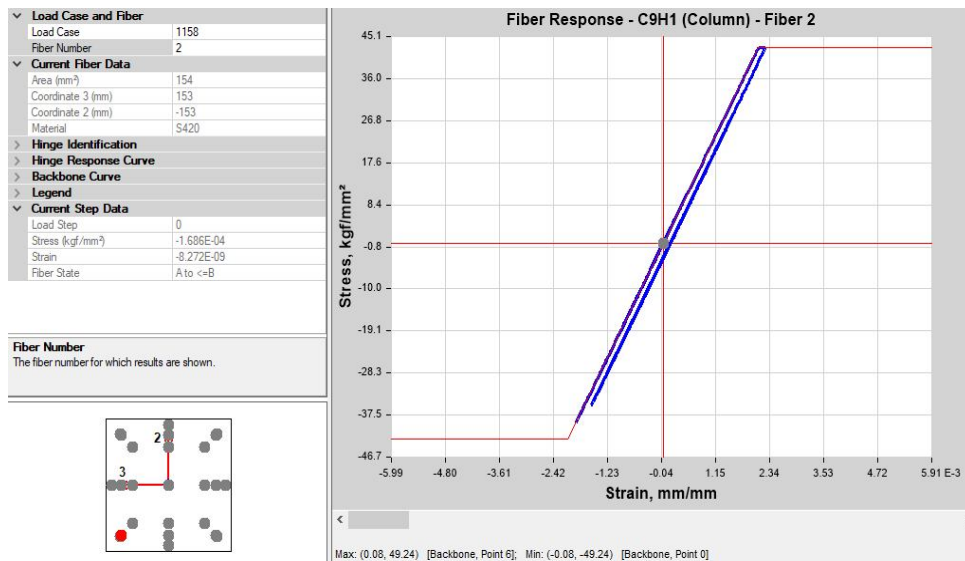
Şekil 5.87 C9 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.88 ‘de görüldüğü gibidir.



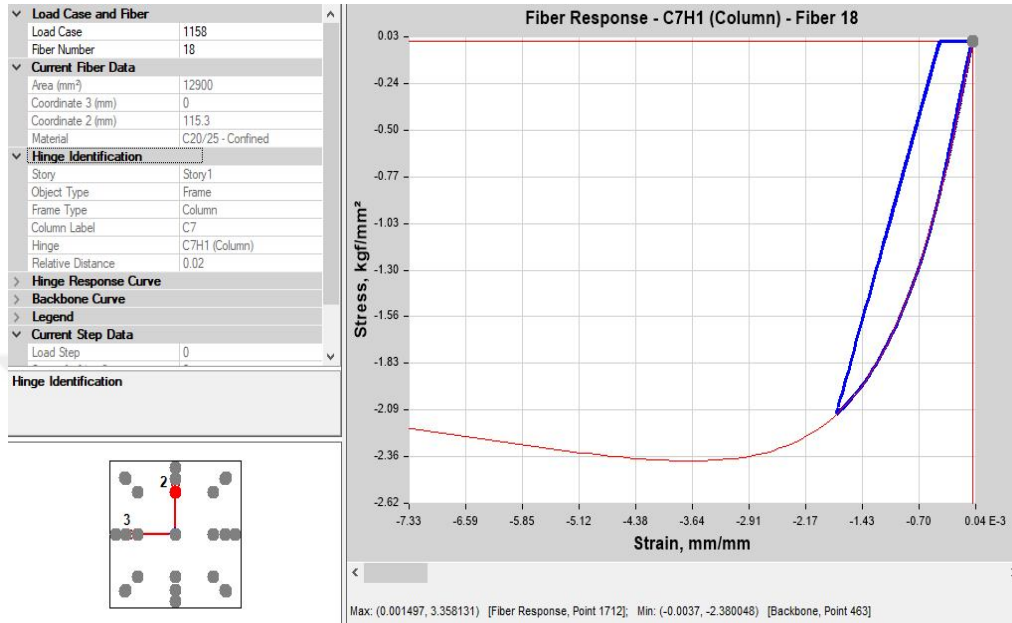
Şekil 5.88 C9 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.89 ‘da görüldüğü gibidir.



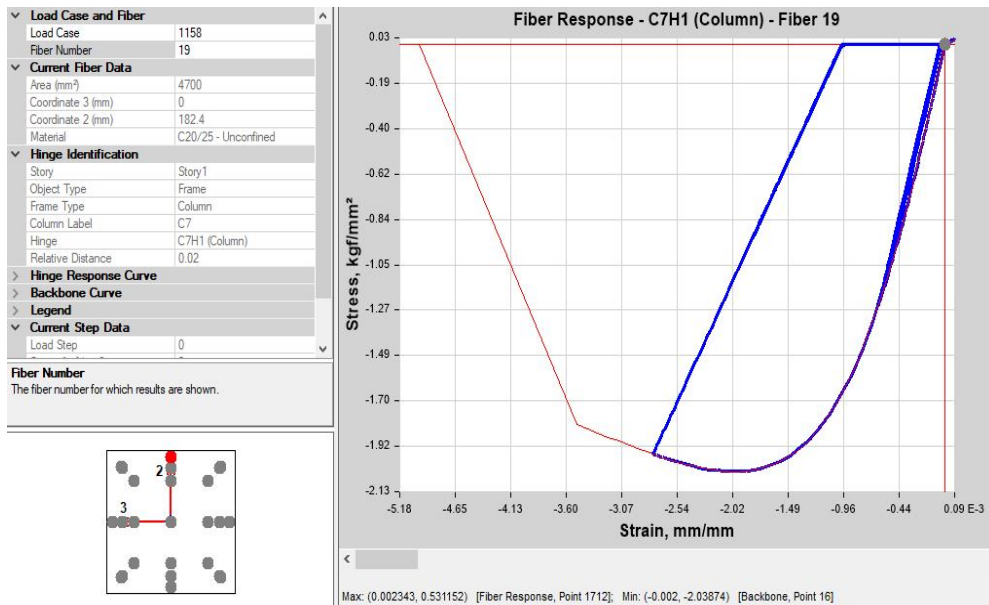
Şekil 5.89 C9 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.90 ‘da görüldüğü gibidir.



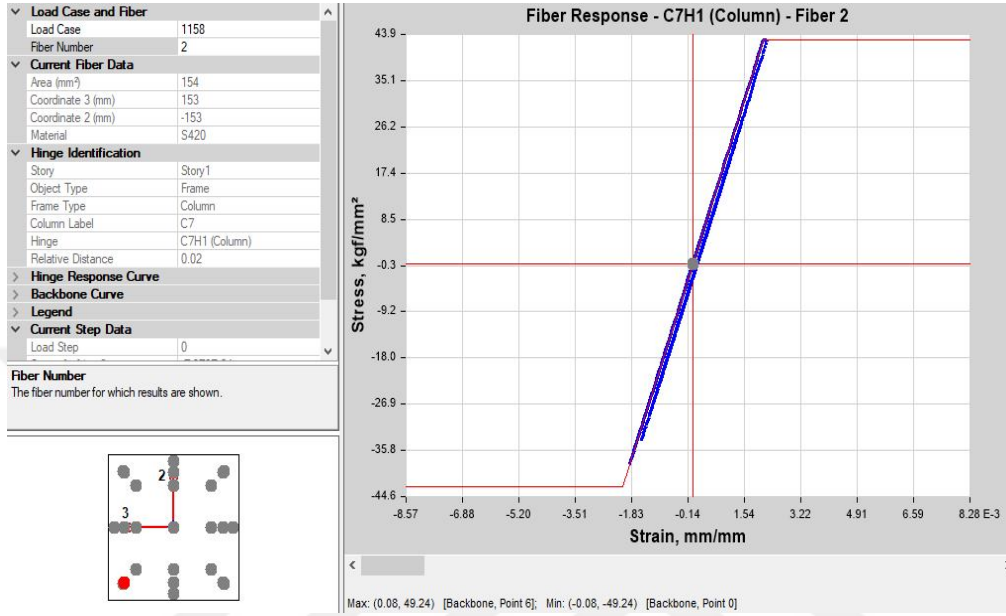
Şekil 5.90 C7 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.91 ‘de görüldüğü gibidir.



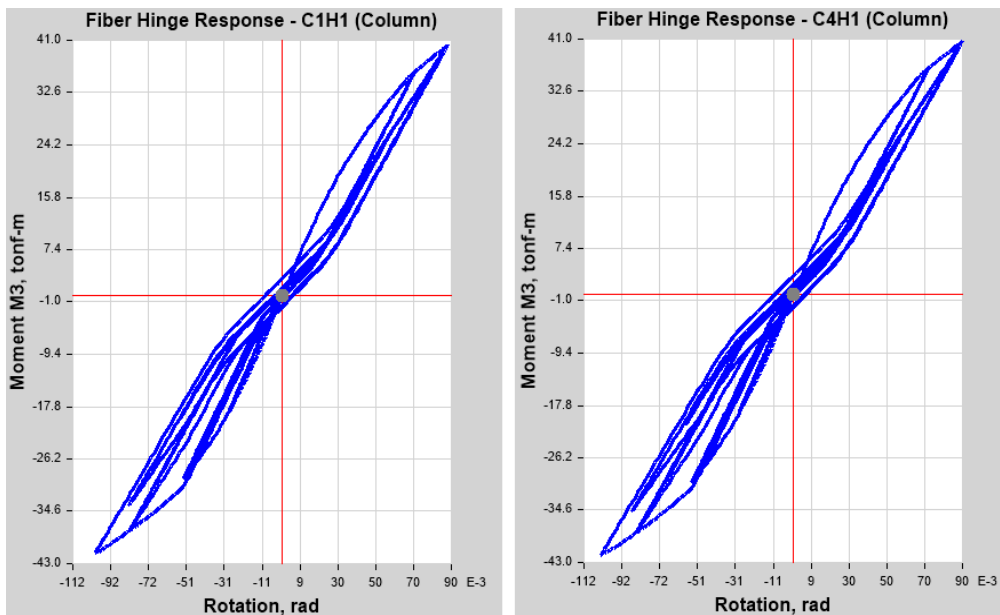
Şekil 5.91 C7 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.92 ‘de görüldüğü gibidir.



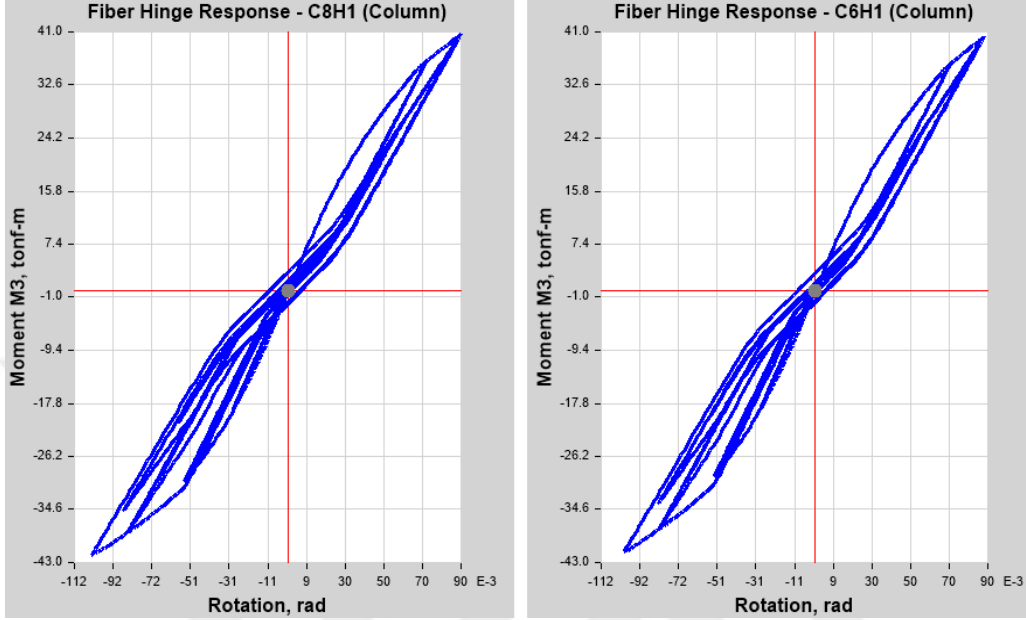
Şekil 5.92 C7 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 ve C4 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.93’de görüldüğü gibidir.



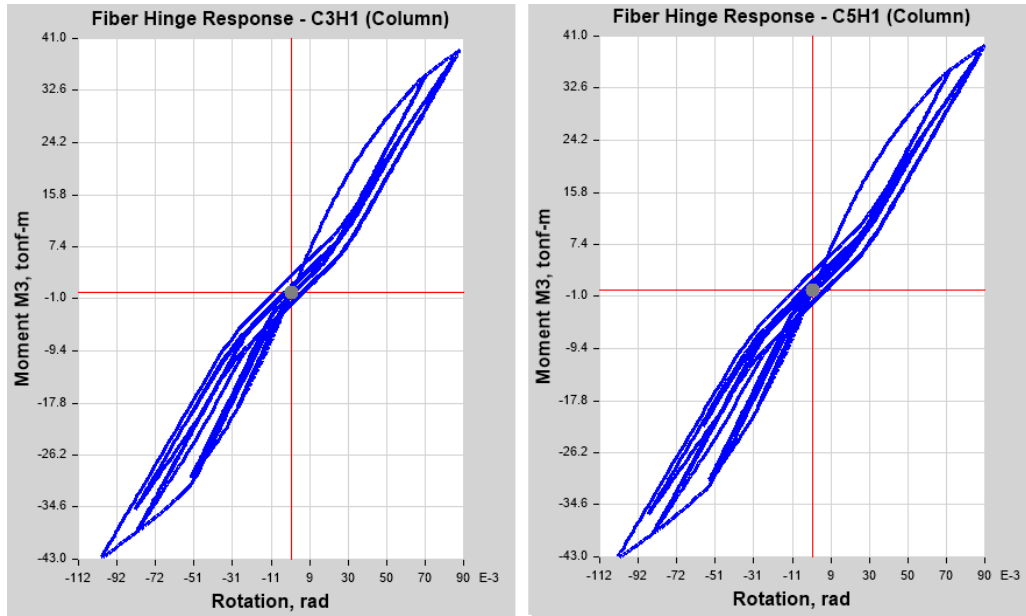
Şekil 5.93 C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C8 ve C6 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.94’da görüldüğü gibidir.



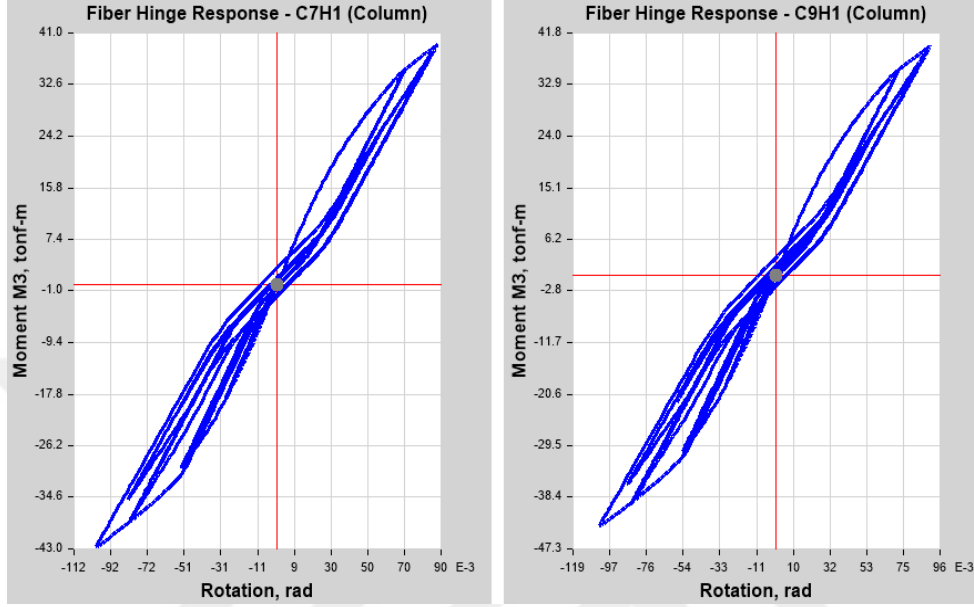
Şekil 5.94 C8 ve C6 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C3 ve C5 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.95’de görüldüğü gibidir.



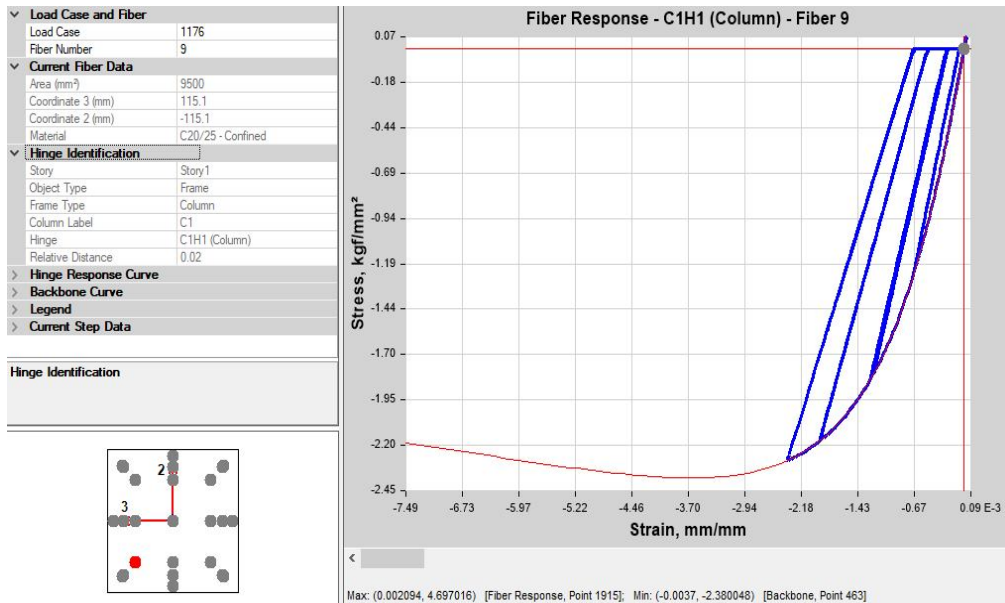
Şekil 5.95 C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C7 ve C9 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.96’da görüldüğü gibidir.



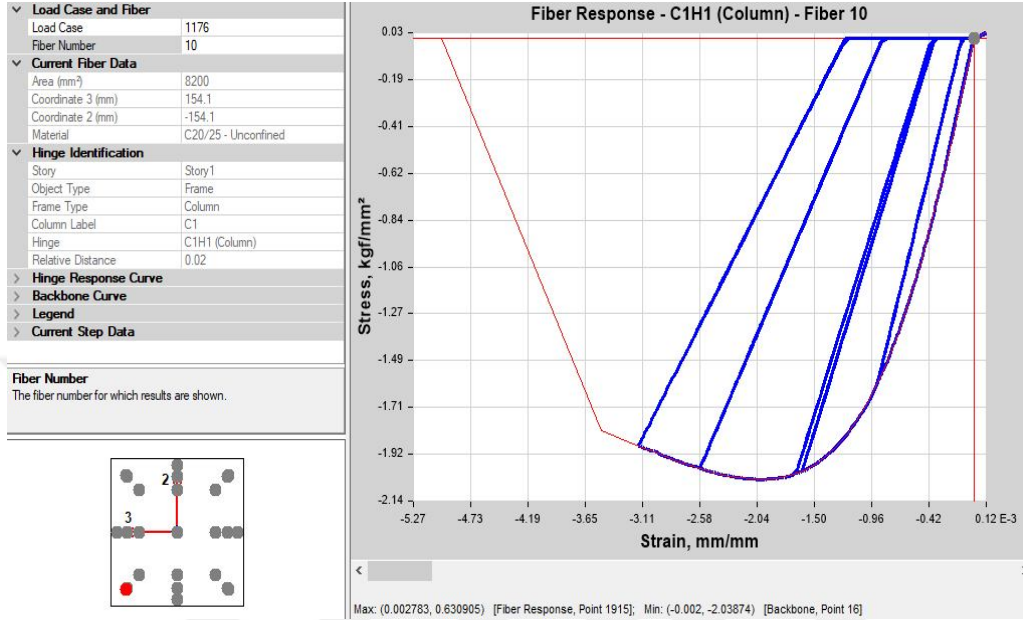
Şekil 5.96 C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalsın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.97 ‘de görüldüğü gibidir.



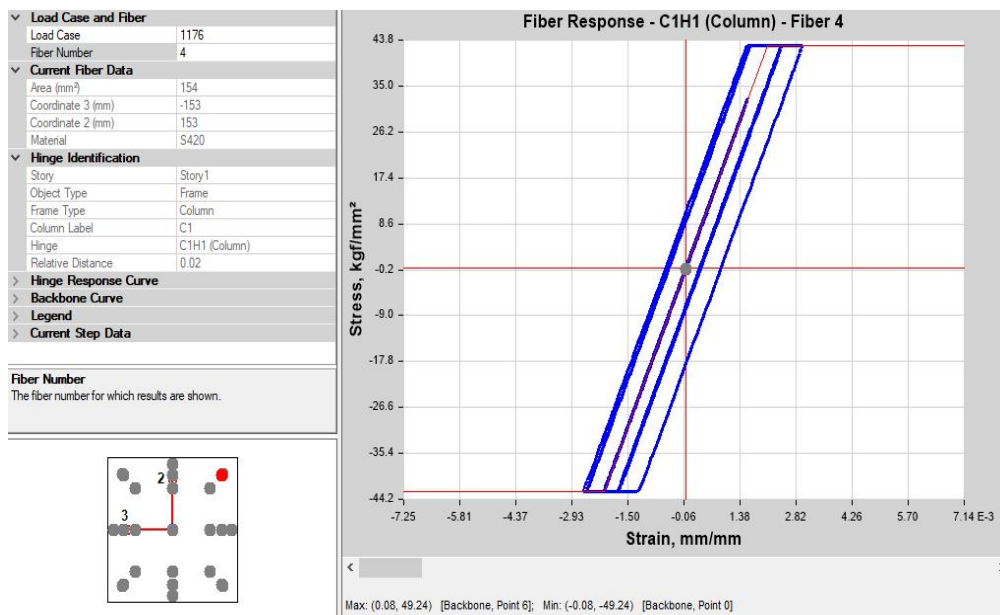
Şekil 5.97 C1 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.98 ‘de görüldüğü gibidir.



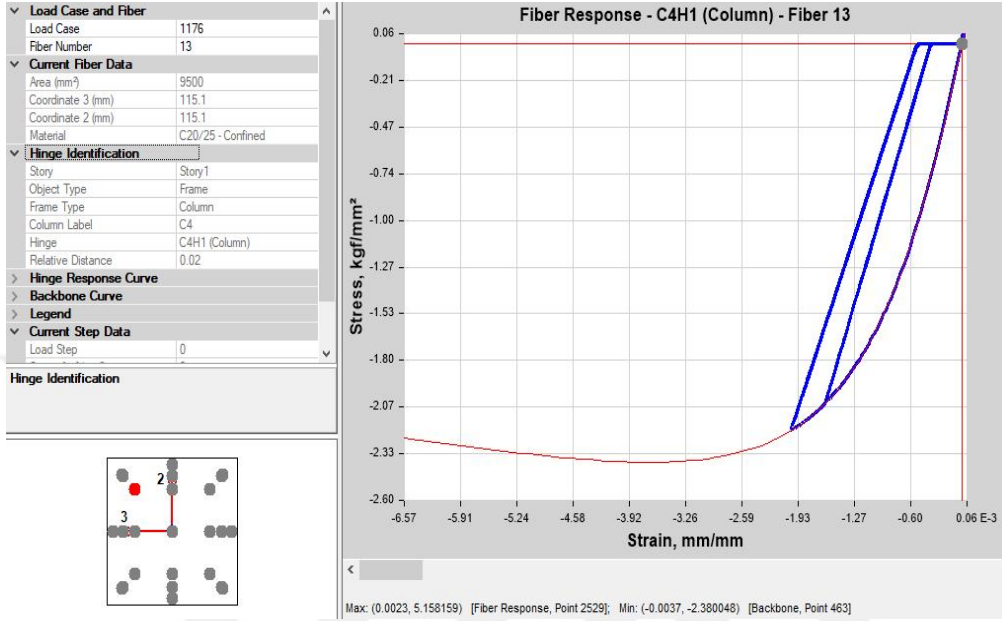
Şekil 5.98 C1 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.99 ‘da görüldüğü gibidir.



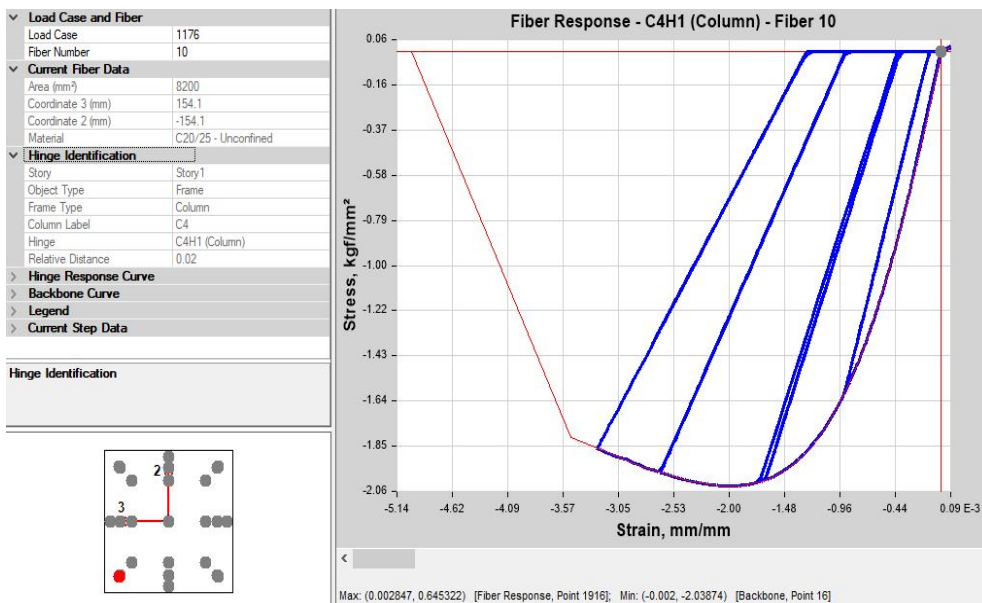
Şekil 5.99 C1 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.100 ‘de görüldüğü gibidir.



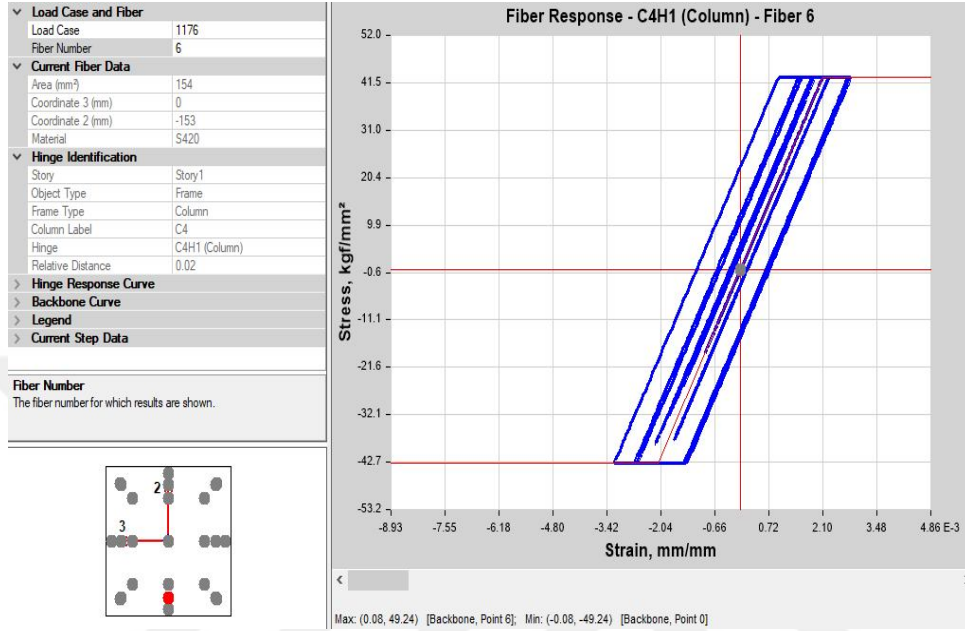
Şekil 5.100 C4 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.101 ‘de görüldüğü gibidir.



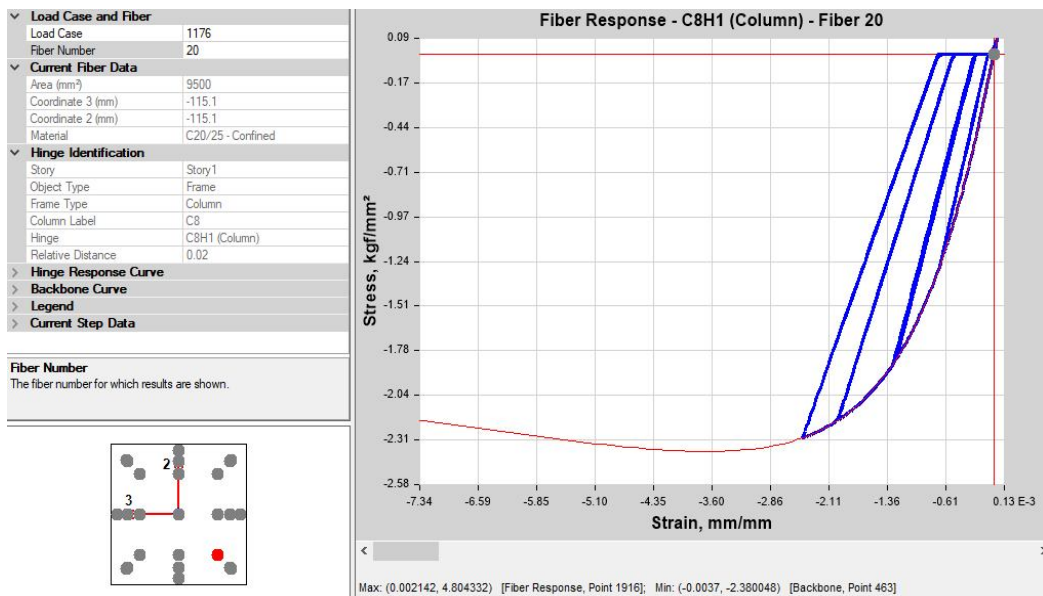
Şekil 5.101 C4 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C4 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.102 ‘de görüldüğü gibidir.



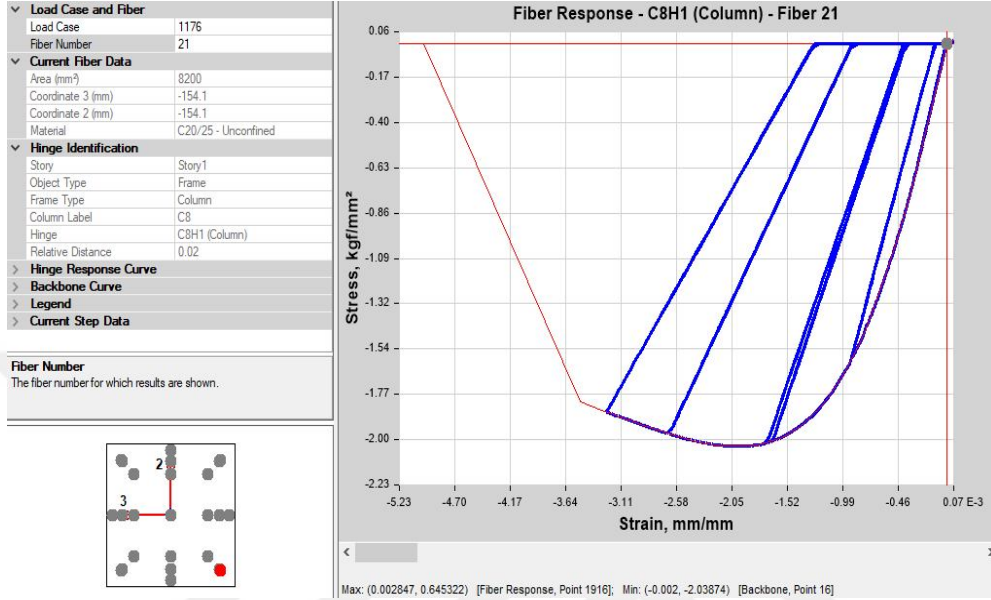
Şekil 5.102 C4 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.103 ‘da görüldüğü gibidir.



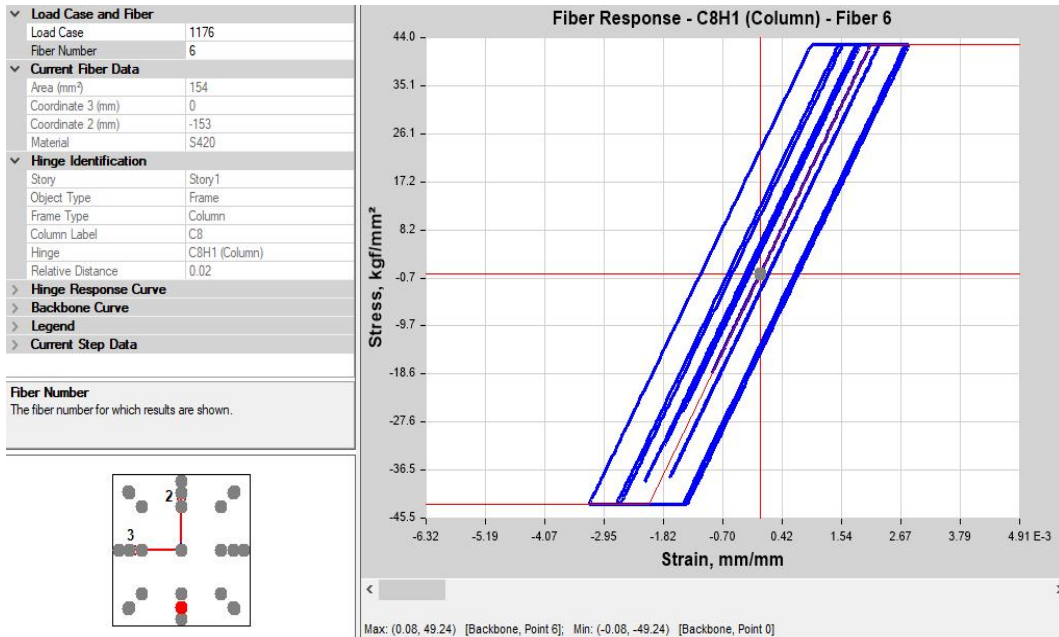
Şekil 5.103 C8 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.104 ‘de görüldüğü gibidir.



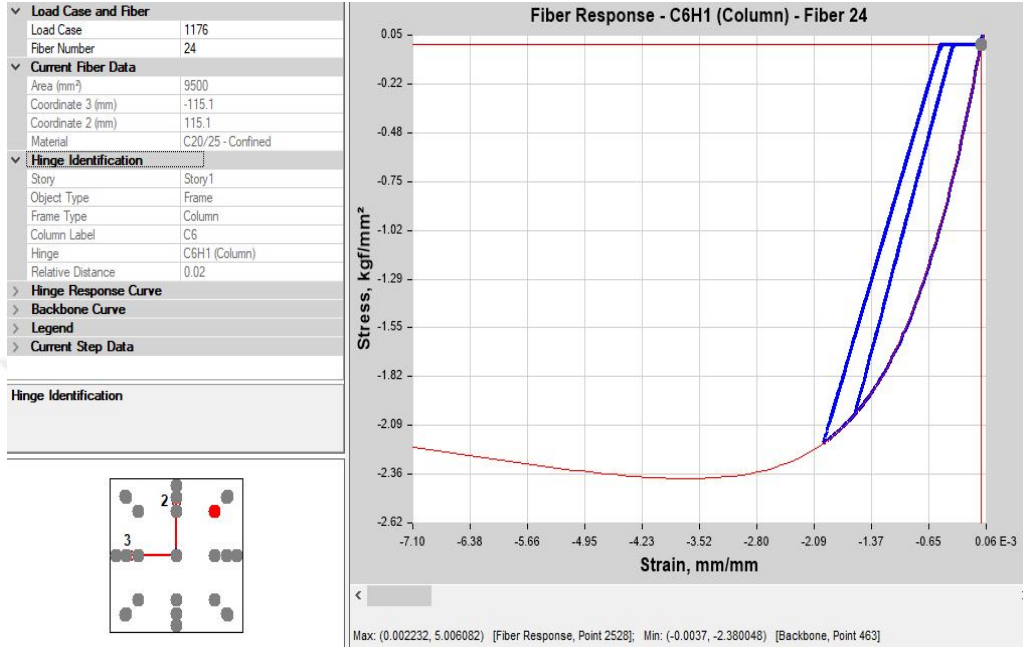
Şekil 5.104 C8 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C8 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.105 ‘de görüldüğü gibidir.



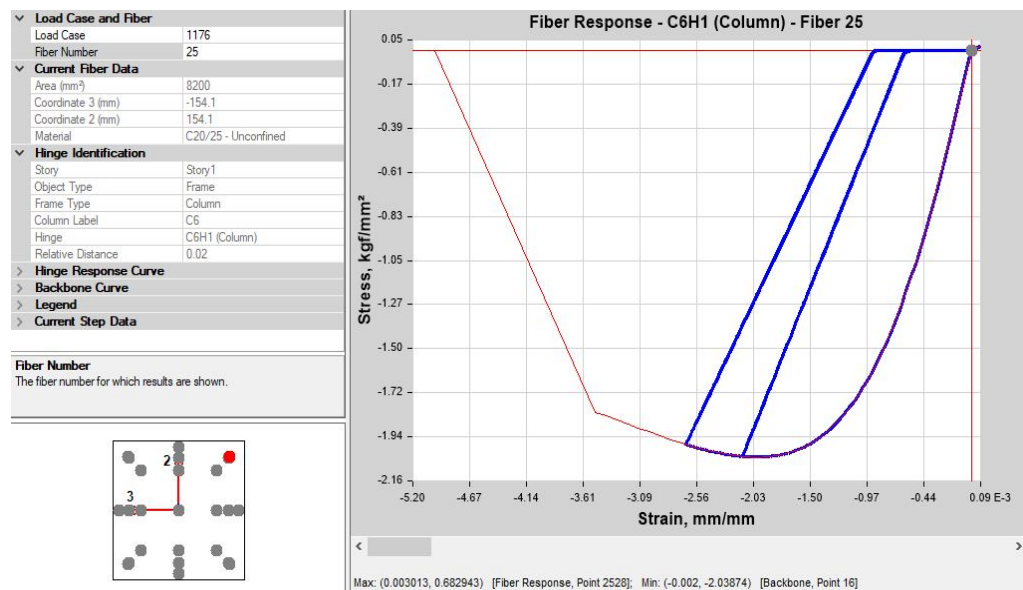
Şekil 5.105 C8 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.106 ‘da görüldüğü gibidir.



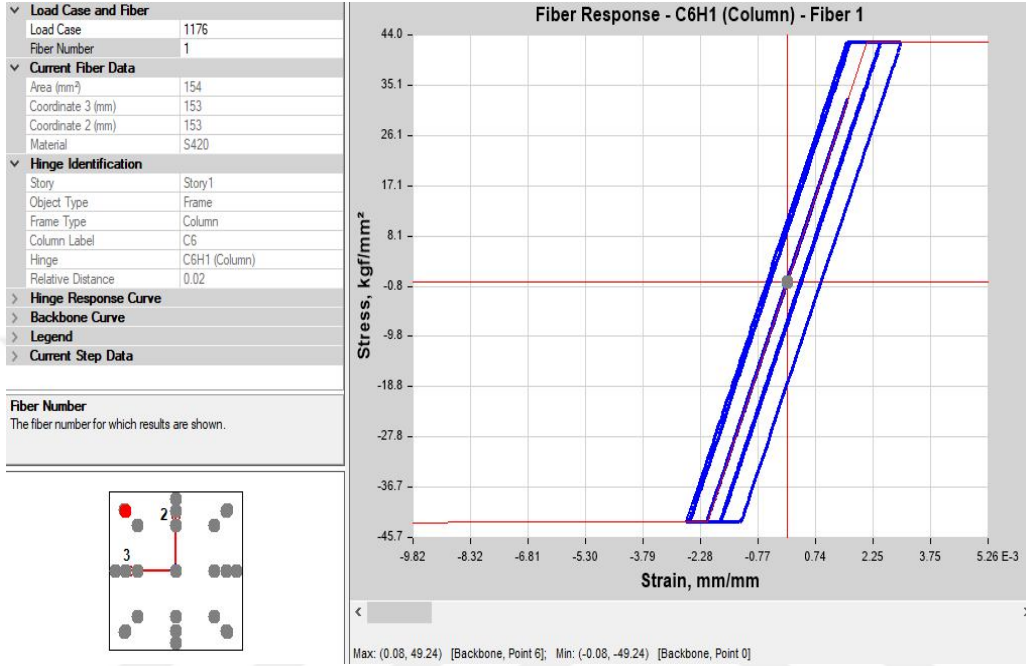
Şekil 5.106 C6 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.107 ‘de görüldüğü gibidir.



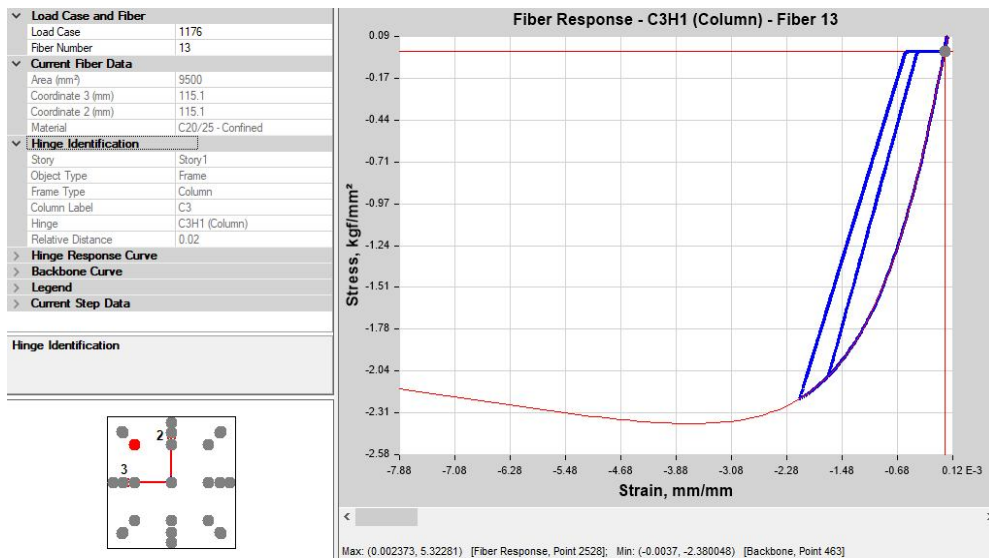
Şekil 5.107 C6 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C6 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.108 ‘de görüldüğü gibidir.



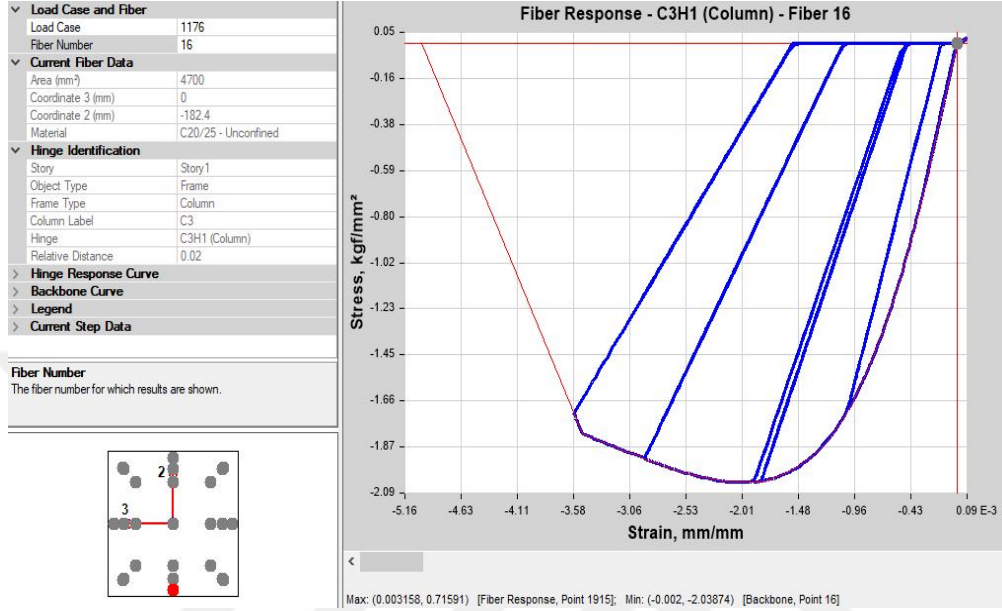
Şekil 5.108 C6 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.109 ‘da görüldüğü gibidir.



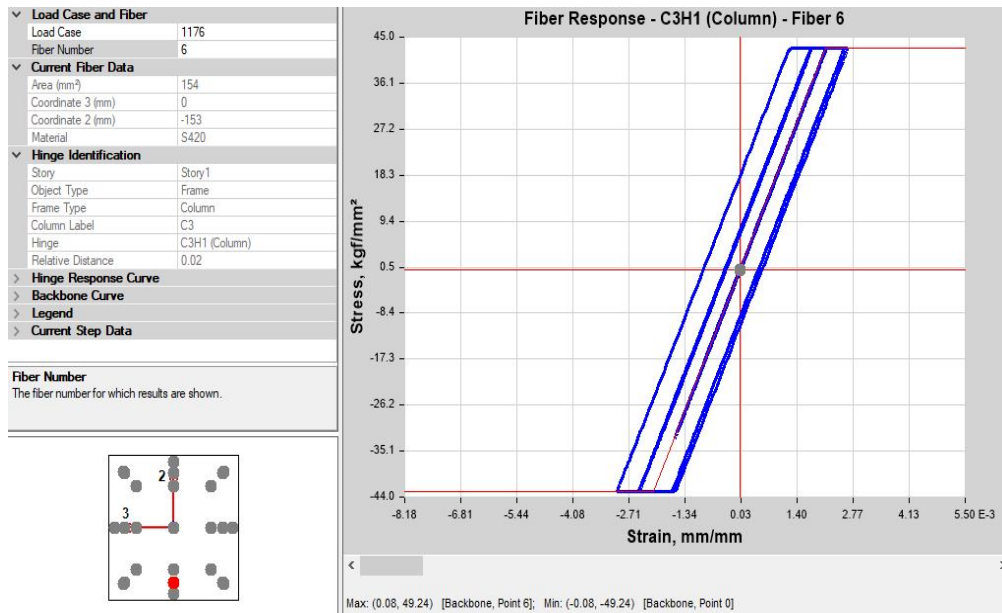
Şekil 5.109 C3 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.110 ‘da görüldüğü gibidir.



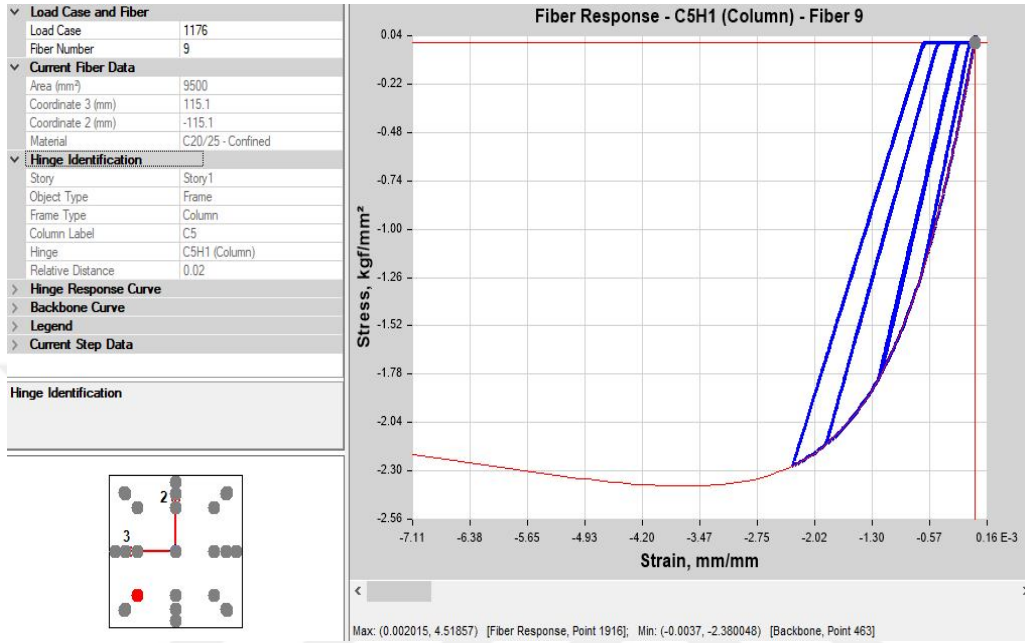
Şekil 5.110 C3 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C3 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.111 ‘de görüldüğü gibidir.



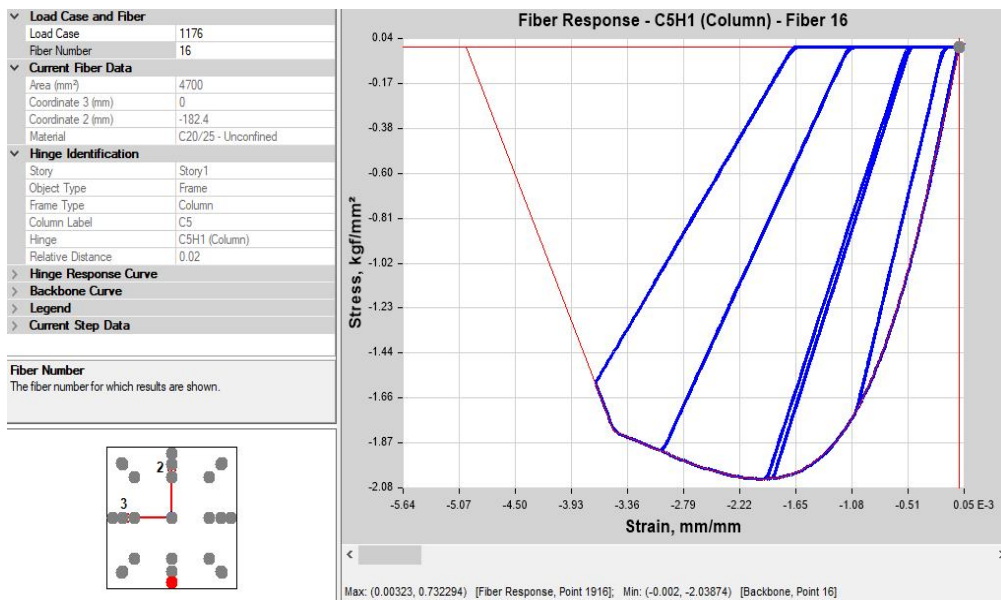
Şekil 5.111 C3 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.112 ‘de görüldüğü gibidir.



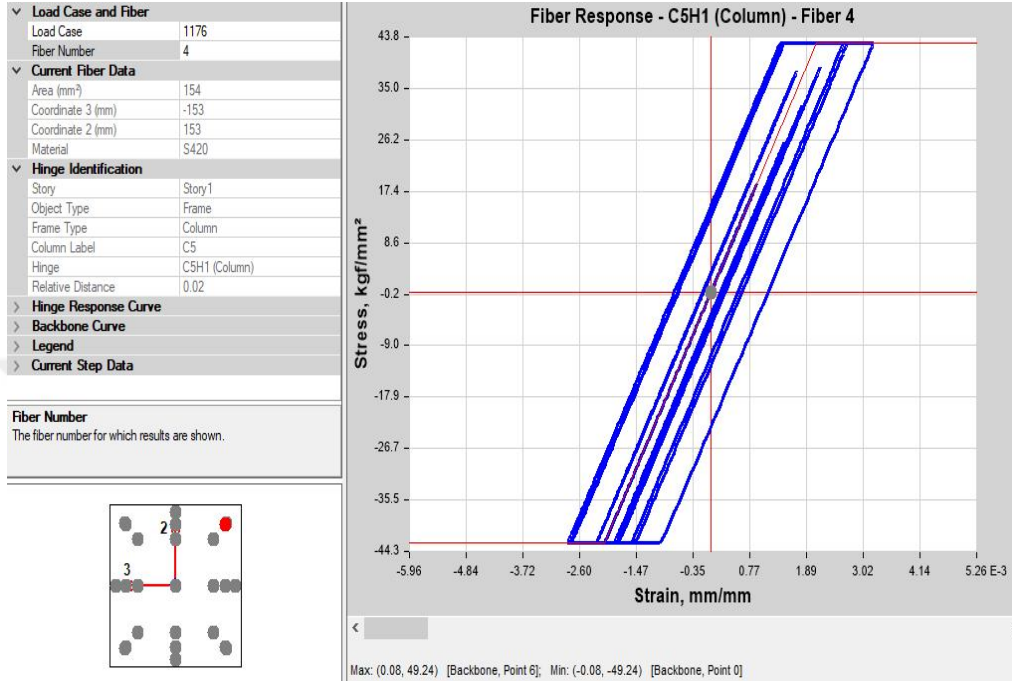
Şekil 5.112 C5 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.113 ‘de görüldüğü gibidir.



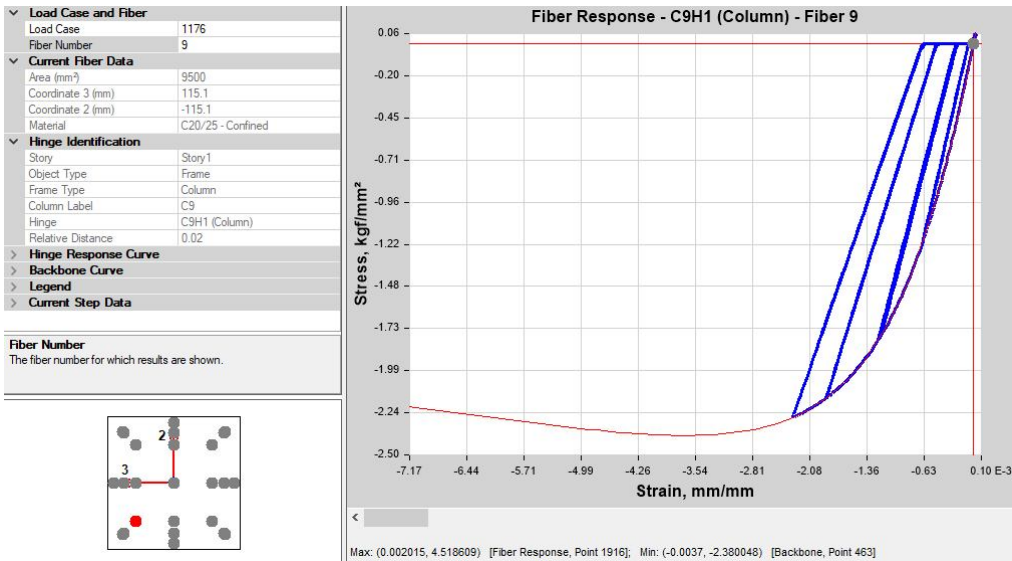
Şekil 5.113 C5 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C5 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.114 ‘de görüldüğü gibidir.



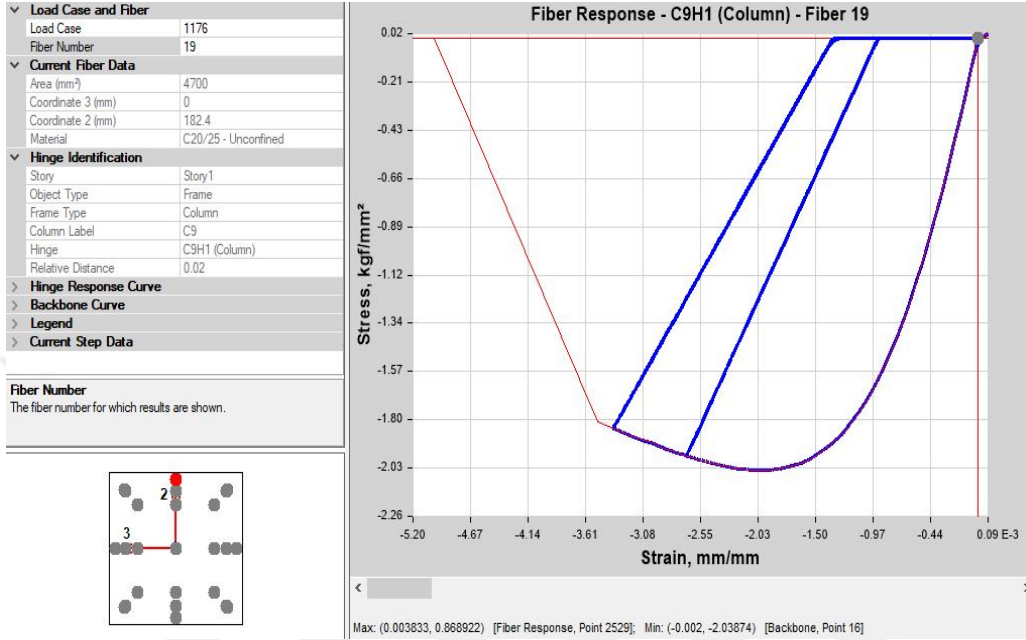
Şekil 5.114 C5 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.115 ‘de görüldüğü gibidir.



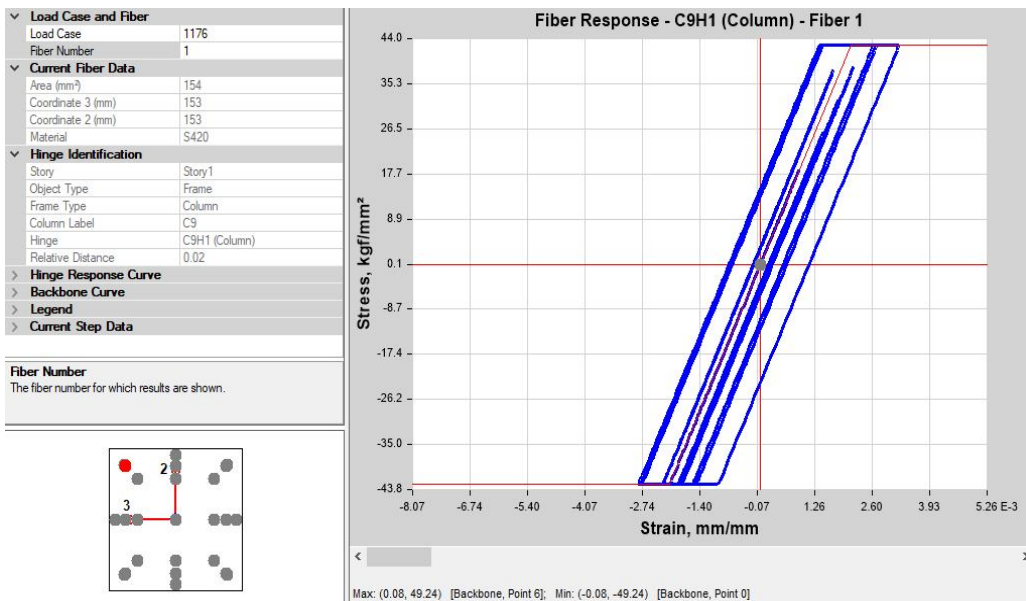
Şekil 5.115 C9 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.116 ‘da görüldüğü gibidir.



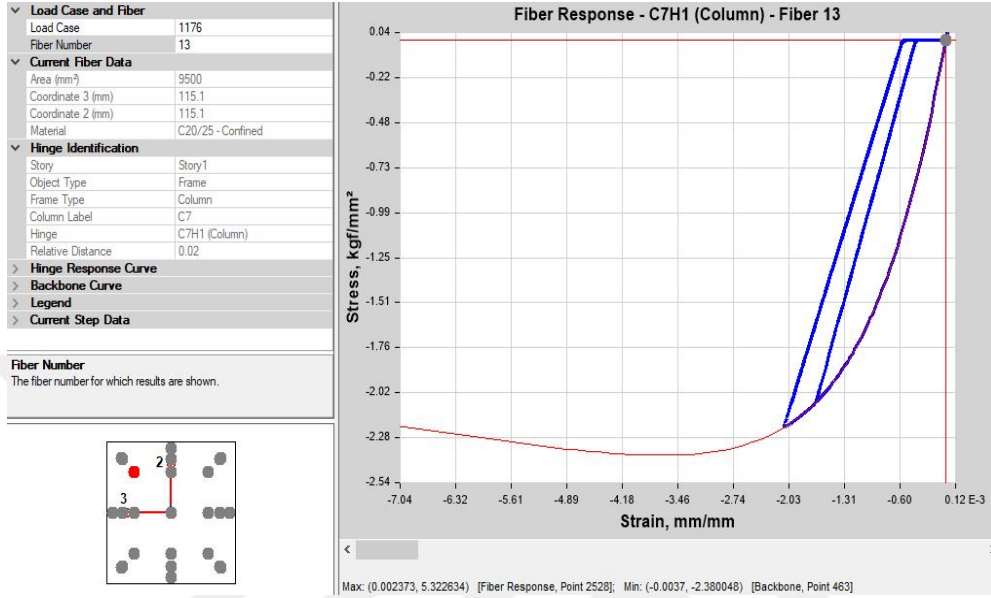
Şekil 5.116 C9 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C9 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsalın en elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.117 ‘de görüldüğü gibidir.



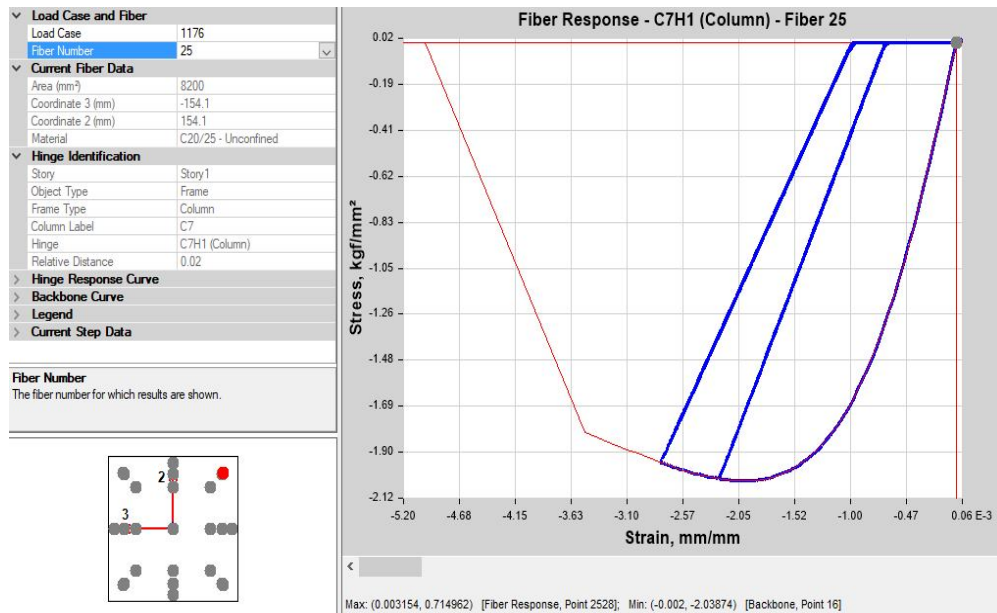
Şekil 5.117 C9 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargılı betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.118 ‘de görüldüğü gibidir.



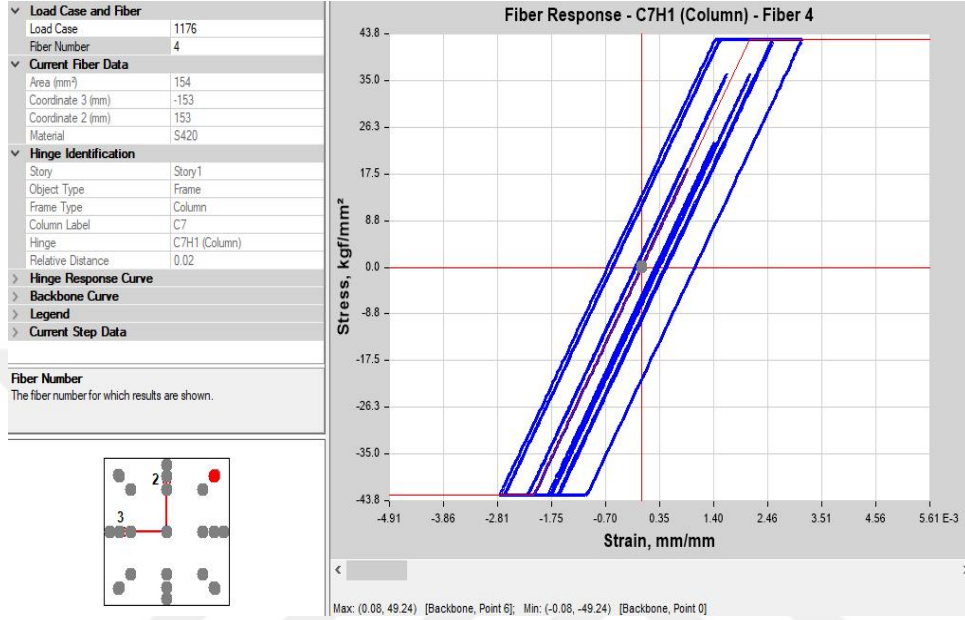
Şekil 5.118 C7 kolonuna ait sargılı beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın en elverişsiz durumdaki sargısız betona ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.119 ‘da görüldüğü gibidir.



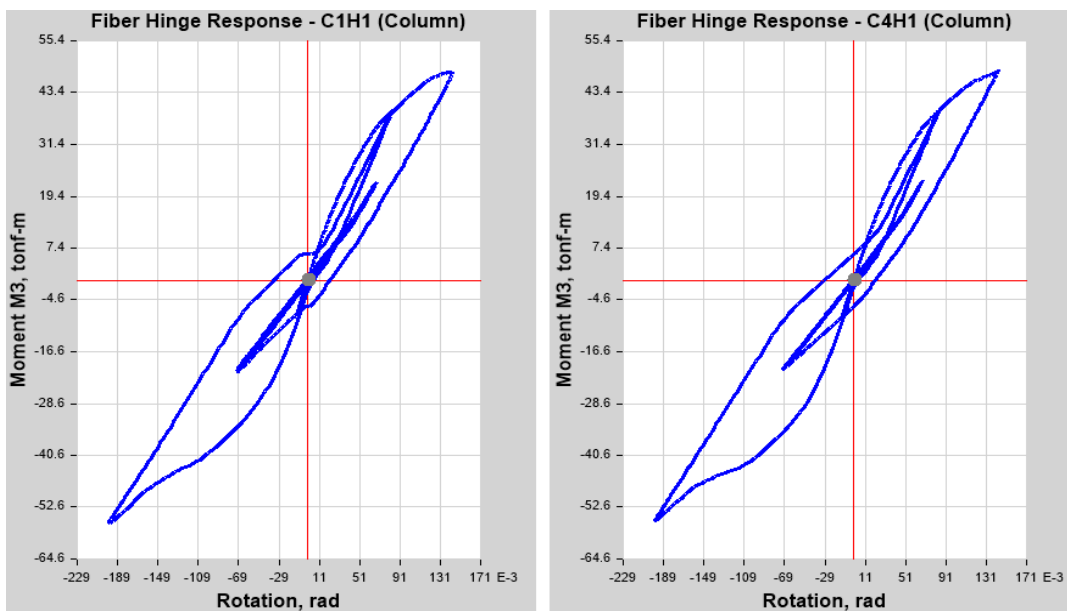
Şekil 5.119 C7 kolonuna ait sargısız beton lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C7 kolonu için kolon alt ucunda modellenen plastik mafsallın elverişsiz durumdaki donatı elemanına ait lif davranışı; 1176 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makas doğrultusunda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.120 ‘de görüldüğü gibidir.



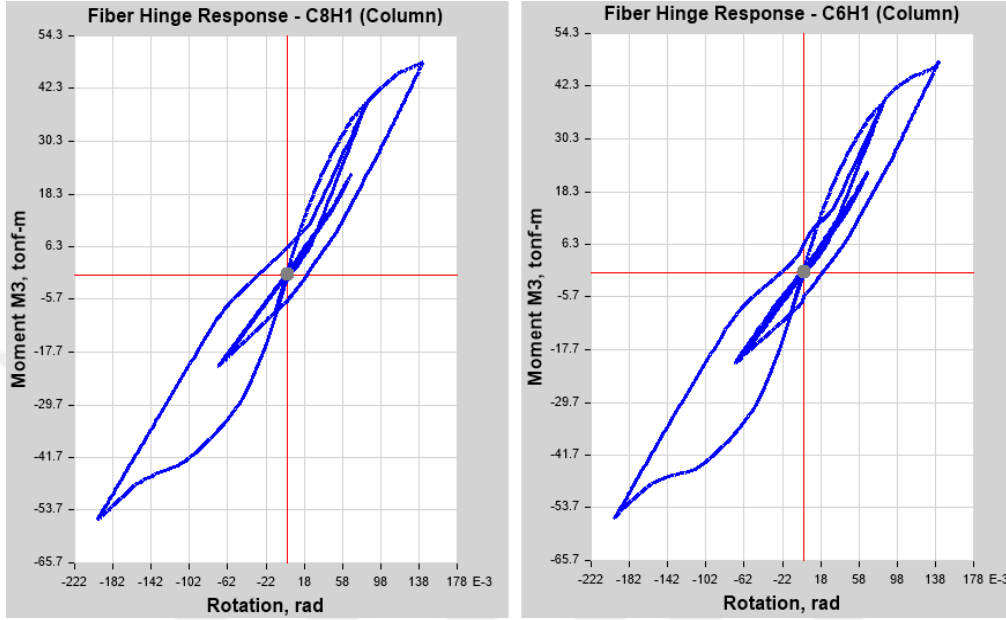
Şekil 5.120 C7 kolonuna ait donatı lifi davranışı

Şekil 5.36’da görülen C1 ve C4 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.121 ‘de görüldüğü gibidir.



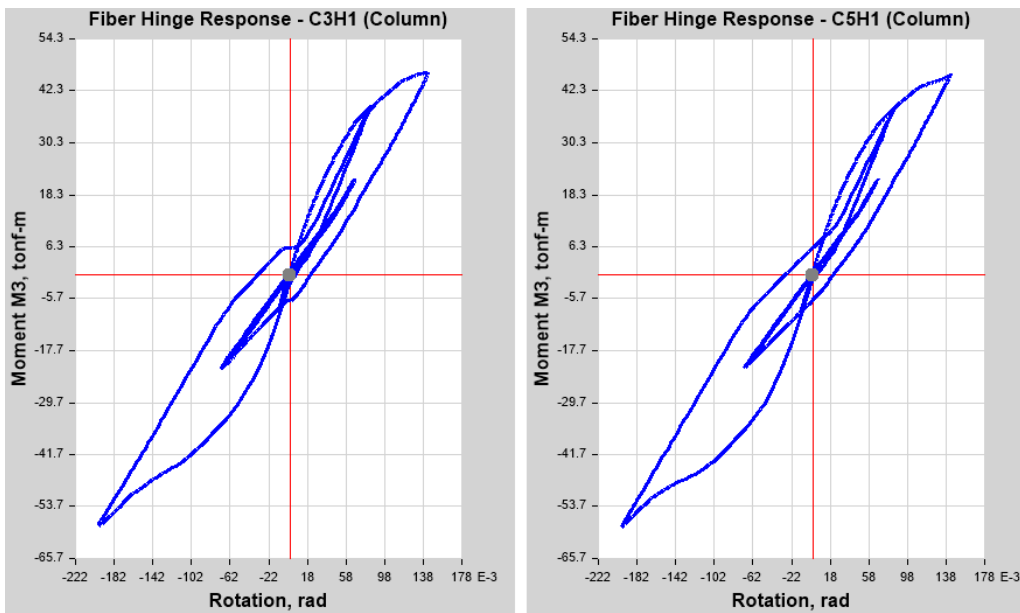
Şekil 5.121 C1ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C6 ve C8 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.122’de görüldüğü gibidir.



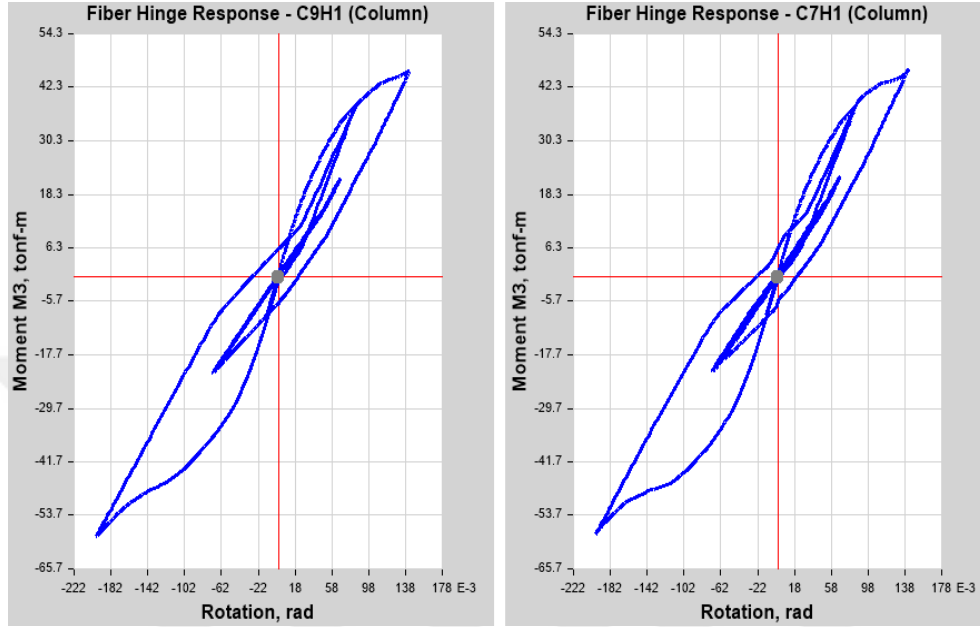
Şekil 5.122 C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C3 ve C5 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.123’de görüldüğü gibidir.



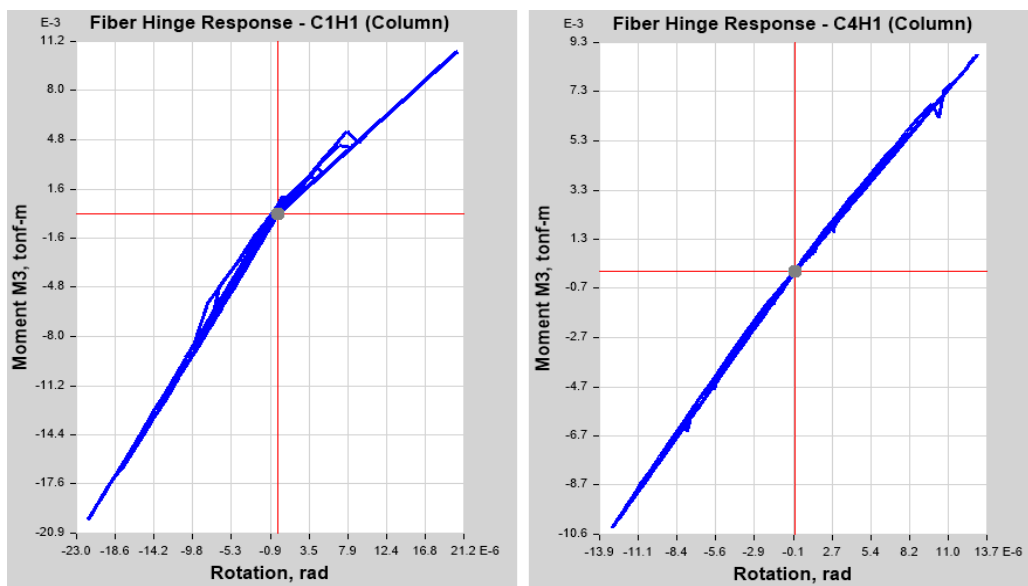
Şekil 5.123 C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C7 ve C9 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 821 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.124’de görüldüğü gibidir.



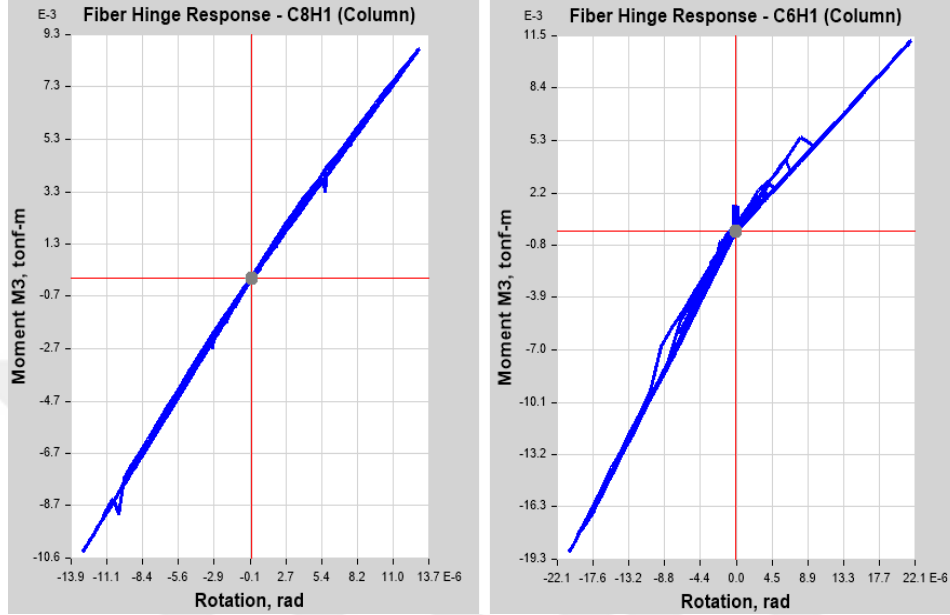
Şekil 5.124 C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C1 ve C4 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.125’de görüldüğü gibidir.



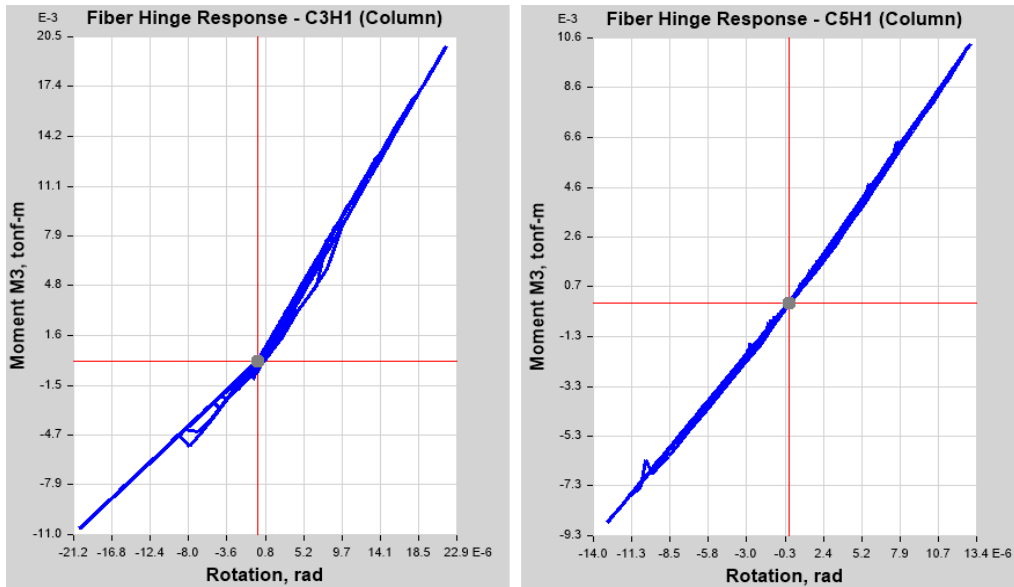
Şekil 5.125 C1 ve C4 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C6 ve C8 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.126’da görüldüğü gibidir.



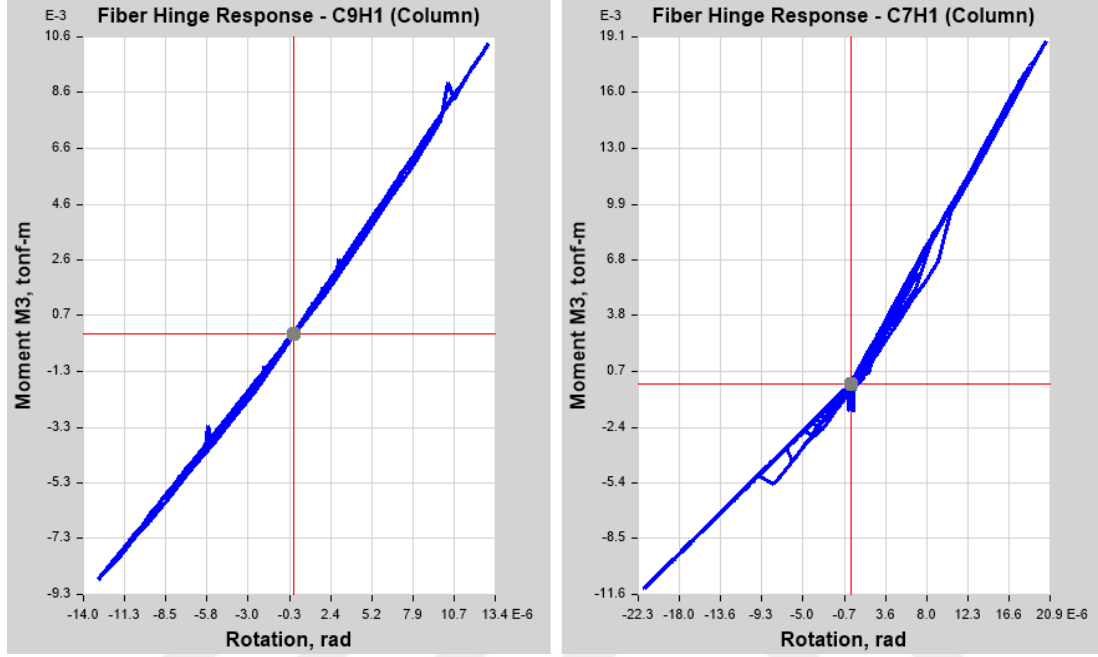
Şekil 5.126 C6 ve C8 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C3 ve C5 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıt sıra numaralı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.127’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.127 C3 ve C5 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

Şekil 5.36’da görülen C7 ve C9 kolonları için kolon alt uçlarında modellenen plastik mafsallara ait moment-dönme ilişkisi, 1158 kayıtlı deprem yüklemesi altında ve makasa dik doğrultuda teşkil edilen sönümleyiciler etkisinde Şekil 5.128’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.128 C7 ve C9 kolonlarına ait moment-dönme ilişkisi

6. DÜŞEY DEPREM ETKİSİ

Deprem yer hareketiyle birlikte başlıca iki dalga türü açığa çıkar. Bunlar; Cisim Dalgaları ve Yüzey Dalgaları'dır. Cisim dalgalarından zemin içerisinde en hızlı yayılanı İngilizcesi "primary" kelimesinin ilk harfi ile ifade edilen P dalgalarıdır. Esasen sismometreler tarafından ilk algılanana dalgalar olarak bilinirler. P dalgaları hareket doğrultusunda taneciklerin sıkışma ve genleşmeye maruz kalmasıyla geçtikteki ortamda hacimsel değişikliklere sebep olurlar.

Depremi düşey etkisi ise işte bu P dalgalarıyla yakından ilişkilidir. P dalgalarının dalga boyları S dalgalarınınkine göre kısa ve frekans muhteviyatları S dalgalarına göre daha yüksektir. Depremi düşey bileşeninin frekans muhteviyatı yatay bileşeninden daha dar olmasına rağmen, sahip olduğu enerji dar bir frekans bandında değildir. Bu sebeple, yüksek frekans muhteviyatı kısa periyotlarda daha yüksek reaksiyonlara yol açar. Özellikle betonarme yapıların düşey periyoduyla depremi düşey ivmesinin periyodunun denk geldiği bölgelerde, reaksiyonlarda önemli büyüme görülmektedir. Depremi şiddeti, faya uzaklık, zemin koşulları ve kaynak derinliği gibi çeşitli parametrelere bağlı olan düşey deprem ivmesi P dalgalarından oluştuğu için, yatay ivmeden çok daha önce yapıya ulaşmaktadır ve bu durum büyük yapısal sorunlara yol açabilmektedir (Eren ve diğ., 2015). Yürürlükte bulunan 2018 Deprem yönetmeliğinde de bu husus göz önüne alınarak bazı yapı türleri için düşey deprem hesabı zorunlu tutulmuştur.

Bu çalışmada düşey deprem etkisinin incelenmesi Tablo 5.5' de verilen depremlere ait düşey ivme değerleri vasıtasıyla yapılmıştır. Ancak Deprem Yönetmeliği'nde denklem 4.10 'da verilen eşitlik ile düşey deprem etkisinin yaklaşık olarak hesaplanmasına da olanak sağlanmıştır. Eren ve diğerleri 2015'de yaptığı çalışmada düşey deprem etkisinin yaklaşık olarak hesaplanmasının riski yüksek olmayan yapılar için çok yanıltıcı olmayan sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Eren ve diğ., 2015). Öte yandan Yavaş ve diğerlerinin 2019 da yaptığı çalışmada düşey deprem etkisinin, düşey zati yüke benzetilerek çözümlenmesi ortaya koyulmuş ancak, düşey ivme ile elde edilen analiz sonuçlarıyla örtüşmediği gösterilmiştir (Yavaş ve diğ., 2019).

Tablo 5.5 'de verilen depremlerin düşey bileşenleri kullanılarak yapılan analizde makaslardaki momentler çeşitli oranlarda değişmiştir. Tablo 5.5'de ki depremlerden 821, 1158 ve 1176 kayıt sıra numaralı depremler dışındaki depremler etkisinde gerçekleşen

değişimler ihmal edilebilir olduğundan veri kalabalığı yapmaması açısından tablolandırılmamıştır. 821, 1158 ve 1176 kayıt sıra numaralı depremlerin düşey ivme bileşenlerinin makaslarda meydana getirdiği değişimler ise Tablo 5.23’de görüldüğü gibidir. Tablodaki veriler, sayı kalabalığı yaratmamak için ondalıksız biçimde verilmiştir.

Tablo 6.1 Düşey deprem etkisi

Deprem Kaydı	Aks	Makas Ucu	G+Q+Ex	G+Q+Ex+Ez	Değişim (%)
			Moment (kNm)	Moment (kNm)	
821	1	i: (0 m)	-183	-194	6%
		j: (16 m)	-48	-49	2%
	2	i: (0 m)	-231	-240	4%
		j: (16 m)	-101	-100	-1%
	3	i: (0 m)	-231	-240	4%
		j: (16 m)	-101	-100	-1%
	4	i: (0 m)	-183	-194	6%
		j: (16 m)	-48	-49	2%
1158	1	i: (0 m)	-112	-117	4%
		j: (16 m)	-29	-30	0%
	2	i: (0 m)	-142	-145	2%
		j: (16 m)	-62	-60	-3%
	3	i: (0 m)	-142	-145	2%
		j: (16 m)	-62	-60	-3%
	4	i: (0 m)	-112	-117	4%
		j: (16 m)	-29	-30	0%
1176	1	i: (0 m)	-163	-175	7%
		j: (16 m)	-43	-44	3%
	2	i: (0 m)	-206	-216	5%
		j: (16 m)	-90	-90	0%
	3	i: (0 m)	-206	-216	5%
		j: (16 m)	-90	-90	0%
	4	i: (0 m)	-163	-175	7%
		j: (16 m)	-43	-44	3%

Düşey deprem etkisi altında kolonlarda oluşan normal kuvvetler incelendiğinde makasta oluşan momentlere benzer şekilde değişimler olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla düşey deprem etkisinin kolonlara ilave normal kuvvet getirdiği söylenebilir. Kolonlardaki normal kuvvetlerin sınırlandırılması sünek davranış için öneme arz ettiği için benzer çalışma daha fazla sayıda deprem kaydı altında yapılarak kolonlarda düşey deprem etkisi araştırılabilir.

7. SÖNÜMLEYİCİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Sismik sönümleyiciler vasıtasıyla yapının enerji sönümleme kapasitesini artırarak yapının sismik performansında iyileşme sağlandığı bölüm 5 de detaylıca açıklanmıştır. Ancak sismik sönümleyicilerin etkisini yalın şekilde irdeleyebilmek için sönümleyici eksenleri boyunca çelik çaprazlar ile analiz yapıp bu çaprazların hangi oranda performansa etkidiği belirlenip, sönümleyici etkisindeki yapının performans değerleri ile çelik çaprazlı yapının performans değerleri arasındaki fark bulunarak yalın şekilde sismik sönümleyici etkisi ortaya konacaktır.

Esasen çelik çaprazlarla güçlendirme işlemi çok farklı formlarda (K, X, V vs.) tatbik edilebildiği gibi eksenel olarak da merkezleri değiştirilerek yapıda kullanılabilmektedirler. Bu yöntemlerin içerisinde hangisinin kullanılması gerektiği sismik performans iyileşmesine karşılık birim maliyet göz önüne alınarak yapılarda kullanılmaktadır. Armağan ve diğerleri 2007 tarihinde yaptığı çalışmada çelik çapraz yerleşiminin performansa etkisini ekonomik kriterleri de gözetenek ortaya koymuştur (Armağan, 2011).

Çalışma konusu olan yapıya, sönümleyici ekseninde, burkulması önlenmiş St37 sınıfı IPE400 çelik çaprazlar eklenmiş ve bununla birlikte yapının toplam rijitliği artmıştır. Rijitliğin artmasıyla beraber yapının doğal periyodu azalmıştır. Yapıdaki periyodun azalmasıyla birlikte tepe yer değiştirmelerinde azalma gözlenmiştir. Bununla beraber çelik çaprazların, bağlı olduğu düğüm noktalarındaki iç kuvvetlerde ve buna bağlı olarak tüm eleman iç kuvvetlerinde değişikliğe sebep olduğu gözlenmiştir.

Çelik çaprazların eklendiği haliyle yapıda meydana gelen en büyük yer değiştirmeler Tablo 7.1 ve 7.2 'de görülmektedir.

Tablo 7.1 Çelik çaprazlar sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)						
Düğüm Noktası	Depremler					
	<u>821</u>	<u>1136</u>	<u>1137</u>	<u>1141</u>	<u>1151</u>	<u>1158</u>
A	21,46	9,89	12,03	11,07	7,08	31,14
B	21,13	13,54	16,71	20,42	15,49	36,82
C	21,13	13,54	16,71	20,42	15,49	36,82
D	21,46	9,89	12,03	11,07	708	31,14

Tablo 7.2 Çelik çaprazlar sonrası makasa dik yöndeki yer değiştirmeler

En Büyük Yerdeğiştirmeler(mm)							
Düğüm Noktası	Depremler					Spektrumlar	
	<u>1161</u>	<u>1165</u>	<u>1167</u>	<u>1176</u>	<u>1177</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	6,89	8,05	10,38	11,05	13,51	6,52	9,75
B	15,27	13,87	19,26	17,80	20,19	10,39	16,18
C	15,27	13,87	19,26	17,80	20,19	10,39	16,18
D	6,89	8,05	10,38	11,05	13,51	6,52	9,75

Çelik çaprazların eklenmesi ile yapıdaki yer değiştirmelerin azaldığı gözlenmektedir. Yerdeğiştirmeler ham durum ile karşılaştırıldığında deprem kayıtları altında %80'in üzerinde performans artışı gözlenmiştir. Benzer şekilde kaydedilmiş depremlere ait spektrum etkisinde performans iyileşmesi %85'in üzerinde gerçekleşmiştir. Deprem yönetmeliğince verilen tasarım depremi etkisindeki performans artışı da %85 'in üzerinde gerçekleşmiştir.

Tablo 7.3 Çelik çaprazlar sonrası performans iyileşme oranları

Makasa Dik Doğrultuda Performans Artışı			
Düğüm Noktası	Depremler	Spektrumlar	
	<u>Ortalama</u>	<u>11EQ</u>	<u>DD2</u>
A	82,51%	87,02%	86,99%
B	80,93%	85,60%	85,01%
C	80,93%	85,60%	85,01%
D	82,51%	87,02%	86,99%

Çelik çaprazların tatbik edilmesiyle kritik depremler etkisinde yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetleri Tablo 7.4'deki gibidir. Tablo 7.4 incelendiğinde yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlenmektedir. Bunun sebebi, yapıya eklenen çelik çaprazların yapının toplam rijitliğini arttırmış olmasıdır. Ancak yapıda tatbik edilen çaprazların kesit özellikleri deneme yanılma yoluyla denenerek belirlendiğinden elde edilen sonuçlar nihai olarak görülmemektedir. Rijiliği daha yüksek oranda arttırabilecek kesitteki çelik çaprazların seçilmesi yapıda meydana gelecek taban kesme kuvvetlerini daha yüksek oranda sınırlandırabilecektir.

Tablo 7.4 Çelik çaprazlar sonrası kritik taban kesme kuvveti değerleri

Yükleme Durumu	Maks. Taban Kesme Kuvveti (tonf)	Min Taban Kesme Kuvveti (tonf)
<u>821</u>	159,64	-159,72
<u>1158</u>	98,09	-107,81
<u>1176</u>	105,41	-119,51
<u>DD2</u>	145,11	-
<u>11EQ</u>	40,07	-

Ham yapıya ait Tablo 5.16 ‘da verilen taban kesme kuvvetleri ve çelik çaprazlarla güçlendirilmiş yapıya ait Tablo 7.4’ de verilen taban kesme kuvvetleri incelendiğinde taban kesme kuvvetleri değerlerinde gözle görülür bir azalma olduğu söylenebilir. Taban kesme kuvvetlerinde gözlenen bu değişim Tablo 7.5 ‘de görülmektedir.

Tablo 7.5 Çelik çaprazlar sonrası kritik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler

Yükleme Durumu	Maks. Değişim	Min Değişim
<u>821</u>	-42%	-27%
<u>1158</u>	-42%	-39%
<u>1176</u>	-57%	-45%
<u>DD2</u>	-40%	-
<u>11EQ</u>	-42%	-

Sismik sönümleyiciler yapıdaki yer değiştirmeleri kaydedilmiş deprem kayıtları altında %95’in üzerindeki oranlarla sınırlandırmıştı. Çelik çaprazlarla yapılan analizde ise bu oranın %80’in üzerindeki değerlerde gerçekleştiği gözlenmektedir. Benzer şekilde çalışmada kullanılan sismik sönümleyicilerin taban kesme kuvvetlerini sınırlandırma hususunda %3 ile %6 oranında daha etkili olduğu Tablo 5.18 ve Tablo 7.5 kıyaslanarak ortaya konabilir. Ancak bu gerçekleşme oranları çok fazla sayıda deprem kaydı ve çok fazla sayıda çelik çapraz yerleşimi ile daha net ortaya koyabilir. Sönümleyici ve çelik çapraz nitelikleri değiştikçe sonuçlarda da değişiklik gözleneceği açıktır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, ülkemizdeki endüstriyel yapı stoğunun büyük çoğunluğunu oluşturan betonarme prefabrik yapılar incelenmiş olup, bu türdeki yapıların deprem performansları belirlenmiş ve bu yapılarda hasar meydana getirebilecek depremler altında güçlendirme önerileri tartışılmıştır.

Literatürde, betonarme prefabrike yapıların önceki deprem performansları incelendiğinde genellikle birleşim detaylarından kaynaklı hasar aldıkları görülmüştür. Benzer şekilde geçmiş depremlerde betonarme prefabrik yapılarda makasların devrilmesi, aşıkların düşmesi gibi konstrüktif hasarların olduğu gözlemlendi. Bunun dışında çalışma kapsamında yapısal davranışın aynı zamanda makas eksenindeki doğrultu için kritik rol üstlendiği gözlemlendi. Ancak en temel olarak, depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesine aykırı olarak, betonarme prefabrike yapılarda düşey taşıyıcıların, eğilme elemanlarından çok daha önce hasar aldığı, dolayısıyla eğilme elemanların kapasitelerini tamamlayamadan yapıda kalıcı hasarların gözlemlendiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada ilk olarak yapı stoğu içerisinde seçilen örnek bir endüstriyel yapı modelinde, yapının performansını belirlemek için lif modelleme yöntemiyle tanımlanan plastik elamanlar üzerinden yapının hasar limitleri oluşturularak yapının mevcut deprem kayıtları altındaki davranışı gözlemlendi. Buna göre mevcut yapı bazı depremler altında hasar almadan doğrusal bölge içerisinde hareket ederken, bazı depremlerde ise göçme bölgesine kadar gelmiştir. Yakın alan depremlerinde yüksek genlikli ivmeler genellikle kısa periyot bölgesinde görülmektedir (Sezgin ve diğ., 2021). Aynı depremlere ait farklı uzaklıktaki ivme kayıtları altında davranışı incelenen yapının uzak alan depremlerinde beklendiği gibi daha düşük şekil değiştirmelere maruz kaldığı, yakın alan depremlerinde ise daha yüksek şekil değiştirmelere maruz kaldığı gözlemlenmiştir.

Çeşitli deprem kayıtlarına ait zaman tanım alanındaki analizlere göre hasar alacağı beklenen yapının güçlendirilmesi için çeşitli önerilerin ortaya konabileceği ancak bunların bazılarının mimari kaygılar, uygulanabilirlik ve ekonomik sebepler gibi gerekçelerle; her yapı özelinde ilgili yapının kullanım amacı ve karakteristik özelliklerine uygun bir güçlendirme yöntemi seçilmesinin daha doğru olacağı malumdur.

Bunlarla beraber, seçilen yapıda meydana gelebilecek hasarı önlemek için makas düzlemi doğrultusunda ve makasa dik doğrultularda teşkil edilecek sönümleyicilerin yapının performansını ciddi oranda arttırdığı gözlenmiştir. Sismik sönümleyicilerin teşkil edildiği doğrultu, seçilen deprem kayıtlarına ait yüklemelerde yapının şekil değiştirmelerini değişken oranda etkilediği dolayısıyla, sismik sönümleyiciler ile güçlendirilmek istenen yapılarda çeşitli yönler için deneme-yanılma yapılarak en efektif yönün seçilmesi gerektiği ortaya kondu. Ancak yön kavramından bağımsız olarak, sismik sönümleyicilerin her deprem kaydı altında yapı performansını önemli ölçüde arttırdığı gözlemlendi.

Zaman tanım alanında doğrusal ötesi analizlerde kullanılan deprem kayıtlarına ait yüklemelerde, kolonlarda teşkil edilen lif modellemelerin değişken davranışlar gösterdiği gözlemlendi. Örneğin şekil değiştirmeleri doğrusal limitler içinde kalan bazı düşey taşıyıcı elemanların lif modelleri incelendiğinde, özellikle sargısız beton elemanların teşkil ettikleri olmak üzere bazı lif elemanların doğrusal ötesi şekil değiştirmeler yaptığı gözlemlendi.

Bu doğrultuda, çeşitli depremlere maruz kalan yapılara ait taşıyıcı elemanlar bazında her ne kadar hasar almadığı düşünülse de, esasen elemanın kesitini teşkil eden küçük hücrelerde hasarların ortaya çıkmaya başladığı gözlemlendi. Dolayısıyla ilgili yapısal eleman her ne kadar doğrusal hareket yapıyor olarak gözlemlense de, kendisini oluşturan sonlu küçük parçalarında doğrusal ötesi hasar görüldüğü için ilgili elemanın kalıcı hasarlarıyla davranışını devam ettireceği akılda tutularak performans tahkiki yapılırken kapasitelerinin buna göre belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Betonarme ve çelik gibi sünek malzemelerin plastik deformasyonlar altında devam eden yüklemelerde muvakemetlerinin çoğunu korurlar ve bu süreç analitik metotlar kullanılarak makul doğrulukta analiz edilebilir (Beyen, 2008).

Ek olarak, yapıların performans tahkiklerinde zamanla sağlanan gelişmelerin yapının yek pare davranışını yapıya ait elemanların davranışlarının bir süperpozisi olarak düşünülmesi ile sağlandığından hareketle, doğrusal ötesi analizler için lif modelin, tıpkı yapıyı oluşturan elemanlarda olduğu gibi kendini oluşturan sonlu parçaların davranışlarının bir süperpozisyonu ile ortaya konmasının yapının gerçek davranışıyla ilgili çok daha gerçekçi bir yaklaşım sunduğu, öyleki yapısal elemanın doğrusal hareket

yaptığı düşünülürken bile esasen kendisini oluşturan sonlu bölgelerde doğrusal bölgelerin tamamlandığı hücrelerin olduğunu ortaya koyabilmektedir.

Düşey deprem etkisinin seçilen depremlerin ve yapının karakteristik özellikleri gereği her ne kadar yapıda hasar oluşturacak bir etki yaratmasada, kolonlarda normal kuvvetleri arttırdığı gözlenmiştir. Kolonlarda artan normal kuvvetin kolonun sünek davranışını etkileyeceğinden düşey deprem hesabının yapı analizlerinde kullanılması gerçekçi sonuçlar için önemli olacaktır.

Sismik sönümleyicilerinin yalın etkisini ölçebilmek için yapıya sönümleyici ekseninde tatbik edilen çelik çaprazların yapıda meydana getirdiği değişimler incelendiğinde ilk göze çarpan detayın çelik çaprazların ilgili düğümlerde ve bu düğümlere bağlı elemanlarda iç kuvvet dengesini değiştirdiğidir. Sismik sönümleyicilere yakın oranda performans iyileşmesi sağlayan çelik çaprazlar sönümleyicilerin tatbik edilemediği durumlarda tercih sebebi olabilir.

Bu bağlamda endüstriyel yapılarda meydana gelen yapısal değişikliklerin izlenmesi amacıyla bu yapıların donatılandırılarak izlenmesi gündeme gelebilir. Günümüzde izleme teknolojilerinin sunduğu olanaklar ve yapı tanı analizleri yapı parametrelerini doğru değerlendirme ve nümerik modelleri gerçekçi şekilde güncelleme imkanı vermektedir (Beyen, 2017).

Bu gerçeklerle endüstriyel yapı stoğu göz önüne alındığında betonarme prefabrike yapıların hızlıca güçlendirilebilmesi için sismik sönümleyicilerin kullanılması önerilirken bu sönümleyicilerin ne şekilde teşkil edilmesi gerektiğine ilişkin zaman tanım alanında çok ihtimalli deprem ve çok sayıda tezle çalışılarak sayısız depremlerden oluşması gereken tasarım spektrumunda boşlukların doldurulmasının zaruri olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun için kullanılması gereken deprem sayısı ve set bilgileri ayrı bir çalışma konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- Aksoylu, C., Arslan, M. H. (2021). 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde Betonarme Binalar İçin Yer Alan Farklı Deprem Kuvveti Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi, *International Journal of Engineering Research and Development* , 13 (2) , 359-374.
- Armağan, K. (2011). Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilen Betonarme Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8 (2), 191-201.
- Armani A., Niyazi A. Q. (2018). Türkiye’de Prefabrik Yapı Sektörünün Hızlı Gelişimi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 487-494.
- ASCE/SEI 41-06, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, USA, 2007.
- Ataköy, H. (1999). 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve TPB Üyelerince Prefabrike Yapılar, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 52-53.
- Atasever, K. (2016). U-şekilli Çelik Sönümleyicilerin Histeretik davranışlarının Modellenmesi Ve Düşük Sönümlü Kauçuk mesnetlerle Birlikte Sismik İzolatör Olarak Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul , 421084.
- Ayyıldız, S., Özbayraktar, M. (2005). Mimarlık Eğitiminde Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Süreci ve Bu Süreçte Disiplinler Arası İletişimin Önemi, *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, 1224-1234, Kocaeli, 23-25 Mart.
- Bekiroğlu, D., Prefabrik Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, İstanbul, 2006.
- Beyen, K. (2008). “Structural identification for post-earthquake safety analysis of the Fatih mosque after the 17August 1999 Kocaeli earthquake”, *Engineering Structures*, 30(8), 2165-218..
- Beyen, K. (2017). Titreşim Verisiyle Güncellenmiş Sonlu Eleman Modeliyle Hasar Simülasyonu, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(2) , 403-415.
- Celep, Z. (2007). Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 167-180, İstanbul, 16-20 Ekim.
- Celep, Z., Kumbasar, N. (2004). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İstanbul: Beta Dağıtım.

- CEN Eurocode 8. (2005). Design of Structures for Earthquake Resistance- Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, *European Normalization Comitte*, Bruxel.
- Chopra A.K. (1995). *Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering* , New Jersey, USA: Prentice-Hall.
- Clough R.W., Penzien J. (1993). *Dynamics of Structures Second Edition*, USA: McGraw-Hill.
- Cruz-Jiménez, H., Li, G., Mai, P. M., Hoteit, I., Knio, O. M. (2018). Bayesian inference of earthquake rupture models using polynomial chaos expansion, *Geoscientific Model Development*, 11, 3071–3088.
- Darılmaz K. (2019). *Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş*, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Değer, T.,Z., Başdoğan, Ç. (2021). Betonarme perdelerin yığılı plastik davranış ile doğrusal olmayan modellenmesi ve hasar sınırları, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*,Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 36(2) , 641-653.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). *TC Resmi Gazete* (26454, 6 Mart 2007) , Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Dikmen, Ü., Özek, S. (2011). Deprem Bölgelerinde Zemin Sınıfının Sanayi Yapılarının Maliyetine Etkisi, *İMO Teknik Dergi*, 5543-5558.
- Dok G. (2011). 32 Katlı Betonarme Bir Yapının Deprem Performanslarının Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi Uygulanarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 325407.
- Ekinci, A. (2019). Betonarme Prefabrike Sanayi Yapılarında Sismik Sönümleyiciler ile Güçlendirme, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 604315.
- Eren, G., Beyen, K. (2015). Düşey Deprem Etkisinde Tipik Bir Binada Gözlenen Performansın Tartışılması, 8. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 11-14 Mayıs
- Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T. (2000). 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, 10. *Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, 4 Mayıs.
- Foroughi, S., Jamal, R., Yüksel, S. B. (2020). Sargı Donatısı ve Eksenel Yük Seviyesinin Betonarme Kolonların Eğrilik Süneklik ile Etkin Kesit Rijitliğe Etkisi, *ElCezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (3); 1309-1319.

- Foroughi, S., Yüksel, S.,B. (2019) Betonarme kolonların şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11 (2) , 584-601.
- Giydirici, N. (2001). Sanayi Tipi Prefabrike Yapılarda Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı ve Güçlendirme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gönen, H., Doğan, M., Gökdemir, H. (2015). Viskoz Sönümleyici İlave Edilmiş Kısmi Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Sismik Performans Analizi, 6. *Çelik Yapılar Sempozyumu*, Eskişehir, 317-328, 15-17 Ekim.
- İnel M., Bilgin H, Özmen B. (2007). Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Afet Yönetmeliğine Göre Tayini, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 81-89.
- Jamal, R., Yüksel, S.,B. (2021). T en kesitli betonarme kirişlerin şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1) : 209-216.
- Kaklamanos, James & Baise, Laurie & Boore, David. (2011). Estimating Unknown Input Parameters when Implementing the NGA Ground-Motion Prediction Equations in Engineering Practice. *Earthquake Spectra*. 27(1), 1219-1235.
- Kalkan, A. (2013). Mevcut Çok Katlı ve Mafsallı Prefabrik Binaların Deprem Performanslarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 348530.
- Kaplan, H., Bilici, H., Ün, H. (1995). 27 Haziran 1998 Ceyhan Depremi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(2), 853-863.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Çetinkaya N., Nohutçu, H., Atımtay, E., Gönen, H. (2009). Prefabrik yapıların güçlendirmesi için yeni bir yöntem, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 24 (4), 659,665.
- Karaesmen, E., Prefabrication in Turkey: Facts and Figures, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 2001.
- Kayhan A. H. (2008). Mafsallı Prefabrik Yapılar İçin Hasar ve Ekonomik Kayıp Tahmini. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 237559.
- Kayhan , A. H. (2004). Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Hızlı Değerlendirme Yöntemi , Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Denizli, 154553.

- Kayhan A.H., Şenel Ş.M. (2010). Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri, *İMO Teknik Dergi*, 5161-5184.
- Krawinkler H., Seneviratna G. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation, *Engineering Structures*, 452-464.
- Lee, D. and Taylor, D.P. (2001). Viscous damper development and future trends, *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 10(1), 311-320.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N ve Park, R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, *Journal of Structural Engineering*, 114, 1804-1826.
- Moehle, J., P. (1992). Displacement Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes, *Earthquake Spectra*, 8(3), 403-428.
- Özenir A. (2014). Tipik Betonarme Bir Hastane Yapısının Perde veya Pasif Söndürücülerle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 360868.
- Özer Ö., Yüksel B. (2020). Farklı Betonarme Bağ Kirişi Modellerinin TBDY(2018)’ E Göre Yapı Performansına Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1169-1188.
- Özmen, H. , İnel, M. , Bilgin, H. (2007). Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman Ve Sistem Davranışına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (2) , 357-383.
- Park, R., Kent, D. C. ve Sampson, R. A. (1972). Reinforced concrete member with cyclic loading, *Journal of Struct. Divison*, 98(7), 1341-1360.
- Saatcioğlu, M., Razvi S.R. (1992). Strength and Ductility of Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, 108(12), 2703-23.
- Sakin, A. F., Beyen, K. (2021). (TBDY 2018) Yönetmelik elastik tasarım spektrumuna uygun bina deprem davranış simülasyonları, 6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı , Kocaeli, 1125-1135, 13-15 Ekim.
- SAP 2000. (2001). Computers and Structures, Inc., v.14.0.0, Structural Analysis Program, Berkeley, CA, ABD, 2001
- Sevinç, S., Bal, İ. E. (2018). Betonarme yapıların doğrusal olmayan analizinde yayılı plastisite modellerinin hassaslık analizi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(2) , 907-918.
- Sezgin, E., Beyen, K. (2021). Betonarme Çekirdek Perdeli Yüksek Yapılarda Uzak ve Yakın Saha Depremlerinin Etkileri, 6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı , Kocaeli, 1023-1032, 13-15 Ekim.

- Şenel, Ş. Palancı, Kalkan, M., Yılmaz, A. (2013). Mevcut Prefabrik Binaların Mafsallı Birleşimlerinin Kesme ve Devrilme Güvenliğinin Araştırılması, *İMO Teknik Dergi*, 6505-6528, 407.
- Şeren, Ç. (2006). Depreme Dayanıklı Prefabrike Betonarme Yapı Tasarımı ve Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 172078.
- Türker, K., Yavaş, A. (2011). Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki Performans Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 85-96.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018). *TC Resmi Gazete* (30364, 18 Mart 2018) , İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Türkiye Prefabrik Birliği, Prefabrike Elemanların Kaldırma, Nakliye ve Montaj Kuralları, *Türkiye Prefabrik Birliği*, Ankara, 2017.
- Uçar, T., Merter, O. (2012). Binaların Deprem Hesabında Kullanılan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle İlgili Bir İrdeleme, *Ordu Üniversitesi Bilim Teknik Dergisi*, 2(2), 15-31.
- URL-1:<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/bilgi/depremnedir/index.htm#KONU9>, “Deprem Nedir?”, (Ziyaret Tarihi: 03.05.2021).
- Yavaş, M., Ş., Teloğlu, A.,N., Celep, Z. (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde Binaların Taşıyıcı Sisteminde Tanımlanan Düşey Deprem Etkisi Üzerine, *5.Uluslararası Deprem ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, 8-11 Ekim.
- Yerlici V., Luş H. (2007). *Yapı Dinamiğine Giriş*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Yılmaz, S., Şenel, Ş.M., Kayhan, A.H., Kuyucular, A., İnel, M. (2006). Betonarme Prefabrik Yapıların Deprem Dayanımı: Makas Kirişinin Devrilmesi”, *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, Denizli, 7-8 Aralık.
- Yılmaz S. (2004). Tek Katlı Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı ve Türk Deprem Yönetmeliğinin Prefabrik Yapılar Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 154552.
- Zorbozan, M., Barka, G., Sarıfakıoğlu, F. (1998). 1998 Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 48(1), 20-24.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Sakin, A. F., Beyen, K. (2021). (TBDY 2018) Yönetmelik elastik tasarım spektrumuna uygun bina deprem davranış simülasyonları, *6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı* , Kocaeli, 1125-1135, 13-15 Ekim.



ÖZGEÇMİŞ

A.Furkan Sakin Lise öğrenimi Yahya Kaptan Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi'ndeki İnşaat Mühendisliği lisans öğrenimini 2017 yılında tamamladı. Lisans öğrenimi süresince çeşitli projelerde çalışarak tecrübelerini geliştirdi. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü öğrenime başladı. Lisansüstü öğrenimi sırasında konuşmacı olarak katıldığı 6.Uluslararası Sismoloji ve Deprem Konferansı'nda çalışmalarını sundu. Lisans mezuniyeti sonrasında başladığı endüstriyel yapı sektöründe halen çalışmaktadır.

