

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK YAPILARDA UZAK VE YAKIN SAHA DEPREM
ETKİLERİ**

RECEP EKREM SEZGİN

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK YAPILARDA UZAK VE YAKIN SAHA DEPREM
ETKİLERİ

RECEP EKREM SEZGİN

Prof. Dr. Kemal Beyen
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Fatik Sak
Jüri Üyesi, Doğu Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Hilal Meydanlı Atalay
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 14/06/2022

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

Bu tez 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.

(İmza)

Recep Ekrem SEZGİN

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 "**Lisansüstü 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 erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

(İmza)

Recep Ekrem SEZGİN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü öğrenimim boyunca bana örnek olan, mesleğimi daha da sevdiren ve sadece mesleki olarak değil, kişiliği ve fikirleriyle üzerimde önemli bir etki bırakmış olan değerli danışmanım Prof. Dr. Kemal BEYEN'e,

Yanında kıymetli bilgiler edindiğim ve çözümüne katkıda bulunduğum bir yapıyı tezimde kullanmama izin veren büyüğüm Mustafa Deniz GÜLER'e,

Tez çalışmam boyunca bana destek olan Ahmet ÖZENİR'e ve değerli arkadaşlarıma,

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

Mayıs – 2022

Recep Ekrem SEZGİN

6.2.3. Devrilme Momentleri.....	56
6.2.4. Çekirdek Perdesinin Birim Şekil Değişirme Değerleri	59
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	66
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	70



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Deprem etkisinde çerçeve sistem davranışı	4
Şekil 3.1.	Yığılı plastisite yaklaşımı	12
Şekil 3.2.	Yayılı plastisite yaklaşımı	13
Şekil 3.3.	Betonarme perdenin fiber modellemesi	14
Şekil 3.4.	TBDY-2018'e göre kesit hasar bölgeleri	16
Şekil 4.1.	Ham haldeki yakın saha deprem kayıtları	23
Şekil 4.2.	Ham haldeki uzak saha deprem kayıtları	24
Şekil 4.3.	Ölçeklendirilmiş yakın saha deprem kayıtları	26
Şekil 4.4.	Ölçeklendirilmiş uzak saha deprem kayıtları	26
Şekil 5.1.	Yapının plan görünümü	28
Şekil 5.2.	Üç boyutlu perform-3d modeli	28
Şekil 5.3.	Sargılı ve sargısız beton davranışı	30
Şekil 5.4.	Beton dayanımı – birim şekil değiştirme grafiği	31
Şekil 5.5.	Perform-3d'de modellenen beton malzemesi	32
Şekil 5.6.	Sargısız beton dayanımı – birim şekil değiştirme grafiği	32
Şekil 5.7.	Donatı çeliği dayanım – birim şekil değiştirme grafiği	33
Şekil 5.8.	Perform-3d'ye tanımlanan donatı davranışı	34
Şekil 5.9.	Fiber modeli kurulacak kolon kesiti	35
Şekil 5.10.	Fiber hücrelerine ayrılan kolon kesiti	36
Şekil 5.11.	Kolonun perform-3d fiber modeli	36
Şekil 5.12.	Fiberleri oluşturulan perde kesiti	37
Şekil 5.13.	Beton hasar limitlerinin tanımlanması	38
Şekil 5.14.	Donatı çeliği hasar limitlerinin tanımlanması	39
Şekil 5.15.	Kolonlarda fiber mafsal ataması	40
Şekil 5.16.	Perdelere fiber mafsal ataması	41
Şekil 5.17.	Değişen sönüm oranlarında tepki-periyot	41
Şekil 5.18.	Rayleigh sönüm modeli	42
Şekil 6.1.	Yakın saha x doğrultusu görelî kat ötelemeleri	43
Şekil 6.2.	Yakın saha y doğrultusu görelî kat ötelemeleri	44
Şekil 6.3.	Uzak saha x doğrultusu görelî kat ötelemeleri	45
Şekil 6.4.	Uzak saha y doğrultusu görelî kat ötelemeleri	45
Şekil 6.5.	Yakın saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri	46
Şekil 6.6.	Yakın saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri	47
Şekil 6.7.	Uzak saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri	48
Şekil 6.8.	Uzak saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri	48
Şekil 6.9.	Yakın saha x doğrultusu devrilme momentleri	49
Şekil 6.10.	Yakın saha y doğrultusu devrilme momentleri	50
Şekil 6.11.	Uzak saha x doğrultusu devrilme momentleri	50
Şekil 6.12.	Uzak saha y doğrultusu devrilme momentleri	51
Şekil 6.13.	Yakın saha x doğrultusu görelî kat ötelemeleri	52
Şekil 6.14.	Yakın saha y doğrultusu görelî kat ötelemeleri	52
Şekil 6.15.	Uzak saha x doğrultusu görelî kat ötelemeleri	53
Şekil 6.16.	Uzak saha y doğrultusu görelî kat ötelemeleri	53
Şekil 6.17.	Yakın saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri	54
Şekil 6.18.	Yakın saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri	55
Şekil 6.19.	Uzak saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri	55
Şekil 6.20.	Uzak saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri	56
Şekil 6.21.	Yakın saha x doğrultusu devrilme momenti	57

Şekil 6.22. Yakın saha y doğrultusu devrilme momenti.....	57
Şekil 6.23. Uzak saha x doğrultusu devrilme momenti	58
Şekil 6.24. Uzak saha y doğrultusu devrilme momenti	58
Şekil 6.25. Birim şekil değiştirme değerleri verilen noktalar	59
Şekil 6.26. P1 noktası yakın saha birim şekil değiştirme değerleri	60
Şekil 6.27. P1 noktası uzak saha birim şekil değiştirme değerleri.....	60
Şekil 6.28. P2 noktası yakın saha birim şekil değiştirme değerleri	61
Şekil 6.29. P2 noktası uzak saha birim şekil değiştirme değerleri.....	61
Şekil 6.30. P3 noktası yakın saha birim şekil değiştirme değerleri	62
Şekil 6.31. P3 noktası uzak saha birim şekil değiştirme değerleri.....	62
Şekil 6.32. P4 noktası yakın saha birim şekil değiştirme değerleri	63
Şekil 6.33. P4 noktası uzak saha birim şekil değiştirme değerleri.....	63



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. TBDY-2018 yüksek yapıların performans hedefleri	15
Tablo 4.1. Seçilen yakın saha depremleri	23
Tablo 5.1. Donatı çeliklerine ait bilgiler	33
Tablo 5.2. Beton malzemesi şekil değiştirme limitleri	37
Tablo 5.3. Donatı çeliği malzemesi şekil değiştirme limitleri	38



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 boyutu, (m)
b_k	: En dıştaki enine donatının eksenleri arasındaki uzaklık, (m)
c	: Sönüm katsayısı, (%)
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü, (mPa)
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, (mPa)
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı, (mPa)
f_{co}	: Sargısız beton dayanımı, (mPa)
f_e	: Etkili sargılama basıncı, (mPa)
f_s	: Donatı çeliği akma dayanımı, (mPa)
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı, (mPa)
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, (km)
R_{rup}	: Kayıt sahası ile fayın kopma noktası arasındaki en kısa mesafe, (km)
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, (%)
$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar Plastik Dönme Sınırı, (rad)
ω_{we}	: Sargı donatısının mekanik donatı oranı
Z	: Zemin sınıfı

Kısaltmalar

PEER	: The Pacific Earthquake Engineering Research Center
TBDY 2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
DBYBHY 2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
ASCE	: American Society of Civil Engineers (Amerika İnşaat Mühendisleri Topluluğu)
SEI	: American Society of Civil Engineers (Yapı Mühendisliği Enstitüsü)

YÜKSEK YAPILARDA UZAK VE YAKIN SAHA DEPREM ETKİLERİ

ÖZET

Ülkemizin özellikle büyük şehirlerinde gün geçtikçe artan bir yüksek yapı stoğu bulunmaktadır. Bu yapıların depremde hasar görmesi durumunda güçlendirilmeleri çok zor olmaktadır. Yüksek binaların içinde aynı anda bulunan insan sayısı da oldukça fazladır. Tüm bunlar göz önüne alındığında, olası depremlerde hasar görecektir olan yüksek yapılar, çevrelerine ve içindeki insanlara büyük zararlar verebilirler. Bu sebeplerle yüksek yapıların tasarımında bu afetlerden kaynaklanan etkiler doğru bir şekilde değerlendirilmelidir.

Yüksek yapıların sahip olduğu bazı dinamik özellikler, deprem karşısında farklı açılardan değerlendirilmelerini zorunlu kılmaktadır. Bu özelliklerinden birisi olan uzun periyotlardaki doğal salınımlarıdır. Uzak saha depremlerinde uzun periyot bölgesinde görülen salınımlar, yüksek yapıların salınımları ile örtüşmektedir. Bu örtüşme yüksek yapılarda farklı etkilere sebep olabilmektedir.

Günümüzde yürürlükte olan TBDY 2018, yüksek yapıların analizinde zaman-tanım alanında yapılacak analizleri zorunlu tutmaktadır. Bu analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının yapı sahasına uzaklığı konusunda bir kriter bulunmamaktadır. Uzak ve yakın saha depremlerinin yüksek yapılar üzerindeki farklı etkilerinin anlaşılabilmesi için TBDY 2018'e uygun olarak 11 adet yakın saha ve 11 adet uzak saha deprem kaydı seçilmiştir. Kayıtlar, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nden alınmıştır. Bu kayıtlar yüksek yapının bulunduğu konuma ait spektrum ile ölçeklenerek ve ölçeklenmeden ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Sonuçlar taban kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, deformasyonlar ve elemanların tasarım kuvvetlerinin değerleri üzerinden mukayeseli olarak tartışılmıştır. Bu simülasyon çalışmalarından elde edilen gerçeğe yakın davranışı yansıtmak için tipik çıktı örnekleri olarak bazı dikkat çeken analiz sonuçları verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Doğrusal Olmayan Dinamik Tepki, Uzak-Saha, Yakın-Saha, Yüksek Yapılar.

NEAR-FAULT AND FAR-FAULT EFFECTS ON TALL BUILDINGS

ABSTRACT

Especially in big cities, there is a big stock of tall building increasing in number everyday in our country. If these structures are damaged in an earthquake, it is difficult to strengthen them. The number of people in high-rise buildings at the same time is also quite high. Considering all of these, high-rise buildings that will be damaged in possible earthquakes can cause major damage to their environment and people inside the building. For these reasons, the effects of these disasters should be properly evaluated in the design of high-rise buildings.

Some dynamic features of high-rise buildings make it necessary to evaluate them from different perspectives in the face of earthquakes. One of these features is its natural oscillations in long periods. The oscillations observed in the long period region in far-field earthquakes coincide with the oscillations of tall structures. This overlap can cause different effects on tall buildings.

TBDY 2018, which is in force today, requires time-history analyzes for tall buildings. There is no criteria for the distance of earthquake records to be used in these analyzes to the building site. In order to understand the different effects of far-field and near-field earthquakes on tall buildings, 11 near-field and 11 far-field earthquake records were selected in accordance with TBDY 2018. The records were obtained from the Pacific Earthquake Research Center (PEER). These records were used in analyzes separately with and without scaling with the spectrum of the location of the building.

The results are discussed comparatively on the values of shear forces, story drifts, deformations and design forces of the elements. Some spectacular conclusive results are given as typical output examples to reflect the approximate real behaviour from this simulation studies.

Keywords: Earthquake, Inelastic Dynamic Response, Far-Fault, Near-Fault, Tall Buildings.

1. GİRİŞ

Son yüzyılda gelişen teknoloji ve teknik bilgilerin yardımıyla, daha büyük ve daha yüksek yapılar yapılmaya başlandı. Ülkemizin özellikle büyük şehirlerinde bugün önemli miktarda yüksek yapı stoğu bulunmaktadır. Bu yapılarda yaşayan insan sayısı da oldukça fazladır. Bununla birlikte, yapının hasar alması durumunda özellikle üst katlara ulaşmadaki ve güçlendirmede yaşanacak zorluklar sebebiyle tasarım aşaması ayrı bir önem kazanıyor.

Yüksek yapıların deprem ve rüzgar gibi dinamik etkiler altında kendilerine özgü davranışlar sergilediği görülmektedir. Bu sebeple yüksek yapıların tasarım ve değerlendirme süreçlerinde de bu etkiler göz önüne alınmalıdır. Yüksek yapıların analizlerinde gerçek davranışı yansıtılabilmek için gerçek depremlerde kaydedilmiş veya simüle edilmiş deprem kayıtları kullanılmaktadır. Zaman-tanım alanında yürütülen analizlerde kullanmak için seçilen deprem kayıtları, analiz sonucunu doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple seçilen deprem kayıtlarının yapıya uygun olması ve beklenen davranışı yansıtması gerekmektedir.

Günümüzde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinde deprem kayıtlarının seçimi ile ilgili kurallar, kayıt alınan istasyon ile deprem merkezinin uzaklığını değerlendirmemektedir. Yakın saha depremleri ile uzak saha depremlerinin hakim doğal salınım periyotları birbirlerinden farklıdır. Uzak saha depremleri ile yüksek yapıların hakim titreşim periyotları uzundur. Yakın saha depremlerinin hakim periyotları ise genellikle daha kısadır.

Bu çalışmada 20 katlı, 90 m yüksekliğe sahip, betonarme çekirdek perdeli bir yüksek yapının doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde TBDY 2018'e uygun olarak 11 adet uzak saha ve 11 adet yakın saha deprem kaydı seçilmiştir. Bu kayıtlar hem ölçeklenerek hem de ham halleri ile yapının analizine dahil edilmiştir. Böylece yapının gerçek davranışı ile birlikte deprem kayıtlarının uzak veya yakın sahadan seçilmesinin analiz üzerindeki etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır. Analizler Perform-3d programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın asıl amacı uzak saha depremleri ile yakın saha depremlerinin yüksek yapılar üzerindeki farklı etkilerini ortaya koymaktır.

2. YÜKSEK YAPILAR

2.1. Yüksek Yapılar Hakkında Genel Bilgiler

Yüksek yapılar 19. yüzyıl sonlarında ABD’de inşaa edilmeye başlanmıştır. Yapı malzemelerinin ve mühendisliğin gelişimi yüksek yapı inşaa için önemli bir adım olmuştur. Ahşap ve yığma taştan, çelik ve daha sonra çelik ile güçlendirilmiş taş ve beton kullanılmasıyla yeni yapılar ortaya çıkmaya başlamıştır. Eski tip yığma taştan duvarlar ile inşaa edilen yapıların kendi ağırlıklarını taşımada ve deprem etkilerine karşı koymakta yaşadığı sorunlar sebebiyle yapı yükseklikleri sınırlıydı. Bugün ise gelişen mühendislik anlayışı ve teknoloji sayesinde Burj Khalifa gibi 828 metre yüksekliğinde bir yapı inşaa edilebilmiş durumdadır. Bu tip yapılar sadece birer konut veya iş alanı değil, aynı zamanda buldukları şehrin sembolleri haline gelebilmektedirler.

Böylesi büyük yapılar beraberlerinde kendileri gibi büyük sorunlar getirmektedir. Yüksek yapıların içinde bulunan insan sayısı oldukça fazladır. Bununla birlikte yapının üst katlarına ulaşmak depremde oluşacak hasar sonrası veya yangın gibi durumlarda çok zordur. Bu sebeplerle yapının tasarım aşaması ayrı bir önem kazanmaktadır.

Bir yapı, etrafındaki yapılardan yüksek olduğunda yüksek yapı olarak nitelenebilir. Yüksek yapının tarifi kaynaktan kaynağa değişebilmektedir. TBDY-2018’e göre bulunduğu konumun depremselliği ile değişiklik göstererek, yüksekliği 70 m, 91 m veya 105 m’yi aşan yapılar yüksek yapı olarak ifade edilmektedir.

Yüksek yapılar teknik açıdan oldukça karmaşık yapılardır ve tasarımlarında diğer yapılardan farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu sebeple TBDY-2018 yüksek yapılar için ayrı bir bölüm içermektedir. Mühendislik ve teknoloji alanındaki yenilikler ile birlikte yüksek yapıların analizinde zaman-tanım alanında analizler kullanılmaya başlanmıştır. TBDY-2018 ile birlikte eşdeğer yabancı yönetmelikler de zaman-tanım alanında analizleri yüksek yapılar için zorunlu tutmaktadır. Zaman-tanım alanında analizleri doğrudan etkileyen bir faktör olarak deprem kaydı seçimi çok önemli olmaktadır.

2.2. Yüksek Yapı Sistemleri

Yüksek yapılar zeminden yükselen konsol bir kiriş olarak düşünülebilirler. Bu yapılar kesme, eğilme, burkulma ve devrilme momentlerine karşı koyabilmelidir. Her yüksek bina bu etkiler altında belli sınırlar içinde kalarak şekil değiştirebilir.

Yüksekliklerinin fazla olması sebebiyle deprem ve rüzgarın yatay etkisi, bu yapıların tasarımında en önemli faktörü oluşturmaktadır. Yüksek yapıların tasarım aşamasında yapıya uygun rijitlik ve stabiliteyi sağlayabilecek bir taşıyıcı sistemin seçimi ayrı bir önem teşkil etmektedir. Taşıyıcı sistemin seçiminde etkili olan kriterler ise şunlardır:

- Proje bütçesine bağlı olarak ekonomi
- Yapı kullanım amacı
- Yapı içi kullanım planlaması
- Malzeme ve inşaa yöntemi
- Yapı mimari görünümü
- Yapı yüksekliği
- Yapının konumu

Yatay yüklerin etkisi tasarım başından itibaren dikkate alınmalı ve taşıyıcı sistemin seçimi bu gereksinimlere cevap verecek şekilde yapılmalıdır. Yakın zamanda gelişen malzeme ve bilgisayar analizleri ile birlikte uygun bir taşıyıcı sistem gelişimi önemli yol kat etmiştir. Bununla birlikte mühendislerin yapı davranışını ve yatay yüklere sebep olan doğal etkileri daha iyi anladığı söylenebilir. Bu çalışmada literatür taraması göz önünde bulundurularak yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin sınıflandırılması şöyledir:

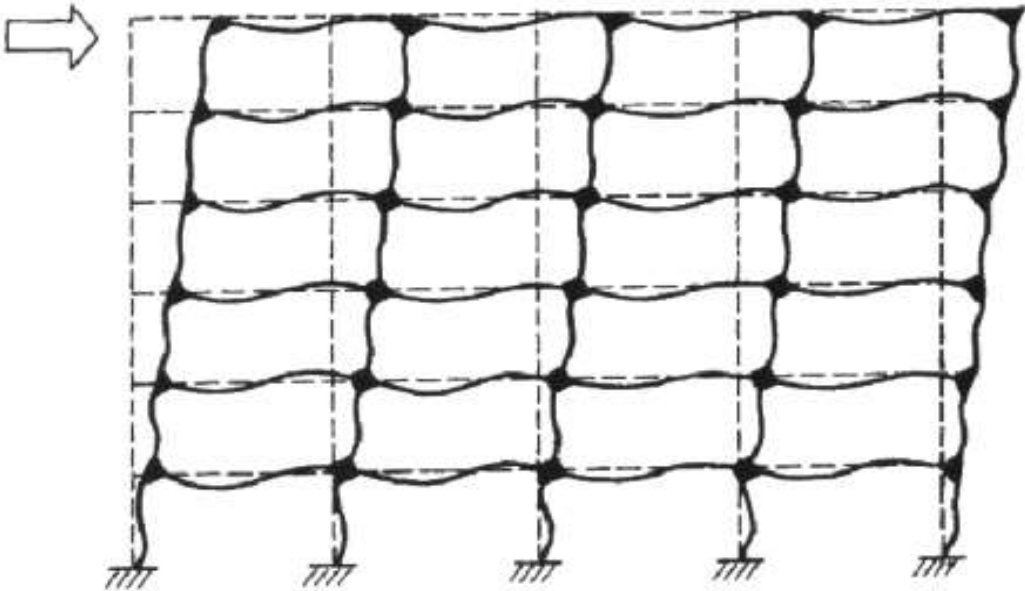
1. Rijit çerçeve sistemler (rigid frame systems);
2. Çaprazlı veya perdeli çerçeve sistemler (braced frame and shear walled frame systems);
3. Dış kafes sistemleri (outrigger systems);
4. Tüp çerçeve sistemleri (framed tube systems);
5. Dış çaprazlı sistemler (exterior braced systems);
6. Birleştirilmiş tüp sistemleri (bundled tube systems);

2.2.1. Rijit Çerçeve Sistemleri

Rijit çerçeve sistemleri hem çelik hem betonarme yapılarda kullanılmaktadır. Bu sistem yatay ve düşey yükleri karşılamak amacıyla uzun süredir kullanılan ve kabul görmüş bir sistemdir. Rijit çerçeve sistemi kolon-kiriş birleşimlerinin yeterli rijitliği sağlayarak birleşen elemanlardan oluşur. Mümkün olduğunca az şekil değiştirme yaparak dış etkileri karşılamak amacıyla kullanılır.

Rijit çerçevenin dayanımı ve rijitliği kendisini oluşturan kolon ve kiriş elemanlarının boyutlarına ve kolonlar arasındaki açıklığa bağlıdır. Kolon yerleşimi çoğunlukla mimari kaygılar gözetilerek yapılmasına karşın çerçeve sistemin ihtiyacına da karşılık vermelidir.

Basitliğinin sağladığı bir kolaylık olarak dikdörtgen şeklinde düzenlenen çerçeveler binanın dışında veya içinde yüksek yapının inşasını kolaylaştıracak şekilde düzenlenebilmektedir. Ancak özellikle deprem bölgelerinde bu sistemlerin tasarımına ayrı bir dikkat edilmelidir. Çerçeve sistemler genellikle yüksek süneklikli sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yine de birleşim bölgelerinin hasar görmesi durumunda gevrek göçme ile karşılaşılabılır. Ayrıca yüksek bir yapının deprem etkisi altında yatay hareketini kısıtlamak gerektiğinden çerçeve sistemlerin rijitliği yeterli olmayabilir.



Şekil 2.1. Deprem etkisinde çerçeve sistem davranışı

2.2.2. Çaprazlı veya Perdeli Çerçeve Sistemleri

Rijit çerçeve sistemler yüksek yapılarda kullanıldığında yüksek yatay deplasmanın önüne geçmek ve yapının yatay deplasmanını belirli sınırlar içinde tutmak oldukça zor olmaktadır. Rijit çerçeve sistemin içine yerleştirilen çaprazlar veya perde elemanları ile bu sistemin rijitliği önemli ölçüde artırılabilir. Böylece yüksek yapının deprem etkileri altında sınırlandırılması gereken yatay hareketini sınırlandırmak daha kolay olmaktadır.

Perdeli çerçeve sistemler hem betonarme hem de kompozit yapılarda kullanılmaktadır. Perdeler, sistemdeki yatay yüklerin büyük kısmını kendi üzerine çekerek sisteme destek olmaktadır. Genellikle yapının merkezinde, merdiven ve asansör etrafına yerleştirilen perdeler ve etraflarındaki çerçeve ile birlikte yüksek yapılarda kullanılırlar. Bu şekilde oluşturulan sistemler yapıya etkileyecek deprem ve rüzgar gibi yatay etkileri karşılamakta etkindir hem de inşaatı kolaydır. Ayrıca yatay etkiler yapının merkezindeki perdeler ile karşılandığından dış cephede mimari detaylar daha kolay uygulanabilmektedir. Bu sayede perdelerin etrafında kurulan çerçeve sistemde kolonlar büyük oranda düşey yük taşıyacaklardır. Betonarmenin malzeme olarak yapıya sağladığı sönüm ve yapı içerisinde iyi bir ses izolasyonu olması gibi sebeplerle sıklıkla tercih edilir olmaktadır. Yüksek binaların gelişiminde bu sistemin kullanılmaya başlaması önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Perdeli çerçeve sistemlerin kullanım alanı oldukça geniştir. Dünya üzerinde birçok yüksek yapı bu sistem ile oluşturulmuştur.

Çaprazlı çerçeve sistemler genellikle çelik yapılarda kullanılmaktadır. Sistemin rijitliğini ve böylece yatay yük taşıma kapasitesini oldukça yükselten ekonomik bir yöntemdir. Eklenen çaprazlar, sistem içindeki kolonların eğilmesini büyük oranda önlemektedir. Yerleştirilen çaprazlar neticesinde yapıya etkileyen ve yatay yük oluşumuna neden olan durumlarda, sistem elemanları genellikle aksel yük ile yüklenmektedir. Böylece bu sistem yerden yükselen konsol bir kafes sistem gibi çalışmaktadır. Çaprazlar yükleme yönüne göre çekme veya basınç yükleri altında kalır ve sistemin dış etkiler altında bir bütün olarak davranmasını sağlar. Çaprazların çerçeve içinde kullanımı ile yetersiz kapı yüksekliği, pencere yerleşimi gibi mimari sorunlar ortaya çıkabilir. Bu sebeple en çok tercih edilen, çaprazların asansör, merdiven veya kalıcı duvarların olacağı yerlerde kullanılmasıdır.

2.2.3. Dış Kafes Sistemleri

Dış kafes sistemler çaprazlı çerçeve sistemlerin değiştirilmiş bir halidir. Bu sistem yalnızca çelik olarak kullanılmaktadır. Sistemde yapı merkezinde bulunan perdeli veya çaprazlı çekirdek kısmı, dıştaki kolonlar ile yatay çaprazlar kullanılarak bağlanır. Böylece yapının rijitliği arttırılmış olur. Özellikle yapılar yükseldikçe etkiyen deprem ve rüzgar etkileri daha da büyük sorunlar oluşturmaktadır. Bu yöntem ile yapı çekirdeğinin veya taşıyıcı sisteminin daha büyük elemanlar ile oluşturulması yerine, çekirdeğin dış çerçeveye çaprazlar ile bağlanmasıyla daha ekonomik bir çözüm bulunmuş oluyor. Çekirdek yapının merkezine veya bir ucuna yerleştirilmiş olabilir. Dış kafes sistemi teşkil edecek çaprazlar her iki durumda da dış kolonlar ile çekirdek bölgesini birbirine bağlayarak inşaa edilir. Bu çerçeveler genellikle bir veya iki kat yüksekliğince uygulanarak rijitliği arttırırlar. ABD’de bulunan Wisconsin Center (183 m) ve Avustralya’da bulunan Melbourne Tower (560 m) bu sistemin örneklerindedir.

2.2.4. Tüp Çerçeve Sistemleri

Tüp çerçeve sistemler çelik, betonarme ve kompozit yapılarda kullanılmaktadır. Çaprazlı ve perdeli çerçeve sistemlerin yetersiz kaldığı yüksek yapılarda kullanılmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu sistemde yapı dış akslarında bulunan kolonlar birbirine oldukça yakın yerleştirilir ve derin bir bağ kiriş ile birbirlerine bağlanırlar. Böylece tüm sistem konsol bir kiriş gibi çalışır ve devrilme momentlerine karşı direnç oluşturur. Yapı içlerinde kolon olması veya olmaması durumunda da yatay yüklere karşı oldukça etkili bir dayanım sağlayan bir sistemdir. Sistem dış akslardaki kolonların sık ve derin bağ kirişler ile bağlanıp iç akslarda çok az veya hiç olmayan kolonlar sebebiyle tüp görünümündedir ve bu yüzden böyle isimlendirilmiştir. Dış akslardaki tüp sistem tüm yatay etkileri karşılarken, içeride eğer düşey bir taşıyıcı sistem teşkil edilmişse düşey yükleri paylaşırlar. Yapı yüksekliğinin genişliğine oranı, yapı plan ölçüleri, aralıklar, kolonların ve bağ kirişlerin ölçüleri sistemin çalışmasını doğrudan etkilemektedir. En efektif uygulaması kare veya dikdörtgen plana sahip binalarda görülmektedir. Eğer tasarımda yatay ötelemeler kontrol edilmekte zorlanıyorsa, yapı merkezinde bir tüp daha oluşturulabilir. Bu sistemlere örnek olarak Dünya Ticaret Merkezi İkiz Kuleleri meşhur bir örnek olarak verilebilir.

2.2.5. Dış Çapraz Sistemleri

Dış çapraz sistemler çelik, betonarme ve kompozit yapılarda kullanılmaktadır. Tüp çerçeve sistemin birden çok kat geçen çapraz elemanlar ile desteklenmesi ile oluşturulan bir sistemdir. Böylece tüp çerçeve sistemin rijitliği arttırılmaktadır. Daha yüksek yapılar için kullanılmaktadır. Çelik yapılarda çelik çaprazlar kullanılırken, betonarme yapılarda kolonlar arasındaki boşlukların perde duvarlar ile doldurulması ile de oluşturulabilmektedir. Perde duvarlar ile kolon aralarının doldurulması da çelik çaprazlar ile aynı etkiyi sağlamaktadır. Çaprazlar dış akslardaki çerçevelerin birlikte çalışmasını ve hem yatay hem düşey yükleri karşılamasını sağlamaktadır. Tüp çerçeve sistemde köşede yer alan kolonların aşırı aksel yük ile yüklenmesi riski vardır. Ancak bu çerçeveler çaprazlar ile bağlandığında bu soruna da çözüm sağlanmış olmaktadır. Küçük kat alanına sahip yüksek yapılar için de ideal bir sistemdir. Dış cephede oluşan duvar detayları ve görünüm sebepleriyle kullanımları çok sınırlı kalmıştır.

2.2.6. Birleştirilmiş Tüp Sistemleri

Bu sistem de her türden yapı için uygun bir sistemdir. Tek bir tüp çerçeve sistemin verimsiz olduğu, yapının hem planda büyüdüğü hem de yüksekliğinin arttığı durumlarda kullanılabilir. Yapının plan boyutları arttıkça tüp çerçeve sistem verimsiz bir hale gelmektedir. Bu gibi durumlarda birden fazla tüp çerçeve sistemin kullanılması uygun olabilmektedir.

Sistem tüplerin düzenlenmesiyle oluşmaktadır. Tüp sistemlerden herhangi biri istenilen yükseklikte sonlandırılarak farklı kat planları uygulanabilir. Sistemi oluşturan tüpler birden fazla geometrik şekilde düzenlenmiş olabilir. Sistemin bu özelliği farklı şekillerdeki ve simetrik olmayan yapıların inşasında avantaj olarak görülebilir. Ayrıca mimari planlamanın daha esnek olmasına izin veren bir sistemdir. Buna karşılık yapı iç alanında bulunan kolonlar yapının kullanım alanını daraltmaktadır. Yine de tek bir tüp çerçeve sisteme kıyasla kolon aralıkları daha büyük tutulabilir ve böylece daha büyük pencereler oluşturulabilir. Bu sistemin inşasında tüp çerçeve sistem ve dış çaprazlı sistem birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilir.

3. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

Doğrusal olmayan analizin deprem mühendisliği kapsamında kullanılmaya başlaması ABD’de mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi çalışmalarıyla başlamıştır. Tasarımcıya doğrusal olmayan analizleri uygulamasında yardımcı olacak ilk şartnameler FEMA 273 ve ATC 40 olarak yayınlanmıştır. Bu şartnamelerin yayınlandığı 1990’ların ortalarında bilgi düzeyi ve bilgisayar programlarının durumu dolayısıyla, bu şartnameler doğrusal olmayan statik analiz üzerine yoğunlaşmıştır. İlerleyen yıllarda, bu alanda biriken bilgilerin artmasıyla tamamen mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için kullanılacak yöntemleri içeren ASCE 41 yayınlanmıştır. Bu şartname ile doğrusal olmayan analizin nasıl yapılacağı, yapı davranışını doğru şekilde yansıtacak modelin kurulması ve yapı performans limitleri tanımlanmıştır. Bu gibi sebeplerden ötürü doğrusal olmayan analiz ve devamındaki işlemler bütünü bugün performans analizi olarak da adlandırılmaktadır.

Günümüzde doğrusal olmayan dinamik analizin, diğer bir adlandırmasıyla doğrusal olmayan zaman-tanım alanında analizin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, daha fazla araştırma yapılması, deprem kayıtlarının çoğalması ve dinamik analizlerde elde edilen sonuçların gerçeğe daha iyi bir yaklaşım olduğunun görülmesi, bu analiz yönteminin kullanımının artmasında önemli rol oynamıştır.

Göz önüne alınan tüm deprem tehlikesi seviyelerinde hiç hasar görmeyecek ve hiç doğrusal olmayan davranış göstermeyecek yapılar tasarlamak ekonomik ve mantıklı değildir. Bu nedenle belirli bir miktar hasar yapılarda oluşabilir. Performans analizi, yapı için belirlenecek analiz yönteminin ve hasar limitlerinin belirlenmesiyle başlar. Her limit belirli bir riski ifade eder ve kabul edilebilir hasar sınırlarını belirlemeye yarar. Yapı ömrü süresince karşılaşılabilecek deprem yer hareketlerinin yapıya etkisi belirlenir. Performans analiziyle birlikte olası deprem durumunda yapının davranışı ve yapıda oluşacak hasarlar ile bu hasarların seviyesi matematiksel olarak belirlenmiş olur.

Yapıların doğrusal olmayan davranışını iki kategoride inceleyebiliriz; malzemenin doğrusal olmayan davranışı ve geometrik doğrusal olmayanlık. Malzemenin doğrusal olmayan davranışı çekme malzemesinin akmaya başlaması veya basınç malzemesinin çatlama başlaması ile elemanların yük taşıma karakteristiklerinde değişim meydana

gelmesiyle ortaya çıkar. Ancak bu yaklaşım gerçek hayattaki malzeme davranışını doğru şekilde ortaya koymamaktadır. Doğrusal hesap yaygın kullanılan bir yöntem olduğundan, malzemenin davranışının doğrusal (lineer) olduğu, doğrusal olmayan (nonlinear) davranışın ise belirli şartlar altında ve nadiren geçerli olduğu yanılığı vardır. Oysa yapıların davranışı istisnai durumlar dışında nonlinearidir ve sadece istisnai, özel şartlar altında doğrusal davranırlar. Geometrik nonlinearlik ise yapıya etkileyen kuvvetlerin yüksek şekil değiştirmelere sebep olmasıyla veya yapının tasarım aşamasından gelen düzensizliklerin ilave iç kuvvet ve deformasyona sebep olmasıyla görülür.

3.1. Zaman-Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Doğrusal olmayan dinamik zaman-tanım alanında hesap yöntemi son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve kaydedilen deprem sayısının artmasıyla daha çok kullanılabilir hale gelmiştir. Doğrusal olmayan statik yöntemlere kıyasla gerçeğe daha yakın sonuçlar verir. Bugün ülkemizdeki yüksek yapıların performans analizinde kullanılması zorunlu olan yöntemdir. Yapının dinamik karakterinin ve yapı performansının sağlıklı şekilde belirlenmesi amacıyla analizde birden fazla deprem kaydı kullanılması gerekir. TBDY-2018 ile birlikte zaman-tanım alanında analizde kullanılmak üzere en az 11 deprem kaydı gerekmektedir. Ayrıca bu kayıtların iki yatay yönünün 90 derece döndürülerek yapıya etkilenmesi gerekir. Böylece analizde $11 \times 2 = 22$ adet deprem çözülmüş olur. Doğru bir sonuç elde edilebilmesi için yapı davranışını doğru şekilde simüle edecek bir model kurulmuş ve yapıya uygun kayıtlar seçilmiş olmalıdır.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (3.1)$$

Denklemdaki m sistemin kütle matrisini, c sönüm matrisini, k ise rijitlik matrisini ifade eder. Denklemden rijitlik ile çarpım durumunda olan $u(t)$ ifadesi sistemin deplasmanını, birinci türevi olan $\dot{u}(t)$ ifadesi sistemin hızını, ikinci türevi olan $\ddot{u}(t)$ ifadesi sistemin ivmesini ifade eder. Eşitliğin sağ tarafındaki $\ddot{u}_g(t)$ ifadesi ise yer çekimi ivmesidir. Deprem ivmesi zamana bağlı olarak çok düzensiz bir değişim gösterir ve kütle, sönüm ile rijitlik matrisleri çok sayıda diferansiyel denklem içerir. Bu nedenlerle hareket denkleminin çözümü için temelde iki iterasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bunlar:

1. Doğrudan İntegrasyon Yöntemi (Direct Integration Methods)

2. Mod Toplama Yöntemi (Mode Superposition Methods)

3.1.1. Doğrudan İntegrasyon Yöntemleri

İntegrasyon kullanarak denklem 3.1'i adım adım sayısal bir prosedür ile çözen yöntemlerdir. Bu yöntemde, denklemin dönüştürülmesi gerekmez ve bu sebeple doğrudan integrasyon denmektedir. Bu yöntem temelde iki adıma dayanmaktadır. Bunlardan birincisi denklem 3.1'de verilen ifadenin t zaman adımında değil, dt olarak ifade edilen artımlı zaman aralıklarında işlem görmesidir. Bu işlemin sonucunda, sönüm, atalet ve rijitlik etkisi çalışılan zaman aralığı içerisinde tekrar elde edilir. Yöntemin dayandığı ikinci adım ise zaman artımı içindeki yer değiştirme, hız ve ivme değişikliklerinin elde edilmesidir. Elde edilen bu değişiklikler hesabın doğruluğunu önemli ölçüde etkileyecektir. Doğrudan entegrasyon için günümüze dek birden fazla yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan, günümüzde sıklıkla kullanılan Hilbert-Hughes-Taylor yöntemi ile Newmark β yöntemleridir.

3.1.2. Mod Toplama Yöntemi

Yapıya etkileyen deprem, dinamik ve çevrimsel bir davranışa neden olur. Bu yüklemeyi iyi bir şekilde simüle edebilirsek yapının dinamik tepkisini, yapıyı oluşturan elemanlardaki iç kuvvetleri sayısal bir sonlu eleman modeli ile elde edebiliriz. Bu modelin dinamik davranışının elde edilebilmesi için geliştirilen yöntemlerden birisidir mod toplama yöntemi. Bu yöntemde yapının dinamik davranışı, belirli sayıda titreşim modu toplanarak elde edilmeye çalışılır. Toplanan modlar genellikle yapı davranışına etkisi diğerlerinden büyük olan modlardır. Daha düşük modlar ise genellikle ihmal edilir. Bu sebeple sonuçlar doğrudan entegrasyon yöntemlerine göre daha hızlı elde edilir.

Her iki yatay doğrultuda eş zamanlı uygulanan deprem için yapıda meydana gelen herhangi bir titreşim modunda, herhangi bir deplasman, görelî kat ötelemesi ve iç kuvvetlere karşılık gelen modal davranışın zamana göre değişimi hesaplanır.

TBDY-2018'e göre en az 11 adet deprem kaydının bu analizlerde kullanılması gerekmektedir. Deprem kayıtlarının birbirine dik iki yatay doğrultusu için analizler, kayıtların doğrultuları 90 derece döndürülerek tekrar yapılacaktır. Böylece 22 adet analiz yapılmış olmaktadır.

3.2. Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi

Yapıların istisnai durumlar dışında doğrusal olmayan davrandığı bilinen bir gerçektir. Üstelik tasarım aşamasından itibaren çeşitli sebeplerle yapının deprem durumunda belirli bir miktar hasar alması kabul edilen bir olgudur. Bu sebeplerle yapıların gerçek davranışını elde edebilmek amacıyla, bilgisayar ortamında doğrusal olmayan davranışı yansıtacak bir model kurulmalıdır. Bu doğrusal olmayanlık malzemedeki ve geometriden kaynaklanabilir. Dolayısıyla bu iki durumun doğru şekilde simüle edilmesi gerekir.

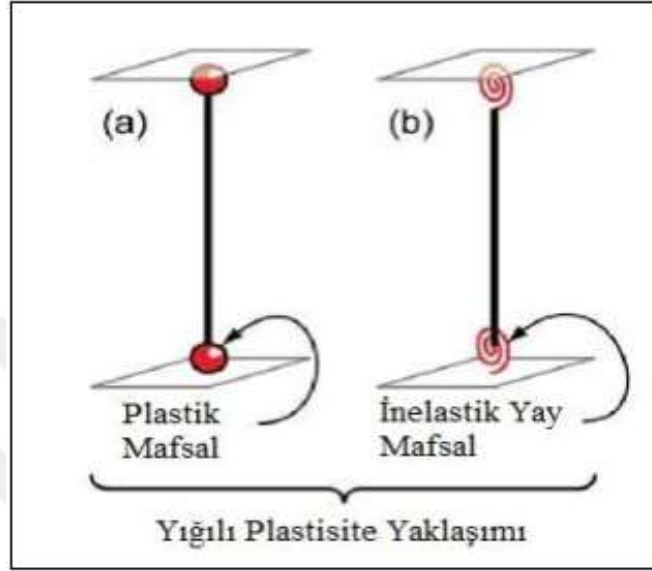
Geometriden kaynaklanan doğrusal olmayan davranış genel olarak yapının geometrik düzensizliklerinden, hiçbir yapının geometrik olarak kusursuz imal edilemeyeşinden ve deforme olmuş durumda oluşan ikinci mertebe etkilerinden kaynaklanır. Yapı elemanlarının geometrik kusuru genellikle çok küçüktür ve gözle görülmesi bile mümkün değildir. Çoğu durumda göz ardı edilebilir. Ancak deforme olmuş veya geometrik olarak kütle merkezinin yapı rijitlik merkezine uzak olduğu binalarda p-delta etkisi veya diğer isimlendirmesiyle ikinci mertebe etkileri göz önüne alınmalıdır. Kurulan modelde bu durum yansıtılmalı ve analize dahil edilmelidir.

Malzemedeki kaynaklanan doğrusal olmayan davranışı yansıtmak için ise iki yaklaşım vardır. Bunlar yığılı plastisite ve yayılı plastisite yöntemleridir. Her iki teoride de malzemenin yükleme altında davranışı yansıtılmaya çalışılır. Çünkü malzemenin üzerindeki yük ile davranışının değiştiği bilinen bir gerçektir. Her iki yöntem de matematiksel bir ifadeye dayanır ve laboratuvar deneyleriyle geliştirilmiştir. Bu yöntemler TBDY-2018’de de verilmektedir. Temel farkı ise yığılı plastisite yönteminde malzeme davranışının kesit bütünü göz önüne alınarak tek bir noktada ifade edilmesi iken yayılı plastisite yönteminde kesitin tamamını ifade eden küçük hücrelerden oluşmuş birden çok malzeme modelinin kullanılmasıdır.

3.2.1. Yığılı Plastisite Yöntemi

Yığılı plastisite yaklaşımında yapıyı oluşturan elemanlardaki şekil değiştirmenin ve doğrusal olmayan davranışın görüleceği olası yerler belirlenir. Bu yerlerde plastif mafsalları oluşturularak doğrusal olmayan davranış yansıtılmaya çalışılır. Bu yerler dışındaki eleman bölgelerinin ise doğrusal elastik davranış gösterdiği kabul edilir. Plastik mafsalları,

yığılı plastisite yönteminin en basit halidir. Şekil değiştirmenin yüksek olacağı bölgelerdeki sonlu plastik bölgenin merkezinde olduğu varsayılan bir noktadır ve kesitin tümünü ifade eder. Şekil 3.1’de teorinin bir kolon sonlu eleman modeli üzerindeki gösterimi verilmiştir.



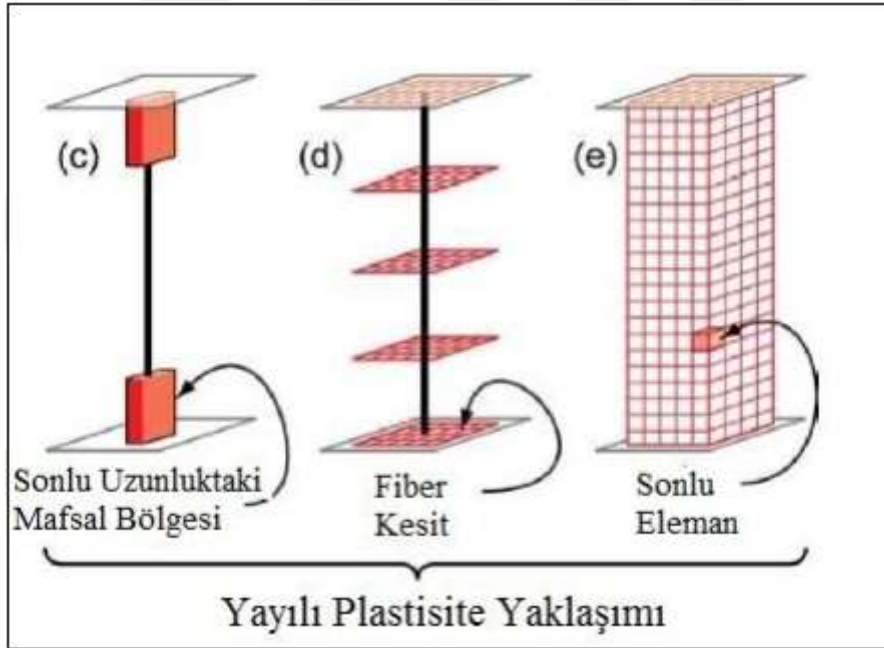
Şekil 3.1. Yığılı plastisite yaklaşımı

Plastik mafsalın doğrusal olmayan davranışı, kesit özellikleri ve malzeme modeli kullanılarak yapılan hesaplamalarla belirlenir. Hem donatı çeliği hem beton malzemesi için tek eksenli malzeme modelleri TBDY-2018’de verildiği gibi belirlenebilir. Dış yüklemeler altında elemanın davranışı eksenel yük, moment ve eğrilik olarak belirlenerek plastik mafsal tanımında kullanılır.

Şekil 3.1’de ifade edildiği şekliyle bu yaklaşımda, doğrusal olmayan davranış elemanın belirli bölgelerinde beklendiğinden o bölgelere plastik mafsal konularak, geri kalan bölge boyunca doğrusal davranış görüleceği beklenir ve modelde böyle ifade edilir. Bu yaklaşımın en büyük dezavantajı da bu noktada karşımıza çıkmaktadır. Doğrusal olmayan davranışın yeri her zaman tahmin edilebilir değildir. Deprem gibi çevrimsel yükleme durumlarında yapı elemanlarının rijitliği azalır ve doğrusal olmayan davranış elemanın tümünde görülebilir. Bu sebeple plastikliğin yani doğrusal olmayan davranışın küçük bir bölgede görüleceğini kabul etmek her zaman iyi bir seçenek olmayacaktır. Avantajı ise yapıların analiz süresini büyük oranda azaltması ve sadeliğidir.

3.2.2. Yayılı Plastisite Yöntemi

Yayıllı plastisite yaklaşımında doğrusal olmayan davranış tamamen malzeme davranışıyla ifade edilir. Özellikle beton malzeme davranışını yansıtan birçok yöntem vardır. Ancak günümüzde genel kabul ve TBDY-2018'in önerdiği mander beton modeli sıklıkla kullanılmaktadır. Yayıllı plastisite yönteminde, eleman kesiti fiber ismi verilen küçük hücrelere bölünür ve her bir hücre için malzeme davranışı tanımlanır. Yapı davranışı ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler, modele tanımlanan malzeme davranışı üzerinden izlenebilir. Yöntemin zorluğu ise genellikle davranışı ifade edilecek elemanın ve kesitinin kaç fiber hücresine bölüneceğinin kararlaştırılmasıdır. Genellikle betonarme perde duvarlar tüm yüksekliği boyunca fiberler ile ifade edilirken, kolon ve kiriş gibi çubuk elemanlar yığıllı plastik yaklaşımındaki gibi doğrusal olmayan davranışın beklendiği sonlu bölgeler boyunca fiberler ile ifade edilirler. Şekil 3.2'de çubuk elemanların fiberler ile nasıl ifade edilebileceğine dair bir gösterim sunulmaktadır.

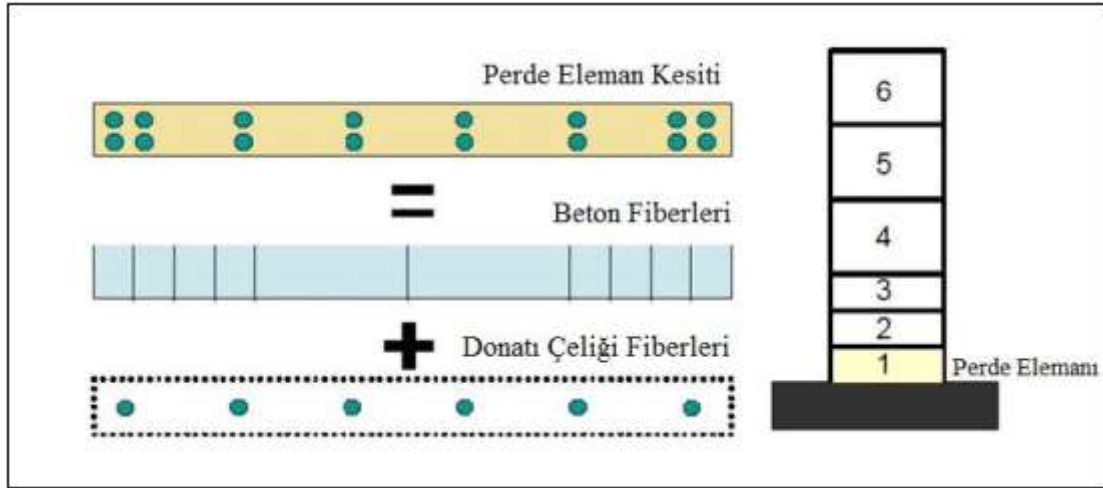


Şekil 3.2. Yayıllı plastisite yaklaşımı

Şekil 3.2'nin solundaki gösterim yığıllı plastisite yaklaşımı ile çok benzerdir. Eleman uç bölgelerinde doğrusal olmayan davranış beklenir ve buna uygun olarak eleman uçlarına fiberler atanır. Bunun dışındaki bölgeler ise doğrusal davranış gösterecek kabulü ile devam edilir.

Şekil 3.2'nin ortasında görülen şekil ise diğer bir modelleme yaklaşımını göstermektedir. Fiber modeli doğrusal olmayan davranışın elemanın uzunluğu boyunca da görülebileceği düşünülerek oluşturulmuştur. Bu modelle belirlenen enkesitlerde doğrusal olmayan davranış gerilme-birim şekil değiştirme üzerinden anlaşılabilir.

Sağdaki gösterim ise genellikle perdelerde kullanılan fiber modelleme tekniğidir. Elemanın tümünde doğrusal olmayan davranış izlenmek istediğinde kullanılır. Fiber elemanlar yönetmelikte tanımlanan hasar limitlerinden dönmeyi vermezler. Bunun yerine yine yönetmelikte verilen sınır koşullarından birim şekil değiştirme cinsinden sonuç verirler. Elemanların ve yapının durumu birim şekil değiştirme üzerinden belirlenir.



Şekil 3.3. Betonarme perdenin fiber modellemesi

Fiber modellerde eleman kesiti, yeterli sayıda beton ve çelik fiberlere bölünür. Yapısal davranışı anlamak için yeterli sayıda fiber hücresi oluşturmak gerekir. Fiber teorisi plastik mafsal teorisine göre daha yenilikçi ve gerçeğe daha iyi bir yaklaşım olsa da her zaman pratik değildir. Fiber model kurmak için harcanan zaman plastik mafsal oluşturmak için harcanan zamandan genellikle daha fazladır. Üstelik bu yöntemle modellenen yapıların analizi yığılı plastisite yaklaşımına göre modellenen yapılardan daha uzun sürmektedir. Ancak betonarme perdelerin, özellikle planda U,T ve L şekli oluşturan perdelerin fiber ile modellenmesi daha uygundur ve daha sık görülür.

3.3. Deprem Düzeyi ve Yapı Performans Hedefinin Belirlenmesi

TBDY-2018'e göre yapıların tasarımında kullanılan ivme spektrumunun oluşturulmasında 475 yıl dönüş periyodu olan ve 50 yılda aşılması olasılığı %10 olan

deprem düzeyi esas alınır. Bu deprem düzeyi TBDY-2018’de deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2) olarak sınıflandırılır. Ancak yapıların performansının belirlenmesinde farklı deprem düzeyleri de kullanılmaktadır. Yüksek yapıların performans analizinde deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1) ve deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3) kullanılmaktadır. DD-1 spektrumunun oluşturulmasında 2475 yıl dönüş periyodu olan ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan çok seyrek deprem yer hareketi göz önüne alınmaktadır. DD-3 spektrumunu oluşturulmasında ise dönüş periyodu 72 yıl olan ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi göz önüne alınır. TBDY-2018’de yeni yapılacak veya mevcut yüksek yapıların analizlerinde hedef performans düzeyleri tanımlanmıştır. Yönetmelikte yüksek yapılar için tanımlanan performans hedefleri Şekil 3.4’te verilmiştir. Buna göre yüksek yapıların performans analizinde DD-1 için normal performans hedefi Göçme Öncesi düzeyi iken, ileri performans hedefi olarak Kontrollü Hasar seviyesi belirtilmiştir. Ayrıca DD-3 için Sınırlı Hasar performans hedefi belirtilmiştir.

Tablo 3.1. TBDY-2018 yüksek yapıların performans hedefleri

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar (BYS =1)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

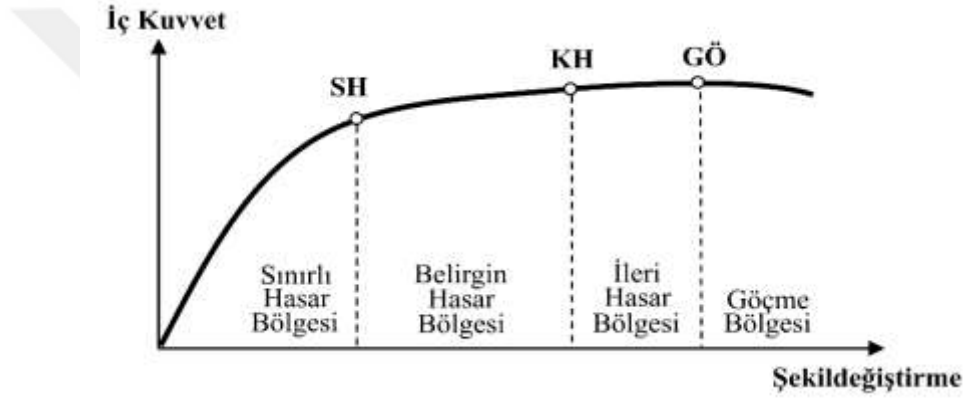
3.4. Kesit Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

TBDY-2018 yapıyı oluşturan betonarme elemanların göçme moduna göre gevrek veya sünek eleman olarak sınıflandırır. Gevrek göçme modu kesme kuvveti etkisi altında gerçekleşir. Elemanın gevrek göçmesinin önlenmesi için etkiyen kesme kuvvetinin elemanın kesme kuvveti kapasitesinin altında kalması gerekir. Yönetmelik gevrek göçme modunun oluşmasını istemez. Sünek göçme ise eğilme etkisiyle oluşur.

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları

ve bunların sınırlar değerleridir. Sınırlı hasar kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlar. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırmalar geçerli değildir.

TBDY-2018'e göre kritik kesitlerinin hasarı Sınırlı Hasar'a ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesinde, Sınırlı Hasar ile Kontrollü Hasar arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesinde, Kontrollü Hasar ile Göçme Öncesi Hasar arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesinde ve Göçme Öncesi Hasarı aşan elemanlar ise Göçme Bölgesinde yer alırlar.



Şekil 3.4. TBDY-2018'e göre kesit hasar bölgeleri

Kesitlerin hangi hasar bölgesinde olduğunu tespit edebilmek için doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen elemanların birim şekil değişirme istemleri, kesitin birim şekil değişirme kapasitesi ile karşılaştırılır. Yönetmeliğin 5. Bölümünde bu kapasiteler tanımlanmıştır. Aşağıda yayılı plastisite yönteminde kullanılan hasar limitleri ifade edilmiştir.

Dikdörtgen kesitli elemanlarda Göçmenin Öncesi performans düzeyi için beton birim şekil değişirmesi Denklem 3.2 ile ifade edilmiştir. Dairesel kesitler için ise Denklem 3.3 ile ifade edilir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.2)$$

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.3)$$

Denklem 3.2 ve 3.3’de verilen ilk terim sargısız betonun birim kısalmasını ifade eder. ω_{we} ise etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını ifade etmektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’de yer alan α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama beklenen akma dayanımını ifade eder.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad (3.5)$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (3.6)$$

A_{sh} ve ρ_{sh} gözönüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık), s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir. Dairesel sargı donatısının etkinlik katsayısı ise denklem 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D}\right)^n \quad (3.7)$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{os}}{Ds} \quad (3.8)$$

Denklem 3.7 ve 3.6’da ifade edilen A_{os} sargı donatısının alanını, s enine donatının aralığını veya spiral adımını, D ise sargı donatısı eksenleri arasındaki uzaklığı ifade eder. Dairesel etriye için $n=2$, spiral donatı için $n=1$ alınır. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim şekil değiştirmesi denklem 3.8 ile ifade edilir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (3.9)$$

Burada ε_{su} çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı göstermektedir.

Kontrollü Hasar ve Sınırlı Hasar performans limitleri ise Göçme Öncesi performans limitinin belirli oranları olarak tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (3.13)$$

Kontrollü Hasar ve Sınırlı Hasar performans seviyeleri için betonun birim şekil değiştirme sınırları denklem 3.10 ve 3.11'de verilmiştir. Donatı çeliğine ait birim şekil değiştirme sınırları ise denklem 3.12 ve 3.13'de verilmiştir. Donatı çeliğinin birim şekil değiştirme limitleri eleman kesitlerinin donatılandırılmasından ve diğer enkesit özelliklerinden etkilenmez ve sabittir.

3.5. Yapı Performansının Belirlenmesi

Yapıların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkili olup dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanır. Elemanların performansına karar verilmesinin ardından yapının genel performansı düzeyi belirlenir.

Yapı performansı aslen matematiksel bir ifade ile tespit edilir. Sayısal olarak hasarın durumu hesaplanır. Tespit edilen hasarın eleman bazında hangi performans seviyesine karşılık geldiğinin tespiti için TBDY-2018'de tanımlanan şekil değiştirme limitleri kullanılır. Söz konusu limitler ile hesaplanan hasar seviyesi karşılaştırılarak elemanın hangi performans seviyesinde olduğuna karar verilir.

Elemanlarının ardından yapının genel performansının belirlenmesi işlemi gelir. Bu aşama için TBDY-2018 bazı tanımlar yapmıştır. Yapı genelindeki elemanların tek tek hangi hasar seviyesinde oldukları tespit edilir.

Tüm elemanların hasar seviyelerinin tespitinin yapılması önemlidir. Kontrollü hasar performans seviyesinde olduğu söylenen bir yapının, öngörülen deprem tesiri altında

yapıyı kullanan insanların hayatlarını tehlikeye atmaması gerekmektedir. Yani hasar oluşabilir ancak bu hasarlar çok büyük olmamalıdır. Yapının 1 elemanı hariç tamamı kontrollü hasar seviyesini sağlarsa, ancak tek bir eleman göçme seviyesinde tespit edilse dahi göçme bölgesindeki eleman yapıda can ve mal kaybına sebep olacağından, bu yapı kontrollü hasar performans seviyesinde kabul edilemez. TBDY-2018'in performans seviyeleri için yaptığı tanımlar aşağıda açıklanmıştır.

Sınırlı Hasar Performans düzeyi için yapı kirişlerinin analizler sonucunda en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesine geçebilir. Ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesinde olmalıdır.

Kontrollü Hasar Performans düzeyinin sağlanması için betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil kirişler hariç olarak, kirişlerin en fazla %35'i ve düşey taşıyıcı elemanların ise İleri Hasar Bölgesine geçenlerinin buldukları kattaki kesme kuvvetine toplam katkıları %20'nin altında olmalıdır. Eğer bu düşey taşıyıcı elemanlar en üst katta yer alıyor ise kesme kuvvetine katkıları toplamı en fazla %40 olabilir. Diğer taşıyıcı elemanların ise tamamı Sınırlı Hasar bölgesinde ve Belirgin Hasar bölgesinde olmalıdır. Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı %30'u aşmamalıdır.

Gevrek hasar gören elemanların tümü Göçme Bölgesinde kabul edilir. Göçme Öncesi Performans düzeyi için betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil kirişler hariç olarak, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesine geçebilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar, Belirgin Hasar veya İleri Hasar bölgesinde olmalıdır. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar sınırını aşmış düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Bu binaların mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Eğer yapı Göçme Öncesi Performans düzeyini sağlamıyorsa Göçme durumunda kabul edilir ve kullanımı can güvenliği bakımından risklidir.

4. DEPREM YER HAREKETİ KAYITLARININ SEÇİMİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

Zaman-tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere TBDY 2018 11 adet deprem yer hareketi kaydı kullanılmasını zorunlu tutmaktadır. Zaman-tanım alanında analizler ise gün geçtikçe daha fazla kullanılır hale gelmekte ve yönetmelikler tarafından talep edilmektedir. Bu analizlerde kullanılan deprem yer hareketi kayıtları analiz sonucunu doğrudan etkilemektedir. Bu gibi sebeplerle analizde kullanılacak deprem yer hareketi kayıtlarının seçimi önem kazanmaktadır. Bugün elimizde giderek büyüyen bir deprem yer hareketi kayıt arşivi bulunmaktadır. Sadece geçmiş depremlerin kayıtları değil, üretilmiş veya geçmiş deprem kayıtlarının işleminden geçirilmiş halleri de kullanılabilir. Yönetmeliğin tavsiyesi ise yapının bulunduğu sahanın özellikleri göz önüne alınarak deprem büyüklüğü, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak seçilecek gerçek deprem kayıtlarının kullanılması yönündedir.

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin karakteristik özelliklerini temsil etmesi için genellikle ivme spektrumuna veya mesafe, zemin sınıfı ve büyüklük gibi parametreler kullanılarak seçilmektedir. Yürürlükte olan şartnamelerde, kayıtların seçimi genellikle davranış spektrumuna göre tarif edilir. Böylece deprem kayıtları yapının bulunacağı bölgenin depremselliğini ifade eden spektruma uyacak şekilde seçilir. Yüksek yapıların deprem kayıtları ise sahada yapılan çalışmalar ile elde edilen sismolojik ve jeolojik etkiler göz önüne alınarak seçilir.

Deprem büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini etkilediğinden, uygun büyüklüğe sahip kayıtları seçmek önemli bir hale gelmektedir. Özellikle faya yakın olan bölgelerde yapılacak çalışmalarda seçilecek kayıtların uygun fay-saha mesafesine sahip olması gerekir. Bunun sebebi yakın fay hareketlerinin karakteristik içerikleri diğer kayıtlardan farklıdır. Ayrıca zemin koşullarının da deprem yer hareketi üzerinde önemli olabilecek etkileri vardır. Yer hareketi yumuşak olarak nitelenen zeminlerde büyütülür ancak içerdiği yüksek frekans özellikleri törpülenir. Büyütmenin yer hareketi üzerindeki etkisi genellikle ivme kaydının orta ve yüksek periyotlu bölgelerinde olmaktadır.

4.1. Yakın ve Uzak Saha Depremleri

Yapılan çalışmalar, yakın saha deprem etkisi altındaki betonarme çekirdek perdeli yüksek yapıların yüksek doğrusal olmayan deformasyonlar yaptığını göstermiştir. Bu etki altındaki yüksek yapıların davranışı incelendiğinde, darbe (pulse) periyodunun yapının ikinci titreşim moduna yakın olması durumunda birinci ve ikinci yapısal modların titreşimlerini arttırdığı ve özellikle betonarme perdelerin alt bölgesinde çok büyük inelastik davranışa sebep olduğu bilinmektedir. Yönelim etkili yakın saha deprem kayıtlarının uzak saha kayıtlarından farklı karakteristiği sebebiyle çalışmalar yakın saha depremleri altında yapı davranışını araştırmaya odaklanmış durumdadır. Yakın saha deprem kayıtlarının içerdiği darbe etkisi yapı ve deprem mühendisleri için ayrı bir önem arz etmektedir. Bu tür depremler yapının lineer analiziyle tahmin edilenden daha yüksek deformasyonlar yapmasına sebep olabilmektedir. Yanal atımlı ve eğim atımlı faylar yönelim etkisine sahip depremler üretebilmektedir.

Ölçeklenecek deprem kayıtlarının seçiminde en önemli iki faktör deprem kaydının spektral şekli ve hız darbeleridir. Geometrik ortalaması hedef spektruma yakın kayıtlarda ölçekleme ihtiyacı daha düşüktür ve seçimleri daha uygundur. Hız darbesi ise birçok yakın saha deprem kayıtlarında vardır. Özellikle de depremin yönelim etkisinin görüldüğü fay normal düzlemi üzerinde hız darbesi içeren kayıtlara rastlamak daha kolaydır.

Yapı için seçilecek kayıtlar her zaman hedef spektrum ile iyi bir uyuşum sağlamazlar. Özellikle seçilen kayıtlar faydan uzaklaştıkça yani uzak saha deprem kayıtları, yüksek yapının spektrumu ile çok iyi uyuşum göstermemektedir. Bu gibi durumlarda analizlerde kullanmak üzere simüle edilmiş deprem kayıtları kullanılabilir. Bunlar gerçek depremler değil, laboratuvar ortamında veya bilgisayar yazılımları ile üretilmiş yapay kayıtlardır.

Yüksek yapıların analizlerinde kullanılacak kayıtların alanında uzman birisi tarafından, yapı konumunun depremsellik özellikleri göz önüne alınarak seçilmesi en uygun olanıdır. Günümüzde TBDY-2018 gibi yönetmelikler deprem kaydı seçiminin alanında uzman kişiler tarafından yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Yakın saha depremlerinin karakteristik özellikleri büyük oranda fay geometrisine ve deprem dalgalarının yayılımına bağlıdır. Enerjinin çok büyük kısmı dar bir frekans aralığına toplanır ve fay normal doğrultusunda yüksek bir darbe etkisi üretir. Bu darbe etkisi ise yüksek yapıların davranışında dikkate alınması ve çalışılması gereken önemli bir faktördür. Ancak halihazırda yönelim etkisinin yüksek yapılarda sebep olacağı deformasyonları ve yapı davranışını önceden tahmin edebileceğimiz bir yöntemi de yoktur. Bu konuda genel yaklaşım ise yapının eksenlerine göre döndürülerek ve farklı yönlerden etkilenen depremin bileşenlerinin yapıda sebep olduğu deformasyonları kullanarak analiz yürütmektir.

Yakın saha depremlerinin dar bir frekans bölgesinde titreşimler gösterdiği bilinmektedir. Bu özelliği uzak saha depremleri göstermemektedir. Arias şiddet eğrileriyle takip edilen toplan enerjinin %5'den %95'e ulaşma süresi yakın saha depremlerinin bir diğer karakteristik özelliğidir. Enerjinin %5'den %95'e ulaşma süresi yakın saha depremlerinde oldukça kısadır.

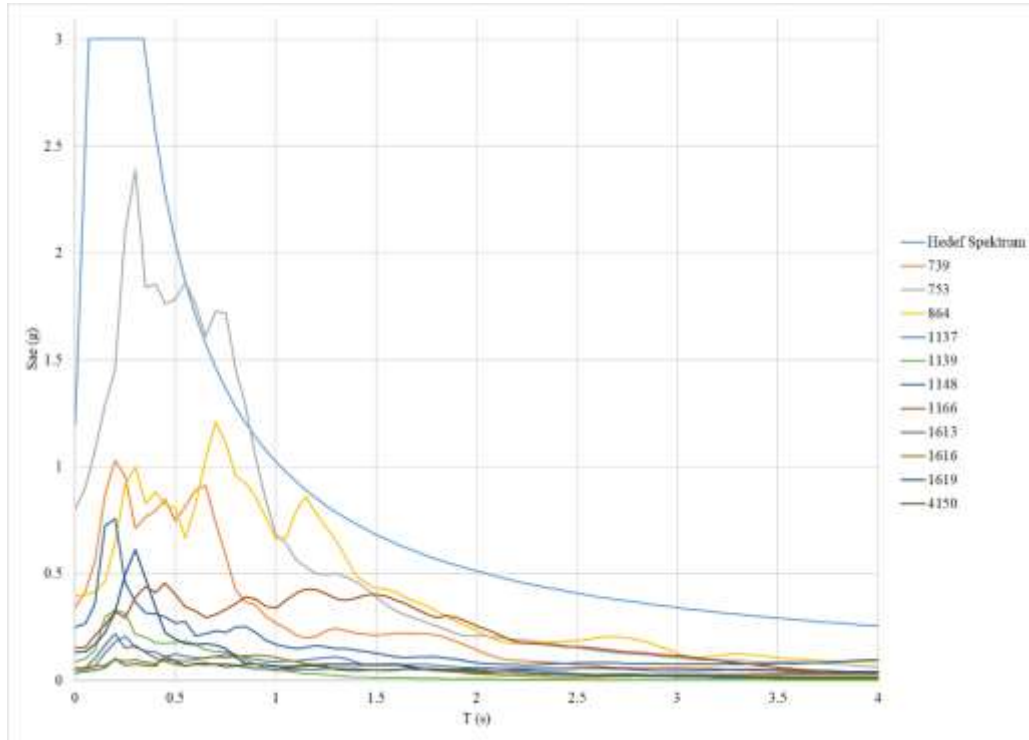
1985 yılında meydana gelen 8.0 büyüklüğündeki Mexico depremi 400 km uzaklıktaki Mexico şehrinde büyük hasara ve can kaybına neden olmuştur. 2011'de 9.0 büyüklüğünde meydana gelen Tohoku depremi 770 km uzaklıktaki 256 m yüksekliğindeki bir yapıda bulunan ivme ölçerler tarafından kaydedilmiş ve yüksek bir yapının uzak saha depremine gösterdiği tepkiler görülmüştür. Yapıdaki salınımın deprem süresine oranla çok daha uzun olduğu ve insanın yaşam konforu değerlerini aştığı görülmüştür. Salınım süresinin rahatsızlık verecek seviyelerde olması ve uzamasının uzak saha depremi ile yapı hakim periyodunun rezonansa girmesi ve sönümün yüksek yapılarda geometri sebebiyle düşük olmasıyla açıklanabilir.

Aşağıdaki tablolarda, çalışma için seçilen deprem kayıtları verilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarında öncelikle Türkiye'de bulunan Kuzey Anadolu Fayı üzerinde gerçekleşen depremler seçilmeye çalışıldı. Bu fay üzerinden yeterli sayıda depremin bulunamadığı durumda ise benzer bir mekanizmaya ve Kuzey Anadolu Fayı ile benzer depremler üreten San Andreas Fayı üzerinde gerçekleşen depremler seçilmeye çalışıldı. Alınan deprem kayıtlarında faya uzaklık, konum, zemin sınıfı gibi özellikleri dikkate alındı. Zemin sınıfı ile ilgili bilgiler Vs30 parametresi üzerinden yorumlandı. Tablolarda R_{rup} olarak ifade edilen, kayıt sahası ile fayın yırtılma noktası arasındaki en kısa mesafedir. Vs30 ise

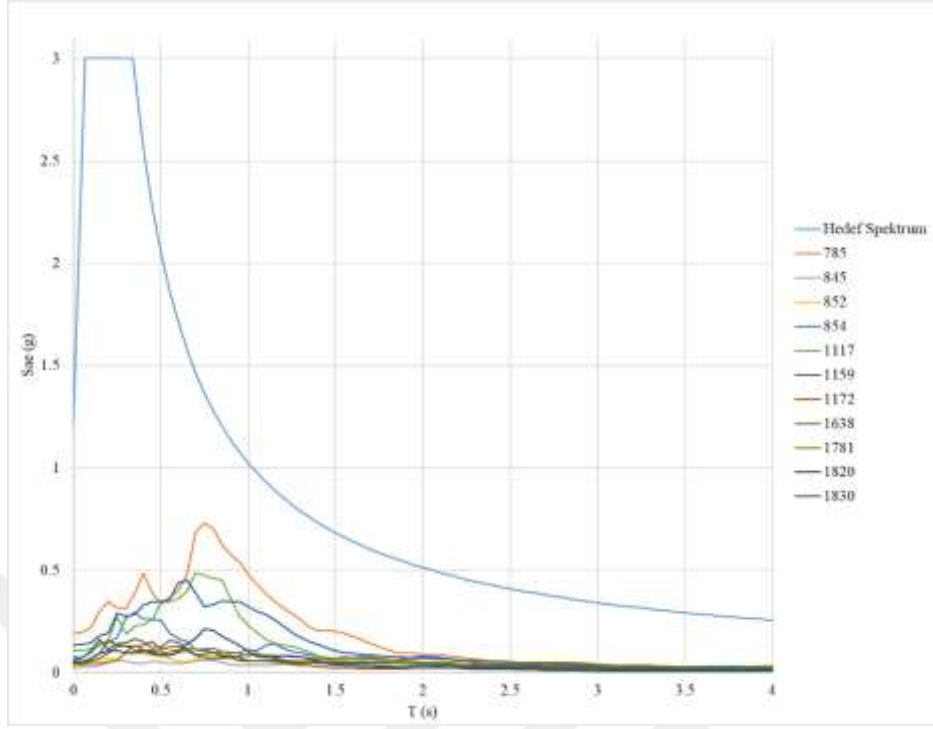
istasyonun bulunduğu sahaya ait zeminin üstteki 30 metresinde ilerleyen deprem dalgalarının yayılma hızıdır.

Tablo 4.1. Seçilen yakın saha depremleri

Kayıt No	Deprem	İstasyon	Yıl	Mw	Mekanizma	Rrup (km)	Vs30 (m/s)
739	Loma Pri.	Anderson Dam	1989	6,9	Ters Eğim	20,3	488,8
753	Loma Pri.	Corralitos	1989	6,9	Ters Eğim	3,9	462,2
864	Landers	Joshua Tree	1992	7,3	Yanal Atımlı	11,0	379,3
1137	Dinar	Burdur	1995	6,4	Normal	36,8	468,4
1139	Dinar	Cardak	1995	6,4	Normal	44,2	428,6
1148	Kocaeli	Arcelik	1999	7,5	Yanal Atımlı	13,5	523,0
1166	Kocaeli	Izmit	1999	7,5	Yanal Atımlı	30,7	476,6
1613	Duzce	Lamont 1060	1999	7,1	Yanal Atımlı	25,9	782,0
1616	Duzce	Lamont 362	1999	7,1	Yanal Atımlı	23,4	517,0
1619	Duzce	Mudurnu	1999	7,1	Yanal Atımlı	34,3	535,2
4150	Parkfield	Coalinga-Priest Valley	2004	6	Yanal Atımlı	22,0	412,8



Şekil 4.1. Ham haldeki yakın saha deprem kayıtları



Şekil 4.2. Ham haldeki uzak saha deprem kayıtları

Tablo 4.2 Seçilen uzak saha depremleri

Kayıt No	Deprem İsmi	İstasyon	Yıl	Mw	Mekanizma	Rrup (km)	Vs30 (m/s)
785	Loma Pri.	O.P. Reyes Station	1989	6,9	Ters Eğim	117,1	418,1
845	Landers	Calabasas - N Las Virg	1989	7,3	Ters Eğim	190,1	403,7
852	Landers	Duarte - Mel Canyon Rd.	1992	7,3	Yanal Atımlı	126,3	459,1
854	Landers	Featherly Park - Maint	1995	7,3	Normal	121,8	367,5
1117	Kobe	TOT	1995	6,9	Normal	119,6	609,0
1159	Kocaeli	Eregli	1999	7,5	Yanal Atımlı	142,3	585,1
1172	Kocaeli	Tekirdag	1999	7,5	Yanal Atımlı	165,0	521,8
1638	Manjil	Tehran	1999	7,4	Yanal Atımlı	174,6	376,9
1781	Hector Mine	Fillmore Pac Bell	1999	7,1	Yanal Atımlı	232,7	420,5
1820	Hector Mine	Pasadena	1999	7,1	Yanal Atımlı	171,9	430,7
1830	Hector Mine	San Bernardino	2004	7,1	Yanal Atımlı	104,7	495,6

4.1.1. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

TBDY-2018’de ifade edildiği üzere zaman-tanım alanında analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının, yapının yapılacağı sahanın özelliklerine göre belirlenen tasarım spektrumu ile uygun şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Yönetmelik, deprem kayıtlarının her iki bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü yöntemiyle birleştirilerek yapı doğal titreşim periyodunun %20’si ile %150’si arasında tasarım spektrumunun 1.3 katının altında kalmamasını istemektedir.

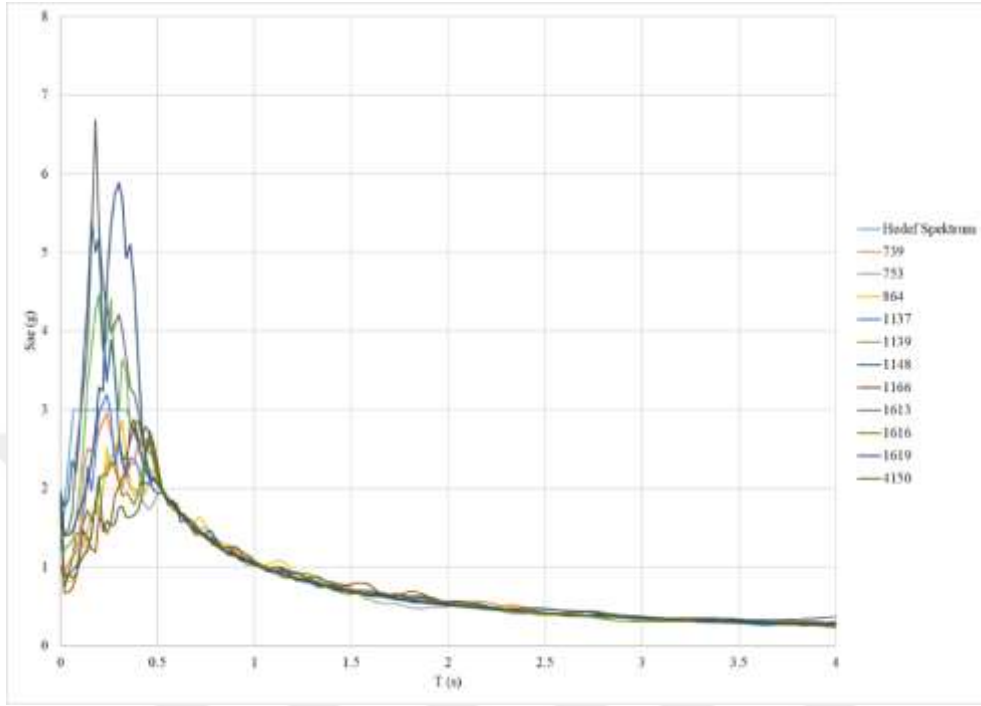
Deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uygun olarak ölçeklenmesi için birden çok yöntem bulunmaktadır. Ancak bunlar genel anlamda zaman-tanım alanındaki yöntemler ve frekans tanım alanındaki yöntemler olarak ikiye ayrılabilir.

Zaman tanım alanında ölçekleme yönteminde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek istenilen periyot aralığında tasarım ivme spektrumuna uygun eşleştirme yapılmaya çalışılır. Bu yöntemde kaydın frekans içeriği değişmez, yalnızca genliği değiştirilmiş olur. Birden fazla deprem kaydı kullanıldığında ise her bir kayıt için ayrı ayrı ölçekleme de yapılabilir, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun kayıtların ortalaması da alınabilir.

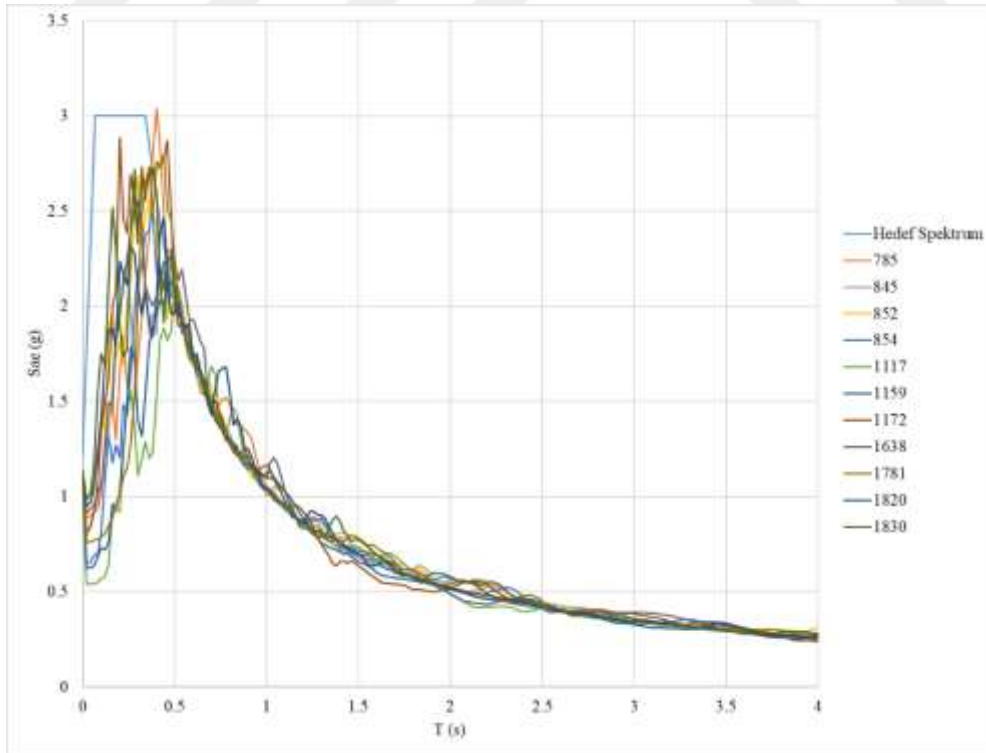
Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi ise kaydedilmiş deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uyacak şekilde yeniden türetilmesidir. Bu yöntemde seçilen deprem kaydı, ivme spektrumunun bu kayda ait davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında oluşturulur. Yöntem boyunca fourier fazları değişim göstermez. Elde edilen frekans tanım alanındaki hareket, zaman tanım alanına çevrilerek davranış spektrumu elde edilir. İstenen periyotlar aralığında, davranış spektrumunun hedef spektrum ile yeterli şekilde eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eşleşme yeterli değilse, istenilen eşleşme yakalanana dek işlemler devam eder.

Seçilen kayıtların spektruma uygun hale gelmesi için SEISMOMATCH yazılımı kullanılarak ölçekleme yapıldı. Kayıtların spektrumunun, hedef tasarım spektrumunun yapı doğal titreşim periyodunun %20’si ve %150’si arasında 1.3 katının altına düşmemesi gerekmektedir. Seismomatch yazılımı deprem kayıtlarının hedef spektruma ölçeklenmesi aşamasında frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanmaktadır. Bu yöntemi üst

paragraftaki anlatımından farklı olarak Abrahamson (1992), Hancock (2006) ve Atik, Abrahamson (2010) tarafından önerilen wavelet algoritmalarını kullanarak yapmaktadır.



Şekil 4.3. Ölçeklendirilmiş yakın saha deprem kayıtları



Şekil 4.4. Ölçeklendirilmiş uzak saha deprem kayıtları

5. ANALİTİK ÇALIŞMA

Tez kapsamında tasarımı TBDY-2018'e göre yapılmış bir yüksek yapı kullanılmıştır. Yüksek yapıların davranışını anlamak için yürütülen performans analizlerinde zaman-tanım alanında 3 boyutlu analizler yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada yapı Perform-3d programı kullanılarak modellenmiş ve aynı program üzerinde 3 boyutlu doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır.

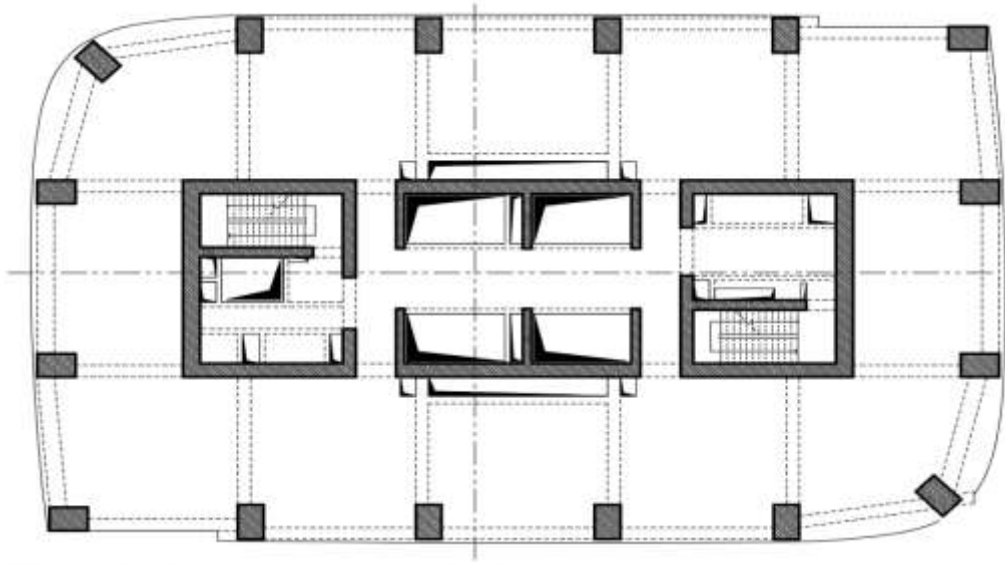
Uzak saha ve yakın saha depremlerinin yapı üzerindeki etkilerini görebilmek amacıyla 11 adet yakın saha depremi, 11 adet uzak saha depremi hem ölçekli hem de ham hali ile analizlerde kullanılmıştır. Depremlerin yapı üzerindeki etkileri çekirdek perdelerinin doğrusal olmayan deformasyonu, kat kesme kuvvetleri ve görelî kat ötelemeleri gibi kriterler üzerinden değerlendirilecektir.

5.1. Yapı Genel Bilgileri

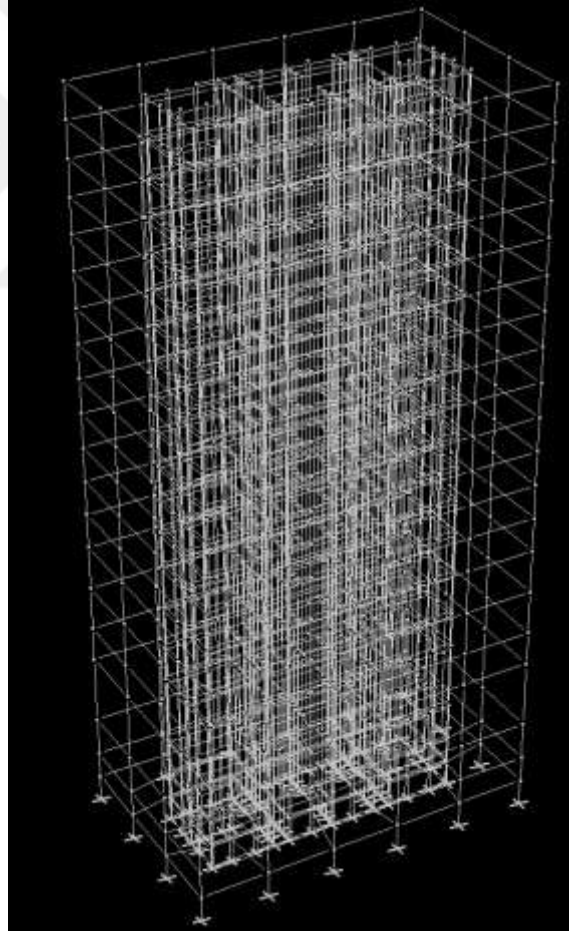
Yapı 20 kattan oluşmaktadır ve yüksekliği zeminden itibaren 90 metredir. Yapının plan boyutları ise yaklaşık 25 metreye 44 metredir. Yapı, betonarme çekirdek perdeli bir yüksek yapıdır. Yapının bodrum katları rijit betonarme toprak perdeleri ile çevrili olduğundan deprem etkisinde deformasyonu çok küçük kalacağı kabulü yapılmıştır. Bu sebeple analizlerde bodrum katlar modele eklenmemiştir. Yapının yatay etkilere karşı koyan en önemli taşıyıcı elemanları olan çekirdek perdeleri 40 cm ila 80 cm arasında değişen kalınlıklardadır.

Bu perdeler tüm yükseklik boyunca kalınlıklarını korumaktadırlar. Kolonlar ise 180x120 cm ebatlarındadırlar ve perdeler gibi yükseklik boyunca ebatlarını korurlar. Betonarme elemanlarda pas payı 40mm olarak bırakılmıştır. Kolon kesiti ve perde başlıklarında 28 mm çapında donatı kullanılmıştır.

Etriyeler, yani enine donatılar ise 100 mm ara ile 14 mm çapındaki donatılarla oluşturulmuştur. Yapının kule kısmında kirişsiz döşeme kullanılmıştır. Yapıda kullanılan beton sınıfı C35, donatı sınıfı ise B420C'dir. Zemin sınıfı ZC olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Yapının plan görünümü



Şekil 5.2. Üç boyutlu perform-3d modeli

Şekil 5.1'de kat planı ve 5.2'de üç boyutlu modeli görünen yapıya ait sonlu eleman modeli Perform-3d programında oluşturulmuştur.

5.1.1. Yapı Davranışı

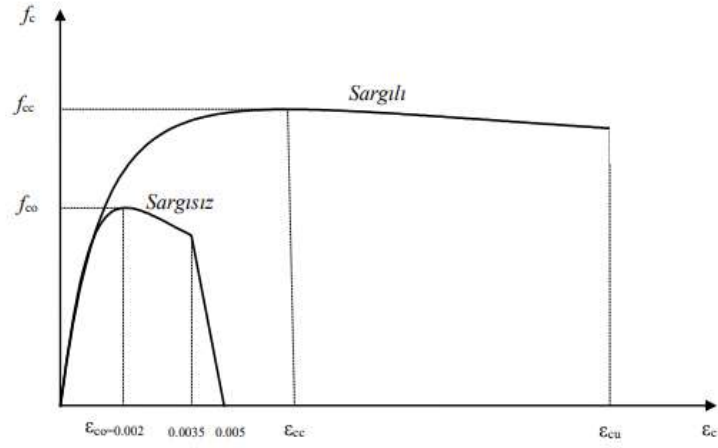
Yapı kavramı esasen birden çok elemanın birlikte bulunduğu durumu temsil etmektedir. Matematik modellerde yapıyı oluşturan bu elemanların sayıları her ne kadar mühendislerce oluşturulan kolon, kiriş, perde, döşeme gibi elemanlardan oluşuyor olsa da, gerçek yapılar bu elemanların birlikte daha kompleks bir şekilde çalışmasını içermektedir.

Söz konusu elemanların herbirinin kendi içerisinde karakteristik davranış göstermesinin yanı sıra, bu elemanların eş zamanlı davranışlarının da nasıl bir model ile ortaya konacağı sonuçlar açısından çok önemlidir.

Yukarıda sözünü ettiğimiz durum göz önüne alındığında yapı davranışının beklenenden karmaşık olacağı söylenebilir. Betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışları malzeme modelleri ile ifade edilebilir. Bunlara bağlı olarak yapı davranışını anlamak amacıyla ilk olarak yapısal elemanı oluşturan malzemenin davranışının ifade edilmesi gerekir. Betonarme malzemelerin davranışını ifade edebilmek için yapılan çalışmalarda Mander Modeli (Mander vd. , 1988), Kent-Park Modeli (Park vd., 1972), S&R Modeli (Saatçioğlu vd., 1992) gibi çeşitli malzeme modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin her biri kendi içerisinde farklı malzeme yaklaşımını deneysel ve nümerik olarak ifade etmektedir.

TBDY-2018 betonun davranışını ifade etmek amacıyla Mander Modelini kullanmaktadır. Mander modelinde sargılı ve sargısız beton davranışı beton sınıfı, düşey donatı sayısı, enine donatıların düzeni, donatıların çapları ve malzeme sınıfları ve kancalama açısıyla ilişkili olarak hesaplanarak oluşturulur.

Sayısal analizde kullandığımız yapının tasarımı 2018 yönetmeliğine göre yapıldığı için yapıda kullanılan etriyeler 135 derece açığa sahip kancaları içeren özel deprem etriyeleridir. Etriyenin etkisi 2018 yönetmeliğinde sargı etkisi ile yapı karakteristiğine katılmaktadır. Sargı etkisinin malzeme dayanımına etkisi şekil 5.3'de verilen grafikte gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Sargılı ve sargısız beton davranışı (TBDY2018)

Sargılı betonda beton basınç gerilmesi f_c , birim şekil değiştirmesi ε_c 'nin bir fonksiyonu olarak denklem 5.1'de verilen bağıntı ile ifade edilmektedir.

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

Denklemdaki sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{c0} arasındaki ilişki denklem 5.2 ve denklem 5.3'te verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{c0} \quad (5.2)$$

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{c0}}} - 2 \frac{f_e}{f_{c0}} - 1.254 \quad (5.3)$$

Denklemin 5.3 'de verilen f_e etkili sargılama basıncını ifade eder. Dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için Denklem 5.4 ve 5.5'de verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

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

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

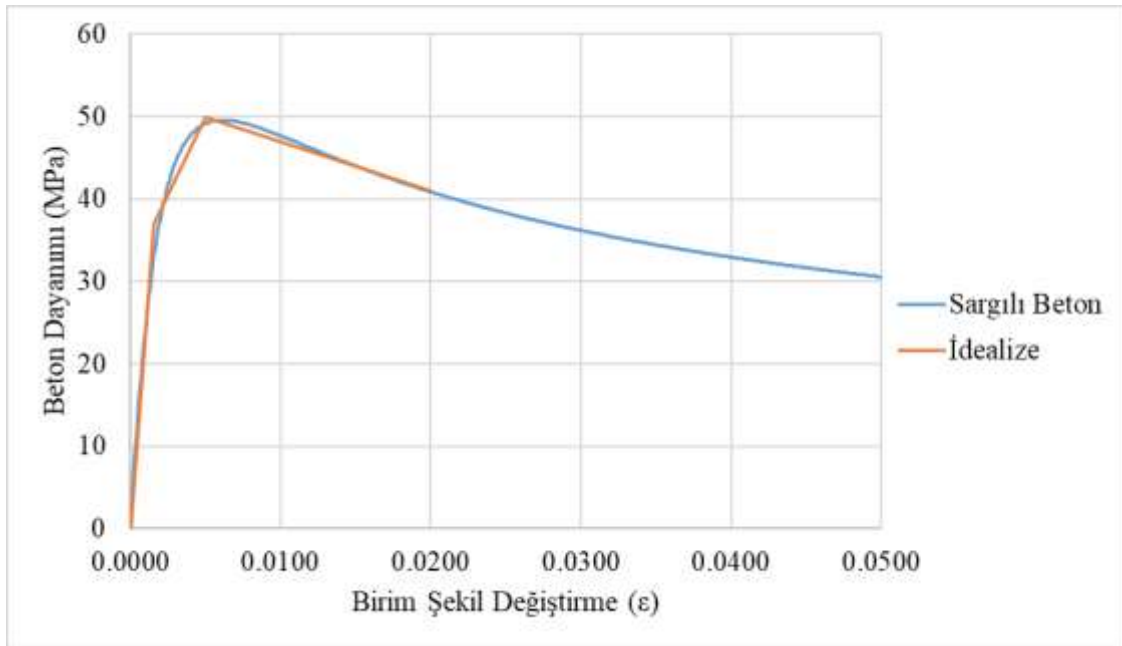
Bu bağıntılarda ifade edilen f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını, k_e ise Denklem 5.6'da ifade edilen sargılama etkinlik oranını temsil eder.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0h_0}\right)^{-1} \quad (5.6)$$

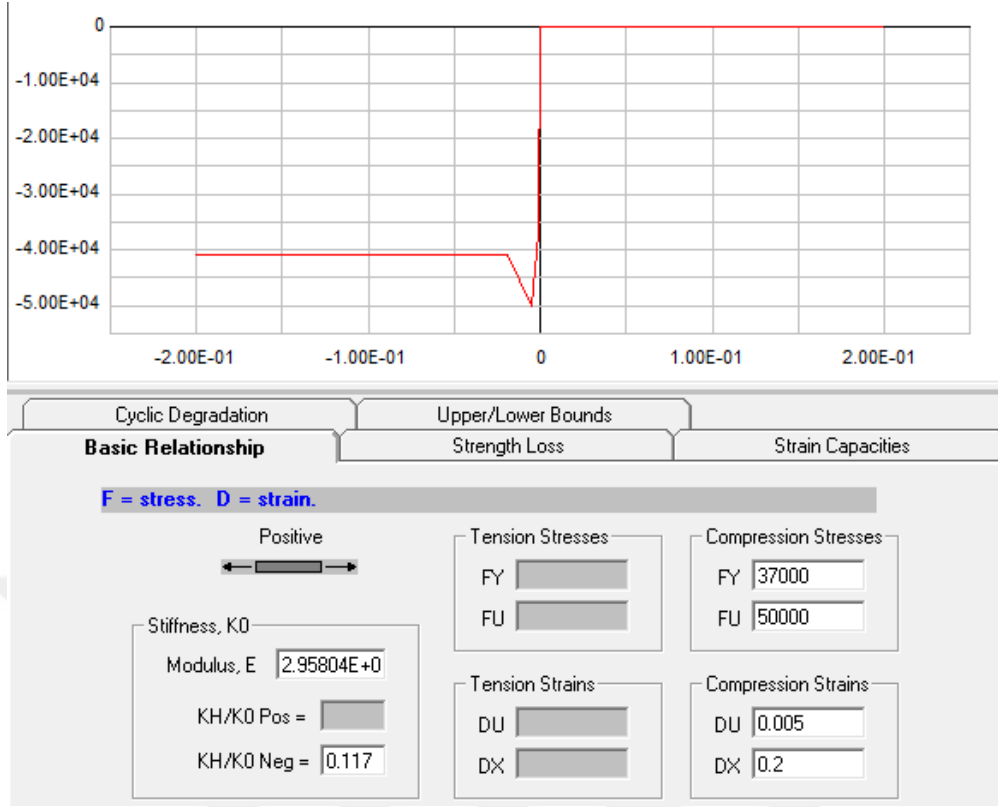
Denklemler 5.6'da verilen denklemlerde kullanılan a_i kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki mesafeyi, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Bu denklemler kullanılarak yapı elemanlarını oluşturan beton malzemenin sargılı ve sargısız beton davranışı gerilme-birim şekil değiştirme olarak elde edilmektedir.

Yukarıdaki denklemler kullanılarak farklı betonarme elemanlar için gerilme-birim şekil değiştirme bağıntıları elde edilip malzeme davranışını incelendiğinde betonarme elemanın en kesitinin ve etriye aralığının malzeme davranışını ciddi oranda değiştirdiği görülür.

Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak 180 cm'ye 120 cm kesitindeki kolonlara ait sargılı beton davranışını şekil 5.4'te verildiği gibidir. Kullanılan betonun C35 olduğu göz önüne alınırsa kesitin ve donatıların yerleşiminin beton dayanımını nasıl etkilediği daha çarpıcı olarak görülecektir. Grafikteki mavi eğri sargılı beton dayanımının gerçek değerlerine karşılık gelmektedir. Turuncu eğri ise Perform-3d programında bu malzemeyi modelleyebilmek için oluşturulan üç kırıklı bir idealize eğridir.

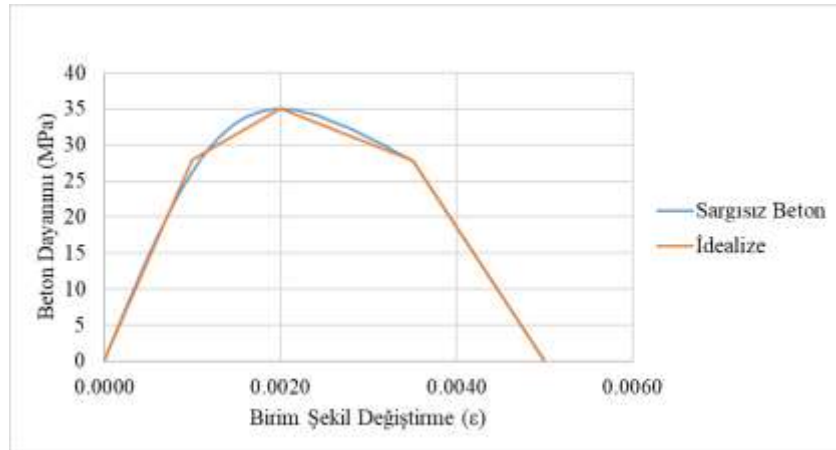


Şekil 5.4. Beton dayanımını – birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 5.5. Perform-3d'de modellenen beton malzemesi

Grafik incelendiğinde C35 sınıfı beton malzemenin sargı etkisiyle 50 MPa dayanıma ulaştığı buna karşılık sargısız betonun karakteristik beton dayanımı olan 35 Mpa'da kaldığı görülür. Sargılı betonun karakteristik davranışı Mander Modeli vasıtasıyla ortaya konuldu. Ancak sargısız beton malzemenin limit değerleri yönetmeliğin 5. Bölümünün A ekinde tanımlandığı gibi oluşturulmuştur ve Şekil 5.5'de verildiği gibidir. Buna göre sargısız betonun akma birim şekil değiştirmesi 0.002 pekleşme birim şekil değiştirmesi 0.0035 ve kopma birim şekil değiştirmesi 0.005 olarak verilmiştir.



Şekil 5.6. Sargısız beton dayanımı – birim şekil değiştirme grafiği

Betonarme elemanlarda kullanılacak olan donatının karakteristik özellikleri ise denklem 5.7, 5.8 ve 5.9’ da verildiği gibi ifade edilir.

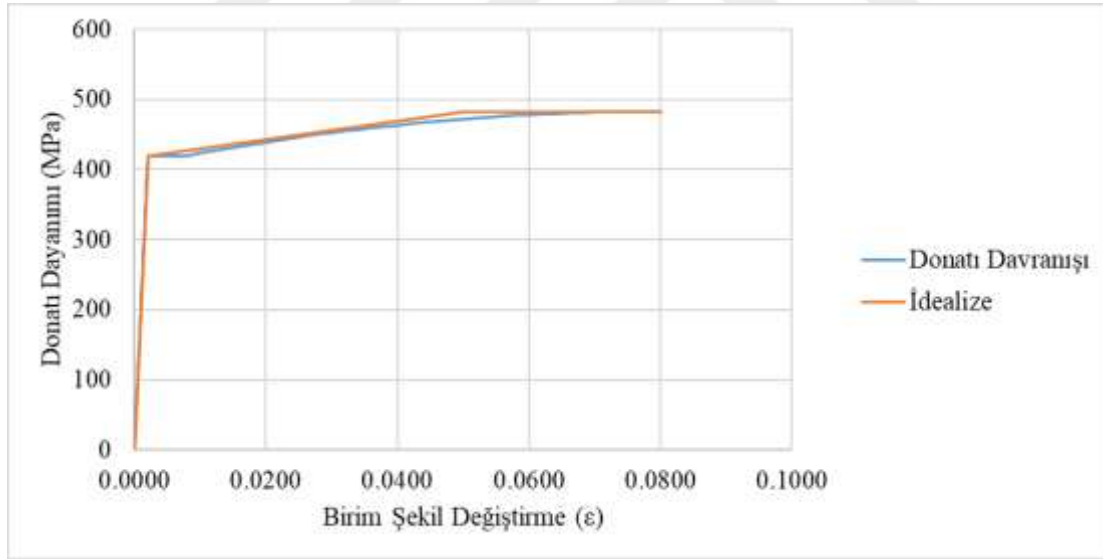
$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (5.7)$$

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

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

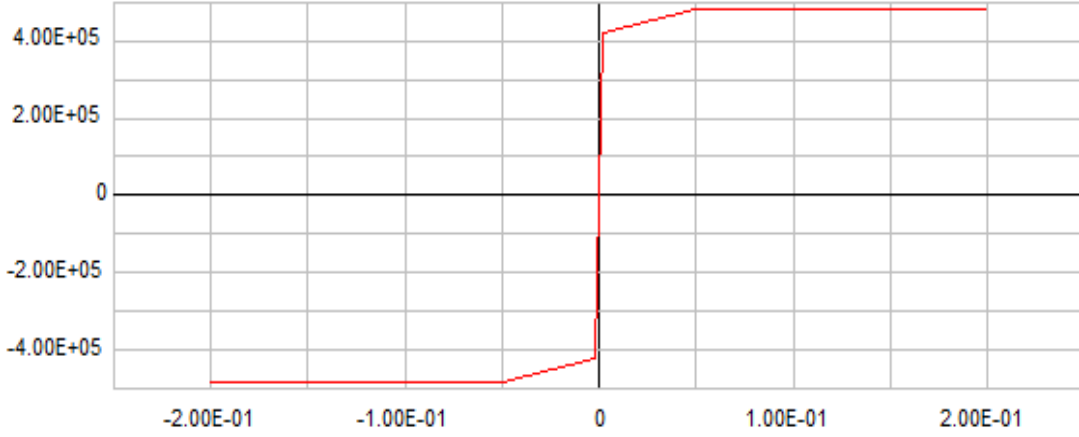
Tablo 5.1. Donatı çeliklerine ait bilgiler (TBDY-2018)

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



Şekil 5.7. Donatı çeliği dayanım – birim şekil değiştirme grafiği

Donatı çeliğinin elastik modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa olarak hesaplara dahil edildi ve donatı çeliğine ait özellikler TBDY-2018 5. Bölümün A ekinde bulunan Tablo 5A.1'den alınmıştır. Yapıda kullanılan B420C donatı çeliğine ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.7'de verildiği gibi elde edilmektedir.



Şekil 5.8. Perform-3d'ye tanımlanan donatı davranışı

Yapının karakteristik davranışı, yapıyı oluşturan elemanların davranışlarından etkileneceğinden malzeme davranışları TBDY-2018 5. Bölümün A ekinde belirtildiği üzere hesaplanmış ve programa tanımlanmıştır.

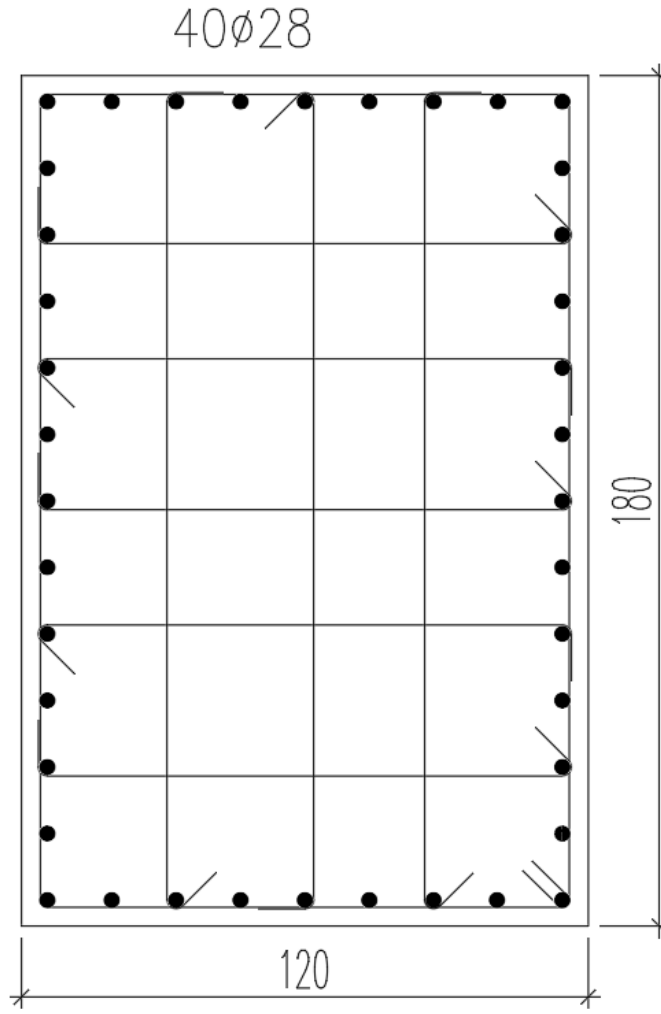
5.1.2. Yayılı Plastik Davranış

Yayıllı plastisite yöntemi, eleman kesitlerinin her biri ayrı ayrı modellenebilen küçük hücrelere ayrılarak tüm hücrelerin analize dahil edilerek elemanın doğrusal olmayan davranışını ortaya koymakta kullanılır.

Eleman kesiti bölüntülenererek elde edilmiş olan hücrelere ise fiber veya lif denir. İşlemin devamı için her fiberin davranışı ayrı ayrı tanımlanmalıdır. Bu aşamada, daha önce bahsedilen beton ve donatı çeliği malzeme modelleri kullanılır. Bu malzemelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri ilgili hücrelere atanır.

Modellenen perdelerin tüm yüksekliği boyunca fiber modelleme yapılmıştır. Yani doğrusal olmayan davranış perdenin tümünde izlenmektedir.

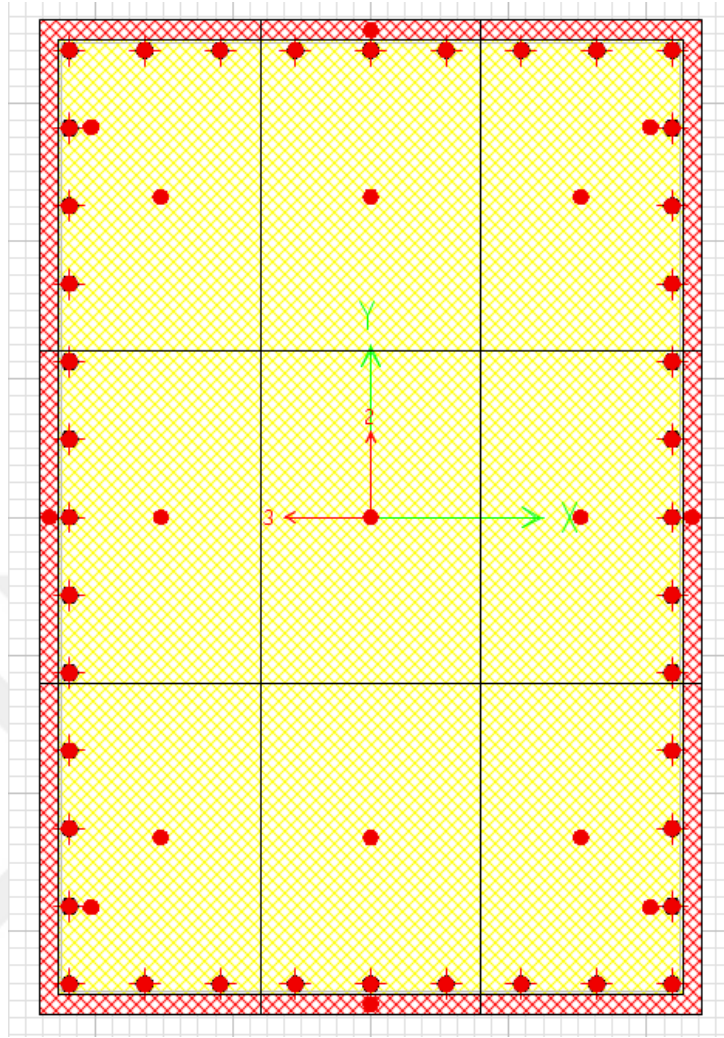
Kolon ve kiriş gibi çubuk elemanlarda ise genellikle doğrusal olmayan davranış, elemanın uç bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple analizleri daha pratik hale getirmek ve bilgisayarın ihtiyaç duyduğu işlem süresini kısaltmak amacıyla kolon ve kirişlerde doğrusal olmayan davranışın beklendiği uç bölgeleri fiber ile modellenmiştir.



Şekil 5.9. Fiber modeli kurulacak kolon kesiti

Elemanlara fiber tanımı yapılmadan önce, elemanlara ait beton ve donatının malzeme modeli oluşturulmuştur. Şekil 5.9'da fiber olarak modellenecek kolonun kesit görünümü verildi. Şekil 5.10'da ise bu kesitin fiber hücrelerine ayrılmış şekli görünmektedir. Kolonun kabuk kısmı sargısız beton modeli ile ifade edilmektedir.

Şekil 5.10'da görünen kırmızı taralı alan kolonun kabuk kısmını göstermektedir. Aynı şekilde görünen sarı bölge ise sargılı beton kısmını ifade etmektedir. Donatılar ise kırmızı ve sarı bölgenin birleştiği bölgede durmaktadırlar ve üstlerindeki + ifadesinden ayırt edilebilirler. Büyük kırmızı noktalar ise her bir hücrenin merkezini temsil etmektedir. Şekil 5.10'dan görüldüğü gibi donatıların her biri bir fiber ile temsil edilirken, sargılı beton bölgesi 9 adet fiber ile, sargısız/kabuk kısmı ise 8 adet fiber ile temsil edilmektedir.



Şekil 5.10. Fiber hücrelerine ayrılan kolon kesiti

Name: C160x120_Fiber

Putge: Rename Test for fiber Filter

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved

Check Save Save As Delete

Fiber Areas and Coordinates: FIXED SIZE option

Section Properties:

	Concrete	Steel
Area =	2.135	0.2464
Inertia about Axis 3 =	5131	0.07936
Axis 2 Centroid =	0	0
Inertia about Axis 2 =	2288	0.04775
Axis 3 Centroid =	0	0

Import Components Export Components

Selected components of this type. All components of all types. Import

Fiber Area | Axis 2 Coord | Axis 3 Coord

Add Insert Replace Delete

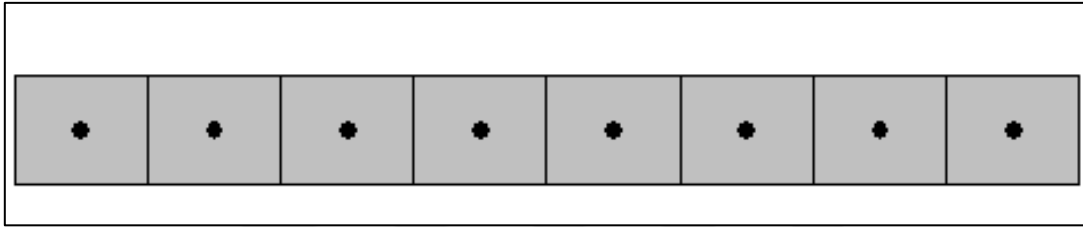
STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 60) Click to highlight row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Material Name	Area	Axis 2 Coord	Axis 3 Coord
4	Steel	Donatı	0.009816	0.846	0.546
5	Steel	Donatı	0.004312	-0.846	0
6	Steel	Donatı	0.004312	0.846	0
7	Steel	Donatı	0.006776	0	-0.846
8	Steel	Donatı	0.006776	0	0.546
9	Concrete	ColumnConfined	0.2023082	-0.5801411	0.3806389
10	Concrete	ColumnConfined	0.2023082	0.5801411	0.3806389
11	Concrete	ColumnConfined	0.2023082	-0.5801411	-0.3806389
12	Concrete	ColumnConfined	0.2023082	-0.5801411	-0.3806389
13	Concrete	ColumnConfined	0.2157775	0	0.3800458
14	Concrete	ColumnConfined	0.2157775	0	-0.3800458
15	Concrete	ColumnConfined	0.224057	-0.5802069	0
16	Concrete	ColumnConfined	0.224057	0.5802069	0
17	Concrete	ColumnConfined	0.24	0	0
18	Concrete	Unconfined	3.399582E-1	-0.7067642	0.5067642
19	Concrete	Unconfined	3.399582E-1	-0.7067642	-0.5067642
20	Concrete	Unconfined	3.399582E-1	0.7067642	-0.5067642
21	Concrete	Unconfined	3.399582E-1	0.7067642	0.5067642
22	Concrete	Unconfined	0.0211425	0	0.5823812
23	Concrete	Unconfined	0.0211425	0	-0.5823812

Şekil 5.11. Kolonun perform-3d fiber modeli

Şekil 5.11’de kolonun perform-3d programına fiber olarak tanımı verilmiştir. Fiber hücrelerinin tanımlanmasının ardından kontrol amacıyla fiber alanlarının toplamı ve atalet momentleri kontrol edilerek, modellemenin doğru olduğu teyit edilmelidir.

Betonarme perdelerin fiber modellemesi ise kolondan biraz daha farklı olmaktadır. Perdeler güçlü yönünde çalıştığı kabulü ile modellenerek, zayıf yöndeki dayanımı ihmal edilmektedir. Kolon ve kiriş gibi elemanlarda aksel yük ve her iki yatay doğrultudaki yüklere karşı tepkisi göz önüne alınırken, perdelerde aksel yük ve güçlü yönündeki momente tepkisi çalışılır. Ayrıca perdelerin tüm yüksekliği boyunca fiber olarak tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 5.12. Fiberleri oluşturulan perde kesiti

5.1.3. Şekil Değiştirme Sınırları

Yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi yayılı plastisite teorisi içinde birim şekil değiştirmeye bağlı olarak ifade edilmektedir. Daha önceki bölümlerde deprem yönetmeliğinde izin verilen beton ve donatı çeliği malzemesine ait şekil değiştirme sınırları verildi.

Betonarme bir kesitte şekil değiştirme seviyelerini etkileyen bazı faktörler vardır. Boyuna donatı adedi, etriye ve çirozların düzeni ile bunların mesnetlediği boy donatıları, kullanılan beton ve donatı çeliği malzemelerinin sınıfı bu faktörlerdendir. Yukarıda ifade edilen kolona ait şekil değiştirme sınırları aşağıdaki Tablo 5.2’de ve donatı çeliği limitleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

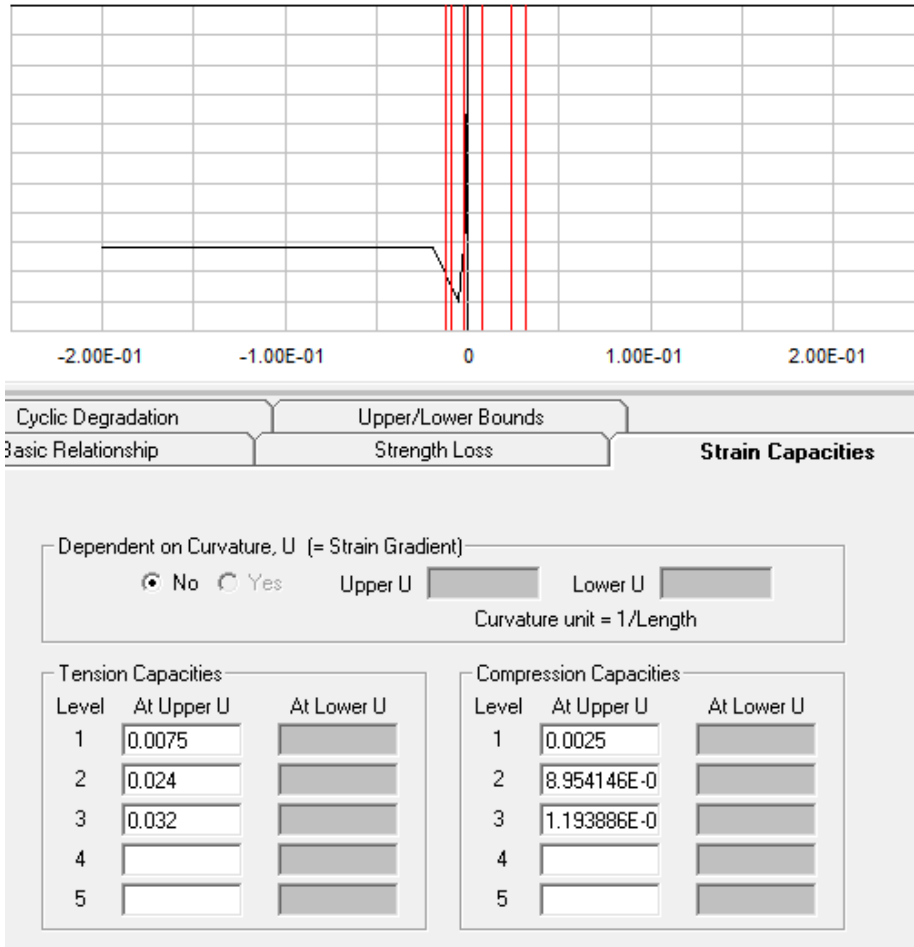
Tablo 5.2. Beton malzemesi şekil değiştirme limitleri

Beton Limitleri		
ϵ_c (GÖ)	ϵ_c (KH)	ϵ_c (SH)
0.011939	0.008954	0.0025

Tablo 5.3. Donatı çeliği malzemesi şekil değiştirme limitleri

Donatı Limitleri		
ϵ_s (GÖ)	ϵ_s (KH)	ϵ_s (SH)
0.032	0.024	0.0075

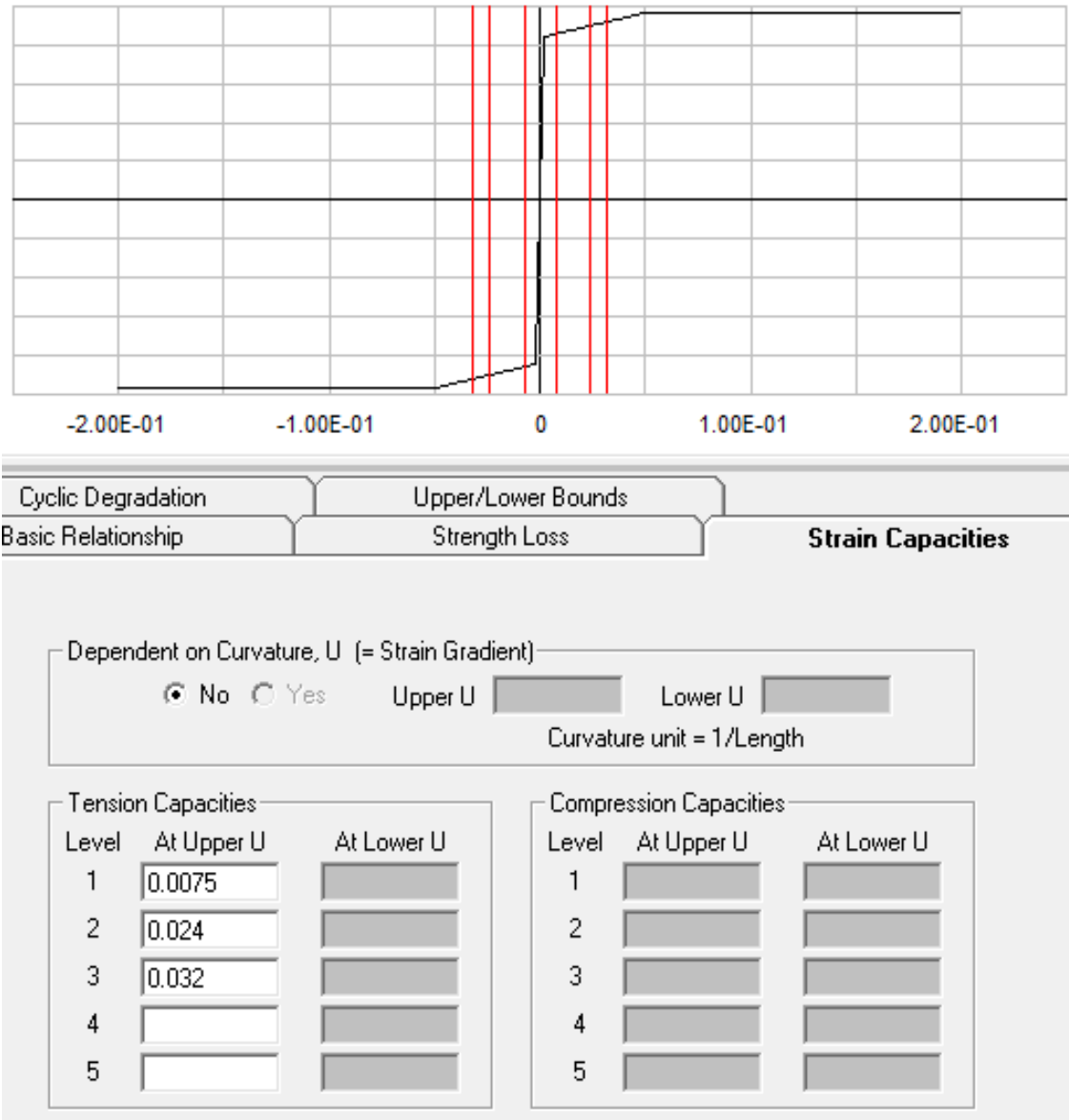
Bu bilgiler daha önce tanımlanan beton ve donatı çeliği malzemesi üzerine tanımlanır. Böylece malzemenin depremin çevrimsel yükleri altında gösterdiği birim şekil değiştirmenin hangi performans seviyesine geldiği izlenebilir. Şekil 5.13’de beton malzemesi üzerinde gösterilen hasar limitleri verilmiştir. Betonun basınç altında yapacağı birim şekil değiştirmede betonun limitleri, çekme altında yapacağı şekil değiştirme için donatının limitleri girilmiştir. Bunun sebebi betonun çekme yükleri altında dayanımının ihmal ediliyor oluşudur. Şekil 5.14’de ise donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi üzerinde gösterilen hasar limitleri verildi. Donatı çeliği basınç altında da, çekme altında da aynı davranışı gösterdiğinden hasar limitleri simetrik olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.13. Beton hasar limitlerinin tanımlanması

Grafiklerde malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri normalden daha uzun görülmektedir.

Bu şekilde modelleme yapmanın bazı sebepleri vardır. Bunlardan en önemlisi Perform-3d programında herhangi bir malzeme kopma noktasına ulaştığında analizin durdurulmasıdır. Ayrıca malzeme üzerinde zaten hasar limitleri çizilmiştir ve ilgili değeri aşması halinde eleman göçme bölgesinde olarak değerlendirilecektir. Bu sebeplerle malzeme modellerinin kopma noktası uzun olacak şekilde modellenmiştir. Ancak bu durum analizleri olumsuz etkilememektedir.



Şekil 5.14. Donatı çeliği hasar limitlerinin tanımlanması

Yapıda malzeme modeli üzerinden, hesaplanan birim şekil değiştirme limitlerinin aşılmaması için kontrolünün yapılabilmesi için yapısal elemanlara Şekil 5.15’de görüldüğü gibi doğrusal olmayan mafsallar tanımlanmıştır. Kolonlarda fiber tanımı eleman uç bölgeleri için yapılmıştır.

Mafsal boyu TBDY-2018’in ifade ettiği şekilde kesit derinliğinin yarısı olarak alınmıştır. Bu iki mafsal arasındaki kolon boyu ise doğrusal davranacağı kabulü ile modellenmiştir.

Şekil 5.15’in üst bölgesinde ölçeksiz olarak kolonun bu bölgeleri göstermektedir. İki uçtaki beyaz bölgeler fiber mafsalları, ortadaki sarı bölge ise doğrusal davranacağı kabulü yapılan kolonun orta bölümünü ifade etmektedir.

Bu şeklin altında ise mafsal boyları ve kalan uzunluğun tamamının lineer davranış göstereceği kabulü verilmiştir. Perdeler ise yüksekliği boyunca fiber modellendi.

COMPONENT LENGTHS ARE NOT TO SCALE

Basic Components | Strength Sections | Self Weight

COMPONENT TO BE ADDED OR CHANGED

Component Type

Component Name

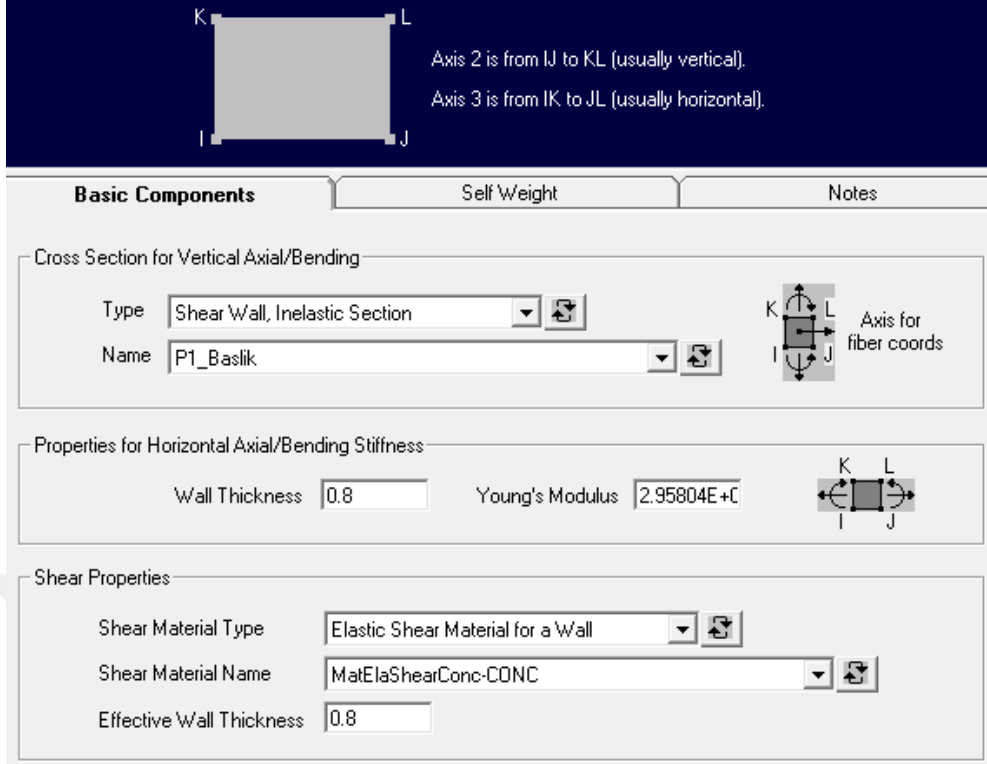
Text for filter

Length Type Length Value

COMPONENT LIST (MAX. 12) Click to highlight. Double click to select.

No.	Component Type	Component Name	Length	Propn
1	Column, Inelastic Fiber Section	C180x120_Fiber	.6	
2	Column, Reinforced Concrete Section	XecCoIC-S180/120		1
3	Column, Inelastic Fiber Section	C180x120_Fiber	.6	

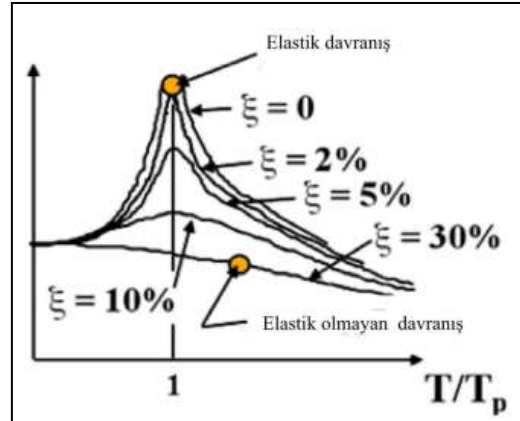
Şekil 5.15. Kolonlarda fiber mafsal ataması



Şekil 5.16. Perdelere fiber mafsal ataması

5.1.4. Sönümün Modellenmesi

Sönüm, Serbest titreşim durumundaki yapının titreşiminin çeşitli sebeplerle azalması olarak ifade edilir. Sönüm oranı, zaman-tanım alanında analizlerde yapı davranışını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Sönüm, sistemdeki enerji kaybının bir modelidir. Yapıda düşük sönüm oranları kullanmak, yüksek sönüm oranları kullanmaya göre daha büyük yer değiştirme ve daha büyük iç kuvvetlerin elde edilmesini sağlar. Şekil 5.17’de farklı sönüm oranları için tepki-periyot ilişkisi verilmiştir.



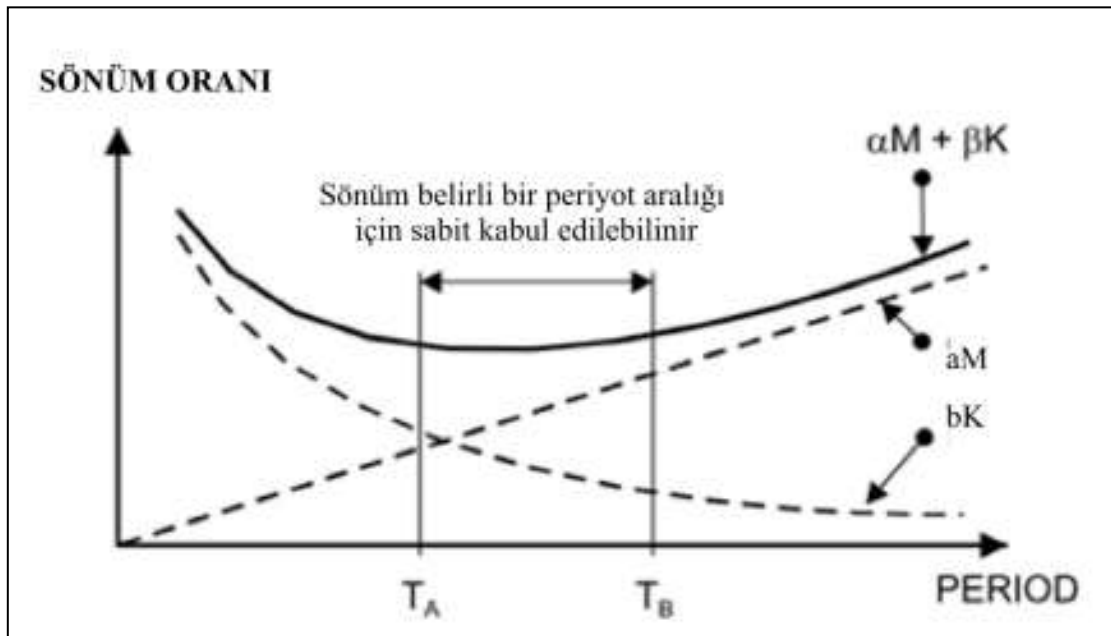
Şekil 5.17. Değişen sönüm oranlarında tepki-periyot

Sönümsüz modeller üzerinde yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, yapıların titreşimi hakkında fikir sahibi olunabilse de, elde edilen değerler ile gerçek değerler arasında farklar vardır. Bu sebeple sistemi gerçek sonuçlara yaklaştırmak için bir sönüm matrisi eklemek gerekmektedir.

Zaman-tanım alanında analizlerde en çok kullanılan sönüm modellerinden biri Rayleigh Sönüm modelidir. Rayleigh sönüm modeli basit ve hızlı bir çözüm sağlar. Rayleigh sönüm modeli sönümü, yapının doğal titreşim frekansını dikkate alarak, yapı rijitliği ve kütlesine bağlı bir ifade olarak kurgular. TBDY-2018 yüksek yapılarda sönümün %2.5 olarak alınmasını önermektedir.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (5.10)$$

Burada $[C]$ sönüm matrisini, $[K]$ rijitlik matrisini ve $[M]$ kütle matrisini ifade etmektedir. α ve β katsayıları ise sönüme bağlı olarak kütle ve rijitlik matrislerine etkitilen katsayılardır. Belirlenen iki titreşim frekansı arasında sönüm yaklaşık eşit olarak kabul edilebilir. Belirlenen iki titreşim frekansının dışındaki titreşimler ise yüksek sönüm etkisinde kalmaktadır.



Şekil 5.18. Rayleigh sönüm modeli

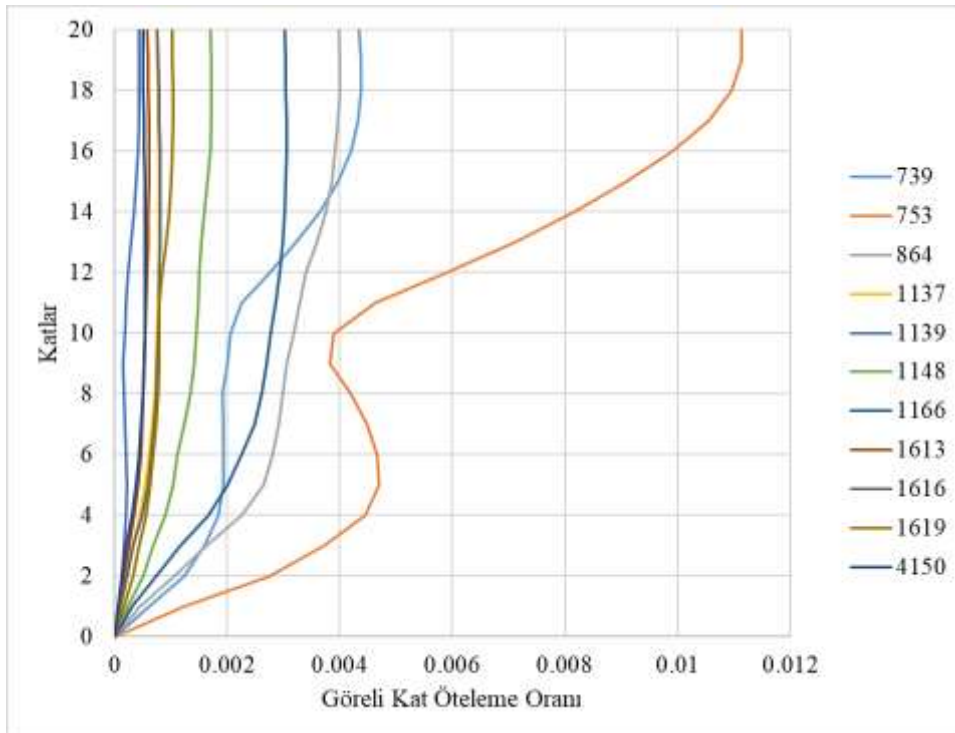
6. SAYISAL SONUÇLAR

6.1. Ölçeklenmemiş Deprem Kaydı Sonuçları

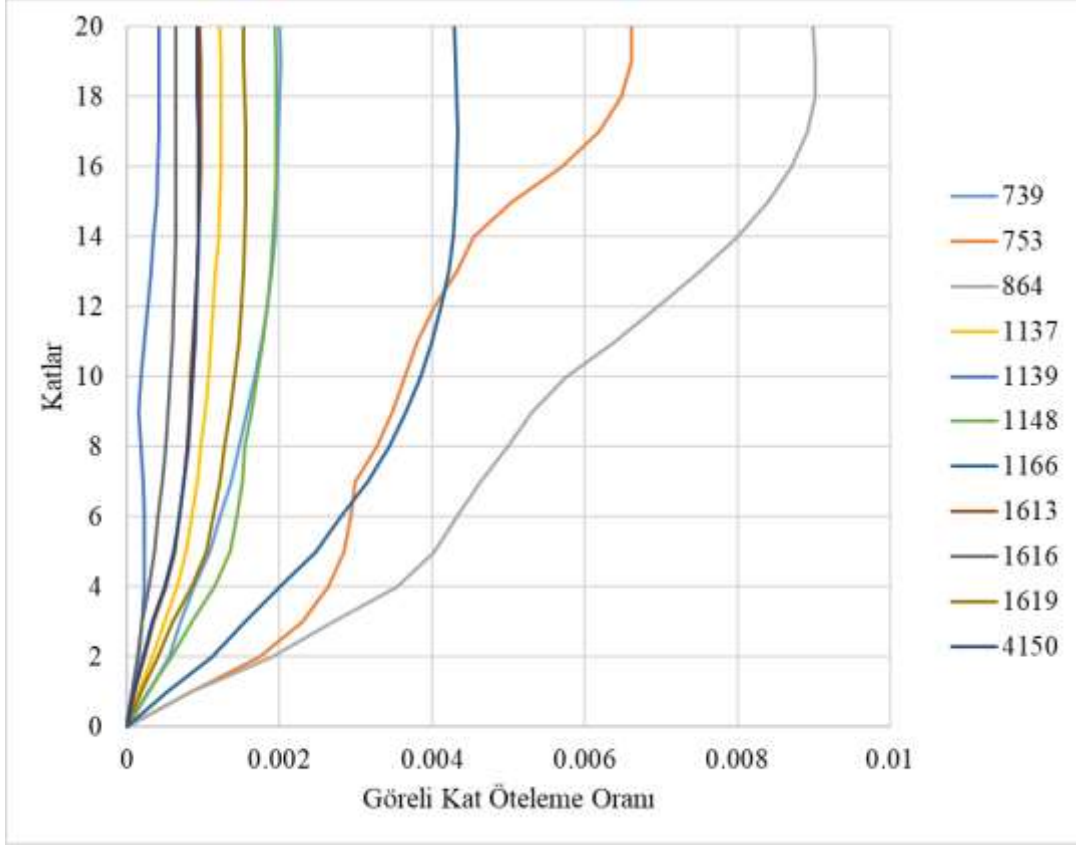
Çalışmada kullanılmak üzere seçilen deprem kayıtları hem ham halleri ile hem de ölçeklenerek analizlerde ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu bölümde ham halleri ile analize dahil edilen kayıtların sonuçları paylaşılacaktır. Kayıtların ham halleri üzerinden yapılan çalışmada görelî kat ötelemeleri, kat kesme kuvvetleri ve devrilme momenti değerleri üzerinden tartışılmıştır.

6.1.1. Görelî Kat Ötelemeleri

Ölçeklenmemiş, ham yakın saha kayıtlarından elde edilen görelî kat ötelemeleri Şekil 6.1 ve 6.2’de verilmektedir. Ölçeklenmemiş yakın saha kayıtlarında özellikle darbe (pulse) etkisi içeren kayıtların neden olduğu yüksek görelî kat ötelemeleri göze çarpmaktadır. Bu etkiye sahip depremlere, yapının gösterdiği tepki diğer depremlerden farklı olarak karşımıza çıkmaktadır. Darbe etkisi yapının özellikle üst katlarında görelî kat ötelemelerinin yükselmesine neden olmaktadır. Özellikle 753 ve 865 numaralı kayıtlarda bu etki göze çarpmaktadır.



Şekil 6.1. Yakın saha x doğrultusu görelî kat ötelemeleri

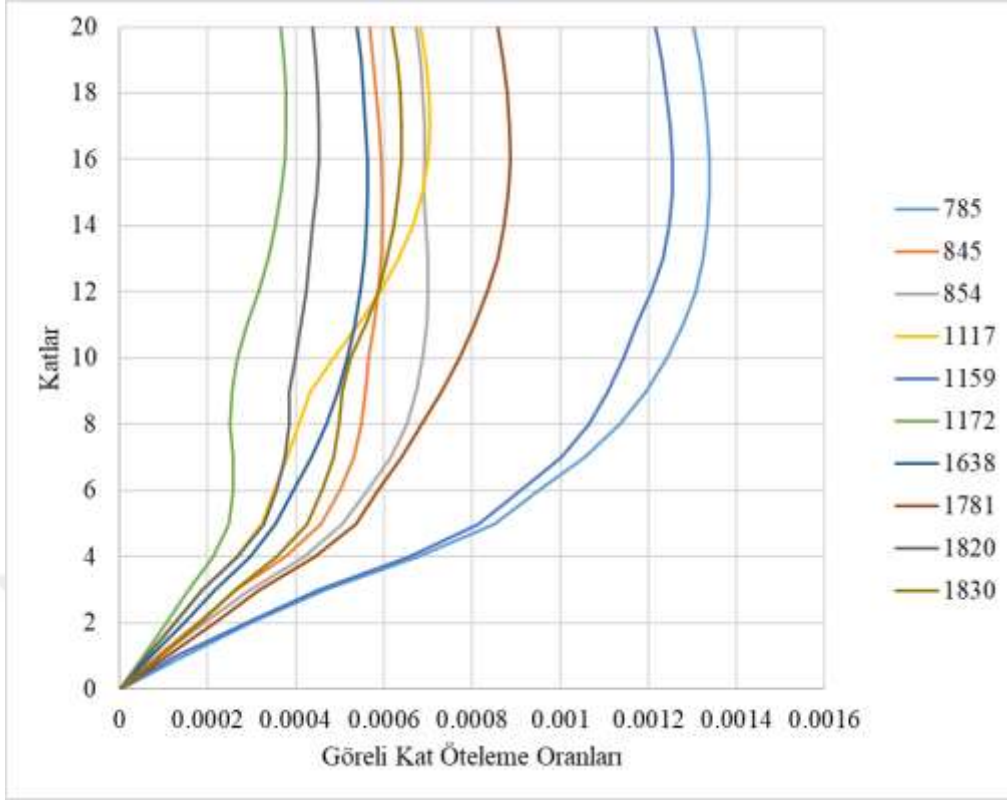


Şekil 6.2. Yakın saha y doğrultusu görel kat ötelemeleri

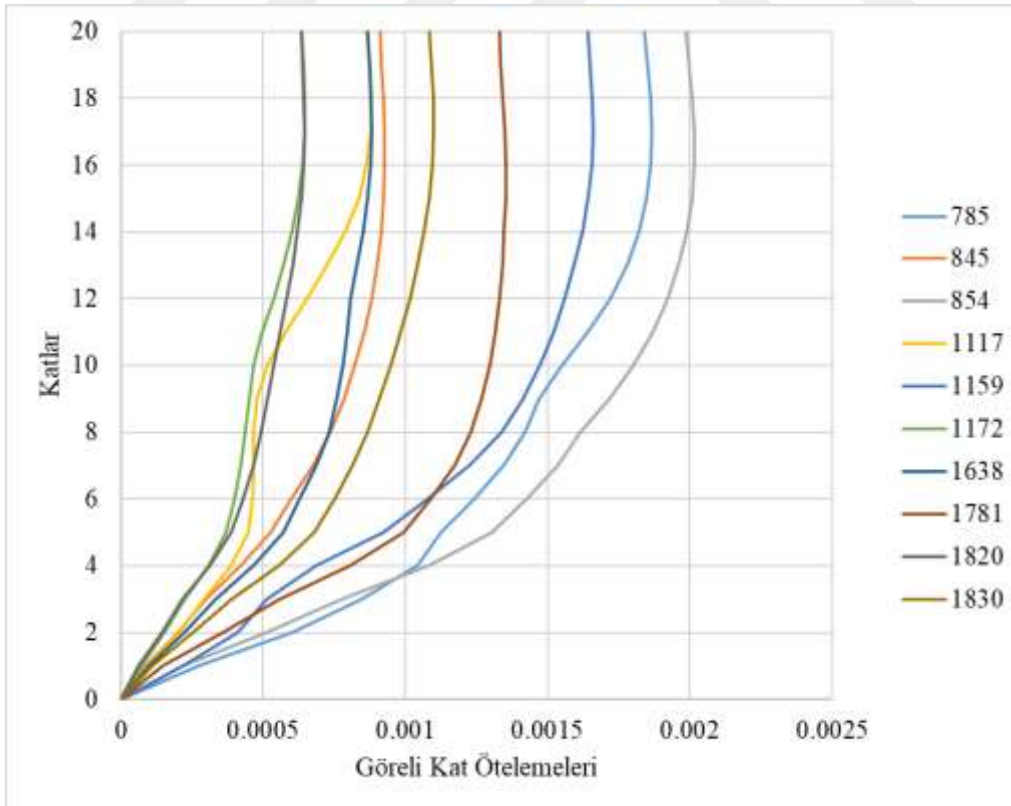
Uzak saha kayıtlarında ise davranış birbirine çok yakın görünmektedir. Genel olarak davranış üst katların daha büyük görel kat ötelemelerine maruz kaldığını göstermektedir.

Yakın saha kayıtlarında darbe etkisi içermeyen kayıtlarda alt ve üst katların görel kat ötelemesi oranları uzak saha kayıtlarına kıyasla daha yakın gelmektedir. Buradan üst katların uzak saha depremlerinde daha çok görel kat ötelemesi yaptığı ve daha çok zorlandığı sonucu çıkarılabilir.

Y doğrultusunda yapı geometrisi sebebiyle, yapı rijitliğini sağlayan en önemli eleman olan çekirdek perdeleri X doğrultusuna kıyasla daha kısadır. Bu sebeple yapıda simetrik bir davranıştan söz edilemez. Görel kat ötelemelerinden de izlenen bu durum, özellikle uzak saha depremlerinin yapı zayıf doğrultusu olan Y doğrultusunda daha fazla görel kat ötelemesi yapmasına sebep olmaktadır.



Şekil 6.3. Uzak saha x doğrultusu görelî kat ötelemeleri

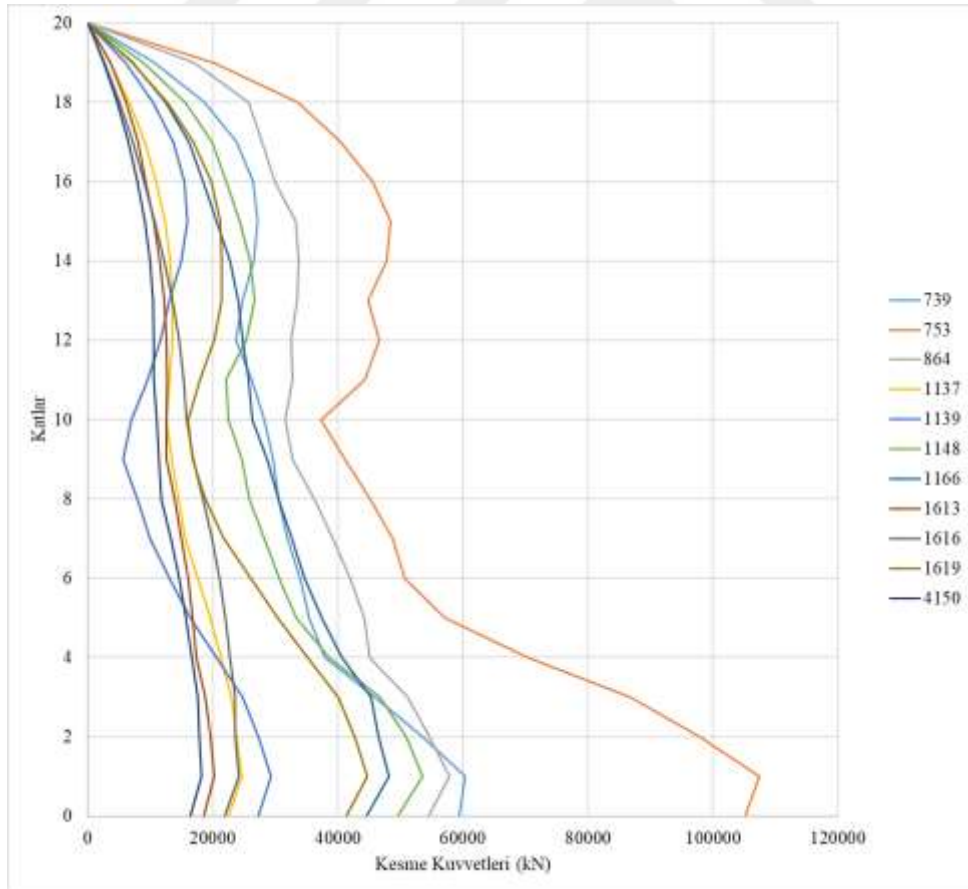


Şekil 6.4. Uzak saha y doğrultusu görelî kat ötelemeleri

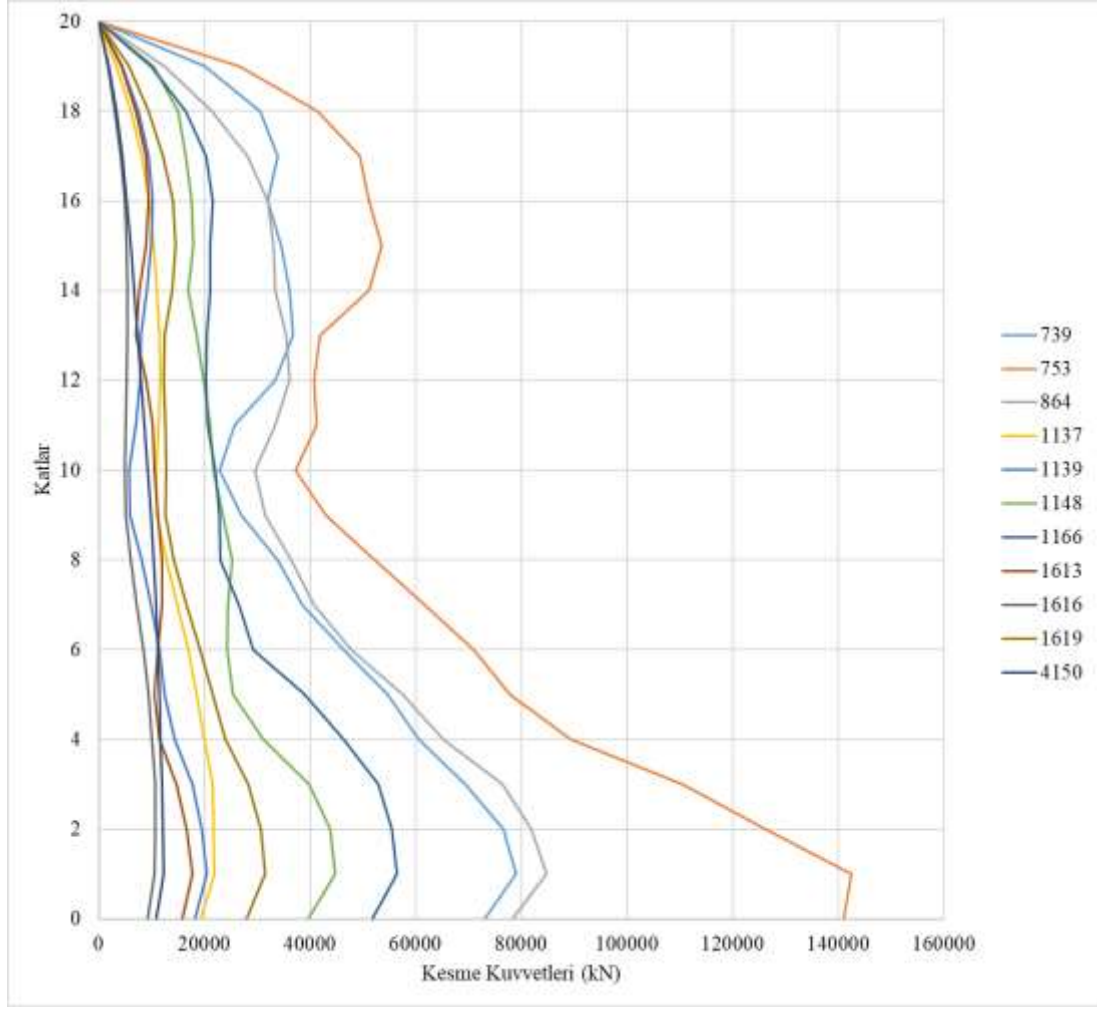
6.1.2. Kat Kesme Kuvvetleri

Yapının uzak ve yakın saha depremlerine gösterdiği tepkilerin anlaşılabilmesi amacıyla bu depremlerin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetleri de incelenmiştir. Kat kesme kuvvetlerinin yakın saha depremlerinde, uzak saha depremlerine göre daha büyük hesaplanması normal ve beklenen bir durumdur. Bunun sebebi yakın saha depremlerinin spektrumlarında görülen büyük genliklerdir. Ancak bu durum tek başına yüksek yapıların yakın saha ve uzak saha depremlerine verdiği tepkiyi ifade etmez.

Sonuçlar yapının çekirdek perdesinde oluşan kat kesme kuvvetlerini içermektedir. Yakın saha deprem kayıtlarının sonuçları grafik olarak incelendiğinde darbe etkisine sahip kayıtların diğerlerine kıyasla daha büyük kesme kuvvetleri oluşturduğu görülmektedir. Ancak tek fark bununla kalmamaktadır. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da izleneceği üzere darbe etkisine sahip kayıtlarda çekirdek perdesinin üst katlarında daha fazla kesme kuvveti oluşmaktadır.



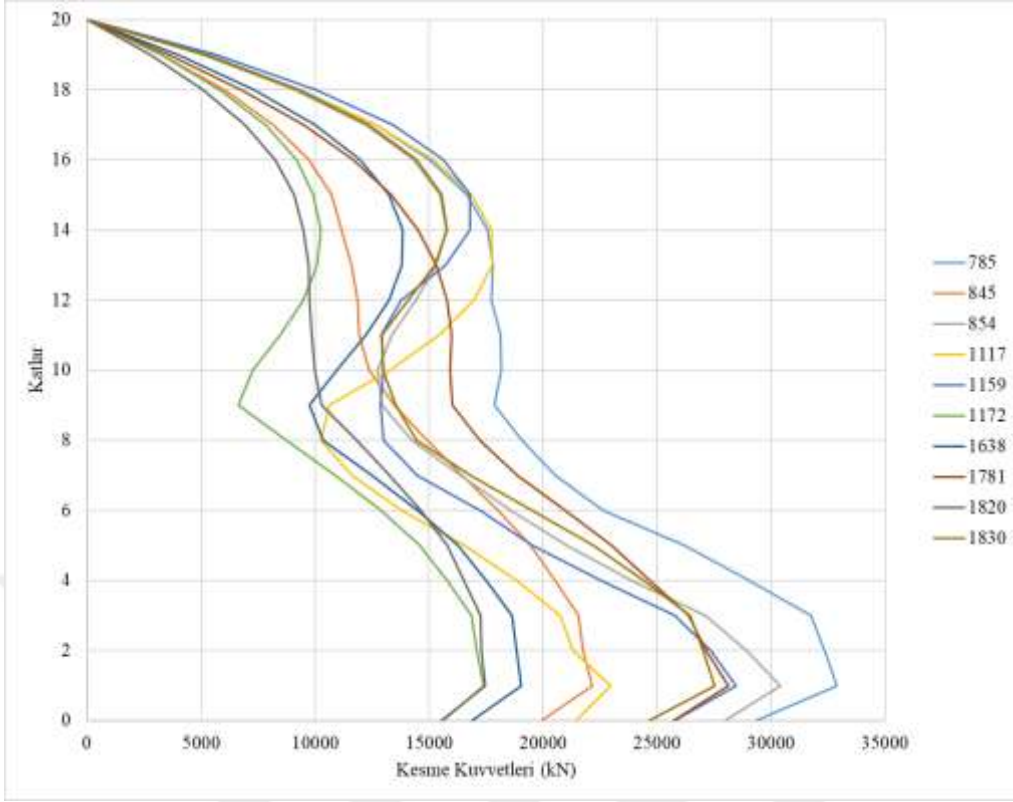
Şekil 6.5. Yakın saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri



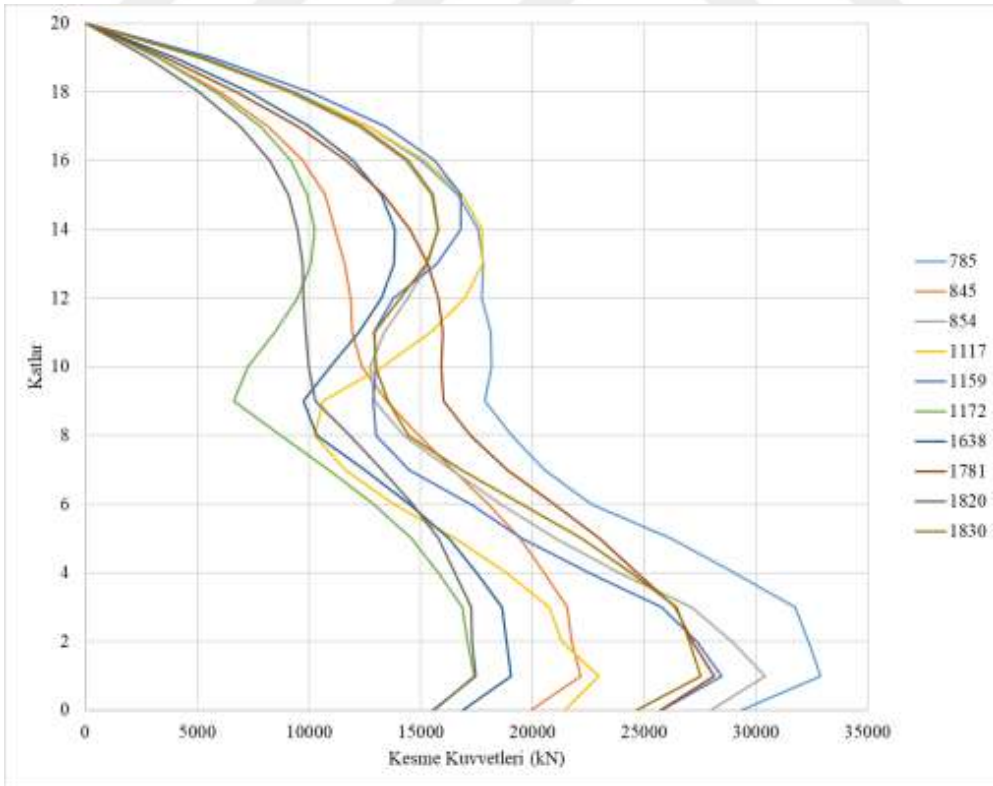
Şekil 6.6. Yakın saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri

Uzak saha depremlerinin genelinde ise darbe etkisine sahip yakın saha depremlerinin etkisi, daha küçük ölçekte olsa da davranışa yansdığı görülmektedir. Yüksek yapının çekirdek perdesinin üst katlarında, alt katlarına kıyasla daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır.

Belirtildiği üzere, yakın ve uzak saha depremlerinin ölçeklenmemiş durumda birbirlerinden farklı genlikleri vardır. Yakın saha depremlerinin genlikleri uzak saha depremlerinin genliklerinden daha yüksektir. Bu sebeple sonuçların değerlendirilmesi kesme kuvvetlerinin oranına göre değil, oluşturduğu grafiğin davranışıyla yorumlanmaktadır.



Şekil 6.7. Uzak saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri

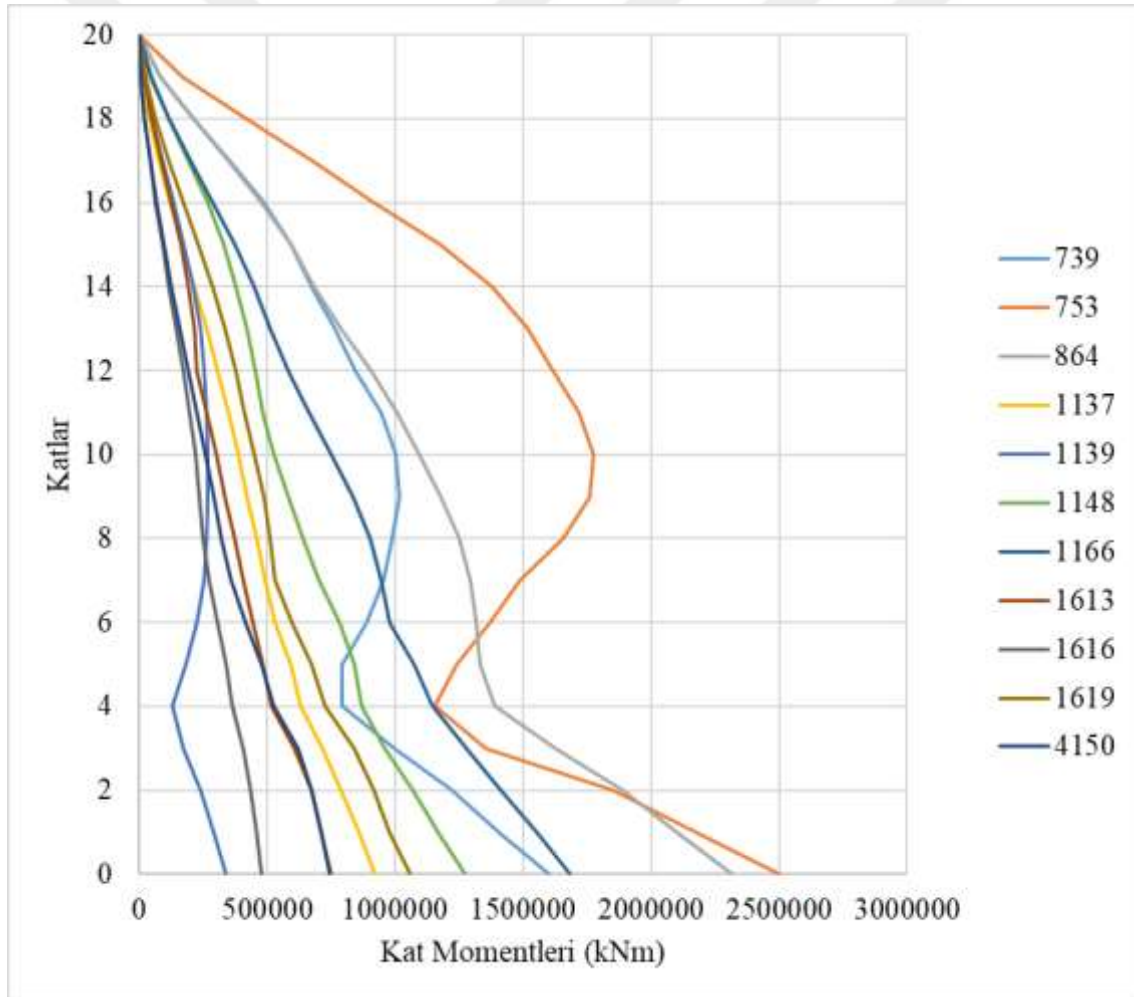


Şekil 6.8. Uzak saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri

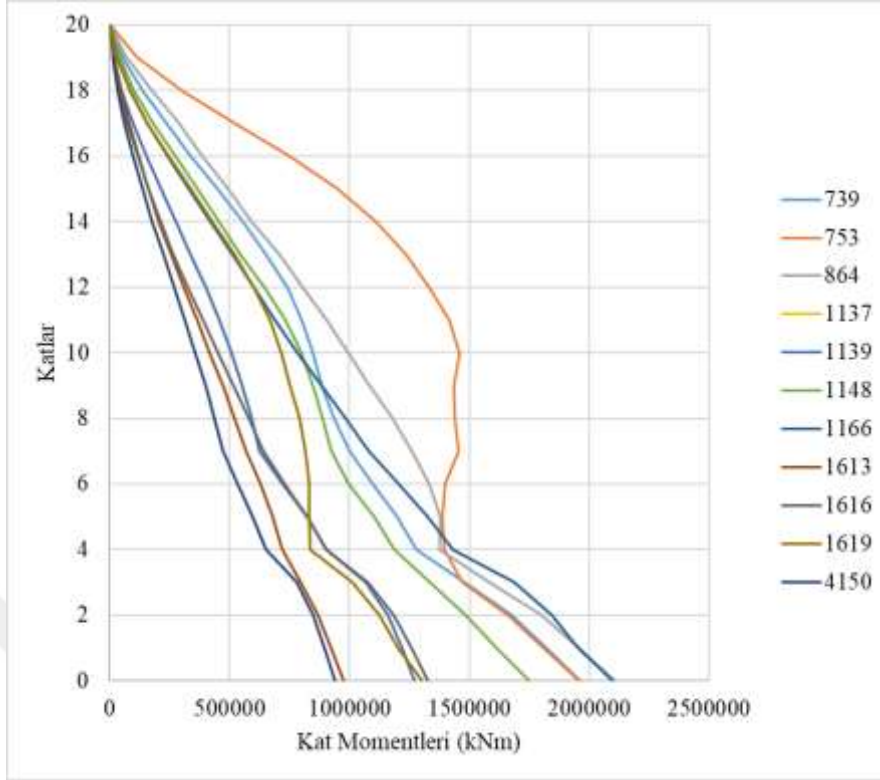
6.1.3. Devrilme Momentleri

Yüksek yapının uzak ve yakın saha deprem etkileri altında yüklenen çekirdek perdelerinde oluşan devrilme momentleri incelenmiştir. Darbe etkisine sahip yakın saha depremlerinin kendine özgü karakteristik özellikleri burada da izlenmektedir. Şekil 6.9 ve 6.10'dan görüleceği üzere yakın saha depremlerinde orta katlardan yukarıya doğru devrilme momentlerinin çekirdek perdesi üzerinde arttığı görülmektedir.

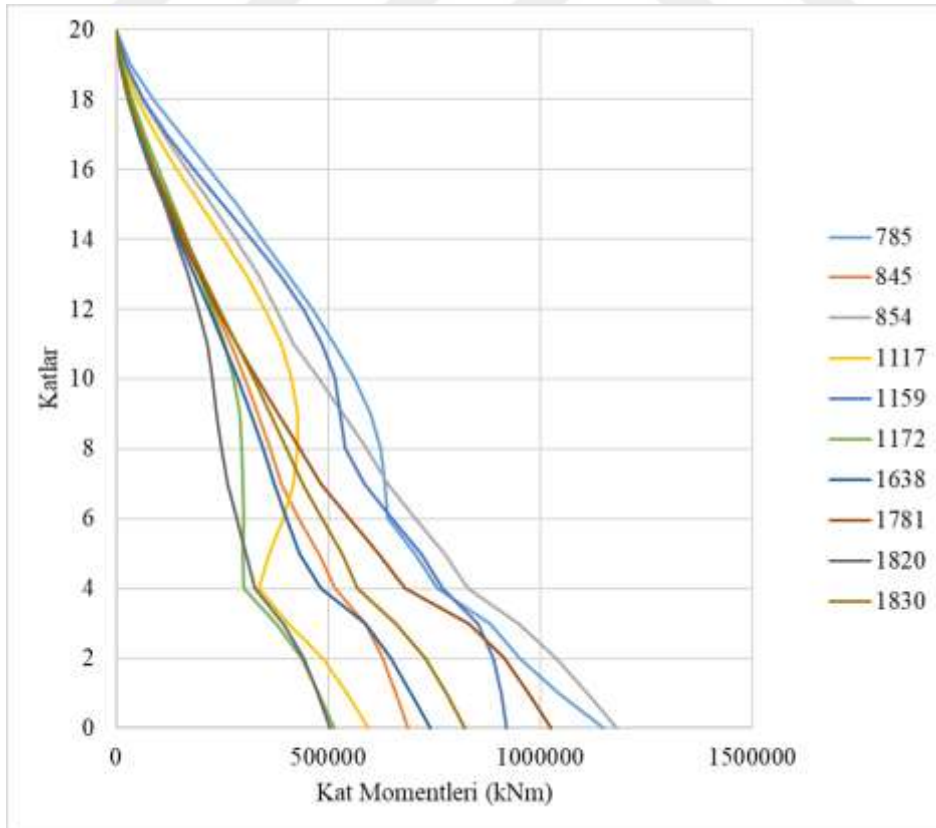
Uzak saha depremlerinde ise grafiğin genel karakteri, alt katlardan üst katlara doğru çekirdekte oluşan devrilme momentlerinin doğrusal olarak azaldığı yönündedir. Daha homojen bir davranış görülmektedir.



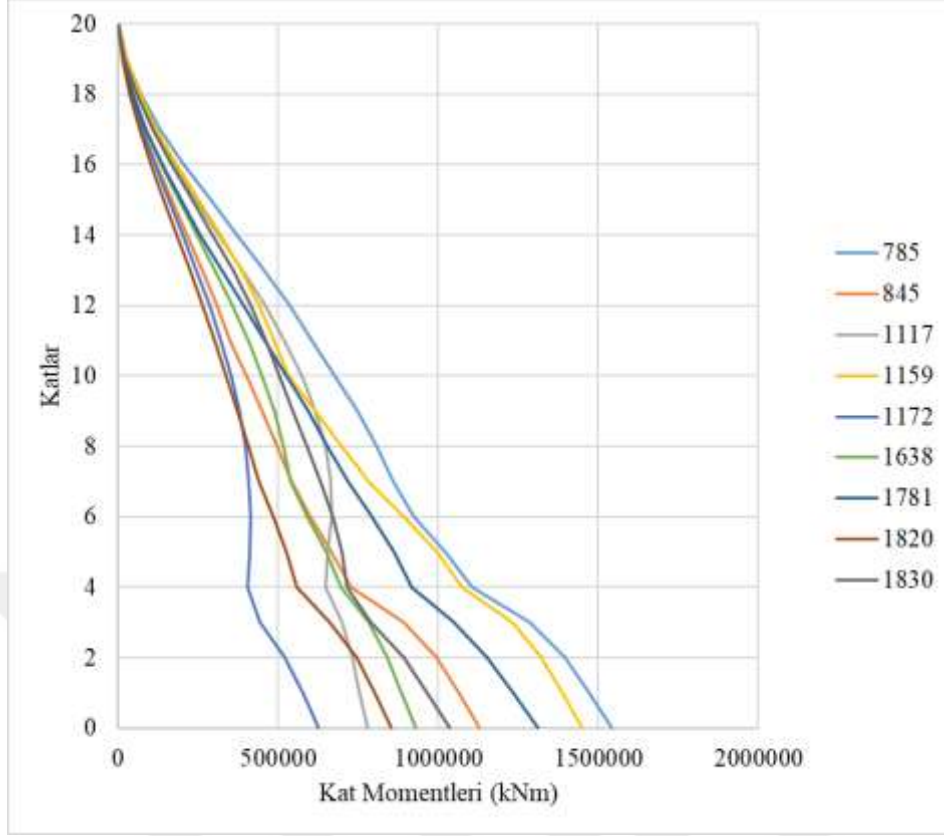
Şekil 6.9. Yakın saha x doğrultusu devrilme momentleri



Şekil 6.10. Yakın saha y doğrultusu devrilme momentleri



Şekil 6.11. Uzak saha x doğrultusu devrilme momentleri



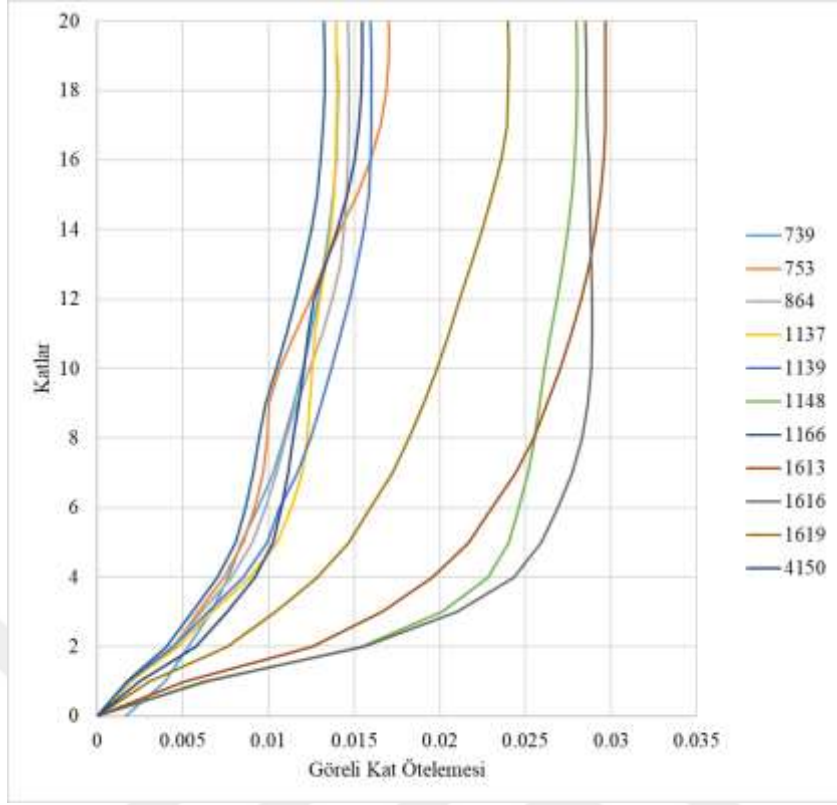
Şekil 6.12. Uzak saha y doğrultusu devrilme momentleri

6.2. Ölçeklenmiş Deprem Kaydı Sonuçları

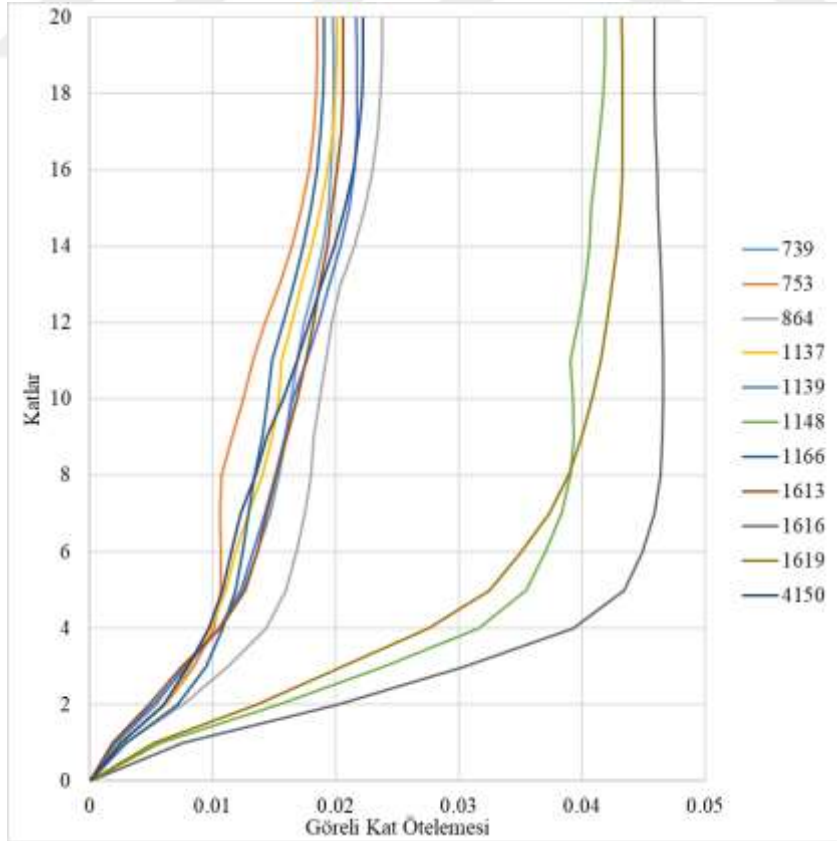
Çalışmada kullanılmak üzere seçilen deprem kayıtlarının ölçeklenmiş halleri ile yürütülen analizlerin sayısal sonuçları bu bölümde verilmektedir. Kayıtlar Seismomatch programında wavelet tabanlı frekans tanım alanında hedef spektruma ölçeklenmiştir. Ölçeklenen kayıtlar arasındaki en önemli farklardan biri yakın saha deprem kayıtları düşük periyotlarda büyük genliklere sahip iken, uzak saha deprem kayıtlarının uzun periyotlarda büyük genliklere sahip olmasıdır. Bu davranışın sebep olduğu farklar görelî kat ötelemeleri, kat kesme kuvvetleri, devrilme momentleri ve bazı çekirdek perdelerine ait birim şekil değiştirme değerleri üzerinden tartışılmıştır.

6.2.1. Görelî Kat Ötelemeleri

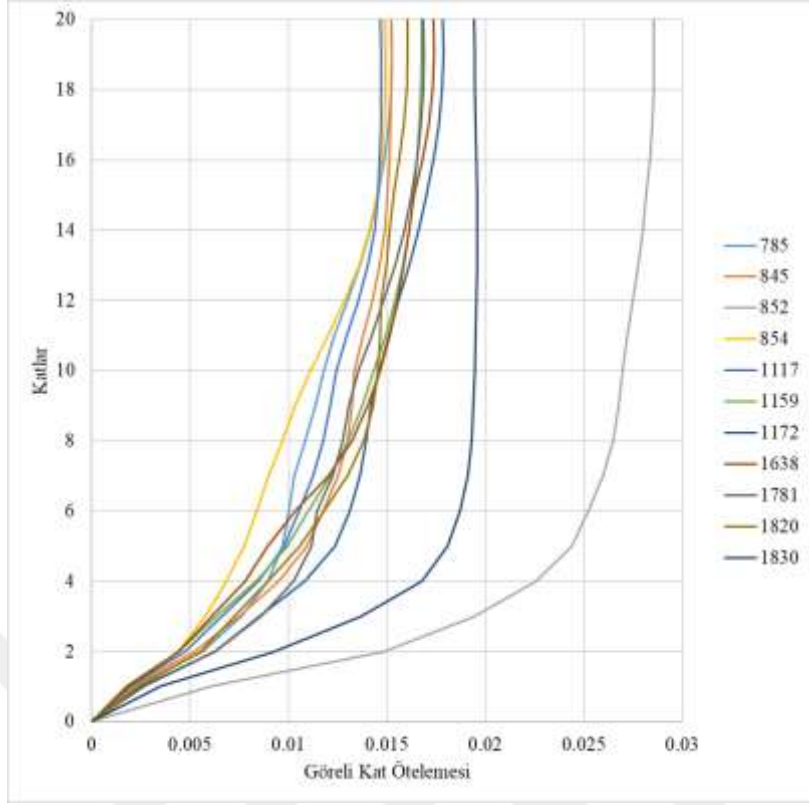
Ölçeklenmiş, yakın saha kayıtlarından elde edilen görelî kat ötelemeleri Şekil 6.13 ve 6.14'te verilmektedir. Uzak saha deprem kayıtlarından elde edilen sonuçlar ise Şekil 6.15 ve 6.16'da sunulmaktadır. Ölçeklendikten sonra yapının davranışı hakkında görelî kat ötelemeler üzerinden bir sonuca varmak mümkün gözükmemektedir.



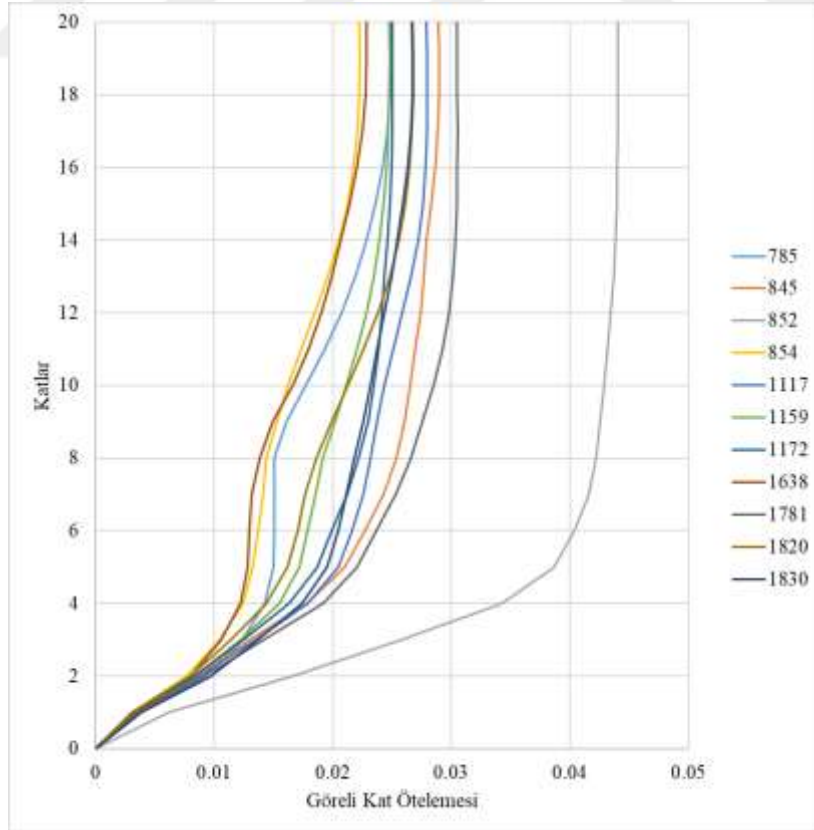
Şekil 6.13. Yakın saha x doğrultusu görel kat ötelemeleri



Şekil 6.14. Yakın saha y doğrultusu görel kat ötelemeleri



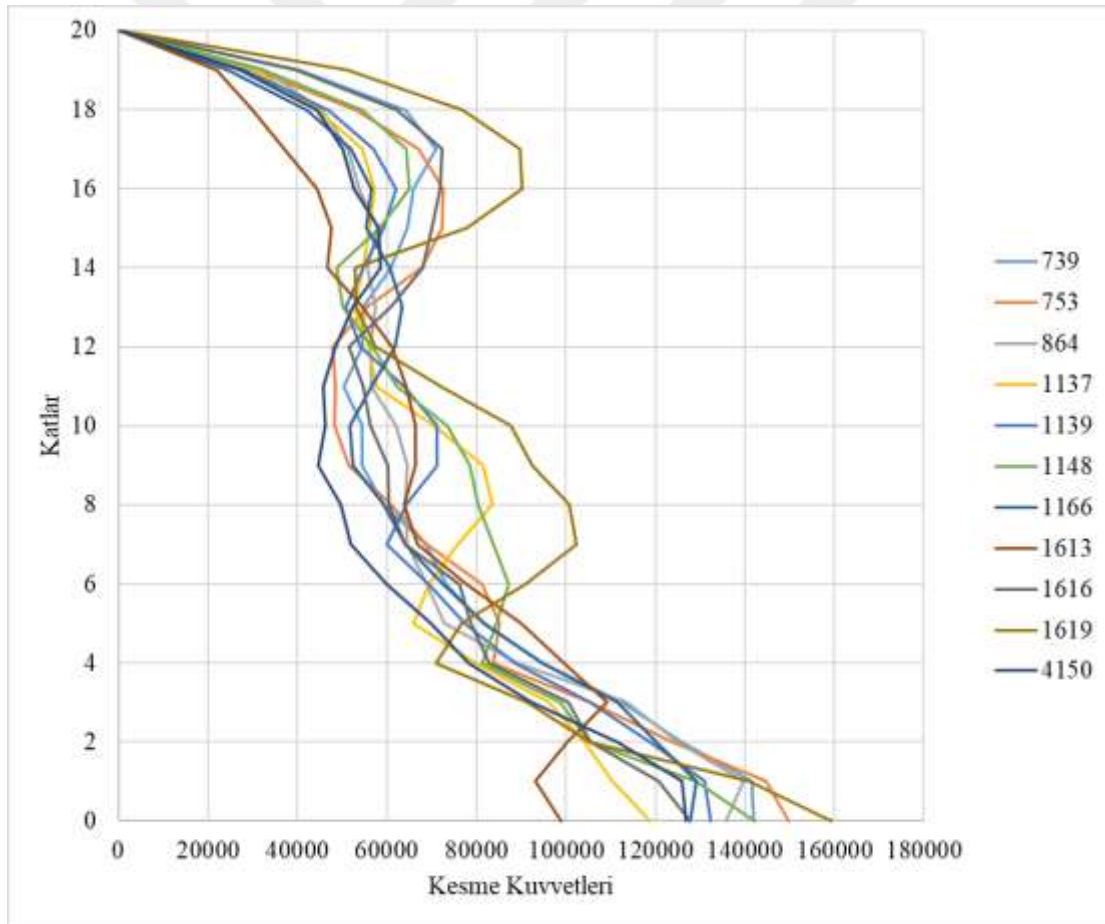
Şekil 6.15. Uzak saha x doğrultusu görel kat ötelemeleri



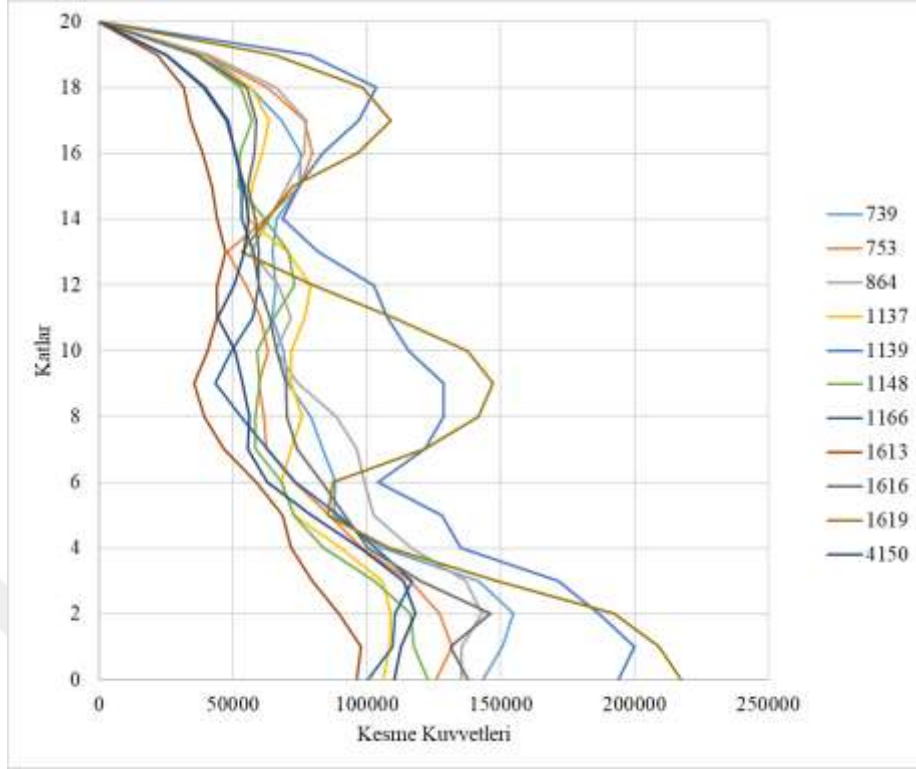
Şekil 6.16. Uzak saha y doğrultusu görel kat ötelemeleri

6.2.2. Kat Kesme Kuvvetleri

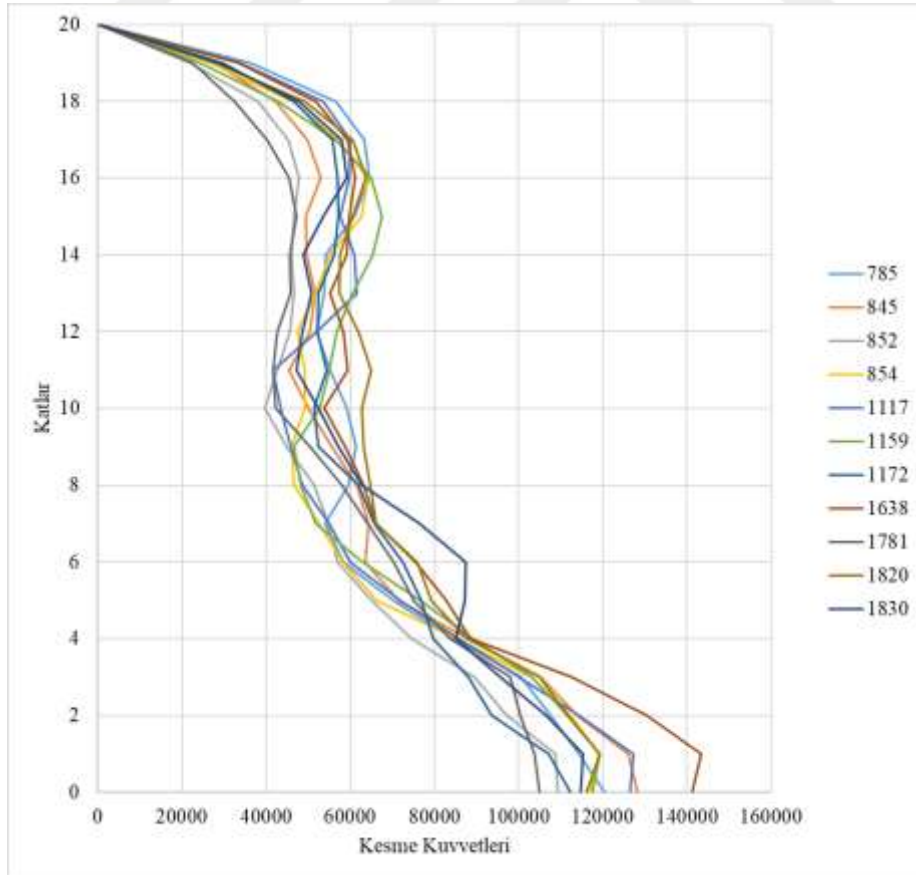
Yapının ölçeklenmiş uzak ve yakın saha deprem kayıtları ile analizinde elde edilen tepkilerin anlaşılabilmesi amacıyla bu depremlerin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetleri incelenmiştir. Kat kesme kuvvetlerinin ölçeklenmemiş yakın saha depremlerinde, uzak saha depremlerine göre daha büyük hesaplanması normal olarak değerlendirilmiştir. Ancak deprem kayıtları ölçeklendikten sonra yapıda oluşan kesme kuvvetleri merteye olarak birbirine yakın görünmektedir. Kat kesme kuvvetlerinin dağılımına bakıldığında, uzak saha depremlerinin üst katlarda çekirdek perdesini daha çok zorlayan bir davranış geliştirdiği söylenebilir. Bu durum yakın saha depremlerinin bazılarında da gözlenmekte olmasına karşın, uzak saha depremlerinin karakteristik bir özelliği olarak görünmektedir.



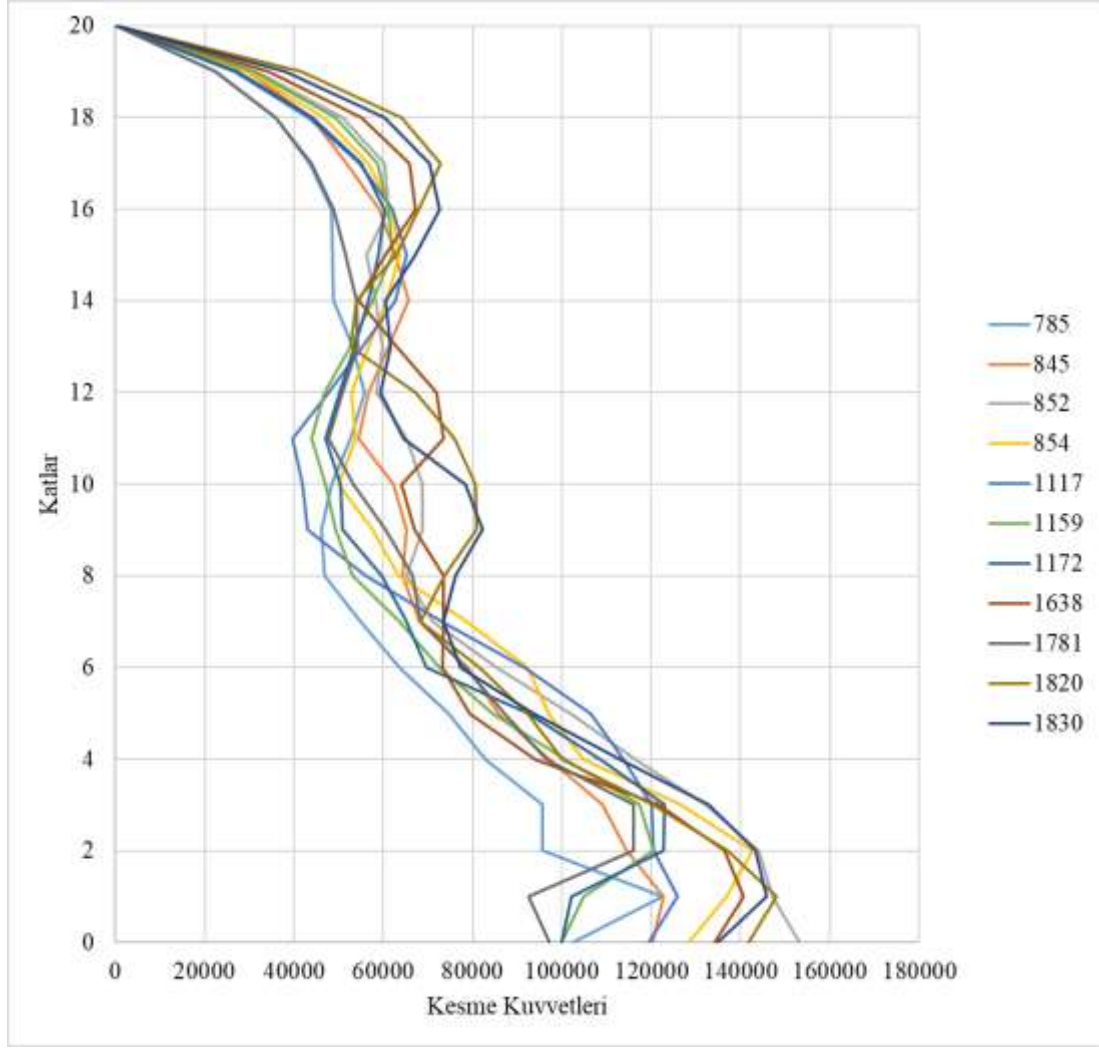
Şekil 6.17. Yakın saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri



Şekil 6.18. Yakın saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri



Şekil 6.19. Uzak saha x doğrultusu kat kesme kuvvetleri

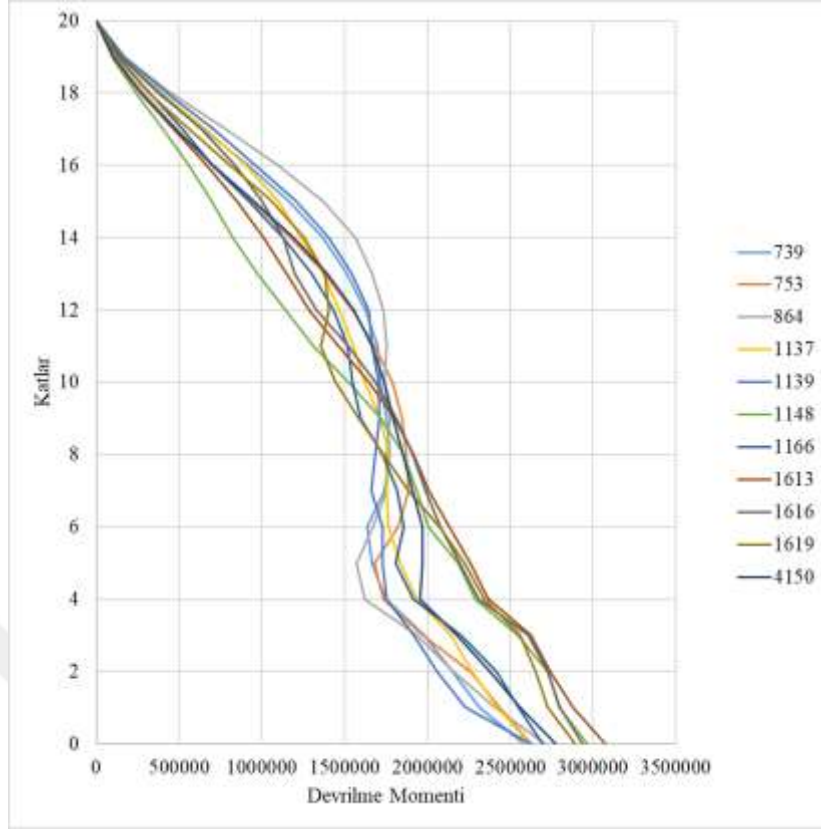


Şekil 6.20. Uzak saha y doğrultusu kat kesme kuvvetleri

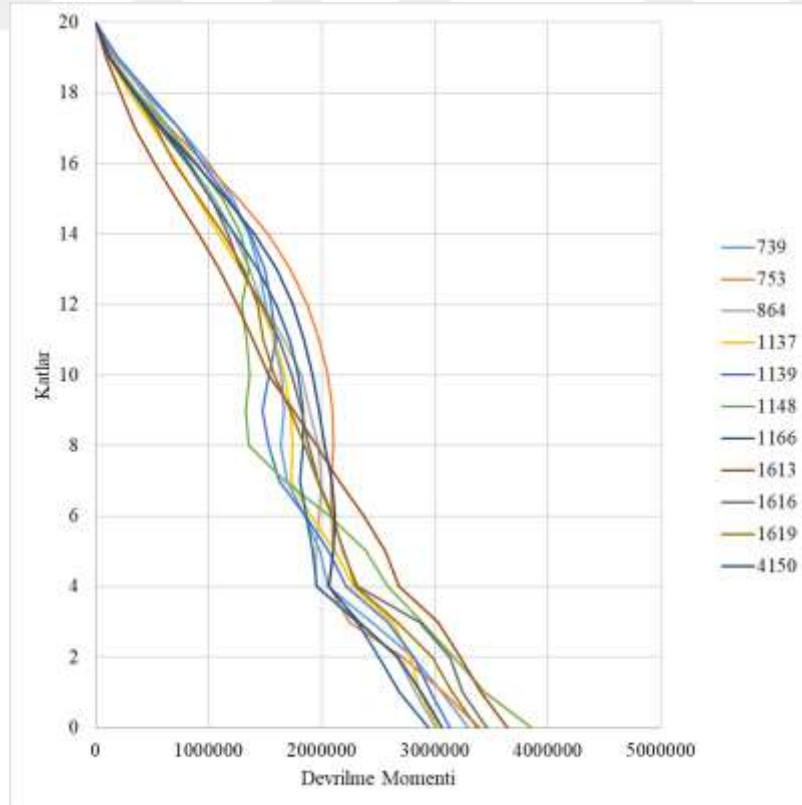
6.2.3. Devrilme Momentleri

Yüksek yapının ölçeklenmiş uzak ve yakın saha depremleri etkisinde, çekirdek perdelerinde oluşan devrilme momentleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

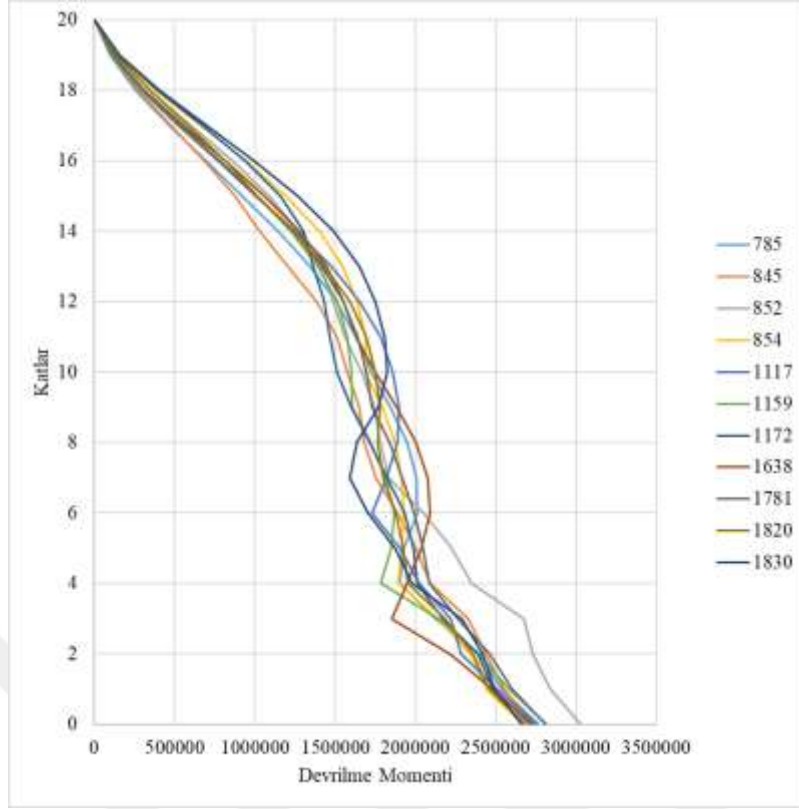
Uzak saha depremlerinin üst katları daha fazla zorlaması burada da görülmektedir. Yakın saha depremlerinde ise üst katlardaki zorlanma daha az olmakla birlikte, her deprem kaydında görünmemektedir.



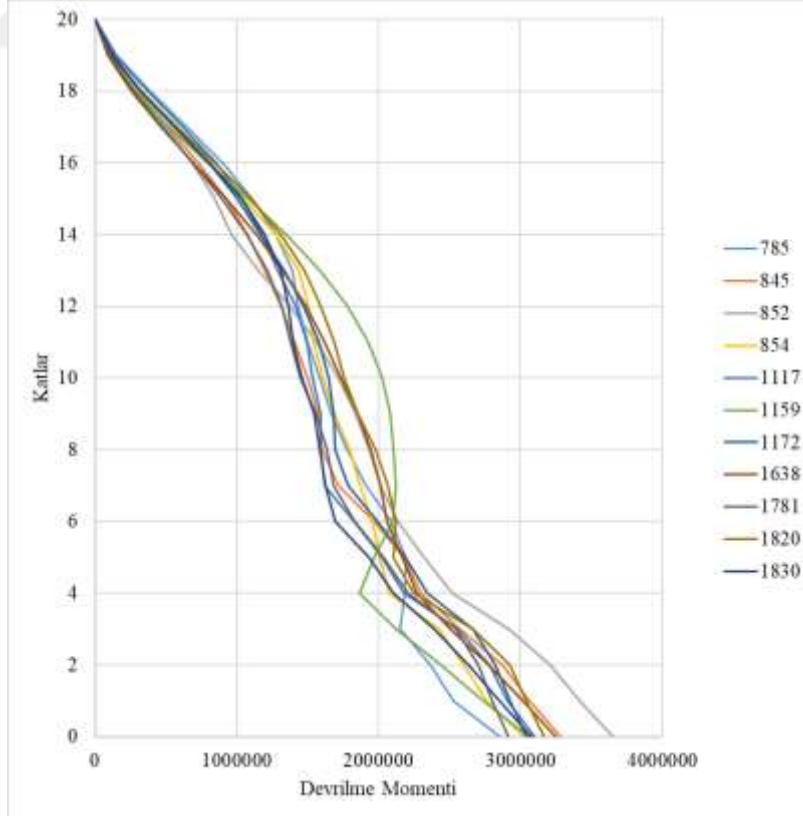
Şekil 6.21. Yakın saha x doğrultusu devrilme momenti



Şekil 6.22. Yakın saha y doğrultusu devrilme momenti



Şekil 6.23. Uzak saha x doğrultusu devrilme momenti

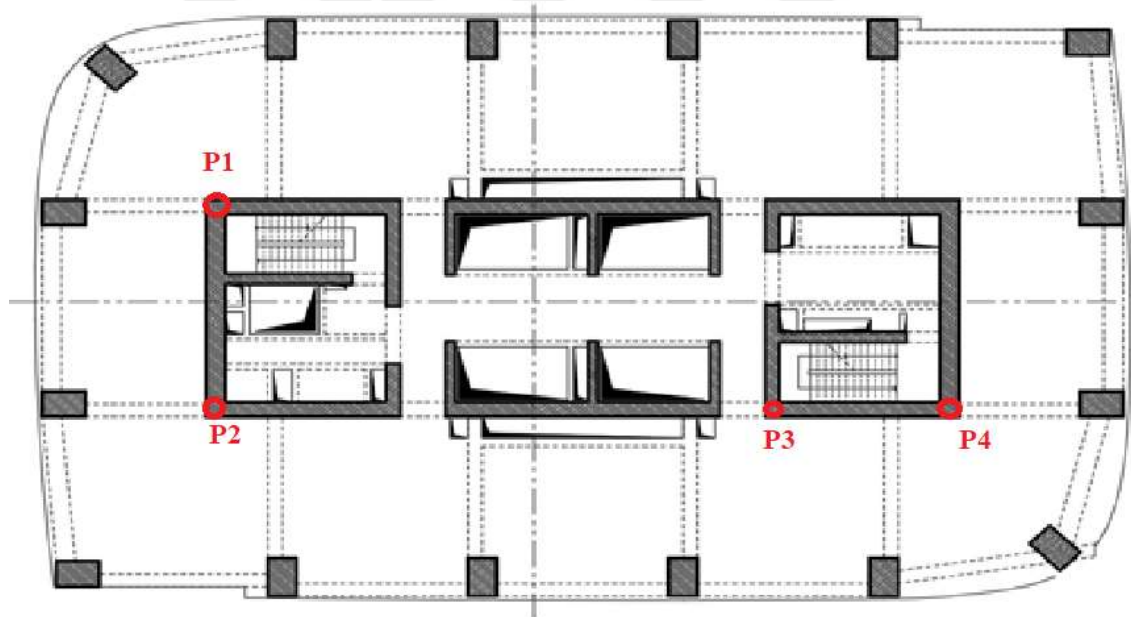


Şekil 6.24. Uzak saha y doğrultusu devrilme momenti

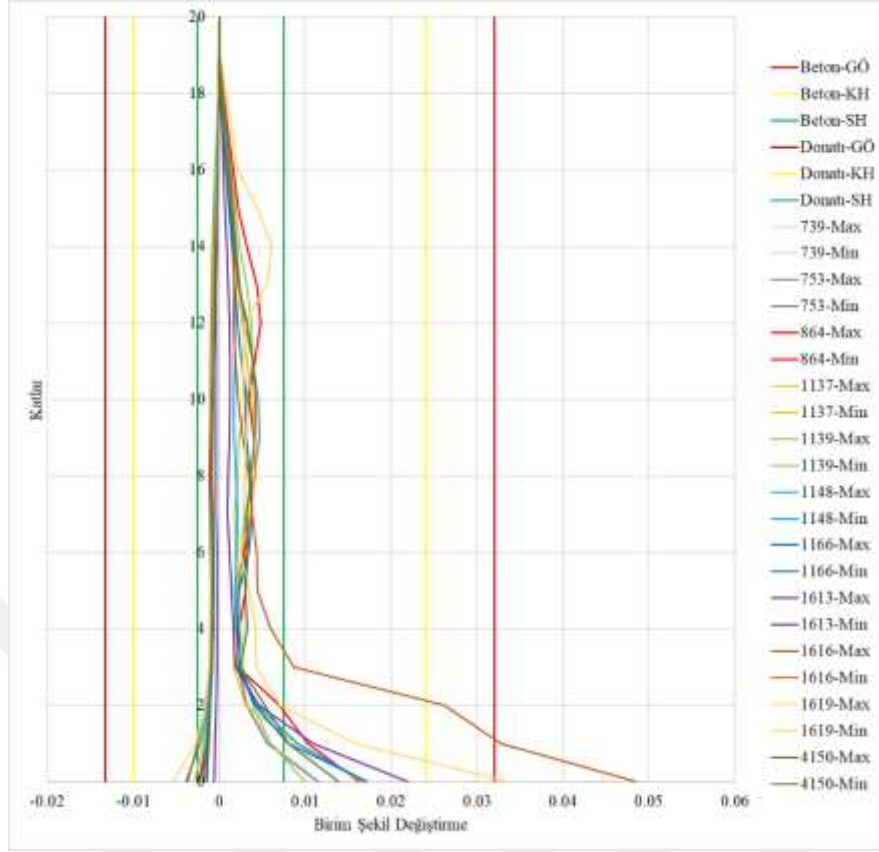
6.2.4. Çekirdek Perdesinin Birim Şekil Değişirme Değerleri

Şekil 6.25'te birim şekil değiştirme değerleri izlenen noktalar işaretlenmiştir. Noktalar, seçilen iki farklı perdenin uçlarını temsil etmektedir. Seçilen perdelerden birisi yapının plandaki kısa doğrultusunda uzanırken, diğeri yapının plandaki uzun doğrultusunda bulunmaktadır. Böylece yapının her iki yöndeki davranışı izlenmeye çalışılmıştır.

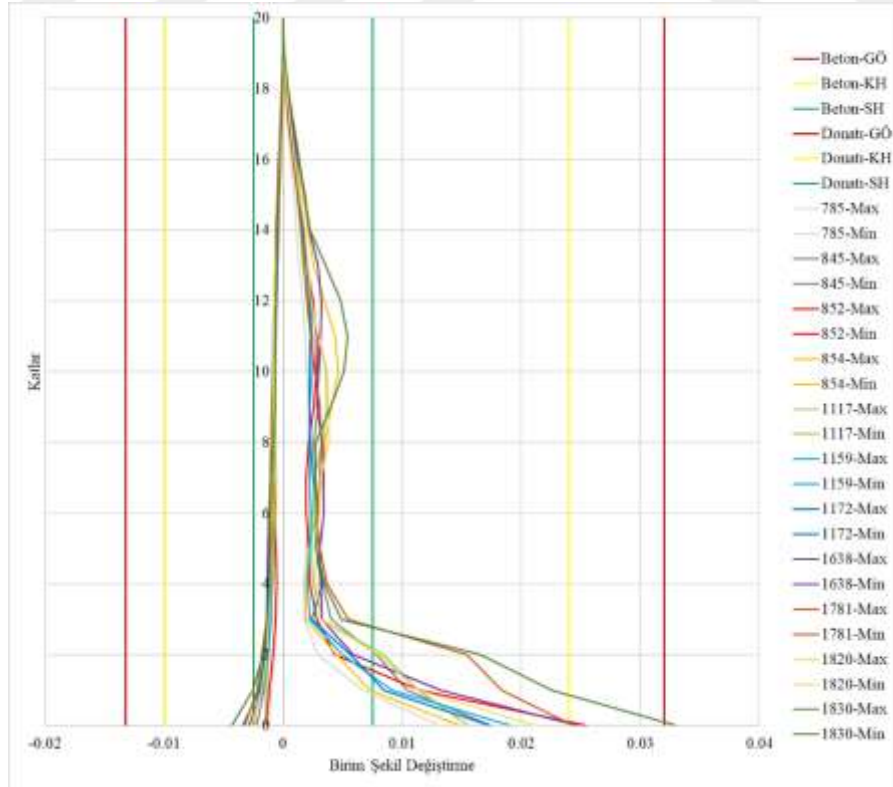
Yüksek yapının ölçeklenmiş uzak ve yakın saha depremleri etkisinde, çekirdek perdesinin bazı noktalarının yapmış olduğu birim şekil değiştirme değerleri bu bölümde verilmiştir. Uzak saha depremlerinin üst katlarda daha fazla birim şekil değiştirme yaptığı görülmektedir. Her ne kadar bazı yakın saha kayıtları bu yönde sonuçlar vermiş olsa da, uzak saha deprem kayıtlarının genel bir karakteristik özellik olarak üst katları daha fazla etkilediği görülmektedir.



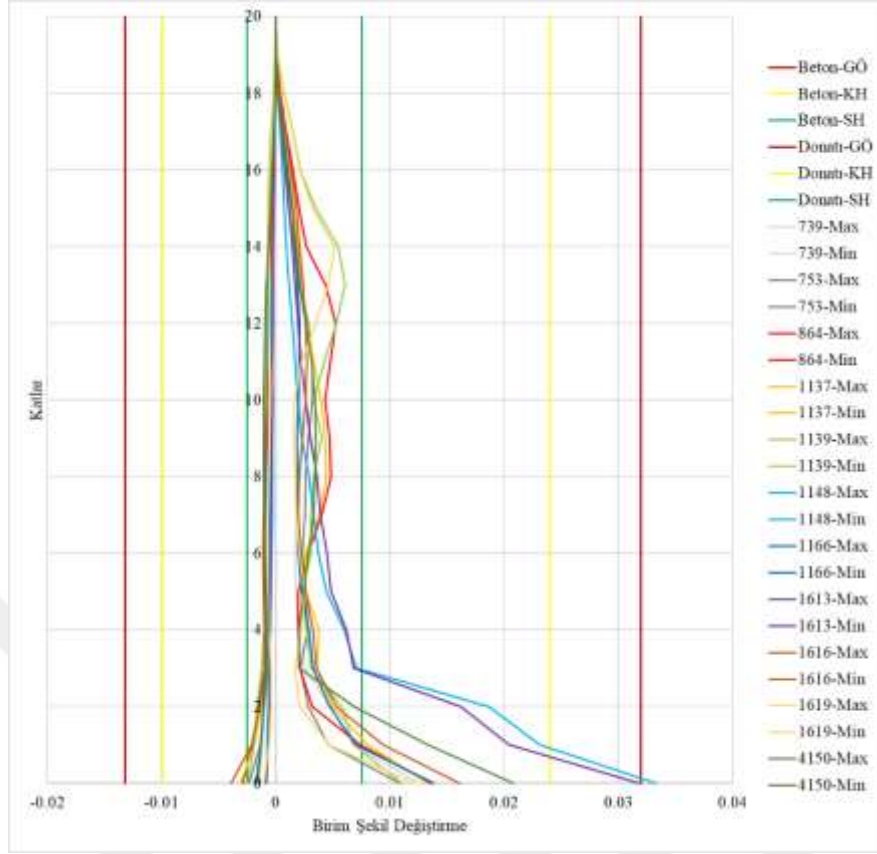
Şekil 6.25. Birim şekil değiştirme değerleri verilen noktalar



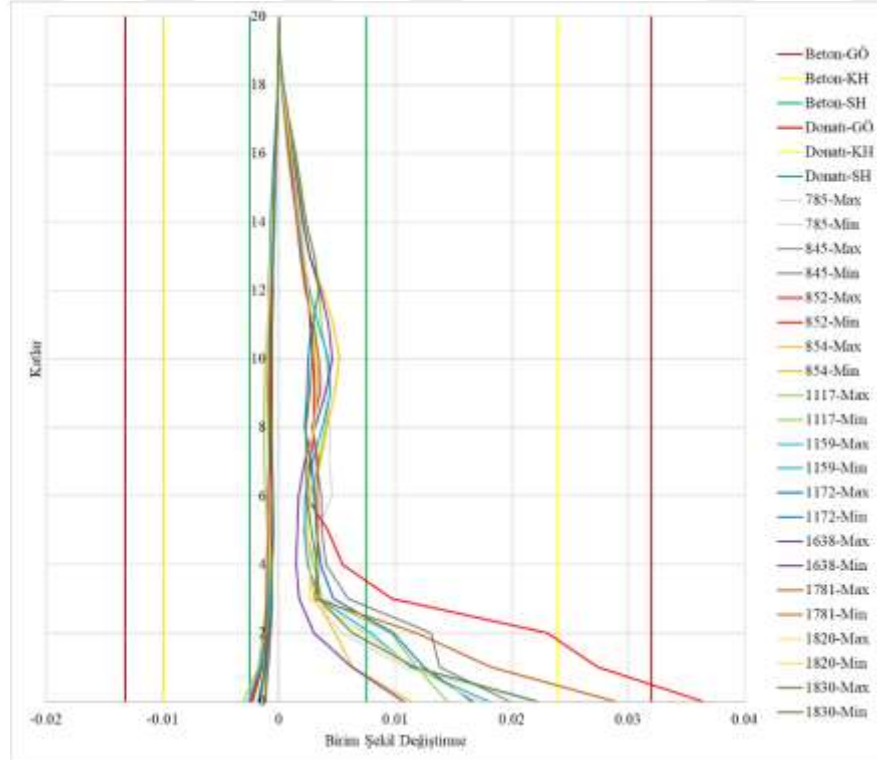
Şekil 6.26. P1 noktası yakın saha birim şekil değıştirme değeri



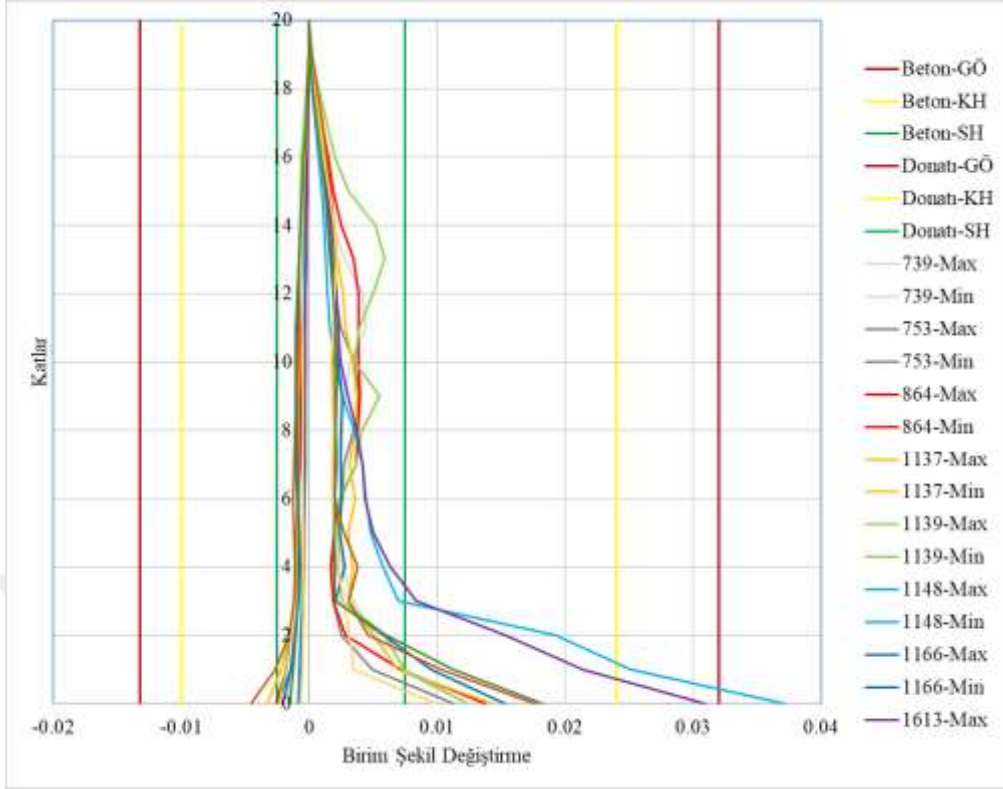
Şekil 6.27. P1 noktası uzak saha birim şekil değıştirme değeri



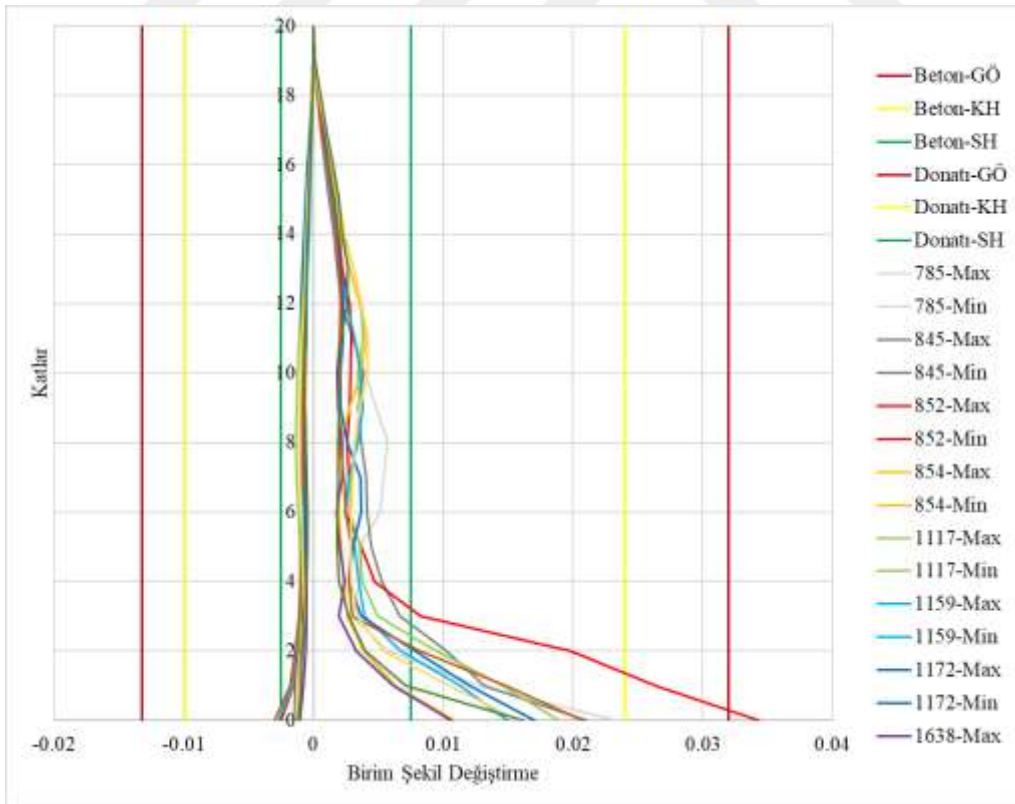
Şekil 6.28. P2 noktası yakın saha birim şekil değıştirme değeri



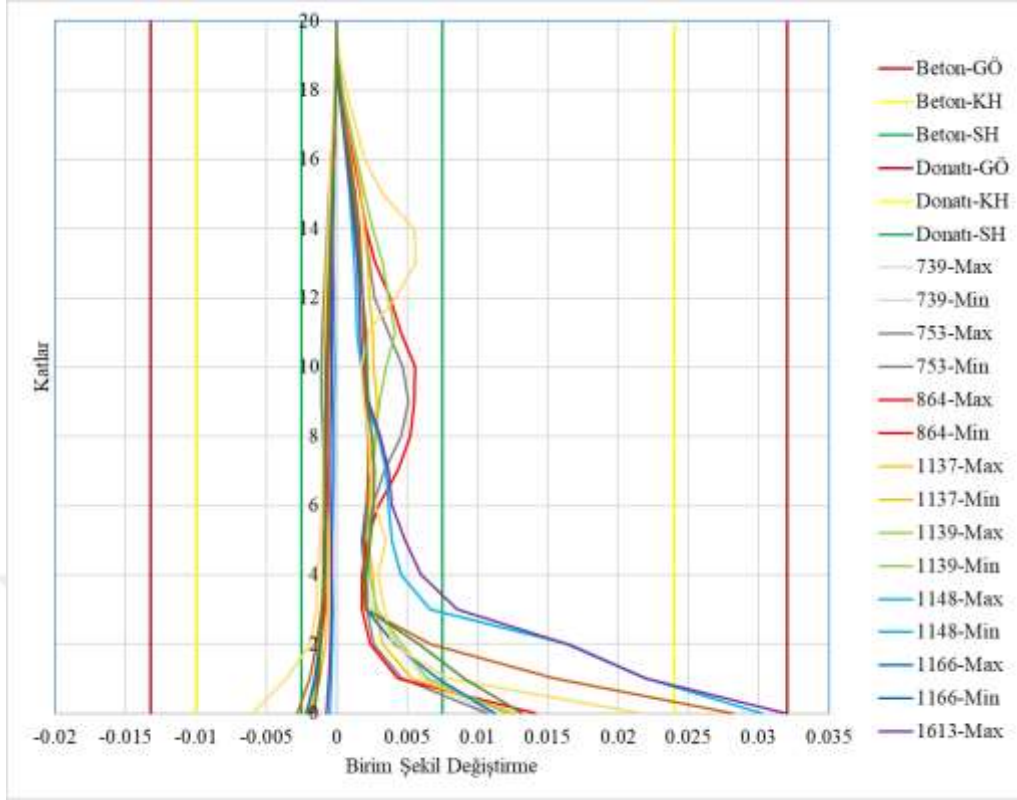
Şekil 6.29. P2 noktası uzak saha birim şekil değıştirme değeri



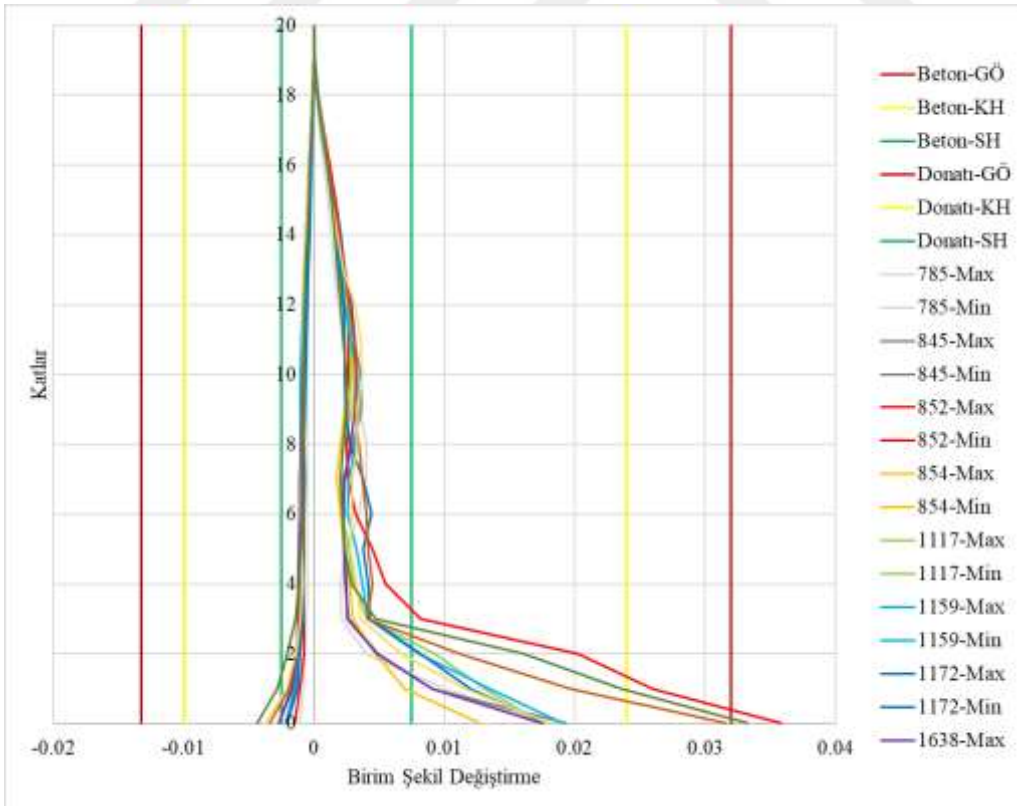
Şekil 6.30. P3 noktası yakın saha birim şekil değıştirme değeri



Şekil 6.31. P3 noktası uzak saha birim şekil değıştirme değeri



Şekil 6.32. P4 noktası yakın saha birim şekil değiştirme değerleri



Şekil 6.33. P4 noktası uzak saha birim şekil değiştirme değerleri

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, yüksek yapıların uzak ve yakın saha depremlerine gösterdiği tepkiler anlaşılmaya çalışılmıştır. Çalışmada Perform-3D programı kullanılmış olup, oluşturulan modelde ve çözümde TBDY-2018’de belirtilen kurallar dikkate alınmıştır. TBDY-2018 yüksek yapıların tasarım ve analizlerini diğer tür yapılardan ayrı tutmaktadır. Yüksek yapıların sahip olduğu geometrik özellikler ve davranış karakteristikleri onları diğer tür yapılardan ayıran unsurlardandır.

Yüksek yapıların analizlerinde kullanılması zorunlu olan zaman-tanım alanında analizleri etkileyen en önemli parametrelerden birisi deprem kaydı seçimidir. Deprem kayıtlarının seçimi ile ilgili olarak birçok parametre konuşuluyor olsa da TBDY-2018 ve diğer deprem tasarım yönetmeliklerinde, seçilecek deprem kaydının yapı sahasına uzaklığı konusunda net bir ifade bulunmamaktadır.

Yüksek yapıların performans analizinde kullanılan zaman tanım alanında analiz ile birlikte, yapının matematiksel modelinin oluşturulmasında birçok varsayım ve belirsizlik bulunmaktadır. Zaman-tanım alanında analizde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, yapıyı oluşturan elemanların malzeme modelleri, yapı rijitliği, performans limitleri gibi varsayımlar birbirinden farklı modellerin oluşmasına ve dolayısıyla farklı sonuçlar elde edilmesine sebep olabilir.

Yüksek yapıların doğrusal olmayan analizlerinden doğru sonuçlar elde edebilmek için doğru deprem kayıtlarının seçilmesi veya üretilmesi gerekmektedir. Bu da ancak yapının inşaa edileceği sahanın karakteristik özelliklerine ve yapının etkilenebileceği depremleri üretecek fay mekanizmalarını göz önüne alarak yapılabilir.

Ölçeklenmemiş deprem kayıtlarının kullanıldığı analizlerden görüleceği üzere yakın saha depremleri yapıdan daha yüksek talepler oluşturmaktadır. Yapıda gözlenen kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemesi oranları ve devrilme momentleri bunu kanıtlar niteliktedir.

Uzak saha depremlerinin spektrumlarında uzun periyotlarda görünen yüksek genlikler ile yakın saha depremlerinin kısa periyotlarında görünen yüksek genlikler yüksek yapıda farklı etkilere sebep olmaktadır. Uzak saha depremlerinin genlikleri yakın saha depremlerinin genliklerine kıyasla daha küçük olduğundan ham kayıtlar üzerinde

yürütülen analizlerde daha düşük talepler oluşturması normal görülmelidir. Ancak hem ölçeklenmiş hem de ölçeklenmemiş deprem kayıtları ile yürütülen analizlerden görülmektedir ki, yüksek yapılarda uzak saha depremleri üst katlarda daha büyük talepler oluşturmaktadır. Bu durum uzak saha depremlerinin bir karakteristik özelliği olarak görülmektedir. Ayrıca aynı davranış bazı yakın saha depremlerinde de görüncesine rağmen, tüm yakın saha depremleri için bir yorum yapılamaz. Bu davranışın sebebi olarak uzak saha depremlerinde yüksek yapıların yüksek modlarının daha etken hale geldiği düşünölmektedir.

Yüksek yapıların tasarımlarında gerek mimari, gerek ekonomik kaygılar sebebiyle üst katlara doğru gittikçe incelen taşıyıcı eleman düzenlemeleri yapılmaktadır. Bu durum lineer yani doğrusal hesap yöntemleri ile analizde mantıklı olarak görünse de, bu çalışmada görölmektedir ki üst kat elemanları da alt kat elemanları kadar zorlanmalara maruz kalabilmektedirler. Dolayısıyla bu tip düzenlemeler yapılırken yapının doğrusal analizi ile birlikte doğrusal olmayan analizinden elde edilen sonuçlara da bakılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Chopra A. K., Chintanapakdee C. (2001). Comparing Response of SDF Systems to Near-Fault and Far-Fault Earthquake Motions in the Context of Spectral Regions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 1769-1789.
- Mander J. B., Priestley J. N., Park R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, 114 (8), 1804-1826.
- Alemdar B. N., White D. W. (2005). Displacement, Flexibility, and Mixed Beam-Column Finite Element Formulations for Distributed Plasticity Analysis, *Journal of Structural Engineering*, 131 (12), 1811-1819.
- Powell G. H., Allahabadi R. (1988). Seismic Damage Prediction by Deterministic Methods: Concepts and Procedures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16, 719-734.
- Priestley M. J. N., Grant D. N. (2005). Viscous Damping In Seismic Design and Analysis, *Journal of Earthquake Engineering*, 9 (2), 229-255.
- Mortezaei A., Ronagh H. R. (2011). Plastic Hinge Length of Reinforced Concrete Columns Subjected to Both Far-Fault and Near-Fault Ground Motions Having Forward Directivity, *The Structural Design of Tall and Buildings*
- Beiraghi H., Kheyroddin A., Kafi M. A. (2017). Effect of Record Scaling on the Behaviour of Reinforced Concrete Core-Wall Buildings Subjected to Near-Fault and Far-Fault Earthquakes. *Scientica Iranica*, 24 (3), 884-899
- Beiraghi H., Kheyroddin A., Kafi M. A. (2015). Forward Directivity Near Fault and Far Fault Ground Motion Effects on the Behavior of Reinforced Concrete Wall Tall Buildings with One or More Plastic Hinges. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*.
- Beiraghi H., Kheyroddin A., Kafi M. A. (2016). Energy Dissipation of Tall Core-Wall Structures with Multi-Plastic Hinges Subjected to Forward Directivity Near Fault and Far Fault Earthquakes. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*.
- Tavakoli H. R., Naej M., Salari A. (2011). Response of RC Structures Subjected to Near-Fault and Far-Fault Earthquake Motions Considering Soil-Structure Interaction. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 1 (30), 881-896.
- Beyen K. (2021). Yüksek Yapı Davranışında Yakın ve Uzak Alan Kaynaklı Depremlerin Etkisi, 9. *Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1-3 Haziran.
- Beyen K. (2021). Yüksek Yapıların Dinamik Karakteristiğinin Tanıtılmasında Rüzgar, Çevrel ve Deprem Kuvvetlerinin Etkisi, 9. *Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1-3 Haziran.

- Beyen K. (2017). Deprem ve Çevrel Titreşimler Etkisinde Yüksek Binalarda İnsanın Algısı ve Konfor Kalitesinin Değerlendirilmesi, *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 11-13 Ekim.
- Sezgin, R. E., Beyen, K. (2021). Betonarme Çekirdek Perdeli Yüksek Yapılarda Uzak ve Yakın Saha Deprem Etkileri, *6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 13-15 Ekim.
- Çelebi O., Beyen K. (2019). Yakın ve Uzak Alan Kaynaklı Depremlerin Dolgu Duvarlı Betonarme Binalarda Etkisi. *5. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 8-11 Ekim.
- Fahjan Y. M., Vatansever S., Özdemir Z. (2011). Ölçeklenmiş Gerçek Deprem Kayıtları ile Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim.
- Fahjan Y. M., (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 4423-4444.
- Fahjan Y. M., Özdemir Z. (2007). Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.
- Allen C. R. (1980) Comparisons Between the North Anatolian Fault of Turkey and the San Andreas Fault of California, *Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction, Proceedings of the International Symposium on Earthquake Prediction in the North Anatolian Fault Zone*, İstanbul, Türkiye 31 Mart-5 Nisan.
- ASCE/SEI 41-17, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, USA, 2017.
- 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.
- Celep, Z., Kumbasar, N. (2004). *Modeling for Structural Analysis; Behavior and Basics*, California, Berkeley, USA: Computers and Structures Inc.
- 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.

- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018). *TC Resmi Gazete* (30364, 18 Mart 2018) , İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings (2017). *Pacific Earthquake Engineering Center* (2017/06) , Berkeley, California, USA.
- The 2020 Los Angeles Tall Buildings Conference (2020). *Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council* (9 Ekim 2020) , Los Angeles, California.
- 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.
- Zhang Y., Iwan W. D. (2002). Active Interaction Control of Tall Buildings Subjected to Near-Field Ground Motions, *Journal of Structural Engineering*, 128 (1), 69-79.
- Özenir A. (2014). Tipik Betonarme Bir Hastane Yapısının Perde veya Pasif Söndürücülerle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 360868.
- Özyürek K. (2019). Mevcut Betonarme Yüksek Bir Yapının Deprem Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 612423.
- Budak E. (2015). Performance Based Seismic Design of Reinforced Concrete Tall Buildings, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 416467.
- 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.
- Computers and Structures Inc. (2006). *Perform-3D User Guide V4.*, Berkeley, California, USA: Computers and Structures, Inc.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Sezgin, R. E., Beyen, K. (2021). Betonarme ekirdek Perdeli Yüksek Yapılarda Uzak ve Yakın Saha Deprem Etkileri, *6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Kocaeli, 1123-1132, 13-15 Ekim.



ÖZGEÇMİŞ

Recep Ekrem Sezgin 2013 yılında Fatin Rüştü Zorlu Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl başladığı Kocaeli Üniversitesi'nde İngilizce hazırlık okuyarak yabancı dilini geliştirdi. Başarıyla biten hazırlık sınıfının ardından İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenimine devam etti. Öğrencilik yıllarından itibaren Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı'na ilgi duymaya başladı ve kendini bu alanda geliştirmeye çalıştı. "Betonarme bir yapının statik itme analizi ile performansının belirlenmesi" bitirme çalışmasıyla 2018 yılında mezun oldu. Aynı yıl özel sektörde çalışma hayatına ve yüksek lisansa başlayan Recep Ekrem Sezgin bu süreçte yapı sağlığı izleme, yüksek yapı ve performans analizi konularında çalışmalar yürüttü. 6. Uluslararası Sismoloji ve Deprem Konferansı'na konuşmacı olarak katıldı. Recep Ekrem Sezgin halen özel sektörde mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ağırlıklı olarak çalışmalarına devam etmektedir.

