

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YATAYDA VE DÜŞEYDE DÜZENSİZ OLAN YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM
HESABINDA YATAY YÜK ARTIMI YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin BOZKURT

1600007198

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Program: Yapı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN (Işık Üniversitesi)

MAYIS 2021

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YATAYDA VE DÜŞEYDE DÜZENSİZ OLAN YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM
HESABINDA YATAY YÜK ARTIMI YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin BOZKURT

1600007198

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Program: Yapı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN (Işık Üniversitesi)

Jüri Üyeleri: Dr. Öğr. Üyesi Erdal ÇOŞKUN

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan YAZICI

MAYIS 2021

ÖNSÖZ

Çalışmanın konusu yatayda ve düşeyde düzensizliği bulunan 3 katlı betonarme çerçeveli yapının belirlenmiş bir çerçevesini ve çerçevenin ait olduğu yapının 3 boyutlu modellemesi olmak üzere iki bölüm altında incelenmiştir. Hesaplanan deprem yükleri altında yapılan statik itme analizi sonrası lineer olmayan davranışlarını ve bununla birlikte oluşan plastik mafsallar altında yapıda meydana gelen burkulma güvenliğindeki değişimi ve TBDY 2018' göre yapının düzensizliklerinin kontrolleri ve kontroller sonucu yapıda meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Bu çalışmanın oluşumunda, ilerlemesinde ve olgunlaşmasında 4 yıl boyunca engin bilgilerini benimle paylaşarak bana her konu da destek veren, sahip olduğu engin fikir ve tecrübelerini benden esirgemeyen, her daim yanında olduğunu hissettiren Kıymetli ve Değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN' a sonsuz hürmet ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatımın ilk gününden başlayan desteklerini, koşulsuz sevgi ve yaşattıkları mutluluklar ile her zaman yanımda olan, varlıkları ile beni onurlandıran, eğitim hayatım boyunca bütün zorluklara rağmen pes etmeyip bana ilham olan Kıymetli Annem başta olmak üzere Sevgili Aileme de minnettarlığımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2021

İstanbul

Hüseyin BOZKURT

İÇİDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
SİMGE LİSTESİ.....	xi
KISA ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş ve Kapsam.....	1
1.2. Yapıların Deprem Performansı ve Burkulma Üzerine Literatür Çalışmaları.....	3
2. YATAYDA VE DÜŞEYDE DÜZENSİZ OLAN YAPI SİSTEMLERİNİN 2018 BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ	8
2.1. Yapı Düzensizlikleri	8
2.2. Planda Düzensizlik Durumları	8
2.2.1. Burulma Düzensizliği (A1).....	8
2.2.2. Döşeme Süreksizliği (A2).....	11
2.2.3. Planda Çıkıntıların Bulunması (A3).....	12
2.3. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları	13
2.3.1. Komşu Katlar Arasında Dayanım Düzensizliği (B1).....	13
2.3.2. Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği (B2).....	14
2.3.3. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği	15

2.4. Yapı Düzensizliklerinden Kaçınmak.....	17
3. SİSTEM DE BULUNAN MALZEMELER YÜKLER VE KESİTLERİN TANITILMASI.....	18
3.1. Taşıyıcı Betonarme Elemanların Üzerinde Bulunan Yüklerin Hesaplanması.....	19
3.2. Ölü ve Hareketli Yüklerin Kat Planı Üzerindeki Yük Dağılımının Gösterimi ve A Aksındaki Düğüm Noktaları.....	19
3.3. Sistemde Bulunan Diğer Çerçeve Sistemler	22
3.4. A Çerçeve Sistemde Bulunan Ölü ve Hareketli Yükler	23
4. YAPININ ZEMİNE FARKLI MESNETLENME DURUMLARIN İNCELENMESİ... 26	
4.1. Yapının Katlarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri	26
4.2. Farklı Uygulamalar İle Sistemin Zemine Mesnetlenme Durumların İncelenmesi	29
4.2.1. 1. Uygulama	29
4.2.2. 2. Uygulama	31
4.2.3. 3. Uygulama	36
4.3. Farklı Mesnetlenme Durumlarına Göre Serbest Titreşim ve Taban Kesme Kuvveti	38
5. KOLON VE KİRİŞ KESİTLERİNİN TASARLANMASI	40
5.1. Farklı Yükleme Şekilleri İle Kritik Kesitlerde Oluşan İç Kuvvetler....	40
5.2. Kirişlerin Dizayn Edilmesi.....	43
5.2.1. 4 Nolu Kesitli Kirişin Açıklık Donatısının Belirlenmesi.....	43
5.2.2. 3 Nolu Kesitli Kirişin Mesnet Donatısının Belirlenmesi.....	45
5.3. Kolonların Dizayn Edilmesi.....	48
6. 2 BOYUTLU SİSTEM DE YATAY YÜK ARTIMI (STATİK İTME) ANALİZİ.....	55
6.1. Limit Yük ve Plastik Mafsal Kavramları.....	55
6.2. İlimit Yük Artımı Yöntemiyle Hesabı ve Doğrusal Olmayan Statik Hesap	55

6.3. Sistemin Modlarına Ait Serbest Titreşim Karakteristikleri.....	66
7. 2 BOYUTLU SİSTEM DE BURKULMA.....	70
7.1. Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayan ve İkinci Mertebe Kuramı ile Hesap Yapılması-Burkulma Yüğü... ..	70
7.2. Kademeli Şekilde Mafsals Sayısı Artan Sistemlerde Burkulma Yüğü Faktörü.....	73
8. YAPININ 3 BOYUTLU MODELLENMESİ	85
8.1. Malzeme, Kesitler ve Ölü-Hareketli Yüğülerin Tanımlanması.....	86
8.1.1. Taşıyıcı Betonarme Elemanların Üzerinde Bulunan Yüğülerin Hesabı..	87
8.1.2. Ölü ve Hareketli Yüğülerin Kat Planı Üzerindeki Yüğü Dağılımının Gösterilmesi.....	87
8.2. Yapı ve Kat Ağırlıkları İle Yapı Periyodunun Bulunması.....	89
8.2.1. Yapı ve Kat Ağırlıklarının Bulunması.....	89
8.2.2. Yapının Doğal Titreşim Periyodunun Bulunması.....	90
8.3. TBDY 2018'e Göre Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı.....	91
8.3.1. Yapı Hakkında Bilgiler.....	91
8.3.2. X ve Y Yönü Toplam Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Hesabı.....	91
8.3.3. Deprem ve Yer Hareketlerine Ait Veriler	91
8.3.4. Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısını (I) Bulunması ..	92
8.3.5. Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi (DTS)	93
8.3.6. Bina Yüğüseklik Sınıfının Belirlenmesi (BYS)	93
8.3.7. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin Kullanılabilirliğinin Kontrolü.....	94
8.3.8. Toplam Yapı Kütlesinin Belirlenmesi	95
8.3.9. Yönü Toplam Eşdeğer deprem Yüğüünün Belirlenmesi	95
8.3.10. Y Yönü Toplam Eşdeğer deprem Yüğüünün Belirlenmesi	97
8.4. Kat Hizalarına Etkiyen Deprem Yüğüleri ve Ek Kat Burulma Momentlerinin Bulunması.....	98
8.5. Deprem Yüğülerinin ve Ek Kat Burulma Momentlerinin Kat Kütles Merkezlerine Atanması	100
9. TBDY 2018'E GÖRE YAPI DÜZENSİZLİKLERİNİN KONTOLLERİNİN YAPILMASI.....	103
9.1. Burulma Düzensizliği (A1)	103
9.2. Döşeme Süreksizliği (A2)	110
9.3. Planda Çıkıntılarının Bulunması Düzensizliği (A3)	110
9.4. Komşu Katlar Arasında Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat (B1).....	111

9.5. Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat (B2).....	114
9.6. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3).....	116
9.7. Diğer Düzensizlik Kontrolleri	116
9.7.1. Ekin Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü	116
9.7.2. İkinci Mertebe Hesabı ve Etkilerinin İncelenmesi	121
10. 3 BOYUTLU YAPI DA YATAY YÜK ARTIMI (STATİK İTME) ANALİZİ.....	125
10.1. Giriş ve Genel İlkeler	125
10.2. Plastik Mafsalların Sisteme Tanımlanması	127
10.3. Statik İtme Analizi İçin Sisteme Yapılan Tanımlamalar	128
10.4. Yapı Taşıyıcı Elemanların Analiz Sonrası Değerlendirilmesi	129
10.5. Adi Mafsalların Atanması.....	132
11. 3 BOYUTLU SİSTEM DE BURKULMA.....	137
11.1. Burkulmanın Tanımlanması.....	137
11.2. Sap2000 İle Burkulma Faktörlerinin Bulunması.....	137
SONUÇLAR.....	142
KAYNAKÇA.....	145
EKLER.....	147

KISALTMALAR

XTRACT	:Cross-Sectional X Structural Analysis of Components
SAP 2000	:Structural Analysis Program
TDY 2007	:Türk Deprem Yönetmeliği -2007
TBDY	:Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği -2018
EDYH	:Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1.	Düğüm Noktalarında Hesaplanan Yükler ve Yığılı Kütleler.....	25
Tablo 4.1.	Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Kuvvetleri	29
Tablo 4.2.	Yapının Zemine Farklı Mesnetlenme Durumlarına Ait Özellikler.....	38
Tablo 5.1.	1.4*Q+1.6*G Yükleme Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler.....	41
Tablo 5.2.	G+0.3*Q Yükleme Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler.....	41
Tablo 5.3.	G+Q+EQE Yükleme Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler.....	42
Tablo 5.4.	G+Q-EQE Yükleme Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler.....	42
Tablo 5.5.	Kritik Kesitlere Atanan Donatılar.....	51
Tablo 6.1.	Tüm Kesitlerin Moment ve Eğrilik Değerleri.....	60
Tablo 7.1.	Mafsalsız Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	71
Tablo 7.2.	1 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	73
Tablo 7.3.	2 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	74
Tablo 7.4.	3 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	75
Tablo 7.5.	4 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	76
Tablo 7.6.	5 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	77
Tablo 7.7.	6 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	78
Tablo 7.8.	7 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	79
Tablo 7.9.	8 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme.....	80
Tablo 7.10.	Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü.	81
Tablo 7.11.	Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü[16]	82
Tablo 8.1.	Kat Ağırlıkları ve Toplam Kat Ağırlığı.....	89
Tablo 8.2.	Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı.....	90
Tablo 8.3.	Yapı Doğal Titreşim Periyodu.....	90
Tablo 8.4.	Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayısı	92
Tablo 8.5.	Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)	93
Tablo 8.6.	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları.....	94
Tablo 8.7.	Binalar da Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabilirlik Kontrolü.....	94
Tablo 8.8.	X ve Y Yönleri Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü	98

Tablo 8.9.	Kat Seviyelerine Gelen Deprem Yükleri ve Ek Kat Burulma Momentleri	100
Tablo 8.10.	Tüm Katların Kat Kütle Merkezlerinin Koordinatları	101
Tablo 9.1.	Azaltılmış Kat Öteleme Değerleri	105
Tablo 9.2.	Burulma Düzensizliği Kontrolü	107
Tablo 9.3.	Burulma Düzensizliğinin Dbi Büyütme Katsayısı İle Düzeltilmesi	109
Tablo 9.4.	Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Hesabı	113
Tablo 9.5.	Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği Hesabı	115
Tablo 9.6.	Etkin Görelî Kat Ötelemesi Kontrol Tablosu	120
Tablo 9.7.	İkinci Mertebe Etkilerinin Hesaplanması	123
Tablo 10.1.	Periyot ve Kütle Katılım Oranları	126
Tablo 10.2.	Mafsal Sayısı-Periyot ilişkisi.....	134
Tablo 11.1.	+Y ve –Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Meydana Gelen Mafsal Sayıları, Periyotlar ve Burkulma Faktörleri.....	138
Tablo 11.2.	+Y ve –Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Meydana Gelen Kat Deplasman Değerleri.....	139

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	Görelî Kat Ötelemeleri.....	9
Şekil 2.2.	Kaydırılmış Kütîle Merkezleri.....	10
Şekil 2.3.	A2 Tipi Düzensizlik Durumları-I.....	11
Şekil 2.4.	A2 Tipi Düzensizlik Durumları-II.....	11
Şekil 2.5.	A2 Tipi Düzensizlik Durumları-III.....	12
Şekil 2.6.	A3 Tipi Düzensizlik Durumları.....	12
Şekil 2.7.	B1 Tipi Düzensizlik Durumları.....	13
Şekil 2.8.	Kolonların Konsol ve Guselere Oturma Durumları.....	15
Şekil 2.9.	Kolonun İki Ucunda Mesnetli Kirişe Oturması Durumu.....	16
Şekil 2.10.	Perdelerin Kolonlara Oturması Durumu.....	16
Şekil 2.11.	Perdelerin Kirişlere Oturması Durumu.....	17
Şekil 3.1.	Sistemde Bulunan Kirişlerin En Kesiti.....	18
Şekil 3.2.	Sistemde Bulunan Kolonların En Kesiti.....	19
Şekil 3.3.	Sistemde Bulunan Z= 3.00 Metre Kot Planı.....	20
Şekil 3.4.	Sistemde Bulunan Z= 6.00 Metre Kot Planı.....	20
Şekil 3.5.	Sistemde Bulunan Z= 6.00 Metre Kot Planı.....	21
Şekil 3.6.	Sistemde Bulunan A ve B Çerçevelerinin Düşüm Noktaları	21
Şekil 3.7.	Sistemde Bulunan C Çerçeve Sistemi.....	22
Şekil 3.8.	Sistemde Bulunan 1 ve 2 Numaralı Çerçeve Sistemler.....	22
Şekil 3.9.	Sistemde Bulunan 3 Numaralı Çerçeve Sistemler.....	23
Şekil 3.10.	Sistemde Bulunan 4 Numaralı Çerçeve Sistemler.....	23
Şekil 3.11.	A Çerçeve Sistemde Bulunan Ölü Yükler.....	24
Şekil 3.12.	A Çerçeve Sistemde Bulunan Hareketli Yükler.....	24
Şekil 4.1.	Elastik İvme Spektrumu.....	27
Şekil 4.2.	Tekil Temel Kesiti.....	29
Şekil 4.3.	Zemini, Belirli Bir Dönme Rijitliğine Sahip Mesnetler İle Tanımlı Sistem	30
Şekil 4.4.	Eksenel Rijitliği Olan Yaylar İle Tanımlı Zemin Sistemi.....	32
Şekil 4.5.	Belirli Eksenel Rijitliği Tanımlanmış Zemin Sitemi.....	36
Şekil 4.6.	Yapının Zemine Farklı Uygulamalar Sonucu Elde Edilen Sistemlerin 1. Mod Şekilleri.....	39
Şekil 5.1.	Sistemde Bulunan Kritik Kesitlerin Belirlenmesi.....	40
Şekil 5.2.	Açıklıkta Bulunan Kirişin En Kesiti.....	43
Şekil 5.3.	Mesnette Bulunan Kirişin En Kesiti.....	45
Şekil 5.4.	Kolon En Kesiti.....	48
Şekil 5.5.	Sol Uç Aksı 1. Kat Düşüm Noktası Momentleri.....	52
Şekil 5.6.	Orta Kısım Aksı 1. Kat Düşüm Noktası Momentleri.....	53
Şekil 5.7.	Sağ Uç Aksı 1. Kat Düşüm Noktası Momentleri.....	53
Şekil 5.8.	Kritik Kesitlere Atanan Donatıların Gösterimi.....	54
Şekil 6.1.	Kesitlere Atanmış Plastik Mafsal Numaraları.....	56

Şekil 6.2. Statik İtme Analizi Sonucu –X Yönlü Deprem Etkisi İle Oluşmuş Mafsal Yerleri ve Sırası.....	57
Şekil 6.3. Statik İtme Analizi Sonucu +X Yönlü Deprem Etkisi ile Oluşmuş Mafsal Yerleri ve Sırası	58
Şekil 6.4. Statik İtme Analizi Sonucu –X Yönlü Deprem Etkisi İle Oluşmuş Mafsal Yerleri ve Sırası[16].....	59
Şekil 6.5. Statik İtme Analizi Sonucu +X Yönlü Deprem Etkisi ile Oluşmuş Mafsal Yerleri ve Sırası[16]	59
Şekil 6.6. +X ve –X Yönlü Deprem Etkileri Sonucu sistemin Kapasite Eğrisi	62
Şekil 6.7. Sistemdeki Mafsal Durumları İle İlgili Mod Şekilleri, Periyot ve Katlara Etkiyen Kuvvetler	63
Şekil 6.8. Sistemdeki Mafsal Durumları İle İlgili Mod Şekilleri, Periyot ve Katlara Etkiyen Kuvvetler.....	64
Şekil 6.9. Sistemdeki Mafsal Durumları İle İlgili Mod Şekilleri, Periyot ve Katlara Etkiyen Kuvvetler[16].....	65
Şekil 6.10. Mafsal Sayısına Bağlı 1. Mod Şekilleri.....	67
Şekil 6.11. Farklı Modların, Mafsal Sayısına Göre Periyotlar İle İlişkisi.....	68
Şekil 6.12. Farklı Modların, Mafsal Sayısına Göre Modal Katılım Çarpanı İle İlişkisi	68
Şekil 6.13. Farklı Modların, Mafsal Sayısına Göre Modal Kütle Katılım Oranları İle İlişkisi.....	69
Şekil 7.1. Mafsalsız Sisteme Ait P-δ Grafiği.....	72
Şekil 7.2. Mafsalsız Sisteme Ait P/δ-P Grafiği..	72
Şekil 7.3. Yapının Burkulma ve Pushover Analizinden Göçme Durumlarını Kapsayan Kapasite Eğrileri.....	81
Şekil 7.4. +X ve –X Yönleri İçin Mafsal Sayısı Burkulma Yüğü İlişkisi.....	83
Şekil 7.5. Farklı Mafsal Durumlarından Elde Edilen P-δ Grafiği.....	83
Şekil 7.6. Farklı Mafsal Durumlarından Elde Edilen P/ δ – P Grafiği.....	84
Şekil 8.1. Yapıda Bulunan Kirişlerin En Kesiti	86
Şekil 8.2. Yapıda Bulunan Kolonların En Kesiti.....	86
Şekil 8.3. Yapıda Bulunan Z=3.00 Metre Kotu Kat Planı	87
Şekil 8.4. Yapıda Bulunan Z=6.00 Metre Kotu Kat Planı	88
Şekil 8.5. Yapıda Bulunan Z=9.00 Metre Kotu Kat Planı	88

Şekil 8.6.	Deprem ve Yer Hareketlerine Ait Sonuçlar	92
Şekil 8.7.	Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	95
Şekil 8.8.	3.00 Metre Kotu 1. Katın Kat Kütle Merkezi	101
Şekil 8.9.	6.00 Metre Kotu 1. Katın Kat Kütle Merkezi	102
Şekil 8.10.	9.00 Metre Kotu 1. Katın Kat Kütle Merkezi	102
Şekil 9.1.	6.00 Metre Kotu 2. Kat Planı	110
Şekil 9.2.	DD-3'e Ait Deprem ve Yer Hareketlerine İlişkin Sonuçlar	118
Şekil 10.1.	Sisteme Atanan Plastik Mafsallar.....	127
Şekil 10.2.	Pushover Ön Yüklemesinin Tanımlanması	128
Şekil 10.3.	Pushover Yüklemesinin Tanımlanması	129
Şekil 10.4.	Statik İtme Analizi Sonucu – Y Yönlü Deprem Etkisi İle Meydana Gelen Mafsallık Yerleri	130
Şekil 10.5.	Statik İtme Analizi Sonucu + Y Yönlü Deprem Etkisi İle Meydana Gelen Mafsallık Yerleri	130
Şekil 10.6.	Sisteme Ait Pushover Kapasite Eğrileri	131
Şekil 10.7.	– Y Yönlü Deprem Sonucu Atanacak Adi Mafsallık Sıra ve Yerleri ...	132
Şekil 10.8.	+ Y Yönlü Deprem Sonucu Atanacak Adi Mafsallık Sıra ve Yerleri ...	133
Şekil 10.9.	Mafsallık Sayısı-Periyot İlişkisi.....	134
Şekil 10.10	Mafsallık Sayısı-Modal Katkı Çarpanı İlişkisi.....	135
Şekil 10.11	Mafsallık Sayısı-Modal Kütle Katılım Oranı.....	135
Şekil 10.12	Mafsallık Sayısı-Kırılma Adımları	136
Şekil 11.1.	–Y ve +Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Mafsallık Sayıları-Periyot İlişkisi.....	139
Şekil 11.2.	–Y ve +Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Mafsallık Sayıları - Deplasman İlişkisi.....	140
Şekil 11.3.	–Y ve +Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Mafsallık Sayıları-Burkulma Yük Faktörü İlişkisi.....	140
Şekil 11.4.	–Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Modlarda Meydana Gelen Burkulma Yük Faktörleri.....	141

SİMGE LİSTESİ

$(EI)_e$	: Çatlamış kesitin etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesitin eğilme rijitliği
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ	: Çekme donatı oranı
$A(T)$	: Spektral İvme katsayısı
a	: İki yay arası mesafe, tekil temel kısa kenar uzunluğu, eşdeğer basınç bloğu derinliği
A	: Kesit alanı
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
A_c	: Kirişlerde gövde, kolonlarda ise tüm kesit alanı
A_s	: Çekme donatı alanı
A_{s1}	: Eşdeğer basınç bloğu bileşkesine eşit çekme kuvveti oluşturmak için gerekli donatı alanı
A_{st}	: Kolonlarda toplam boyuna donatı alanı
a	: Kirişin etkili tabla genişliği, kolonun eğilme doğrultusuna dik boyutu, sürekli temel kirişinin genişliği, tekil temelin uzun kenarı
b_w	: Kirişin Gövde genişliği
c	: Zemin yatak katsayısı
d	: Faydalı yükseklik
d''	: Çekme ve basınç donatısı ağırlık merkezleri arasında uzaklık
E	: Deprem yükü
E	: Elastisite modülü
EI	: Kesitin eğilme rijitliği
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Ortalama basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı

f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
F_i	: Yapının kat düzeylerine uygulanan yatay kuvvet
f_{yd}	: Çeliğin tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
g	: Döşemeden kirişe gelen ölü yük, yerçekimi ivmesi
G	: Toplam ölü yük
γ_{mc}	: Beton malzeme katsayısı
γ_{ms}	: Çeliğin malzeme katsayısı
H	: Dişli döşemelerde diş derinliği (yüksekliği), kolonun eğilme doğrultusundaki boyutu
h_f	: Döşeme kalınlığı
H_i	: Kat Yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı, kesitin atalet momenti
k_1	: Betonun basınç bloğu katsayısı
L	: Yapı elemanının boyu
L_p	: Kesitin plastik mafsallık boyu
M	: Yığılı kütle, Eğilme momenti
M_1	: Kesitin tek donatılı olarak karşılayabildiği moment
M_{akma}	: Kesitin akma adındaki moment
M_d	: Tasarım momenti
M_{maks}	: Kesitin taşıyabileceği maksimum moment
M_r	: Kolon ve kirişlerin taşıma gücü momenti
N	: Binada bulunan kat sayısı, Yapı elemanlarında bulunan eksenel kuvvet
n	: Donatı sayısı
N_d	: Tasarım eksenel kuvveti
N_u	: Kolon kesitinin taşıyabileceği maks. eksenel kuvvet
P	: Uygulanan yük
q	: Döşemeden kirişe aktarılan hareketli yük değeri
Q	: Toplam hareketli yük
R	: Yapıda süneklik düzeyi ve Taşıyıcı sisteme ait davranış katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_v	: Kolonun eksenel rijitliği

R_{θ}	: Mesnetin dönme rijitliği
$S(T)$	: Elastik ivme spektrumu
$S_{ae}(T)$	: Elastik spektral ivme
t	: Betonarme perdenin kalınlığı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu
T_B	: Spektrum karakteristik periyodu
V	: Kesme Kuvveti
V_t	: Bina tabanındaki kesme kuvveti
W	: Toplam ağırlık
Z_2	: Yerel zemin sınıfı
δ	: Yapının yatay yerdeğiştirme mesafesi
Δ_{FN}	: Ek eşdeğer deprem yükü
ρ_1	: Eşdeğer basınç bloğu bileşkesine eşit çekme kuvveti oluşturmak için gerekli donatı oranı
ρ_{min}	: Minimum çekme donatısı oranı
ρ_t	: Kolonlarda boyuna donatı oranı
X_Y	: Kesite ait akma anındaki eğrilik değeri
X_{maks}	: Kesite ait ulaşabileceği maks. Eğrilik değeri
X_P	: Kesite ait plastik eğrilik değeri
X_{top}	: Kesite ait toplam eğrilik değeri
Ψ	: Mekanik donatı oranı
Γ_1	: 1.titreşim modunun modal katılım çarpanı
Φ	: Donatı çapı, serbest titreşim mod şekli
θ_P	: Kesitteki plastik dönme

Üniversite	:	İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitüsü	:	Lisansüstü Eğitim
Dalı	:	İnşaat Mühendisliği
Programı	:	Yapı
Tez Danışmanı	:	Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN
Tez Türü ve Tarihi	:	Yüksek Lisans – Mayıs 2021

KISA ÖZET

YATAYDA VE DÜŞEYDE DÜZENSİZ OLAN YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM HESABINDA YATAY YÜK ARTIMI YÖNTEMİ

Hüseyin BOZKURT

Bu çalışmada düşeyde düzensizlikleri olan 3 katlı betonarme bir binanın ilk aksındaki çerçevenin ve tasarımı yapılan 3 boyutlu sistemin doğrusal olmayan davranış sırasında burkulmaya karşı güvenliğinin değişimi ve TBDY 2018' göre yapı düzensizliklerinin kontrolleri üzerinde durulmaktadır.

Çerçevenin çeşitli çözümlemelerinde SAP 2000 programı kullanılmıştır. Öncelikle mesnetlenme koşullarının dinamik davranış özellikleri üzerindeki etkilerinin irdelenmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla önce çerçevenin zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmiş; daha sonra zemine bağlanma koşulları değiştirilerek farklı durumlar için çerçevenin serbest titreşim özellikleri bulunmaktadır.

Çerçeve farklı yükleme durumları ele alınarak mevcut yapı yönetmeliklere uygun hesaplamalar ile boyutlandırılmış ve donatılmıştır. Tüm kolon ve kiriş kesitlerinin Moment-Eğrilik grafiklerinin oluşturulması için XTRACT yapı programından yararlanılmış ve bilgiler gerektiğinde SAP 2000'e aktarımı sağlanmıştır.

Çerçevenin deprem davranışının daha detaylı olarak incelenmesi için düşey yükler sabit tutulup yatay yük artımları ile çözümlemeler yapılmakta ve bu hesaba Statik İtme Analizi denilmektedir. Bu hesap analizinde yatay yük artımları sırasında yapıdaki her plastik mafsall oluşma sıralamasına bağlı olarak, tek plastik mafsallı durumdan başlayıp, mafsall sayısı artırılmaya devam edilerek çözümleme yapılmaktadır. Buradaki amaç sistemin göçme veya limit yüküne eriştiği çok mafsallı duruma kadarki serbest titreşim ve burkulma özellikleri gözden geçirilmesi, yatay yük artımları gerektiği kadar küçültülerek her defasında tek bir plastik mafsallın ortaya çıkması durumuna özen gösterilmesidir. Her evrede sistemin burkulma yük parametreleri de hesaplanarak limit yüke ulaşmadan göçme yaşanıp yaşanmadığı gözlenmektedir. Bu işlemler sırasında iki farklı yol izlenmektedir. İlkinde sistemdeki plastik mafsalların oluştuğu kesitlere hiç moment taşımayan mafsallar atanmış ve burkulma yük parametreleri hesaplanmıştır. İkincisinde ise yaklaşık olarak kabul edilen bir plastik mafsall boyu kadarki kısımda elemanın eğilme rijitliği moment - eğrilik bağıntısından

yararlanılarak azaltılmış ve tüm çözümler yinelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Sistemde yatay yük artım analizi iki yönde de yapılmaktadır. Bu olgunun önemi ise, limit yük, serbest titreşim ve burkulma karakteristiklerinin incelenmesine olanak sağlamasıdır.

Final olarak betonarme çerçeve sistemine sahip düzensiz yapıların doğrusal olmayan değişimlerinin hem 2 boyutlu hem de 3 boyutlu sistemler üzerinde ilerleyip varılan sonuçlar ile sistemlere yapılması gereken yapısal müdahalelere ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Burkulma Yük Faktörü, Doğrusal Olmayan Davranış, Plastik Mafsallı Hipotezi, Serbest Titreşim, Statik İtme Analizi, Yapıda Düzensizlikler, Yatay Yük Artımı Yöntemi,

Bilim Dalı Sayısal Kodu:



University : Istanbul Kultur University
Institute : Institute of Graduate Studies
Department : Civil Engineering
Programme : Structure
Supervisor : Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN
Degree Awarded and Date : MS – May 2021

ABSTRACT

HORIZONTAL LOAD INCREMENT METHOD IN EARTHQUAKE ACCOUNT OF HORIZONTAL AND VERTICAL IRREGULAR STRUCTURAL SYSTEMS

Hüseyin BOZKURT

In this study, the change of the safety of the frame on the first axis of a 3-storey reinforced concrete building with vertical irregularities and the 3D system designed against buckling during nonlinear behavior and the controls of structural irregularities according to TBİY 2018 were emphasized.

The very well known computer program SAP 2000 has been used for various analyses of the frame. The boundary conditions have been changed to see its effects on vibration characteristics of this structure after having properly designed according to the existing codes. For this purpose, it was first assumed that the frame was fixed supported to the ground. Then, the free vibration characteristics of the frame have been found for different bounding conditions by changing the boundary conditions.

The frame is dimension and equipped in accordance with existing building regulations by addressing different loading situations. XTRACT program was used to create Moment-Curvature graphs of all column and beam sections and information was transferred to SAP 2000 when necessary.

In order to examine the earthquake behavior of the frame in more detail, vertical loads were kept constant and analyzed with horizontal load increments and this account was called Pushover Analysis. In this calculation analysis, depending on the order of formation of each plastic hinge in the structure during horizontal load increments, the free vibration and buckling properties up to the very articulated state where the system reaches the collapse or limit load by starting from a single plastic hinge state and continuing to increase the number of joints were reviewed, and the horizontal load increments were reduced as much as necessary and care was taken to ensure the appearance of a single plastic hinge at a time. At each stage, the buckling load parameters of the system were calculated and it was observed whether there was a collapse before the limit reached the load. During these operations, two different paths were followed. In the first, articulates that do not carry any moments were placed in

the sections where the plastic hinge in the system were formed and buckling load parameters were calculated. In the second, the bending rigidity of the element was reduced by using the moment - curvature relationship in the part about the size of a plastic hinge, which is considered to be approximate, and comparisons were made by repeating all the analyses.

Once again pushover analysis has been carried out to see the change in limit load, vibration and buckling characteristics. Pushover analysis has been carried out in two opposite directions to see the effects of non-symmetrical behaviour of the structure.

Finally, it was emphasized that nonlinear changes of irregular structures with reinforced concrete frame system are needed to progress on both 2D and 3D systems and structural interventions should be made to the systems with the results reached.

Keywords: Buckling Load Factor, Free Vibration, Plastic Hinge Hypothesis, Horizontal Load Increment Method, Nonlinear Behavior, Static Pushover Analysis, Structural Irregularities,

Science Code:

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Kapsam

Depremselliği yüksek bölgelerde 3 boyutlu yapı sistemlerinin tasarımı sırasında yapı mimarisi ile de ilgili olmak üzere deprem etkileri, ölü ve hareketli yüklerin etkilerinin de üstüne çıkabilmektedir. Binanın dinamik karakteristikleri olan serbest titreşim mod ve periyotlarına bağlı olarak saptanacak deprem etkileri özellikle 3 boyutlu düzensiz yapı sistemlerinde önemini daha da artırmaktadır. Yeni deprem yönetmeliklerinde belirli deprem yükleri altında tasarımı öngörmekle birlikte, artan deprem yükleri etkisinde binanın doğrusal olmayan davranışını inceleyerek performansını yakından izlemekle; hem yeni boyutlandırılan yapılar için hem de depreme karşı güçlendirilecek yapılar için önemli olmaktadır.

Yapının deprem performansının saptanabilmesi geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan hesabı gerektirmektedir.

Malzeme yönünden doğrusal olmayış, genellikle plastik mafsallı hipotezinin incelenen sistem için de geçerli olabileceği düşüncesiyle yaygın olarak kullanılmakta ve yapının sabit düşey yükler altında taşıyabileceği yatay yük düzeyi saptanmaya çalışılmaktadır. Herhangi bir mekanizma durumunun ortaya çıkması aşamasına kadar artırılabilen yatay yüklerin alabileceği en büyük değerler performans hesabı için önemli olmakla birlikte, bu aşamaya gelmeden önce plastik mafsalların açılmasıyla değişen yapı davranışının da yakından izlenerek erken bir göçme olgusunun ortaya çıkıp çıkmadığının kontrolü gerekmektedir.[16]

Erken göçme kavramı büyük şekil değiştirmelerin ortaya çıkması yani kolon ve kiriş kesitlerindeki bölgesel sünekliklerinin aşıp aşılmaması sistem için yönetmeliklerce öngörülen yatay yer değiştirme kısıtlamalarının aşıp aşılmaması gözden geçirilmesi, plastik mafsalların olduğu sistemde değişen titreşim özelliklerinin kontrolü, bölgesel ve genel burkulma olayının ortaya çıkıp çıkmamasının gözden geçirilmesidir.

Bu çalışmada yükseklik boyunca düzensizlikler bulunduran 3 boyutlu betonarme çerçeve bir yapının; önce mevcut yönetmeliklere göre dikkatli bir boyutlandırılması yapılmış, tüm kesitlerinde iç kuvvet-şekil değiştirme bağlantıları ortaya konmuş daha sonra düşey yükler sabit tutularak yatay yükler artırılmış, her bir plastik mafsallın birer

birer ortaya çıkması sağlandıktan sonra her bir yatay yük artımı aşamasında serbest titreşim periyotları ve mod şekilleri saptanmış, bunlara bağlı yapıya aktarılan eşdeğer deprem yükleri gözden geirilmış ve o düzeydeki yatay ve düşey yüklerin birlikte orantılı bir şekilde artırılmasıyla burkulma yk parametreleri saptanmıştır.

Tüm bu amaçlar için 3 boyutlu çerçevenin uzun doğrultusundaki 2 boyutlu düzlem erevesi esas alınmıştır. Bir grup çalışması olarak tasarlanan bu araştırmanın kenar erevesi ve diğer doğrultudaki erevesi başka araştırmacılarla aynı amaca yönelik olarak araştırılmaktadır.

Bu 3 boyutlu yapının yapı davranışını değiştirebilecek olan, yapıya perde eklenmesi olayı da bu kapsamda ele alınacak yeni bir çalışma alanı oluşturmuş durumdadır.

Görülmektedir ki yapıya plastik mafsalları eklenmesi, yapı davranışının yani serbest titreşim ve burkulma özelliklerinin değişmesi üzerinde etkilidir. Özellikle yönetmeliklerde üzerinde yeterince durulmadığı gözlenen burkulmaya karşı güvenlik düzeyinin azalıyor olması üzerinde durulması gereken bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü performans analizi için öngörülen yatay yük düzeyine ulaşılmadan erken göçme olayı ortaya çıkabilmektedir.

Az sayıda katları bulunan düzlem bir betonarme ereve üzerinde yürütülen bu gözlemler, hızla çok katlı çok açıklıklı erevesi için yinelenmeli, karşılaşılacak güçlükler gözden geçirilmeli ve 3 boyutlu modeller üzerindeki çalışmalarla desteklenmelidir.

Ayrıca yapılan bu çalışmayla ilgili Dünya çapındaki süreli yayınlardan bilimsel makaleler ve konferanslar araştırılmıştır. Ancak statik itme analizi yapılırken burkulma yk parametresindeki değişime değinen yayına rastlanılmamıştır. İlgili yayınlardan bir tanesi, Kanada'da yapılmış olan Deprem Mühendisliği zerine 13. Dünya Konferansında; düzlem çok katlı erevesi kritik burkulma yükünü, elastik ve geometrik özelliklerinden doğrudan belirlemek için formüller verilmiştir. Kritik burkulma yükünü etkileyen çeşitli parametreler incelenmiş; eğilme tipi erevesi yapısal duvar miktarı, yapının statik eksantrikliği ve binadaki kat sayısı gibi faktörlerin burkulma yükünde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.[10] Bir diğer araştırma makalesi olan yazıda ise, binada çapraz bağlantı desteklerinin kullanılması ile binanın daha güvenli hale geldiği belirtilmiştir. Bir çerçevede farklı çapraz bağlantı elemanlarının kullanılması (K tipi, V tipi, X tipi, Ters V tipi) burkulma faktörüne etkileri araştırılmış

ve sonuç olarak, Ters V tipi çapraz elemanın burkulma faktörü değerini daha çok artırdığı sonucuna varılmıştır.[12]

1.2. Yapıların Deprem Performansı ve Burkulma Üzerine Literatür Çalışmaları

Yapıların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemler aşağıda özet olarak açıklanmıştır.

❖ Gülkan ve Sözen (1974), betonarme yapıların deprem etkileri altında elastik ötesi davranışlarını incelemek için, çeşitli depremlere ait ivme kayıtlarını kullanarak üç adet tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçevenin zaman tanım alanında analizlerini yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, deprem hareketi sırasında betonarme çerçevelerde rijitlik azalması ve enerji sönümleme kapasitesindeki artış meydana geldiği belirlenmiştir. Araştırmacılar bu sonuca dayanarak, yapıların tasarım taban kesme kuvvetinin belirlenmesi için eşdeğer sönüm oranına sahip tek serbestlik dereceli yapı modelini ve doğrusal olmayan davranışı göz önüne alan basitleştirilmiş bir hesap yöntemi önermişlerdir.

❖ Özer (1987), düzlem çerçevelerin ikinci mertebe limit yükünün hesabı için bir yük artım yöntemi geliştirmiştir. Yöntemde, malzemenin elastik ötesi davranışı ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi göz önüne alınmaktadır. Çalışmada ayrıca plastik mafsallı hipotezi, bileşik iç kuvvet durumunu da kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

❖ Fajfar ve Fischinger (1988), yaptığı çalışmada yapıların deprem performansının belirlenmesi için “N-2 Yöntemi” adını verdikleri bir analiz yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde, artan yatay yükler altında yapının artımsal itme analizi yapılarak oluşturulan kapasite eğrisi, modal dönüşüm parametreleri kullanılarak eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme ait kapasite spektrumuna dönüştürülmekte ve elastik olmayan spektrumlar kullanılarak depremin yerdeğiştirme talebi belirlenmektedir.

❖ İrtem (1991), esasları daha önce Özer (1987) tarafından ortaya konulan yük artım yöntemini üç boyutlu uzay çerçevelere uygulamıştır. Geliştirilen ikinci mertebe yük hesap yönteminde, düşey ve yatay yükler aynı anda dikkate alınabilmektedir. Yöntemin sayısal uygulamalarının yapılabilmesi için yazar tarafında IMEP-3D isimli bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

❖ Fajfar ve Gaspersic (1996) çalışmalarında, N-2 yönteminin açıklamasını yaparak, yöntemin sonuçlarını değerlendirmek üzere laboratuvar ortamında sarsma tablası deneyi yapılan 7 katlı betonarme perde çerçeve sistemin deprem performans analizini yapmış ve N-2 yönteminin sonuçlarının sarsma tablası deneyinden bulunan sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermiştir.

❖ Fajfar (2000) yaptığı çalışmada, yapıların deprem performansının değerlendirilmesi için kullanılan N-2 yönteminin teorik esaslarının açıklamasını yaparak söz konusu yöntemin FEMA 273 (FEMA, 1997) ve ATC 40 (ATC, 1996) dokümanlarında tanımlanan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile benzerlik ve farklılıklarını ile ilgili değerlendirmeler yapmıştır.

❖ Ghobarah (2001), betonarme yapıların deprem performansının değerlendirmesinde kullanılan analiz yöntemleri üzerine inceleme yapmıştır. Çalışmanın sonunda; mevcut betonarme yapıların deprem performansının belirlenmesinde zaman tanım alanında doğrusal dinamik analiz yönteminin yeterli olmadığı, artımsal itme analizi yönteminin, yöntemin uygulanması ile ilgili koşullara uyulmak kaydı ile betonarme yapıların deprem performansı değerlendirilmesinde pratik bir analiz yöntemi olduğu ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yönteminin mevcut yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesinde en güçlü yöntem olmasına karşın elde edilecek sonuçların, deprem kayıtlarının özelliğine bağlı olması nedeni ile bu yöntemin sadece özel yapılarda ve bilimsel araştırmalarda kullanıldığı belirtilmiştir.

❖ Mwafy ve Elnashai (2001), statik artımsal itme analiz sonuçlarının geçerliliğini incelemek üzere, kapasite eğrisine benzer olarak, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizden elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirme değerlerini grafik olarak ifade etmiş ve her iki yöntemin sonuçlarının karşılaştırmasını yapmıştır. Analizler sonucunda, statik artımsal itme analizinden elde edilen kapasite eğrisinin dinamik analizden elde edilen eğri ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

❖ Albanesi ve diğerleri (2002a) çalışmalarında, doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden kapasite spektrumu, yerdeğiştirme katsayıları ve N-2 yöntemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Bu amaçla, 2 ve 7 katlı betonarme çerçevelerin incelenen yöntemlerden elde edilen sonuçları zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

❖ Albanesi ve diğerleri (2002b) yaptıkları diğeri bir çalışmada, artımsal itme analizi yöntemlerinin ve kapasite spektrumu yönteminin değeriendirmesini yapmış ve artımsal itme analizinde yanal yükün kuvvet veya yerdeğiştirme yerine hız dağılımı ile tanımlandığı enerji esaslı bir yöntem önermiştir. 7 katlı – 2 açıklıklı ve 3 katlı – 3 açıklıklı çerçevelerin incelenen yöntemler ve önerilen enerji esaslı yöntemle analizleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

❖ Aydınoğlu (2003a), özellikle planda düzensizlikleri bulunan ve çok katlı yapıların deprem performansının belirlenmesinde tek moda dayalı artımsal itme analiz yöntemlerinin kullanılamaması nedeni ile yüksek mod etkilerini de dikkate alan “Artımsal Spektrum Analizi” (ARSA) yöntemini geliştirmiştir.

❖ Aydınoğlu (2003b), diğeri bir çalışmada “Artımsal Spektrum Analizi” (ARSA) yönteminin esaslarını açıklayarak 9 katlı, çelik “SAC” binasının söz konusu yöntem ile analizini yapmıştır. Elde edilen sonuçlar zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları ile karşılaştırılarak, yöntem ile ilgili değeriendirmeler yapılmıştır.

❖ Mevcut artımsal itme analizlerinin büyük çoğunluğu yapının kapasite eğrisinin tanımlanmasında yapı tepe noktası yerdeğiştirmesini esas almaktadır. Hernandez-Montes ve diğerleri (2004) ise yaptıkları çalışmada, kapasite eğrisinin belirlenmesinde yapının en üst seviyesindeki herhangi bir noktanın yerdeğiştirmesi yerine artan yatay yükler altında yapının tükettiği enerjiyi kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada, yapının kapasite eğrisinin tanımlanması için alternatif grafik gösterimler önerilmiştir.

❖ Türker (2005) yaptığı çalışmada, yüksek modların etkili olduğı binaların deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışın belirlenebilmesi için, çok modlu uyarlamalı bir yük artım yöntemi geliştirmiştir. Yöntemin uygulanması için de MEPACKS adlı bir yazılım hazırlamıştır. Yöntemi değerişik yüksekliklerde üç farklı deprem için incelemiş ve sonuçların yeterli doğrulukta olduğunu göstermiştir.

❖ Lee ve diğerleri (2006) çalışmalarında, yapıların deprem performansının belirlenmesi için elastik ve elastik ötesi yapı davranışlarının eşdeğer tepkilerini esas alan bir yöntem önermişlerdir. Yöntemin sonuçlarının değerlendirilmesi için 8 ve 20 katlı örnek çelik yapıların kapasite spektrumu, “Modal Artımsal İtme Analizi” (MPA) ve araştırmacılar tarafından önerilen yöntemle deprem performans analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar zaman tanım alanında dinamik analiz ile karşılaştırılmıştır.

❖ Kalkan ve Kunnath (2007), yaptıkları çalışmada; FEMA 356’da tanımlanan statik artımsal itme analizi ile çok modlu artımsal itme analiz yöntemlerinden “Modal Artımsal İtme Analizi” (MPA), “Üst Sınır Artımsal İtme Analizi” (UBPA) ve “Uyarlanmış Mod Birleştirme” (AMC) yöntemlerinin zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırmasını yapmıştır. 6 ve 13 katlı çelik yapılar ile 7 ve 20 katlı betonarme yapılar üzerinde yapılan analizlere sonucunda, zaman tanım alanında dinamik analiz ile MPA ve AMC yöntemlerinden elde edilen sonuçların uyumlu olduğu belirlenmiştir.

❖ Erduran (2008), planda simetrik olmayan yapıların deprem performansının belirlenmesinde tek modlu artımsal itme analizi, N-2 ve “Modal Artımsal İtme Analizi” (MPA) yöntemlerinin etkinliğini incelemiştir. Örnek yapılar üzerinde yapılan analizler sonucunda, planda simetrik olmayan yapılarda N-2 ve “Modal Artımsal İtme Analizi” (MPA) yönteminin, tek modlu artımsal itme analizi yönteminden daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

❖ Poursha ve diğerleri (2009), artımsal itme analizi yönteminde yüksek mod etkilerini dikkate alan “Ardışık Modal Artımsal İtme Analizi” (CMP) yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde artımsal itme analizi, hâkim periyodu 2,2 sn’den düşük olan yapılarda ilk iki mod, hâkim periyodu 2,2 sn’den büyük olan yapılarda ilk üç mod için ayrı ayrı yapılarak, yapının deprem performansı her bir analizden elde edilen tepki büyüklüklerinin en büyüğü olarak kabul edilmektedir. Önerilen yöntem ile üç açıklıklı; 10, 15, 20 ve 30 katlı olmak üzere dört farklı çerçevenin analizi yapılarak, elde edilen sonuçlar “Modal Artımsal İtme Analizi” (MPA) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizden sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

❖ A.Gürsoy [17], çalışmasında elastik çubukların ve çerçeve sistemlerin burkulma yüklerini varyasyonel türev ve sonlu farklar yöntemini kullanarak incelemiştir.

❖ S. A. Emam ve A. H. Nayfeh [18] çalışmalarında serbest titreşim ve burkulma analizi, farklı sınır koşulları ve farklı doğrultularda kompozit kirişler için incelenmiştir.



2. YATAYDA V DÜŞEYDE DÜZENSİZ OLAN YAPI SİSTEMLERİNİN 2018 BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ

2.1. Yapı Düzensizlikleri

Düzensiz binalar, depreme maruz kaldıklarında farklı davranışlar ile kendini açık eder. Bu olumsuz durumlar yapıda kalıcı hasara ve daha kötüsü göçmeye neden olmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de detaylı olarak açıklanan yapıdaki düzensizliklerin tamamı planda ve düşeyde olmak üzere iki başlık altında toplanılmıştır.

2.2. Planda Düzensizlik

2.2.1. Burulma Düzensizliği (A1)

Birbirine dik iki deprem doğrultusu için herhangi birinin, herhangi bir katında oluşan en büyük görelî kat öteleme değeri o katta aynı doğrultusunda bulunan ortalama görelî ötelemesi ile olan oranına Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} denmektedir.

η_{bi} değeri yapının herhangi bir katında 1.2'den daha fazla çıkması durumunda burulma düzensizliği oluşmaktadır.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2 \quad (2.1)$$

$$(\Delta_i)_{\max} = (d_i)_{\max} - (d_{i-1})_{\max}$$

$$(\Delta_i)_{\min} = (d_i)_{\min} - (d_{i-1})_{\min} \quad (\Delta_i)_{\text{ort}} = ((\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}) / 2$$

Burada;

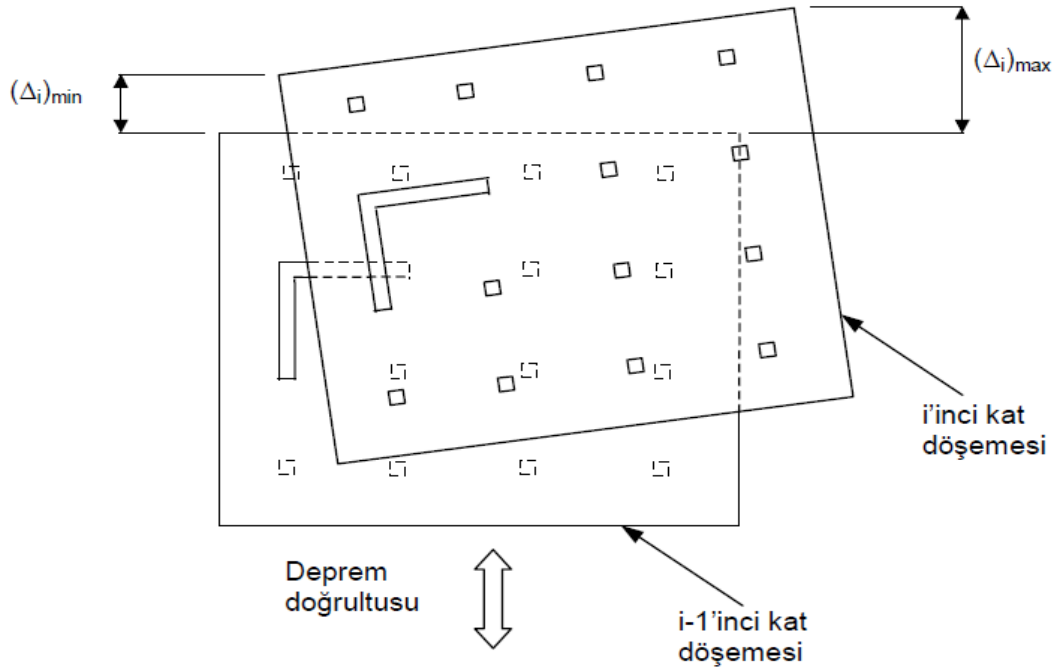
d_i = Binanın i. katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değıştirme

$(H_i)_{\max}$ = Yapının i. kattaki maks. görelî kat ötelemesi

$(H_i)_{\min}$ = Yapının i. kattaki min. Görelî kat ötelemesi

$(H_i)_{\text{ortalma}}$ = Yapının i. kattaki ortalama görelî kat ötelemesidir.

Şekil 2.1. de sistem çalışması anlatılmıştır.



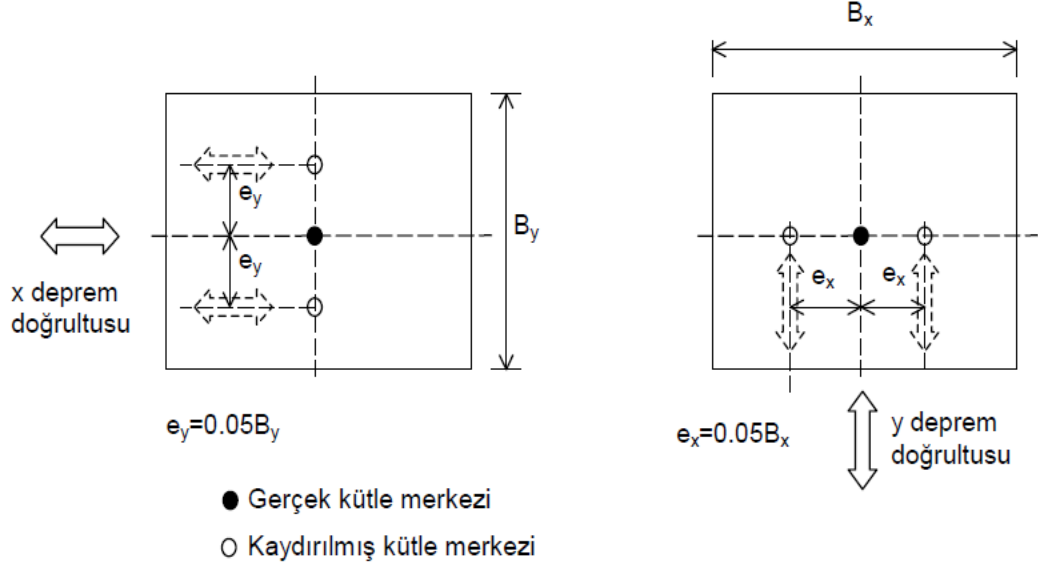
Şekil 2.1. . Görel Kat Ötelemeleri

Kat deplasmanları (d_i) ve bu değere bağlı görel kat ötelemeleri (Δ_i), depreme ait yüklerin $\pm$ %5 eksantrik olarak yapıya etkililerek elde edilmektedir. (Şekil 2.1).

Yapılardaki kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanlarda meydana gelen şekil değiştirmenin bir değer ifadesi olarak kullanıldığı, birbiri sıra iki kata diyaframların yanal ötelenme değerleri arasında oluşan farka Görel Kat Ötelemesi denmektedir. Genel kontrol için (2.2) denklemi kabul edilir.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^{(x)})_{maks}}{(\Delta_i^{(x)})_{ort}} > 1.2 \quad (2.2)$$

Bununla birlikte bu düzensizliğin oluşum sebebi, kütle merkezinin rijitlik merkezine uzak olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.2. de anlatılmıştır.



Şekil 2.2. Kaydırılmış Kütle Merkezleri

Herhangi bir i. katında burulma düzensizlik durumu oluşması var ise ve bu değer $1.2 < \eta_{bi} \leq 2$ bağıntısına uygunsa eksantrisite değerleri her iki doğrultusu içinde büyütülmesi için D_i büyütme katsayısı ile çarpılması ve analizin tekrarlanması gerekmektedir. D_i büyütme katsayısı:

$$D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2 \quad (2.3)$$

$\eta_{bi} > 2$ ise dinamik analizin yapılması zorunludur. η_{bi} burkulma düzensizliği katsayısının 2.00 maksimumun aşılması durumunda “Eşdeğer Deprem Yüğü” kullanılmaz. Bir diğer hesap yöntemi olan “Dinamik Hesap” metodunun kullanımı öngörülmektedir.

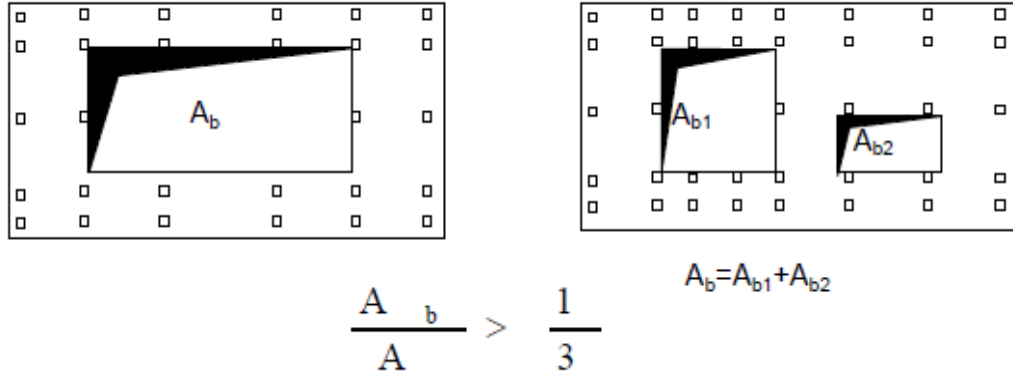
Yapıda bulunan rijit yapıya sahip taşıyıcı yapı elemanlarını yapının daha rijit davranış gösterecek şekilde atamalarının yapılması gerekmektedir. Büyük ve az sayıda kullanılacak perde yerine uygun yer ve uygun miktarda perde seçilmelidir. Yapıda oluşan burulma düzensizliğini minimize etmek için en kesin adım yatay rijitliği göreceli olarak az olan sayı ve boyutta perde yerleştirilmelidir. Böylelikle Burulma düzenliği de giderilmiş olur.

2.2.2. Döşeme Süreksizliği (A2)

Herhangi bir i'inci katında bulunan döşemede;

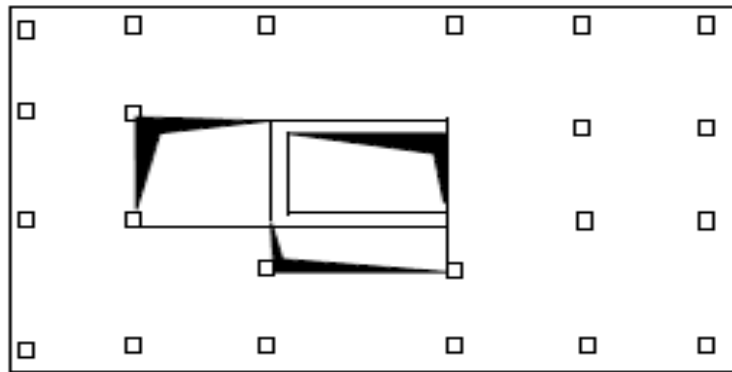
- Merdiven ve asansörlere ait minhalar dahil olmak üzere, minha alanları toplamına (A_b) brüt kat alanlarının toplamına da (A) denir. Bunların birbirine oranı $1/3$ 'ten büyük çıkması(Şekil 2.3).

Döşemede bulunan toplam alanın $1/3$ 'den fazla boşluk olduğunda döşeme yatay doğrultuda rijit kabul edilmez. Rijit Diyafram demek herhangi bir yatay kuvvet altında eğilme ve bükülmeye maruz kalmadan yükü diğer taşıyıcılara aktarmasıdır.



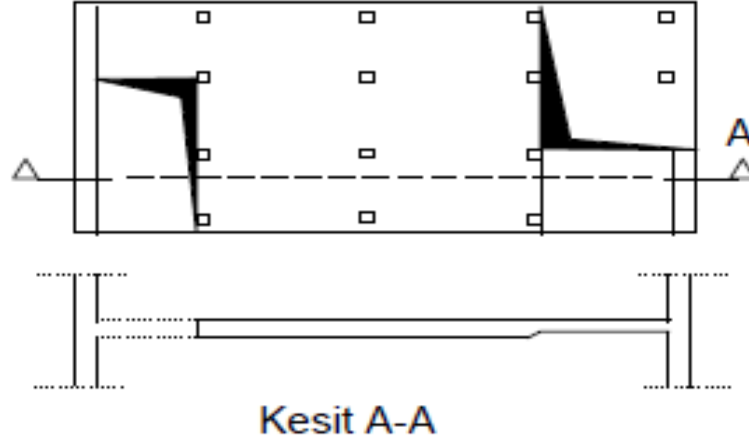
Şekil 2.3. A2 Tipi Düzensizlik Durumları-1

- Yatay kuvvetlerin sistemde bulunan düşey taşıyıcı yapı elemanlarına deprem yüklerini güvenle aktarmasına engel olan döşeme boşluklarının var olması. (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. A2 Tipi Düzensizlik Durumları-2

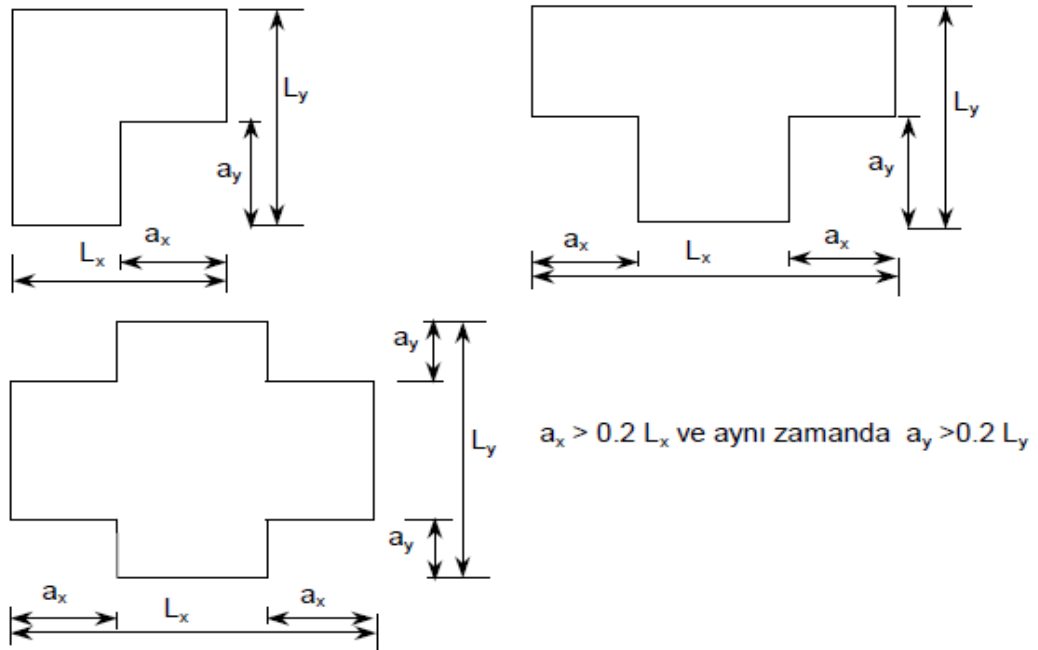
- Döşemenin düzlemsel iç rijitiği ve mukavemetinde meydana gelen ani azalma durumunun meydana gelmesi (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. A2 Tipi Düzensizlik Durumları-3

2.2.3. Planda Çıkıntılarının Bulunması (A3)

Yapı kat planlarındaki girinti veya çıkıntılarının her iki doğrultusunda da birbirine dik olan asklarının ebatlarının her ikisinin de (a_x, a_y) , yapının o katında bulunan aynı doğrultularındaki toplam kat ebatlarının (L_x, L_y) %20'sinden fazla çıkması durumudur (Şekil 2.6).



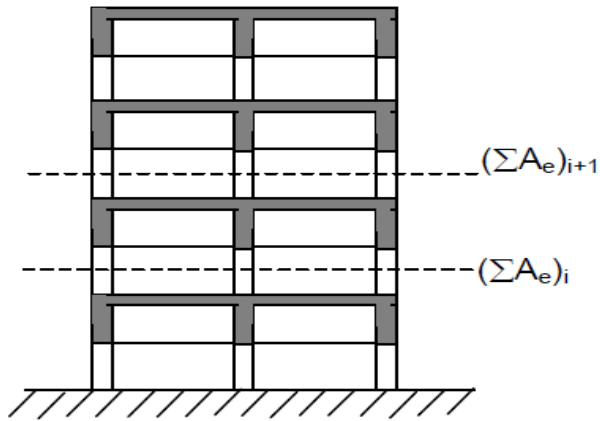
Şekil 2.6. A3 Tipi Düzensizlik Durumu

Yönetmelikte T,H, L, Y ve U şekillerine sahip planlarda çıkıntılara sahip binalarda deprem yüklerinin yapı düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenli bir biçimde aktardığı 2-boyutlu (membran) sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenmesi veya kat planında var olacak bölümlerin derz oluşturulmalıdır.. Dilatasyon derzi uygulanmaya durumlarda köşe bölgelerinde istenmeyen burulma ve gerilme yoğunlukları oluşacaktır.

2.3. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

2.3.1. Komşu Katlar Arasında Dayanım Düzensizliği (B1)

Betonarme yapılarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir katında oluşan etkili kesme alanının (kolon+perde+0.15*kargir duvar alanı) ve bir üst katta oluşan etkili kesme alanına oranı olan η_{ci} Dayanım Düzensizliği Katsayısının 0.80'den daha az çıkması durumu.(Şekil 2.7)



Şekil 2.7. B1 Tipi Düzensizlik Durumu

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80 \quad (2.4)$$

Herhangi bir i. katında meydana gelen etkili kesme alanı:

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0.15 \Sigma A_k \quad (2.5)$$

Formülü ile hesaplanmalıdır. Bu denklemler ile,

ΣA_w : Deprem kuvvetine dik doğrultuda bulunan kolonlardaki çıkıntı alanlarının toplamı hariç, i. katta bulunan kolonların en kesiti alanlarının bütünü,

ΣA_g : Yapıda i. katın, hesabı yapılacak deprem doğrultusuna paralel doğrultuda çalışacak taşıyıcı sistem elemanı olan perdelerin en kesit alanları toplamı,

ΣA_k : Yapıda i. katta, kapı ve pencerelerin oluşturduğu boşlukları minha kabul edilip çıkarıldıktan sonra, hesap yapılacak deprem doğrultuşu üzerinde veya buna paralel olan kargir dolgu duvar alanlarının toplamını ifade eder.

Bölme duvarları çevresindeki kolon ve kirişleri ile birlikte çalışır duruma getirilmiş ise her türlü kayma dayanım hesabına girer. Getirilmemiş ise bu hesaba katılması tartışmalıdır. 2 yönde gelen deprem sırasında önce çatlar sonra devrilir. Katkısı sadece kütle olacaktır. Rijitlik durumu ortadan kalkmış olur.

2.3.2. Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği (B2)

Birbirine dik olan iki deprem doğrultusu için herhangi birinin, bodrum katlar dışında, herhangi bir i. katında oluşan ortalama görelî kat öteleme değeri bir üstte veya bir altta bulunan katında oluşan ortalama kat öteleme değeri bölümünü ifade eder. Rijitlik Düzensizlik Katsayısı η_{ki} 'nin 2.00'den büyük çıkması durumu.

$$\eta_{ki} = \left(\frac{\Delta_i^{(x)}}{h_i} \right)_{ort} / \left(\frac{\Delta_{i+1}^{(x)}}{h_{i+1}} \right)_{ort} > 2.0 \quad (2.6)$$

$$\eta_{ki} = \left(\frac{\Delta_i^{(x)}}{h_i} \right)_{ort} / \left(\frac{\Delta_{i-1}^{(x)}}{h_{i-1}} \right)_{ort} > 2.0 \quad (2.7)$$

Bu düzensizliklerin içinde yumuşak kat düzensizliği yapı incelemesi için oldukça önemlidir. Yumuşak kat düzensizliği tasarımı yapılan binaların ardışık katlar arasında oluşan rijitlik farkıdır. Özellikle bu düzensizlik ülkemizde en sık rastlanan düzensizliktir. Ülkemiz deprem bölgesi olduğu için bu düzensizliğin görüldüğü yerlerde kırılma yaşanır.

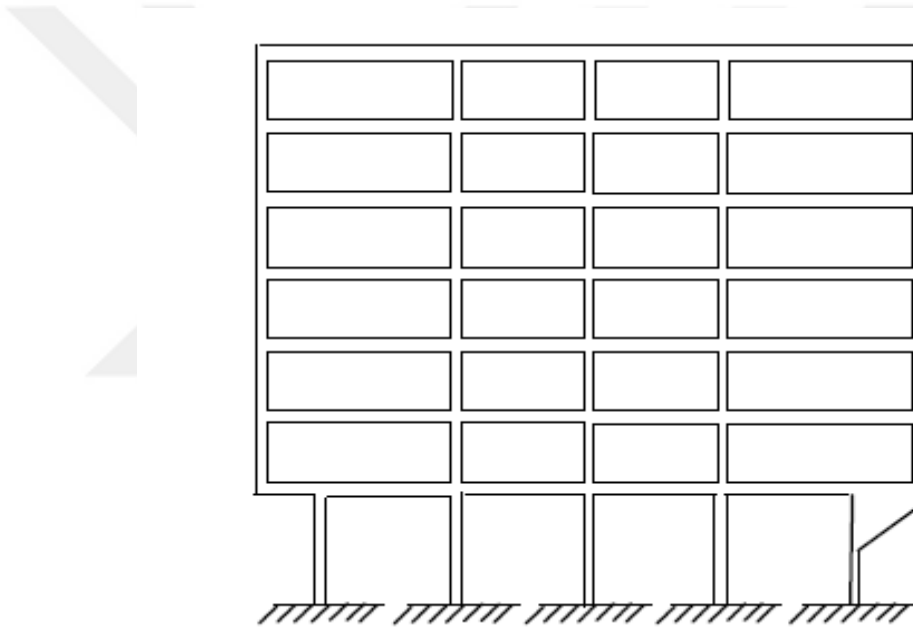
B1 zayıf kat düzensizliği katlarda bulunan düşey taşıyıcı elemanların kesme alanının toplam oranı ile alakalıyken, yumuşak kat düzensizliği ise katlar arasında etkin görelî kat ötelemelerinin oranı ile ilgilidir.

2.3.3. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3)

Düşey taşıyıcı yapı elemanları olan kolonların veya perdelerin bazı katlarda kirişlerin veya guseli kolonların üstüne ya da ucuna oturtulması veyahut üst katlarda bulunan perdelerin ve kolonların aşağı katta kirişlere oturmaması ifade etmektedir.

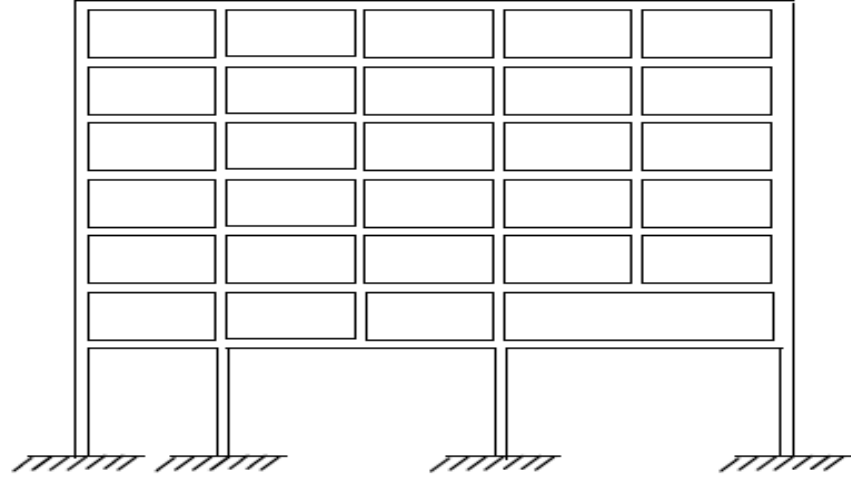
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği B3 düzensizliğinin oluşturacağı olumsuz durumları ortadan kaldırmak adına aşağıdaki koşulları önermektedir.

- Kolonlar kesinlikle binanın bir katında bulunan konsol kirişlerine veya altta bulunan kolonlarında oluşturulacak guselerin üstüne veya ucuna oturtulmalıdır. (Şekil 2.8.).



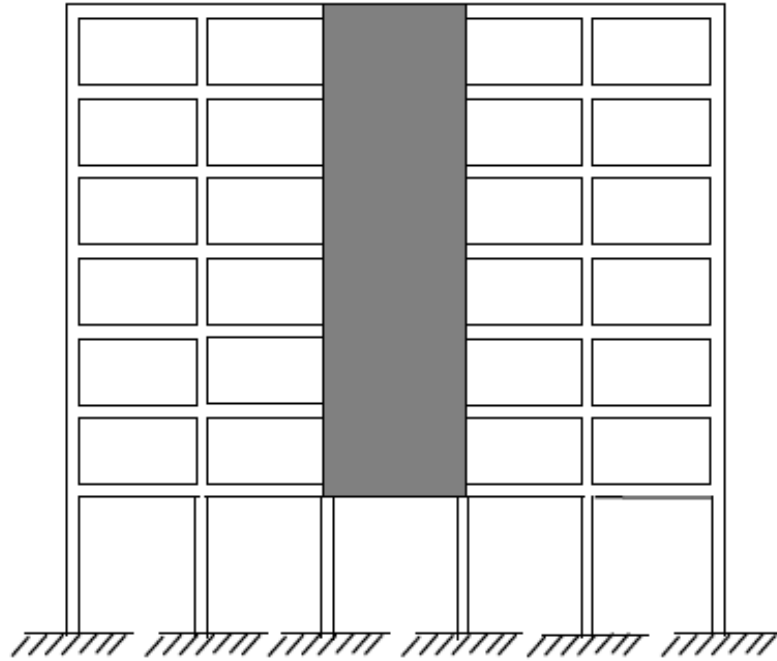
Şekil 2.8. Kolonların Konsol veya Guselere Oturma Durumları

- Kolon, eğer iki ucu da mesnetli bir kirişe oturmuşsa, bu kirişin oluşturduğu bütün kesitlerinde ve bununla birlikte deprem doğrultusunda bu kirişe saplanan diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinin de, düşey yükler ve deprem kuvveti altında oluşan bütün iç kuvvetlerin %50 oranla artırmak gerekmektedir.(Şekil 2.9.).



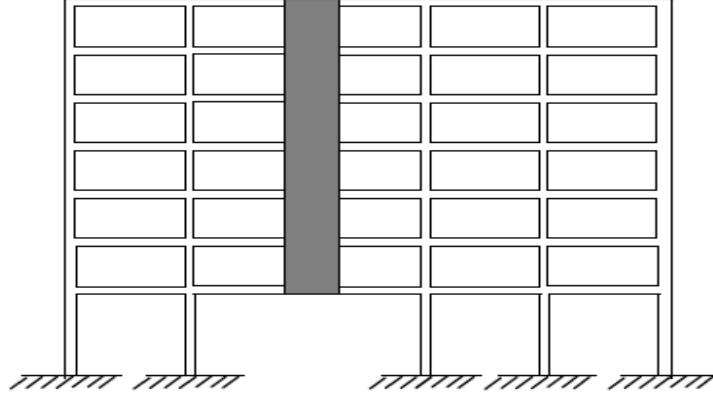
Şekil 2.9. Kolonların İki Ucunun da Mesnetli Kirişlere Oturması Durumu

- Üst katta bulunan perdelerin alt kattaki kolona her iki ucunda oturması durumunda, bu kolonların düşey yükler ve deprem kuvvetleri altında meydana gelen bütün kesitlerinin etkileri %50 olarak artırılmalıdır. (Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Perdenin Kolonlara Oturtulması Durumu

- Yapının herhangi bir katındaki, perdelerin kendine ait düzlemlerinn içinde kirişlerin açıklıklarının ortalarına kesinlikle oturtulmamalıdır(Şekil 2.11.).



Şekil 2.11. Perdenin Kirişlere Oturtulması Durumu

2.4. Yapı Düzensizliklerinden Kaçınmak

- Binanın geometrik yapısını kat planlarında basit ve düzenli olması gerekmektedir. Farklı yüksekliklere sahip rijit bloklaşmalar dilatasyon derz uygulaması ile ayrılmalıdır.
- Bina yatay ve düşey doğrultuda olabildiğince simetrik olarak tasarlanmalıdır. Ters durumun oluşmasında ise binalarda çok önemli kat burulmaları oluşabilmekte ve buda deprem davranışlarının öngürülmesini güçleştirmektedir.
- Düşey taşıyıcı sistem elemanları birbirleri ile bağlantılı ve bütünsel olarak temele oturmalıdır. Özellikle kolon ve perdeler temelde birbirleri ile kenetlenmelidir.
- Betonarme çerçeve ve perde duvarlar kat planların da yapı yüksekliği boyunca simetrik olarak tasarlanmalıdır.
- Bina yüksekliği boyunca geometri ve rijitliklerde büyük farklar olmamalıdır.
- L, T ve U geometri şekle sahip yapılarda dilatasyon derz uygulaması yapılmalıdır. Ters durumda yapı köşe bölümlerinde oluşmasını istemediğimiz burulma ve gerilme yoğunluklarını meydana gelmektedir.
- Kolonlar yerleştirilirken, kolonların kuvvetli ve zayıf yönlerini gözardı etmeden buna göre tasarım ve boyutlandırma yapılması önemlidir. Yapının her iki doğrultuda hesabı yapılacak periyotlarının az farkla birbirine yakın veya eşit olacak şekilde kolon yönlerini tayin etmeliyiz. Bununla birlikte kolonların her iki doğrultuda simetrik atanması en ideal çözümdür. Aynı sistem perdeler içinde geçerlidir.
- Az sayıda ve büyük ebatlarda perde tasarımı yerine, doğru yere atanmış yeterli sayıda perde tercih edilmelidir.
- Her iki doğrultuda da yapı çerçeve olarak oluşturulması önemlidir. Kolon ve perdelerin her iki doğrultuda da kirişler ile bütünlük sağlanıp çerçeve yapısı elde edilmelidir.

3. SİSTEMDE BULUNAN MALZEMELER, YÜKLER VE KESİTLERİN TANITILMASI

İnceleme konusu olan yapının zemin, malzeme özellikleri, taşıyıcı sistem elemanlarının(kiriş, kolon ve perdeler) üzerinde bulunan birim yükler ve kolon-kiriş kesitleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir..

Deprem Bölgesi: 1. Derece

Zemin Tipi: ZB (az ayrışmış, orta sağlam kayalar),

Bina süneklik sınıfı: Yüksek seviyede sünekli

Beton Sınıf: C 30

Beton Birim Hacim Ağırlığı: 30 kN/m^3

Demir Sınıfı: S 420, BÇIII

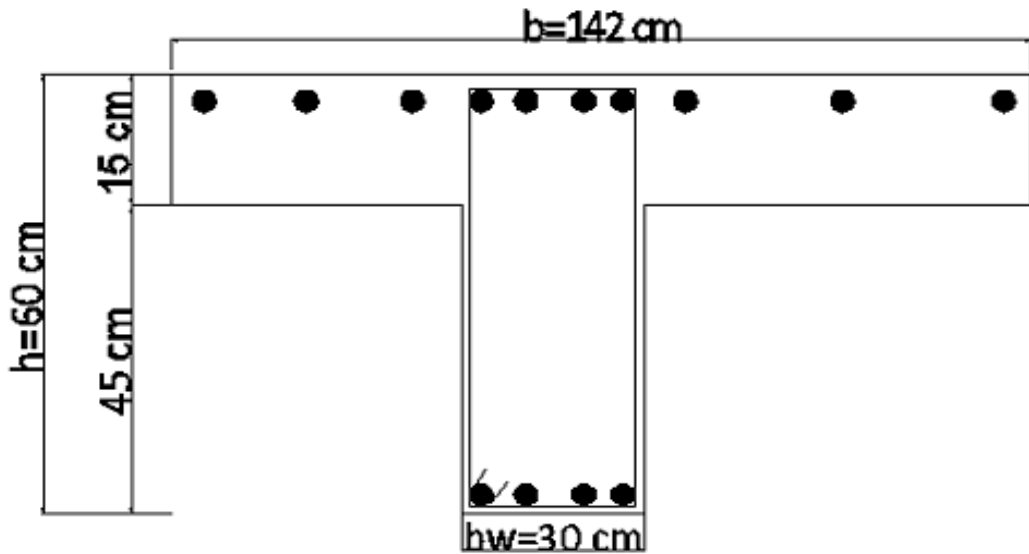
Bina Katlarında: kirişli döşeme olarak tasarlandı. Döşemenin yüksekliği $h_f=15$ dir

Sıva ve şap yükü= 2 kN/m^2

Hareketli yükün değeri: $q=2 \text{ kN/m}^2$

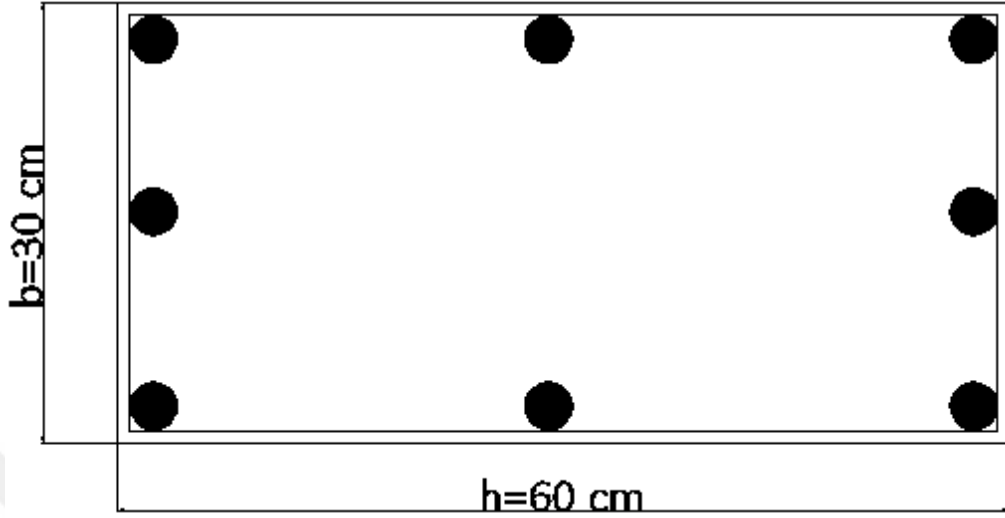
Asklarda bulunan yayılı yükün değeri: 2 kN/m^2

Kirişlerin tamamı: $30/60/15-142 \text{ cm}$ 'dir. Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sistemde Bulunan Kirişlerin En Kesiti

Kolonların tamamı ise simetrik donatıya sahip şekilde tasarlandı. Şekil 3.2. de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sistemde bulunan Kolonların En Kesiti

3.1. Taşıyıcı Betonarme Elemanların Üzerinde Bulunan Yüklerin Hesabı

Kirişler için birim uzunluklarının ağırlığı: $0.30 \times 0.44 \times 30 = 3.96 \text{ kN/m}$

Kolonlar için ağırlık hesabı: $(0.30 \times 0.6 \times 30) \times 3 = 16.2 \text{ kN}$

İç - Dış bölme duvarlar için ağırlık hesabı: $2 \times (3 - 0.6) = 4.8 \text{ kN/m}$

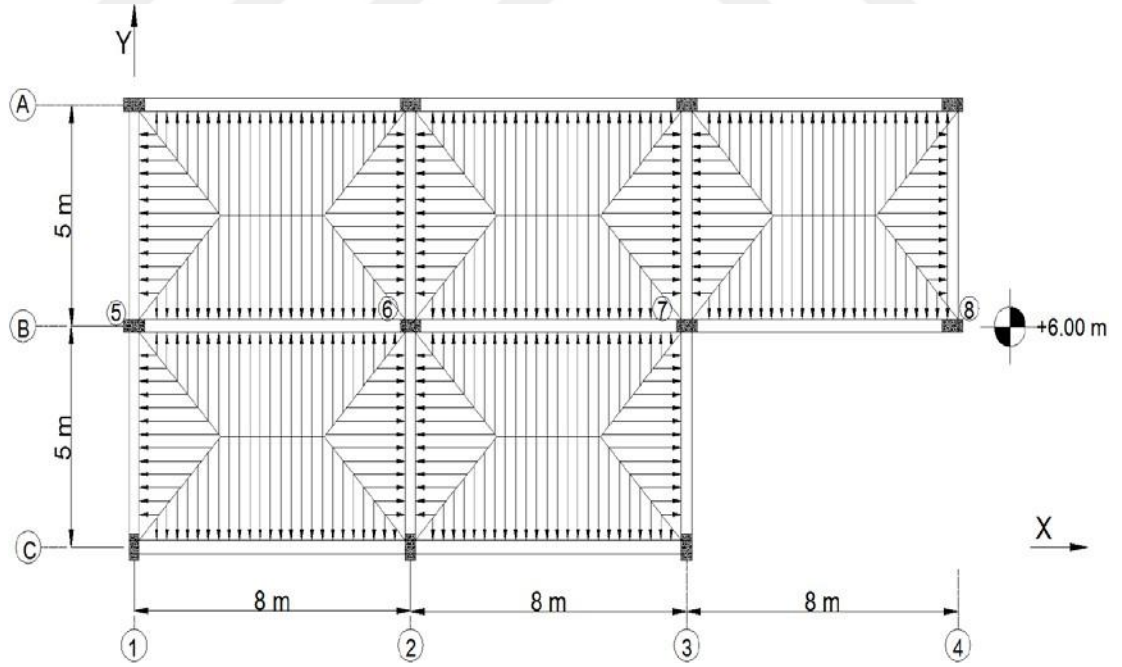
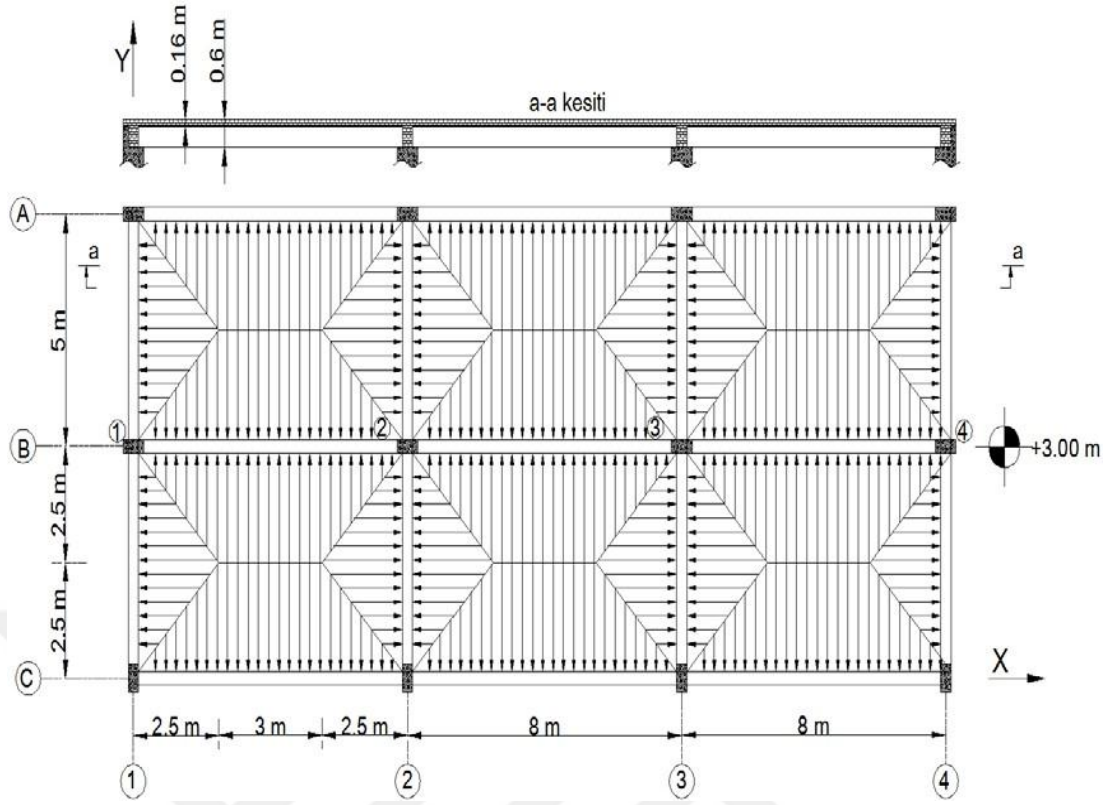
Döşemelere ait ölü yükü: $0.15 \times 30 + 2 = 6.5 \text{ kN/m}^2$

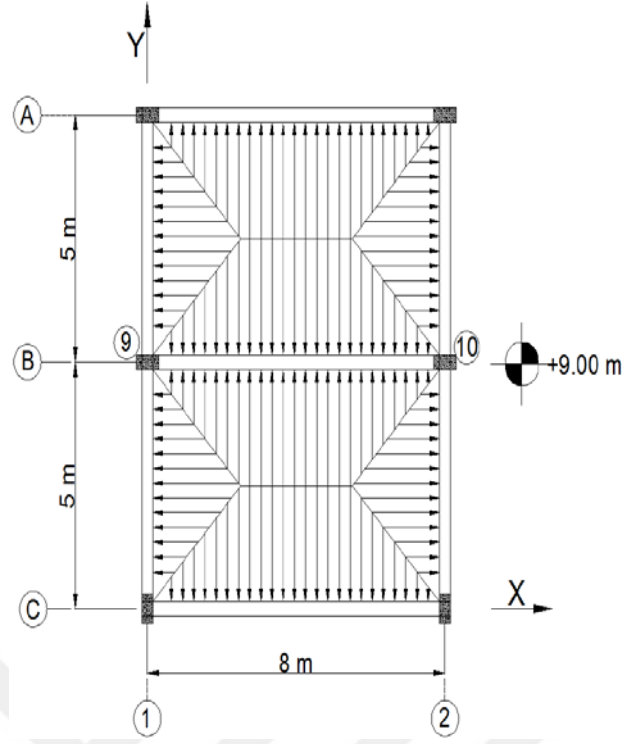
Döşemelerde bulunan yatay taşıyıcı betonarme eleman olan kirişlere gelen hareketli ve ölü yüklerin hesapları:

$$g_1 = 6 \times 2.5 = 15 \text{ kN/m}, q_1 = 2 \times 2.5 = 5 \text{ kN/m}$$

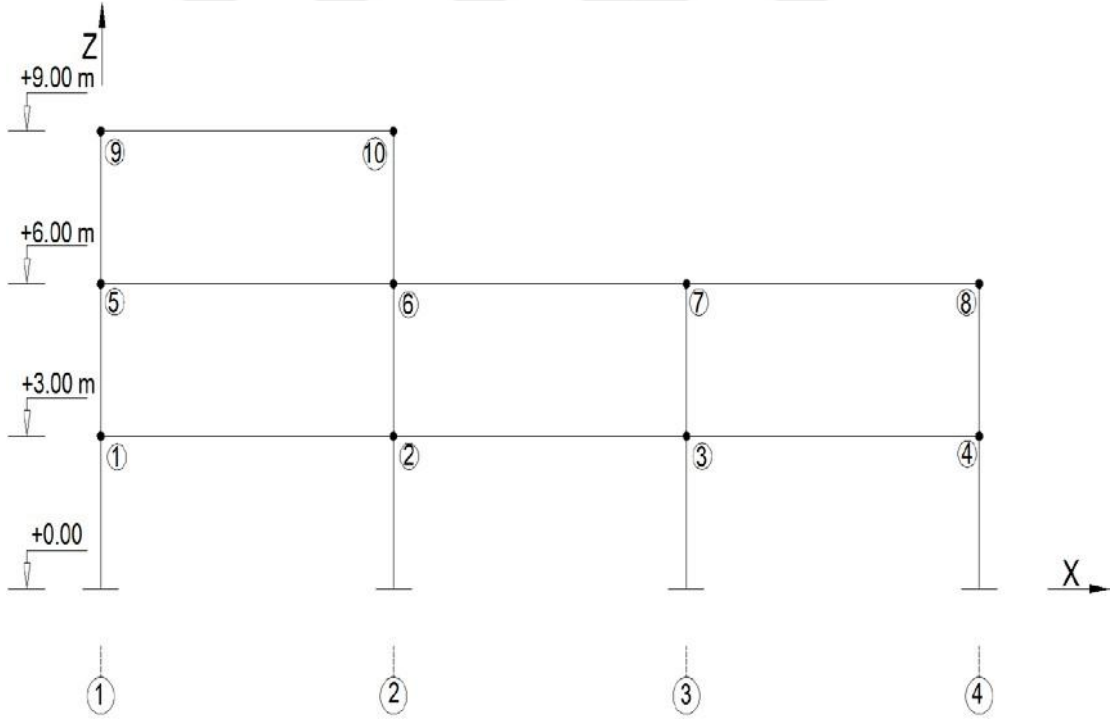
3.2. Ölü ve Hareketli Yüklerin Kat Planı Üzerindeki Yük Dağılımının Gösterimi ve A Aksındaki Düğüm Noktaları

3-boyutlu sistemde bulunan döşemelerden kirişlere aktarılan yük akış dağılımı ve sistemin diğer kotlardaki plan çizimleri Şekil 3.3, 3.4. ve 3.5.'te verilmiştir. Şekil 3.6. da; 3-boyutlu sisteme ait A ve B çerçevelerinin düğüm nokta numaralarının tamamı verilmiştir.





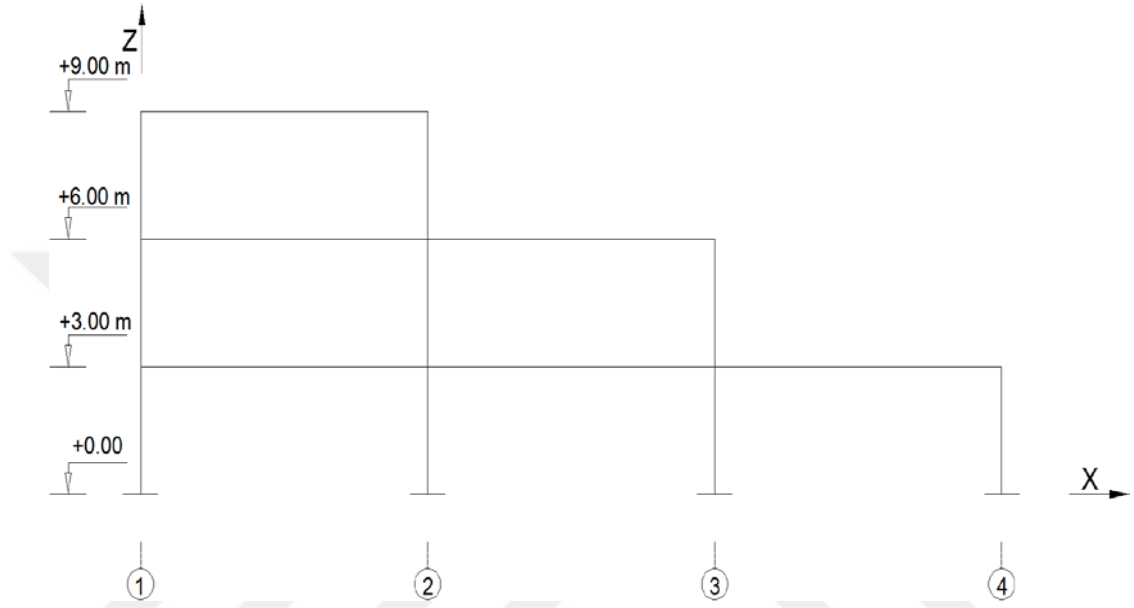
Şekil 3.5. Sistemde Bulunan Z=9.00 Metre Kotu Planı



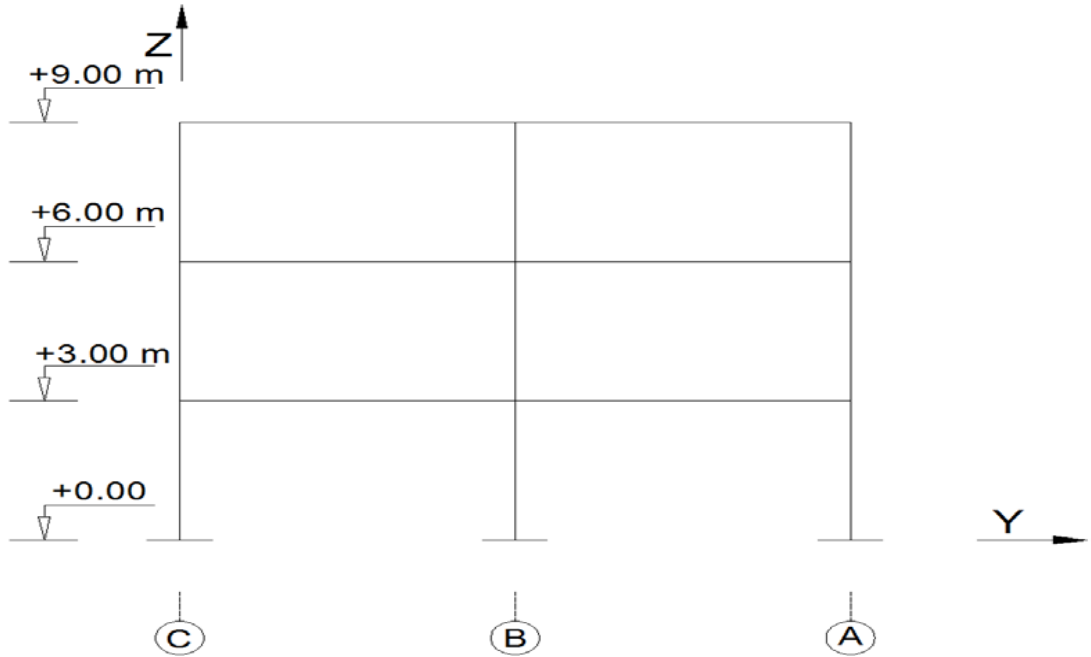
Şekil 3.6. Sistemde Bulunan A ve B Çerçevelerinin Düğüm Noktaları

3.3. Sistemde Bulunan Diğer Çerçeve Sistemler

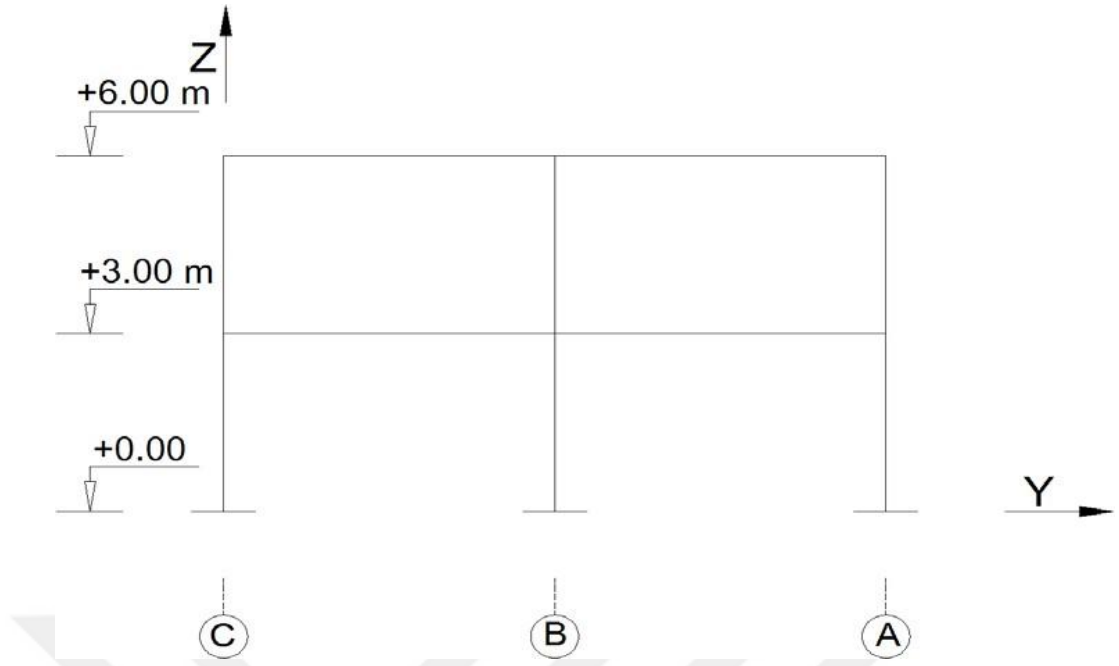
Sistemde tanımlanan betonarme çerçeve yapımız ve yapımıza ait bilgiler detaylı olarak incelenmeye devam edilmiştir. Verilen çerçeve sistemde incelenmiş olan A aksı dışında kalan diğer kesitler de Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



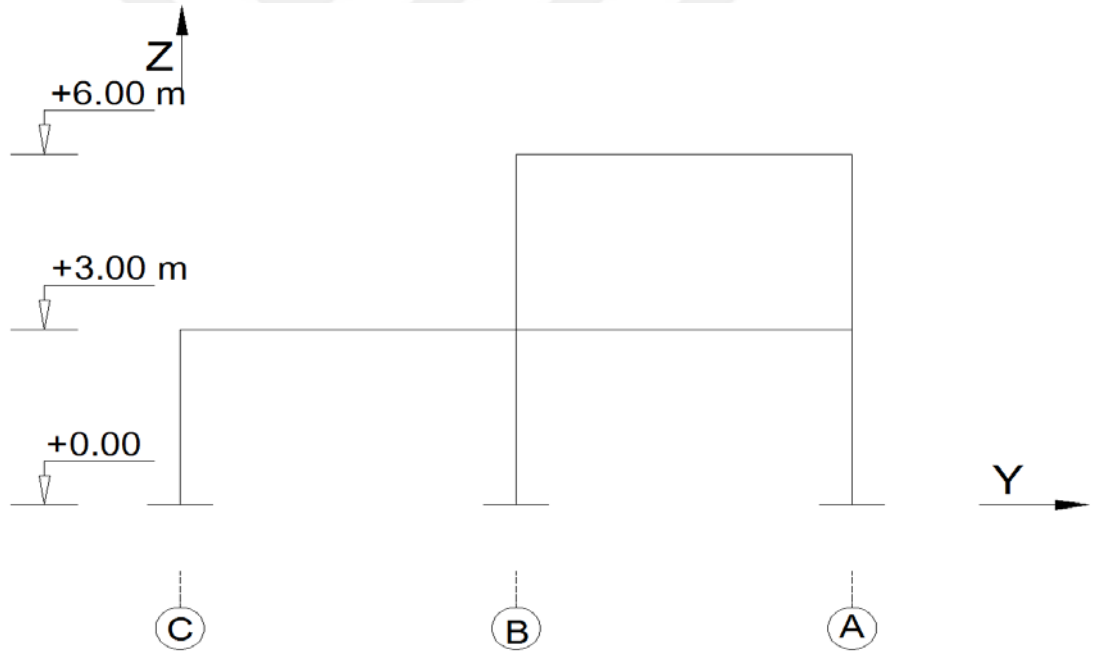
Şekil 3.7. Sistemde Bulunan C Çerçeve Sistemi



Şekil 3.8. Sistemde Bulunan 1 ve 2 Numaralı Çerçeve Sistemler



Şekil 3.9. Sistemde Bulunan 3 Numaralı Çerçeve Sistemi

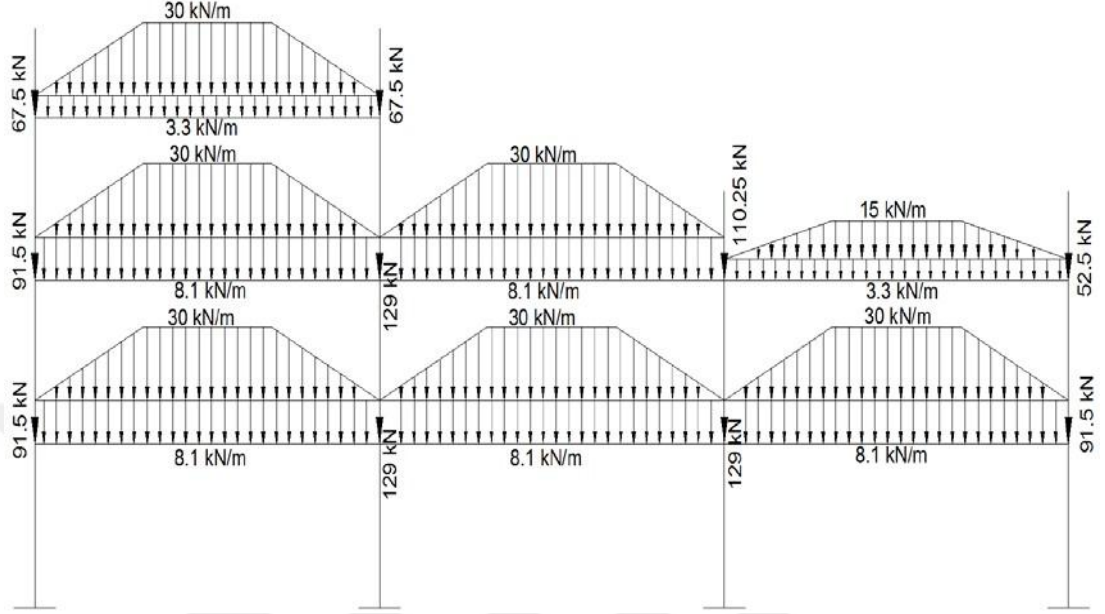


Şekil 3.10. Sistemde Bulunan 4 Numaralı Çerçeve Sistemi

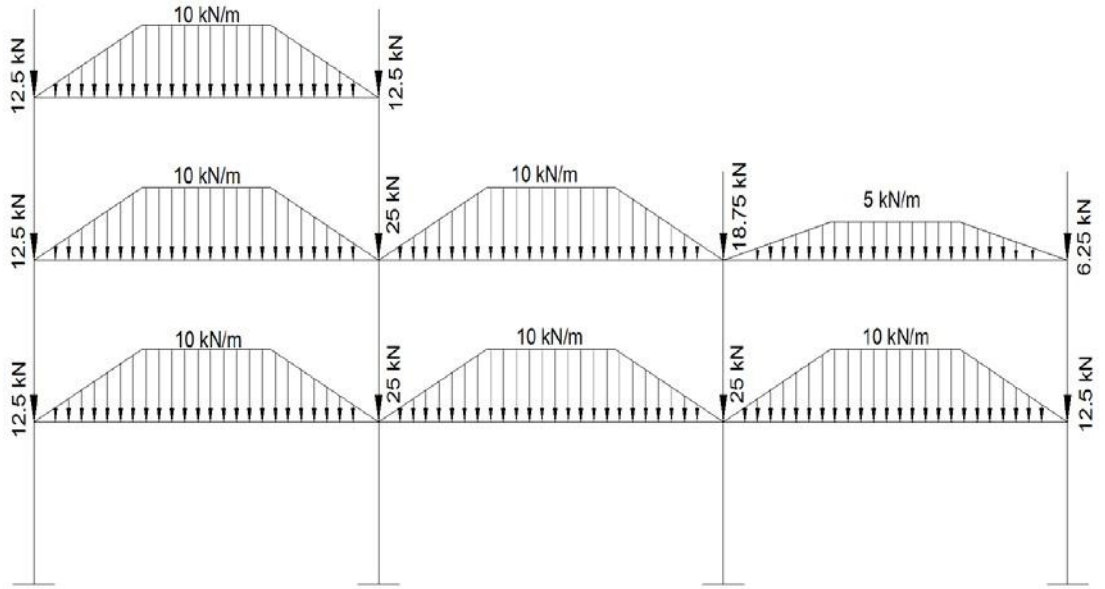
3.4. A Çerçeve Sisteminde Bulunan Ölü ve Hareketli Yükler

Sistem içerisinde bulunan ilk aks yani A aksının alınıp incelenecek ve bu aks üzerinde hesaplamalar yapılacaktır. Yapılan hesaplamalar ile birlikte çalışma alanı olan A aksı üzerinde ölü ve hareketli yüklerinde tamamı hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan bütün değerler modelleme yapabilmek için bu çalışmada kullanılan yapı programı olan

Sap2000'e aktarılacaktır. Girilecek bu değerlerin tamamı tablolaştırılmıştır. Bölüm içinde bu tablo gösterilmiştir. (Tablo 3.1.). A aksında bulunan ölü ve hareketli yüklerinin dağılımları da Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. A Çerçeve Sistemde Bulunan Ölü Yükler



Şekil 3.12. A Çerçeve Sistemde Bulunan Hareketli Yükler

A çerçevesinde bulunan tüm düğüm noktalarına denk gelecek olan yüklerin ve yığılı kütlelerin de hesaplanması Tablo 3.1.'de genel sistematik biçimde açıklanmıştır.

Tablo 3.1. Düğüm Noktalarında Hesaplanan Yükler ve Yiğili Kütleler

Düğüm Noktası	Y YÖNÜ					X YÖNÜ				Toplam Ölü Yük= G (kN)	Toplam Hareketli Yük= Q (kN)	Toplam Ağırlık= W=G+0.3Q (kN)	Yığılı Kütle= W=(G+0.3Q)/9.81 (ton)
	Ölü Yükler: g (kN)				Toplam (kN)	Hareketli Yükler: q (kN)	Hareketli Yükler: q (kN)						
	Döşeme	Kiriş Ağırlığı	Duvar	Kolon Ağırlığı		Döşeme (kN)	Yayılı Yük (kN)	Yayılı Yük (kN)					
					Ölü Yükler: g (kN)				Yayılı Yük (kN)				
1	15*2.5/2	3.3*5	4.8*5	13.5	52.50	5*2.5/2=6.25	8.1*2+5.5*7.5=57.45	5*(4+1.5)/2=13.75	109.95	20	115.95	11.82	
2	15*2.5	3.3*5	4.8*5	13.5	71.25	5*2.5=12.5	8.1*4+5.5*15=114.90	5*(4+1.5)/2=13.75	186.15	40	198.15	20.20	
3	15*2.5	3.3*5	4.8*5	13.5	71.25	5*2.5=12.5	8.1*4+5.5*15=114.90	5*(4+1.5)/2=13.75	186.15	40	198.15	20.20	
4	15*2.5/2	3.3*5	4.8*5	13.5	52.50	5*2.5/2=6.25	8.1*2+5.5*7.5=57.45	5*(4+1.5)/2=13.75	109.95	20	115.95	11.82	
5	15*2.5/2	3.3*5	4.8*5	13.5	52.50	5*2.5/2=6.25	8.1*2+5.5*7.5=57.45	5*(4+1.5)/2=13.75	109.95	20	115.95	11.82	
6	15*2.5	3.3*5	0	0	71.25	5*2.5=12.5	8.1*4+5.5*15=114.90	5*(4+1.5)/2=13.75	187.15	40	199.15	20.30	
7	15*2.5	3.3*5	0	0	39.75	5*2.5=12.5	8.1*4+5.5*15=114.90	5*(2+1.5)/2=7.50	154.65	40	166.65	16.99	
8	15*2.5/2	3.3*5	0	0	27.00	5*2.5/2=6.25	3.3*2+(5.5/2*7.5)=27.22	5*(4+1.5)/2=13.75	54.23	20	60.23	6.14	
9	15*2.5/2	3.3*5	0	0	27.00	5*2.5/2=6.25	3.3*2+(5.5/2*15)=47.85	5*(4+1.5)/2=13.75	74.85	20	80.85	8.24	
10	15*2.5/2	3.3*5	0	0	27.00	5*2.5/2=6.25	3.3*2+(5.5/2*15)=47.85	5*(4+1.5)/2=13.75	74.85	20	80.85	8.24	

4. YAPININ ZEMİNE FARKLI MESNETLENME DURUMLARININ İNCELENMESİ

4.1. Yapının Katlarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Son yıllarda ilerleyen teknoloji ve akademik çalışmaların önemli bir seviyeye gelmesi ile TDY 2007 deprem yönetmeliğinin günümüz standartlarını karşılamadığı ve bununla birlikte birçok noktada eksik kaldığı görülmüştür. Bu nedenlerle ötürü yeni bir yönetmelik ihtiyacı oluşmuştur. Bu sonuçlar neticesinde 1 Ocak 2019 tarihi itibari ile ülkemizde TBDY 2018 ismi ile yeni deprem yönetmeliği kullanılmaya başlanmıştır. Bu araştırmanın bütün çalışmalarında da bu yönetmelik kullanılmıştır. Tek fark ile sadece 4. Bölüm 2007 Deprem Yönetmeliği ile hazırlanmıştır. Bunun sebebi ise teze başlanan tarihte bu çalışmaların tamamlanmış olmasıdır.

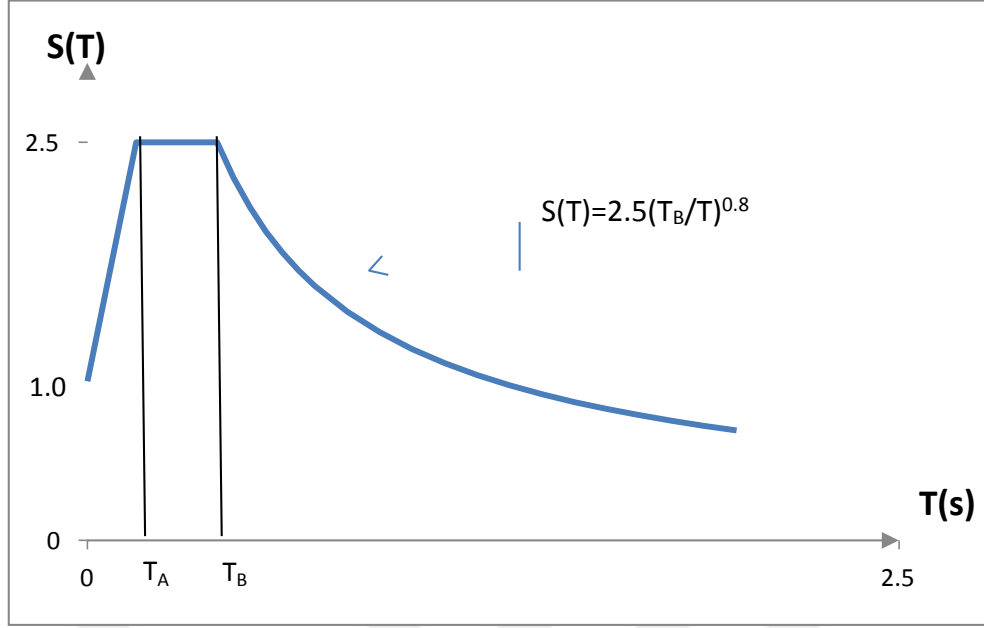
Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$:

$$A(T)=A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (4.1)$$

Ve Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral ivme $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına denk gelmektedir.

$$S_{ae}(T)=A(T) \cdot g \quad (4.2)$$

Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0), 1. Deprem Bölgesine sahip yapı tasarımı için 0.40 değeri kullanılacaktır. Bina Önem Katsayısı(I); konutlar, işyerleri, oteller gibi yapılarda 1.00 kullanılacaktır. Spektral Karakteristik Periyotlar olan, T_A ve T_B , Yerel Zemin Sınıflarına göre, ZB zemin sınıfına ait veriler olan $T_A=0.15$ ve $T_B=0.40$ saniye kabul edilmiştir. Elastik İvme Spektrumu grafiğinin 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİNE göre Şekil 4.1' de açıklanmıştır.



Şekil 4.1. Elastik İvme Spektrumu

Deprem anında yatay ve düşey taşıyıcı sistemlerin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışlarını da dikkate alarak, spektral ivme katsayı değerine göre bulunması gereken elastik deprem yüklerinin, aşağıda tanımlanan denklemler ile Deprem Yükü Azaltma Katsayısı'na bölünmesi gereklidir. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, farklı taşıyıcı sistemlerde Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, (yapı sünekliklilik düzeyi: R) ve doğal titreşim periyodu olan T ile oluşturulan formülasyon aşağıda verilmiştir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1) * (T/T_A) \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.3)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T) \quad (4.4)$$

Başlangıç olarak Xtract isimli yapı programında tüm sistem elemanlarının kesitlerine ait reel çatlama eğilme rijitliklerinin bulunmadan önce Sap2000'de mevcut sistemlerde var olan bütün kirişlerin çatlama eğilme rijitliği olarak $0.4 * EI$ ve bütün kolonların çatlama eğilme rijitlik değerlerini ise $0.5 * EI$ alınmıştır. Bu değerler doğrultusunda periyotlar, mod şekilleri ve taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

Açıklanan sistemde Sap2000 yapı programında serbest titreşim analizi ile birlikte 1. Moda ait periyot, $T = 0.40519$ s.'dir. 1. Mod Şekli;

$$\Phi = \begin{pmatrix} 0.12614 \\ 0.08018 \\ 0.03487 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6356 \\ 0.2764 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Buna göre $T_A < T$ ve $T_B < T$ olduğundan;

$$S(T) = 2.5 * \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (4.5)$$

$$S(T) = 2.5 * \left(\frac{0.4}{0.40519} \right)^{0.8} = 2.474349$$

Betonarme çerçeveye gelecek hesaplanan toplam taban kesme kuvveti (V_t)

$$V_t = [A_0 * I * S(T) * W] / R \quad (4.5)$$

$$V_t = \frac{0.4 * 2.474349 * 1330.21}{8} = 164.57 \text{ kN}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde dikkate alınmayacak diğer modlarında etkilerini yaklaşık olarak hesaplara dahil etmek adına yapının en üst katına ΔF_N ek eşdeğer deprem yükü etkiletilir.

$$\Delta F_N = 0.0075 * N * V_t \quad (4.7)$$

Toplam eşdeğer deprem yükü değeri olan ΔF_N haricinde geriye kalan kısımlar, yapının tüm katlarına aşağıda verilen formülasyon ile hesaplanacaktır.

Binanın kat düzeylerine etkiyecek F_i yatay kuvvet değeri

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) * \frac{W_i * H_i}{\sum_{j=1}^N W_j * H_j} \quad (4.8)$$

$$\Delta F_N = 0.0075 * N * V_t = 0.0075 * 3 * 164.57 = 3.7028 \text{ kN}$$

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti:

$$(164.57 - 3.7028) * (1435.3 / 6581.52) + 3.7028 = 39.77 \text{ kN}$$

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti:

$$(164.57 - 3.7028) * (3241.38 / 6581.52) = 79.690 \text{ kN}$$

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti:

$$(164.57 - 3.7028) * (1884.84 / 6581.52) = 46.340 \text{ kN}$$

Katların tamamına etkiyecek eşdeğer deprem kuvvetlerinin değerleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Kuvvetleri

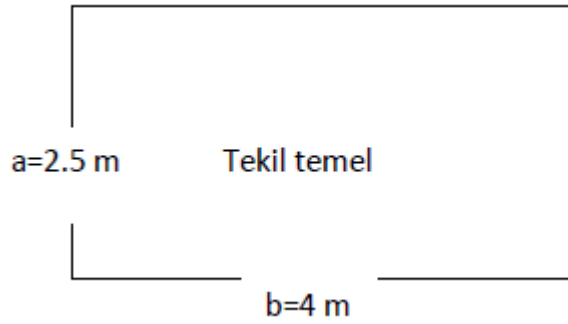
KAT NO	Wi (kN)	Hi (m)	Wi *Hi (kNm)	Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Kuvvetleri (kN)	
3	161.7	9	1455.3	32.0129	
2	540.23	6	3241.38	71.3086	
1	628.28	3	1884.84	41.4676	
TOPLAM	1330.21	TOPLAM	6581.52	TOPLAM	144.7891

4.2. Farklı Uygulamalar İle Sistemin Zemine Mesnetlenme Durumlarının İncelenmesi

Bu noktaya kadar bütün uygulamalarda kolonlar, zemine ankastre mesnet ile bağlanmıştır. Şuan ise bu sınır durumları değiştirilerek ve aynı işlemler farklı durumlar içinde periyotlar ve mod şekilleri bulunacaktır;

4.2.1. 1. Uygulama

Kolonların zemine belirli ölçülere sahip tekil temel aracılığı ile zemine sabitlendiği kabul edilmiştir. Tekil temel ölçüleri Şekil 4.2.'de verilmiştir.

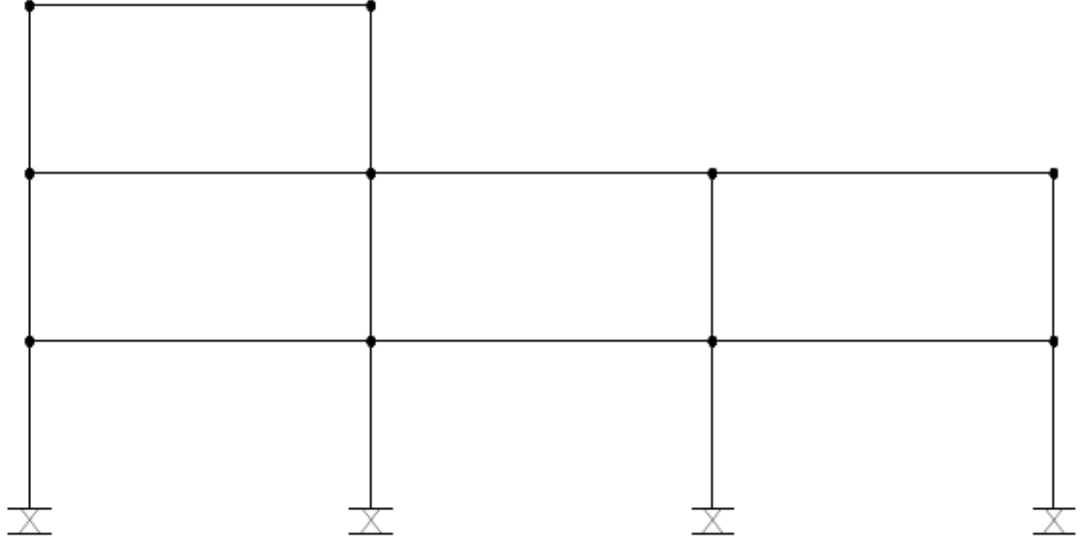


Şekil 4.2. Tekil Temel Kesiti

Bu da demek oluyor ki zemine sabitlenen kolonların altına elastik dönen mesnetler atanacaktır. Sonuç olarak mesnete ait dönme rijitlik değeri;

$$R_{\theta} = \frac{a*b^3}{12} * c \quad (4.9)$$

Denklem aracılığı ile bulunmaktadır.(c: zemin yatak katsayısı)



Şekil 4.3. Zemini, Belirli Bir Dönme Rijitliğine Sahip Mesnetler İle Tanımlı Sistem

Elastik dönen mesnetlere sahip sistemde Şekil 4.3. te verilmiştir.

1-a) Zemin yatak katsayı değeri, $c=100 \text{ kN/m}^3$ seçilir ise;

$$R_{\theta} = \frac{2.5 \cdot 4^3}{12} \cdot 100 = 1333.33 \text{ kNm değerine ulaşılmaktadır.}$$

1. moda ait periyot $T= 0.60758 \text{ s.}$ 1. Mod şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10341 \\ 0.08484 \\ 0.05886 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.8204 \\ 0.5692 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3.\text{kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. Kat \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 25.73 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 57.31 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 33.33 kN

1-b) Zemin yatak katsayı değeri , $c=1\ 000 \text{ kN/m}^3$ seçilir ise;

$R_{\theta}=13\ 333.33 \text{ kNm}$ olmaktadır.

1.moda ait periyot; $T=0.54923 \text{ s.}$ 1. Mod şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10747 \\ 0.08451 \\ 0.05510 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.7864 \\ 0.5127 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. Kat \\ 2. Kat \\ 1. Kat \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 27.89 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 62.12 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 36.12 kN

1-c) Zemin yatak katsayı değeri, $c=10000 \text{ kN/m}^3$ seçilir ise;

$R_0=13 \text{ 333 kNm}$ olmaktadır.

1.moda ait periyot, $T=0.44205 \text{ s}$. 1. Mod şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.11968 \\ 0.08228 \\ 0.04251 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6875 \\ 0.3552 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{3. Kat} \\ \text{2. Kat} \\ \text{1. Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 33.21 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 73.96 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 43.01 kN

Burada da anlaşıldığı üzere zemine bağlanan mesnetlerin rijitlik değeri artış gösterdikçe titreşim periyotlarında da kısılma ile birlikte taban kesme kuvvetlerinde de artma yaşanmaktadır.

4.2.2. 2. Uygulama

Sürekli temelin altında çökmeyi engelleyen eksenel rijitlik değeri R_v olan ve ;

$$R_v = a \cdot b \cdot c \quad (4.10)$$

Yukarıdaki formül ile elde edilen yayın atandığını varsayalım. Buradaki,

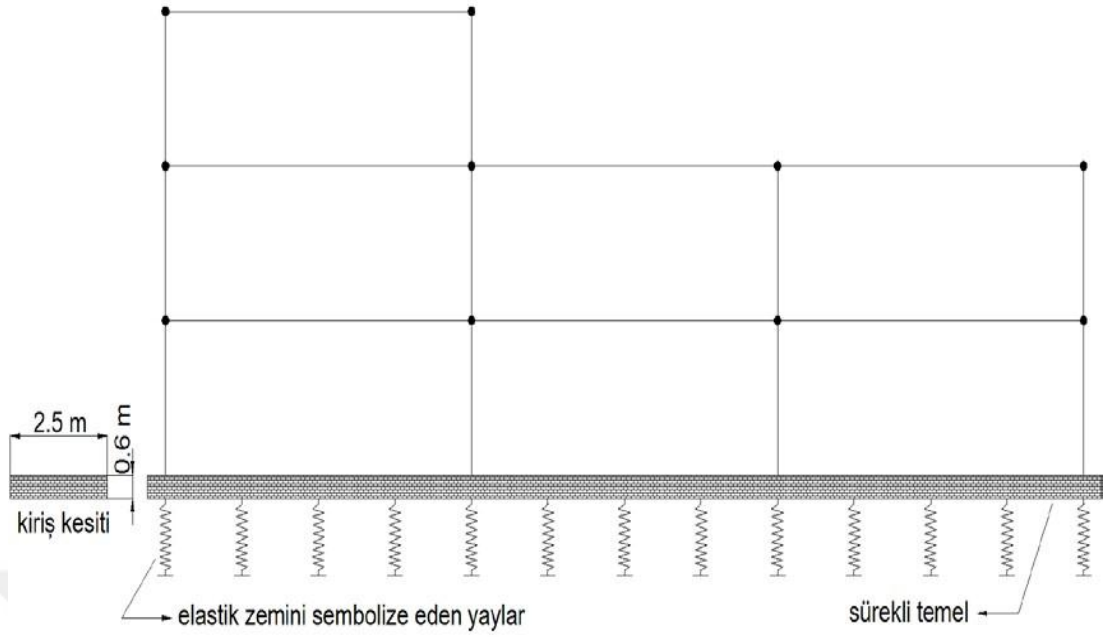
a: komşu yaya olan uzaklık veya yayın etkili olduğu genişlik demektir ki,

$$8 \text{ metre} / 4 \text{ yay} = 2$$

b: sürekli temel kirişine ait genişlik= 2.50 metre

c: zemin yatak katsayısı

Bu uygulama sisteminin bütünü Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Eksenel Rijitliği Olan Yaylar ile Tanımlı Zemin Sistemi

2-a₁) Zemin yatak katsayı değeri, $c=10\,000\text{ kN/m}^3$ seçilir ise;

$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 10\,000 = 50\,000\text{ kN/m}$ çıkmaktadır.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 0.6^3}{12} = 0.045\text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, $T=0.42976\text{ s}$. 1. Mod şekli;

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12498 \\ 0.08030 \\ 0.03689 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6425 \\ 0.2952 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{3. Kat} \\ \text{2. Kat} \\ \text{1. Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 33.94 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 75.58 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 43.95 kN

2-a₂) Zemin yatak katsayı değeri, $c=1\,000\text{ kN/m}^3$ seçilir ise;

$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 1000 = 5000\text{ kN/m}$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 0.6^3}{12} = 0.045\text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, T=0.4993 s. 1. Mod şekli

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12493 \\ 0.07991 \\ 0.03792 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6396 \\ 0.3019 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ Kat} \\ 2. \text{ Kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 30.91 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 67.04 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 38.98 kN

2-b₁) Zemin yatak katsayı değeri, c=10 000 kN/m³ seçilir ise,

$$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 10\,000 = 50\,000 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 1^3}{12} = 0.2083 \text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, T=0.41792 s. 1. Mod şekli

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12602 \\ 0.08004 \\ 0.03538 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6352 \\ 0.2807 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ Kat} \\ 2. \text{ Kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğere Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 34.70 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 77.29 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 44.95 kN

2-b₂) Zemin yatak katsayı değeri, c=1 000 kN/m³ seçilir ise,

$$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 1\,000 = 5\,000 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 1^3}{12} = 0.2083 \text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, T=0.47903 s. 1. Mod şekli

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12523 \\ 0.08018 \\ 0.03664 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6403 \\ 0.2926 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ Kat} \\ 2. \text{ Kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğere Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 31.05 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 69.16 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 40.22 kN

2-c₁) Zemin yatak katsayı değeri, c=10 000 kN/m³ seçilir ise,

$$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 10\,000 = 50\,000 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 2.30^3}{12} = 2.602 \text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, T=0.41314 s. 1. Mod şekli

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12602 \\ 0.08017 \\ 0.03511 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6362 \\ 0.2786 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ Kat} \\ 2. \text{ Kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğere Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 35.08 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 78.13 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 45.43 kN

2-c₂) Zemin yatak katsayı değeri, c=1 000 kN/m³ seçilir ise,

$$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 1000 = 5000 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 2.30^3}{12} = 2.602 \text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, T=0.4731 s. 1. Mod şekli

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12494 \\ 0.08053 \\ 0.03654 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6445 \\ 0.2925 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ Kat} \\ 2. \text{ Kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğere Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 31.42 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 69.99 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 40.49 kN

2-d₁) Zemin yatak katsayısı, c= 10 000 kN/m³ seçilir ise,

$$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 10\,000 = 50\,000 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 0.25^3}{12} = 3.255 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, T=0.46278 s. 1. Mod şekli

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12032 \\ 0.08175 \\ 0.04240 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ -0.6794 \\ 0.3524 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ Kat} \\ 2. \text{ Kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğere Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 31.98 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 71.23 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 41.42 kN

2-d₂) Zemin yatak katsayı değeri, c= 1 000 kN/m³

$$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 1\,000 = 5\,000 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2.5 \cdot 0.25^3}{12} = 3.255 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

1.moda ait periyot, $T=0.46278$ s. 1. Mod şekli

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12134 \\ -0.08087 \\ -0.04222 \end{pmatrix} \quad \text{normalize edildi} \quad \begin{pmatrix} 1.0000 \\ -0.6665 \\ -0.3479 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{3. Kat} \\ \text{2. Kat} \\ \text{1. Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğere Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

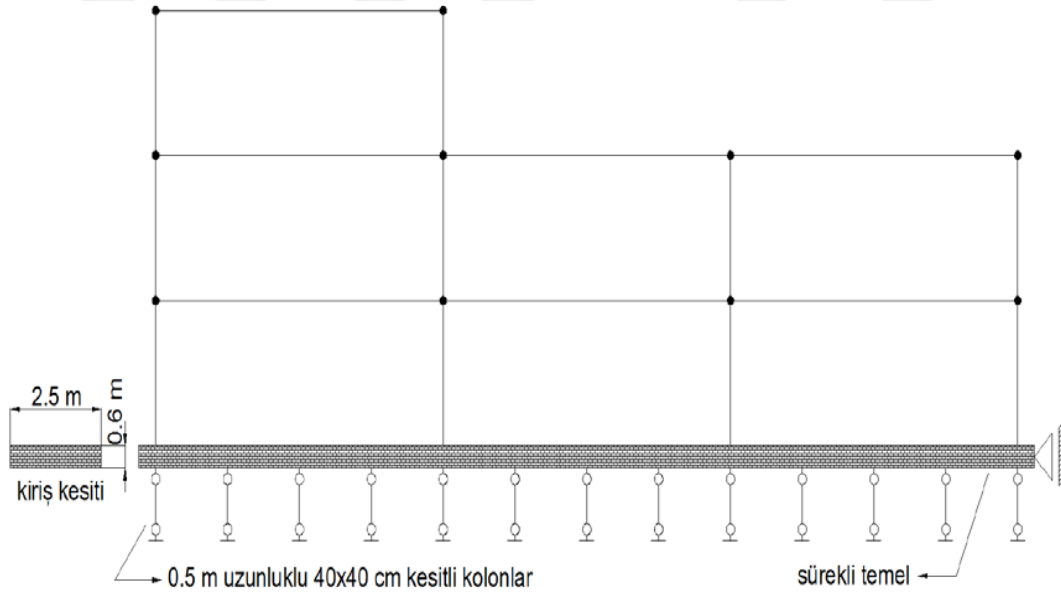
3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 31.62 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 72.79 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 44.86 kN

Bu varsayımda hem atalet momenti değişimleri hem de zemin yatak katsayısının değişimleri incelenmiştir. Atalet momentinin artması eğiliminde yapının periyodu azalmaya doğru ivme kazanmaktadır. Aynı atalet momentlerinde ise zemin yatak katsayısı yüksek değere sahip sistemin periyodu daha düşük değere sahiptir. Böylelikle periyot değişimlerinde hem atalet momenti hem de zemin yatak katsayısının önemli birer parametre olduğu görülmüştür.

4.2.3 3. Uygulama



Şekil 4.5. Belirli Eksenel Rijitliği Tanımlanmış Zemin Sistemi

Radye temel altında, çeşitli zemin türlerinin tarifini yapan iki ucunda da mafsallı bulunan ve belirli eksenel rijitliğe sahip çubuk elemanların da tarifinin yapıldığı sistemler Şekil 4.5'te anlatılmıştır. Sürekli temel altında 40*40 cm kesite sahip kolonlarda eksenel

rijitlik değeri, R_v ye farklı değerler atayıp yeni sistemlerin analizleri yapılmaktadır.

3-a) $R_v = 100\ 000$ kN/m seçilir ve kolonlara ait elastisite modülünün bulunması için;

$$\frac{E \cdot A}{L} = R_v = 100\ 000$$

$$\frac{E \cdot 0.4 \cdot 0.4}{0.5} = 100\ 000 \text{ ise } E = 312\ 500 \text{ kN/m}^2$$

Elde edilen veriler Sap2000 yapı programına eklenerek 1. Moda ait periyot, $T = 0.42249$ s. 1. Mod şekli;

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12492 \\ 0.08044 \\ 0.03674 \end{pmatrix} \text{ normalize edildi } \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6439 \\ 0.2941 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Ankastre mesnetli durum için yukarıda işlem adımları tekrarlanır ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre yapının katlarına etkiyen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 34.40 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 76.62 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 44.55 kN

3-b) $R_v = 100\ 000$ kN/m seçilir, elastisite modülü $E = 625\ 000$ kN/m²

$$\frac{E \cdot 0.4 \cdot 0.4}{1} = 100\ 000 \text{ ise } E = 625\ 000 \text{ kN/m}^2$$

1.modun periyodu, $T = 0.42962$ s. ; 1. Mod şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.12499 \\ 0.08030 \\ 0.03688 \end{pmatrix} \text{ normalize edildi } \begin{pmatrix} 1.0000 \\ 0.6425 \\ 0.2951 \end{pmatrix} \begin{matrix} 3. \text{ Kat} \\ 2. \text{ Kat} \\ 1. \text{ Kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 33.94 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 75.60 kN

1.kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 43.96 kN

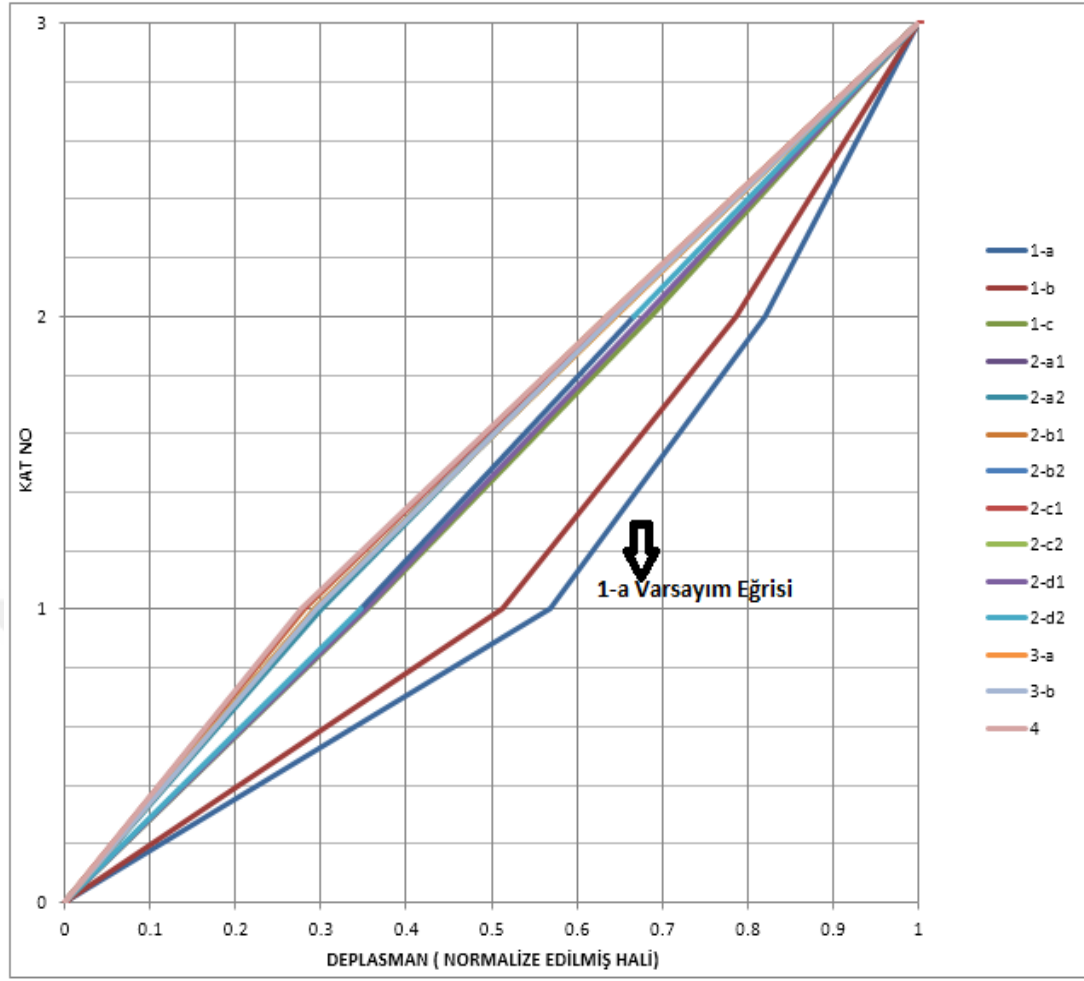
Bu uygulamaların tamamın elde edilen bütün değerler, uygulama şekli ve buna bağlı olarak oluşan mod şekilleri ve periyotlar Tablo 4.2. de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Yapının Zemine Farklı Mesnetlenme Durumlarına Ait Değerler

Varsayım	Rijitlik	1. Mod Periyodu (s)	1. Mod Şekli	Eşdeğer Deprem Yükleme İle Taban Kesme Kuvveti (kN)
1-a	$R\theta=1333.33 \text{ kNm}$	0.6076	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.8204 \\ 0.5692 \end{bmatrix}$	116.37
1-b	$R\theta=13333.33 \text{ kNm}$	0.5492	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.7864 \\ 0.5127 \end{bmatrix}$	126.13
1-c	$R\theta=133333.33 \text{ kNm}$	0.4421	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6875 \\ 0.3552 \end{bmatrix}$	150.18
2-a1	$I=0.045 \text{ m}^4$ $R_v=50000 \text{ kN/m}$	0.4298	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6425 \\ 0.2952 \end{bmatrix}$	153.47
2-a2	$I=0.045 \text{ m}^4$ $R_v=5000 \text{ kN/m}$	0.4993	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6396 \\ 0.3019 \end{bmatrix}$	136.12
2-b1	$I=0.2083 \text{ m}^4$ $R_v=50000 \text{ kN/m}$	0.4179	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6352 \\ 0.2807 \end{bmatrix}$	156.94
2-b2	$I=0.2083 \text{ m}^4$ $R_v=5000 \text{ kN/m}$	0.2083	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6403 \\ 0.2926 \end{bmatrix}$	140.43
2-c1	$I=2.602 \text{ m}^4$ $R_v=50000 \text{ kN/m}$	0.4131	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6362 \\ 0.2786 \end{bmatrix}$	158.64
2-c2	$I=2.602 \text{ m}^4$ $R_v=5000 \text{ kN/m}$	0.4731	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6445 \\ 0.2925 \end{bmatrix}$	142.10
2-d1	$I=3.255 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ $R_v=50000 \text{ kN/m}$	0.4628	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ -0.6794 \\ 0.3524 \end{bmatrix}$	144.63
2-d2	$I=3.255 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ $R_v=5000 \text{ kN/m}$	0.5425	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ -0.6665 \\ -0.3479 \end{bmatrix}$	142.58
3-a	$L=0.5 \text{ m}$ (kısa kolon boyu) $E=312500 \text{ Kn/m}^2$	0.4225	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6439 \\ 0.2941 \end{bmatrix}$	155.57
3-b	$L=1 \text{ m}$ (kısa kolon boyu) $E=625000 \text{ Kn/m}^2$	0.4296	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6425 \\ 0.2951 \end{bmatrix}$	153.50
4	Serbest Titreşim Ankastre Mesnet	0.4052	$\begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.6356 \\ 0.2764 \end{bmatrix}$	161.80

4.3. Farklı Mesnetlenme Durumlarına Göre Serbest Titreşim ve Taban Kesme Kuvveti

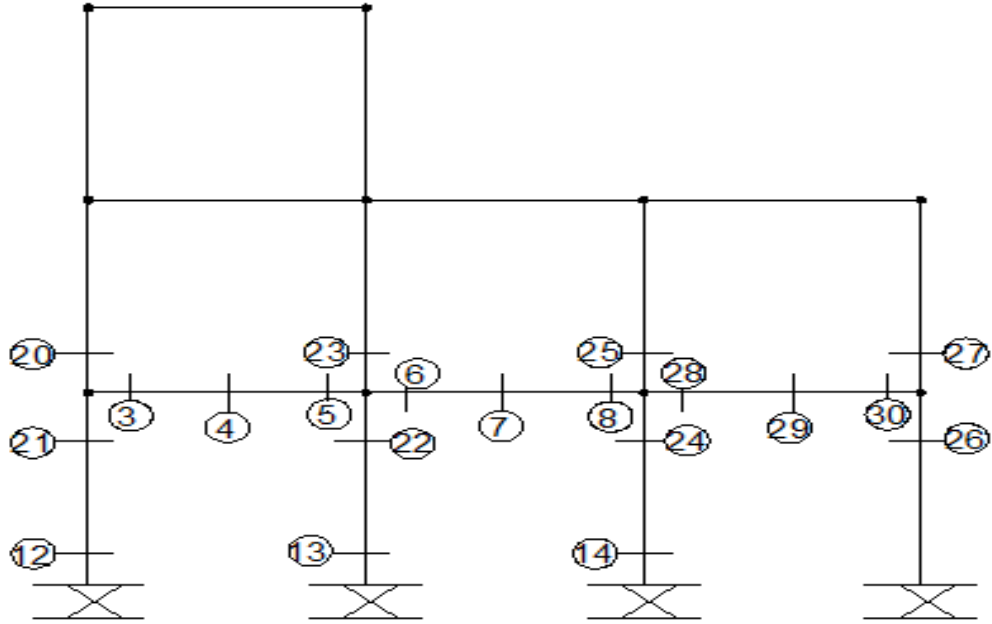
Zemin çeşitli uygulamalar ve varsayımlar ile oluşturulan sistemlerden elde edilen 1. Mod şekillerini Şekil 4.6.'da verilmiştir. Bununla birlikte taban kesme kuvvetlerinde oluşan farkın en fazla olduğu varsayımlar; 1-a uygulaması ve 4. Uygulama arasında gerçekleşmiştir. Bu sebepten ötürü 1-a uygulaması, seçili sistem kabul edilmiştir. Boyutlandırmalar için bu uygulama sonuçları ile kritik kesitlerin iç kuvvetleri bulunacaktır.



Şekil 4.6. Yapı Zeminin Farklı Uygulamalar Sonucu Elde Edilen Sistemlerin 1. Mod Şekilleri

5. KOLON VE KİRİŞ KESİTLERİN TASARLANMASI

Sistemde bulunan kritik kesitlere ait numaralar Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. Bununla birlikte 2. ve 3. Katlarda bulunan kolonların ve kirişlerin donatı atamalarının yapılması 1. Katta bulunan kolonlara ve kirişlere benzer şekilde tasarlanmıştır. Sistemde belirlenen bu kolon ve kirişler üzerinden çalışmaya devam edilecektir. Bununla birlikte bu kesitlere ait moment değerleri, kesme ve eksenel kuvvetler, Sap2000 programı yardımı ile farklı yükleme modları altında incelenerek yapı davranışı hakkında daha net bilgiler elde edilmesini sağlayacaktır.



Şekil 5.1. Sistemde Bulunan Kritik Kesitlerin Belirlenmesi

5.1. Farklı Yükleme Şekilleri İle Kritik Kesitlerde Oluşan İç Kuvvetler

Konu giriş bölümünde bahsedildiği gibi yapının farklı formasyonlar altında yapı davranış formu ve yüklemeler altında deprem etkisinde nasıl davranacağı konusunda önemli sonuçlar vermektedir. Bu sebeple sistemde dört farklı yükleme modu ile birlikte $G+0.3*Q$, $1.4*G+1.6*Q$, $G+Q+EQE$ ve $G+Q-EQE$ olarak sisteme bu yüklemeler yapılmıştır. Bu yükleme modları sonucunda kesitlerde oluşan iç kuvvetlerin tamamı Tablo 5.1, 5.2, 5.3. ve 5.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.1. 1.4*G+1.6*Q Yüklemesi Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler

KESİT NO	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
3		-98.07	-106.07
4		4.67	100.22
5		107.41	-141.12
6		-102.84	-137.98
7		-0.10	86.40
8		102.65	-137.27
12	-504.79	-16.52	1.27
13	-809.30	3.11	-0.26
14	-583.54	-2.72	0.20
20	-321.95	-53.15	-80.85
21	-504.79	-16.52	47.53
22	-809.30	3.11	-8.96
23	-476.76	-9.91	-3.80
24	-583.54	-2.72	7.81
25	-250.60	7.10	-0.67
26	-301.57	16.13	-46.45
27	-119.33	55.95	79.73
28		-108.01	-143.74
29		-5.26	99.80
30		97.48	-104.71

Tablo 5.2. G+ 0.3*Q Yüklemesi Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler

KESİT NO	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
3		-58.16	-63.26
4		2.74	59.37
5		63.64	-83.58
6		-61.01	-81.91
7		-0.11	51.29
8		60.79	-81.09
12	-308.38	-9.73	0.75
13	-468.90	1.83	-0.15
14	-350.09	-1.49	0.11
20	-195.09	-31.79	-48.22
21	-308.38	-9.73	28.00
22	-468.90	1.83	-5.28
23	-285.75	-5.89	-2.44
24	-350.09	-1.49	4.27
25	-148.79	3.27	-1.12
26	-187.38	9.39	-27.03
27	-74.48	34.40	47.83
28		-64.02	-85.36
29		-3.12	58.99
30		57.78	-62.23

Tablo 5.3. G+Q+EQE Yüklemesi Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler

KESİT NO	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
3		-58.16	-63.26
4		2.74	59.37
5		63.64	-83.58
6		-61.01	-81.91
7		-0.11	51.29
8		60.79	-81.09
12	-308.38	-9.73	0.75
13	-468.90	1.83	-0.15
14	-350.09	-1.49	0.11
20	-195.09	-31.79	-48.22
21	-308.38	-9.73	28.00
22	-468.90	1.83	-5.28
23	-285.75	-5.89	-2.44
24	-350.09	-1.49	4.27
25	-148.79	3.27	-1.12
26	-187.38	9.39	-27.03
27	-74.48	34.40	47.83
28		-64.02	-85.36
29		-3.12	58.99
30		57.78	-62.23

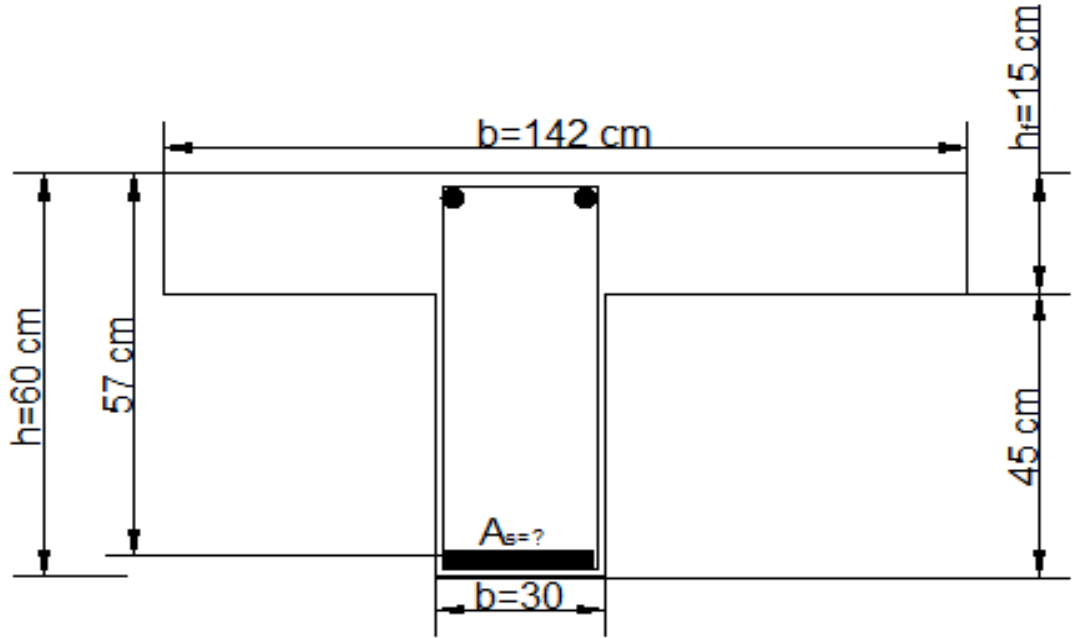
Tablo 5.4. G+Q-EQE Yüklemesi Sonucu Elde Edilen İç Kuvvetler

KESİT NO	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
3		-86.11	-144.82
4		-14.84	65.59
5		56.43	-34.80
6		-86.77	-152.67
7		-15.50	60.18
8		55.78	-37.78
12	-385.26	-37.10	0.59
13	-552.20	-30.72	0.09
14	-408.69	-34.31	0.37
20	-289.52	-47.02	-57.24
21	-385.26	-37.10	104.48
22	-552.20	-30.72	86.11
23	-323.50	-35.11	-34.06
24	-408.69	-34.31	96.44
25	-174.12	-27.44	-34.58
26	-184.35	-14.24	38.67
27	-75.47	26.52	52.71
28		-93.29	-164.00
29		-22.02	73.03
30		49.25	-0.75

5.2. Kirişlerin Dizayn Edilmesi

Uygulamalardan sonra periyodu en yüksek olan zemine elastik mesnet ile bağlanan sistem karar verilmiştir. Bu sistem üzerinde çalışmalar yapılacak ve bu sistem için elde edilen periyot ve sisteme dahil edilen ölü ve hareketli yükler sonucu yapılan 4 farklı yüklemeler altında kritik kesitlerde meydana gelen maksimum moment, kesme ve eksenel yükler alınmıştır ve bu değerler odağında sistem taşıyıcı elemanların donatı tasarımı yapılacaktır.

5.2.1. 4 No'lu Kesitli Kirişin Açıklık Donatısının Belirlenmesi



Şekil 5.2. Açıklıkta Bulunan Kirişin En Kesiti

Sistemde bulunan bütün kirişlerin orta(açıklık) kısmındaki boyutları Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Malzeme bilgileri ise;

- Beton

Beton sınıfımız C 30'dur. Karakteristik beton dayanım değeri, $f_{ck}=30 \text{ MPa}$ hesap adımlarında kullanılacak değerdir. Sonraki parametrelerde şöyledir;

γ_{mc} : Beton malzeme katsayı değeri =1.50

f_{cd} : Beton tasarım basınç dayanım değeri

$$=f_{ck}/\gamma_{mc} \quad (5.1)$$

$$f_{cd} \frac{30}{1.5} = 20 \text{ MPa}$$

k_1 : Beton basınç bloğu katsayı değeri=0.82

F_{ctk} : Beton karakteristik çekme dayanım değeri

$$=0.35*(f_{ck})^{1/2} \quad (5.2)$$

$$F_{ctk}=1.917 \text{ MPa}$$

F_{ctd} : Beton tasarım çekme dayanım değeri

$$F_{ctk}/\gamma_{mc} \quad (5.3)$$

$$F_{ctd}=1.917/1.5 = 1.278 \text{ MPa}$$

- Donatı

Donatı sınıf S 420'dir. Karakteristik akma dayanım değeri, $f_{yk}=420 \text{ MPa}$ hesap adımlarında kullanılan değerdir. Sonraki parametrelerde şöyledir;

γ_{ms} : Çelik malzeme katsayı değeri=1.15

F_{yd} : Çelik tasarım akma dayanım değeri=

$$F_{yk}/\gamma_{ms} \quad (5.4)$$

$$F_{yd}=\frac{420}{1.15}=365 \text{ MPa}$$

Tasarım momenti:

$$M_d=100.2182 \text{ kNm}=100.22*10^6 \text{ Nmm} (1.4*G+1.6*Q)$$

Ebatları h_f , b değerlerine sahip dikdörtgen bölümünün taşıma gücü momenti (M_r^*):

$$M_r^*=0.85*f_{cd}*b*h_f*(d-h_f/2) \quad (5.5)$$

$$= 0.85*20*1420*150*(570-150/2)= 1792.4*10^6 \text{ Nmm}= 1792.4 \text{ kNm}$$

Basınç bloğu şeklinin bulunması

$M_r^*1645 \text{ kNm} > M_d=100.2182 \text{ kNm}$ sonucundan dolayı basınç bloğu dikdörtgen özelliklerine sahiptir.

Çekme Donatısı Oranı:

$$\rho = 0.85 * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2*M_d}{0.85*f_{cd}*b*d^2}} \right] \quad (5.6)$$

$$\rho = 0.85 * \frac{20}{365} * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2*100.22*10^6}{0.85*20*1420*570^2}} \right] = 0.012$$

Çekme Donatı Alanı:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (5.7)$$

$$=0.0012 \cdot 1420 \cdot 570 = 970.28 \text{ mm}^2 \text{ (Gereken Donatı Miktarı)}$$

Donatı çap değeri 16 mm olacak şekilde 5 adet atandığı durumda $A_s=1004.8 \text{ mm}^2$ oldu. Atanan çekme donatı miktarı: 5 $\Phi 16$ ($A_s= 1004.8 \text{ mm}^2$)'dir.

$$\rho = 1004.8 / 300 \cdot 570 = 0.0058$$

$$=0.8 \cdot 1.278 / 365 = 0.0028 \quad \rho \geq \rho_{\min} \text{ şartı sağlanmış durumdadır.} \quad (5.8)$$

Dengeli Donatı Oranının Hesabı;

$$\rho_b = 0.85 * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left[\frac{600+k_1}{600+f_{yd}} + \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) * \left(\frac{h_f}{d} \right) \right] \quad (5.9)$$

$$\rho_b = 0.85 * \frac{20}{365} * \left[\frac{600+0.82}{600+365} + \left(\frac{1420}{300} - 1 \right) * \left(\frac{150}{570} \right) \right] = 0.0695$$

$$0.85^* \rho_b = 0.85^* 0.06633 = 0.056$$

$\rho=0.00598 \leq$

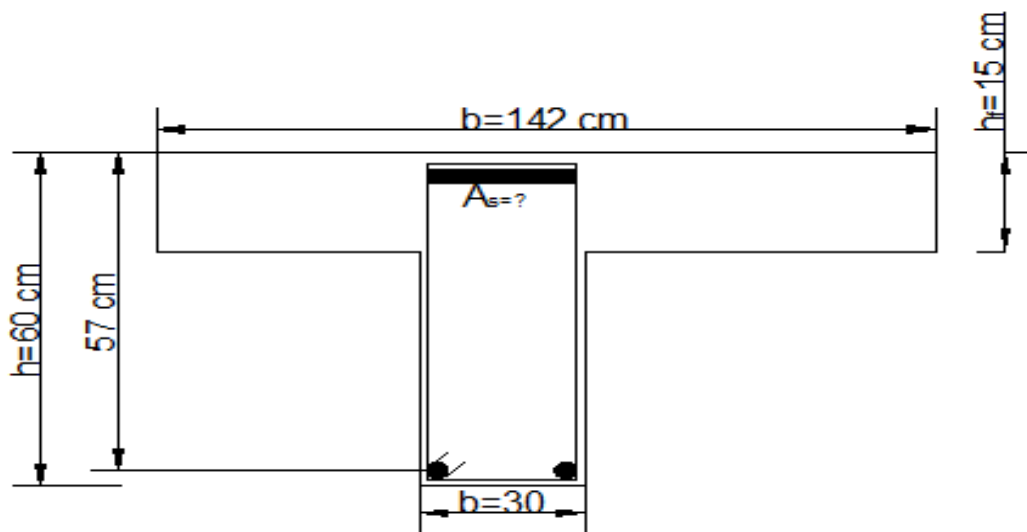
0.002 Yönetmelik koşul sağlanmıştır.

$$0.235 \cdot f_{cd}/f_{yd} \text{ (sehim için)} = 0.235 \cdot (20/365) = 0.0129$$

Yukarıda verilen 3 durumun incelenmesi sonucunda yönetmeliğin şartlarını sağlamaktadır.

5.2.2. 3 No'lu Kesitteki Kirişin Mesnet Donatısının Belirlenmesi

Mesnet Bölgesine ait kirişler için boyut özellikleri Şekil 5.3.'te açıklanmıştır.



Şekil 5.3. Mesnette Bulunan Kirişin En Kesiti

Tasarım hesabı yapılırken TBDY 2018'e göre uygun formülasyon sistemi kullanılmaktadır. Bu hesap yapılırken kesit değerlerinin doğru tanımlanması ve sisteme doğru girilmesi önemlidir. Yanlış hesaplanan bir değer Sap2000'de yapımızın deprem davranışlarında da hatalı sonuç vermesine neden olur.

Tasarım momenti:

$$M_d = -144.8227 \text{ kNm} = -144.82 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (1 \cdot G + 1 \cdot Q - 1 \cdot EQE)$$

a= Eşdeğer basınç bloğu derinliğinin hesaplanması

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot M_d}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_w}} \quad (5.10)$$

$$a = 570 - \sqrt{570^2 - \frac{2 \cdot 144.823 \cdot 10^6}{0.85 \cdot 20 \cdot 300}} = 52.21 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (5.11)$$

$$A_s = \frac{144.823 \cdot 10^6}{365 \cdot \left(570 - \frac{52.21}{2}\right)} = 729.51 \text{ mm}^2$$

4 adet ϕ 16 donatısı seçildiği zaman $A_s = 804.00 \text{ mm}^2$ olacaktır.

Kesitteki donatı oranı:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (5.12)$$

$$\rho = 804 / (300 \cdot 570) = 0.005$$

$$\rho_{min} = 0.8 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (5.13)$$

$$\rho_{min} = 0.8 \cdot 1.278 / 365 = 0.0028 \quad \rho > \rho_{min} \text{ Yönetmelik Koşulu Sağlanmıştır.}$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot k_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_{yd}}\right) \quad (5.14)$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 0.82 \cdot \frac{20}{365} \cdot \left(\frac{600}{600 + 365}\right) = 0.0237$$

Bu değer donatı hesabı ve donatı çap ve adet seçmek için gerekli olan katsayıdır. Yukarıda ki bütün koşullar yönetmeliğe uygundur.

$$0.85 \cdot \rho_b = 0.85 \cdot 0.0237 = 0.0201$$

$$\rho=0.0100\leq 0.02$$

Yukarıda verilen her iki koşulda da yönetmeliğe ait şartlar sağlanmıştır. Sistemde bulunan tüm kesitlere ait kirişlerin de donatı atamaları bu şekildeki hesaplamalar ile bulunacaktır.

3 Numaralı Kiriş Kesitinde Çift Donatılı Kesite İhtiyaç Olup Olmadığının Kontrolü

$$M_d = -144.823 \text{ kNm} = 144.823 \cdot 10^6 \text{ Nmm} (1 \cdot G + 1 \cdot Q - 1 \cdot EQE)$$

Dengeli donatı oranının hesabı:

$$\rho_b = 0.85 * k_1 * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left(\frac{600}{600 + f_{yd}} \right) \quad (5.15)$$

$$= 0.85 * 0.82 * (20/365) * (600/600 + 365) = 0.02375$$

ρ_1 'ye ait donatı seçiminde: Belirlenen donatının oranı $0.5 \cdot \rho_b \sim 0.85 \rho_b$ değerler arasında olacak şekilde seçilmelidir.

Bu durumda; $0.01187 < \rho_1 < 0.0202$ olduğu için

$\rho_1 = 0.014$ seçilir. $\rho_{1\min} = 0.0105$ içinde;

$$M_{1\min} = 192.60 \text{ kNm}$$

Eşdeğer basınç bloğu bileşkesine ait eşit çekme kuvveti oluşturabilmek adına ihtiyaç duyulan donatının alanı:

$$A_{s1} = \rho_1 * b_w * d \quad (5.16)$$

$$= 0.014 * 300 * 570 = 2394 \text{ mm}^2$$

Kesite ait tek donatılı şekilde karşılayabildiği moment (M_1):

$$k_{m1} = \rho_1 * f_{yd} * \left(1 - 0.59 * \rho_1 * \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right) \quad (5.17)$$

$$= 4.339$$

$$M_1 = k_{m1} * b_w * d^2 \quad (5.18)$$

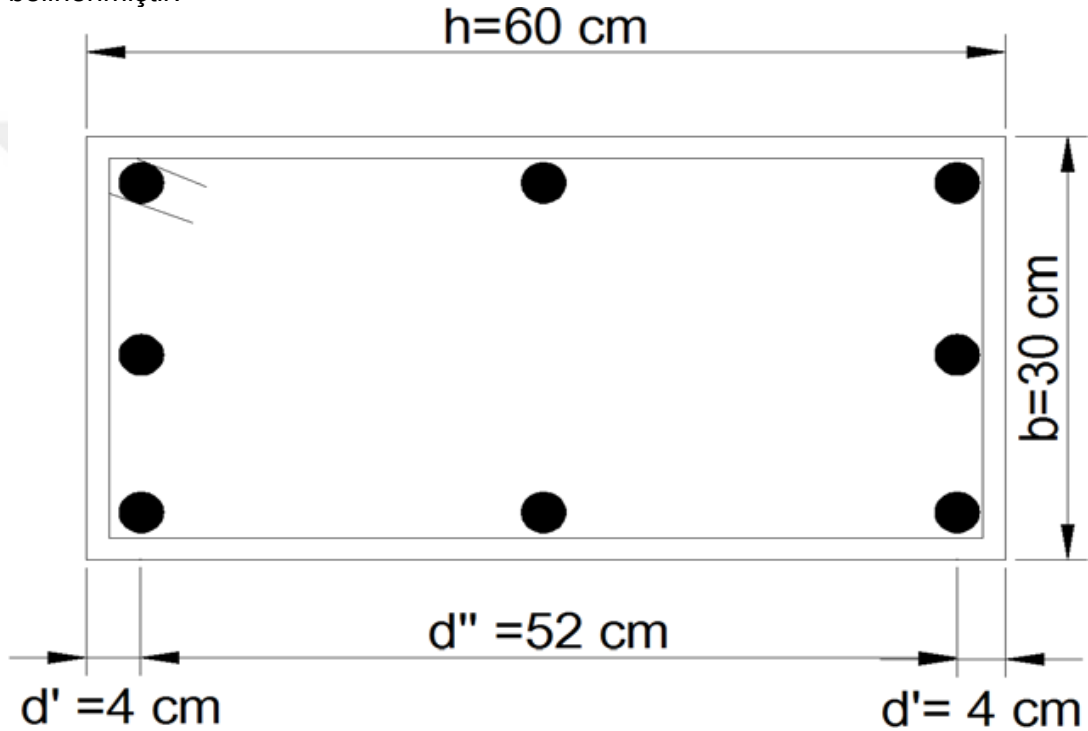
$$= 4.339 * 300 * 570^2 = 422.99 \text{ kNm}$$

$M_1 = 422.99 \text{ kNm} > M_d = 144.823 \text{ kNm}$ olduğu için çift donatılı kesitlere ihtiyaç duyulmamıştır.

Diğer mesnetlerde bulunan kirişlerde de minimum donatı oranı seçildiği takdirde ($\rho_{1\min} = 0.0119$ için) $M_{1\min} > M_d$ koşulunun gerçekleşeceği görülmektedir. Bundan sebep çift donatılı kesitlere ihtiyaç yoktur.

5.3. Kolonların Dizayn Edilmesi

Sistemde bulunan bütün kolonların tasarımı Şekil 5.4.'te gösterildiği şekilde belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Kolon En Kesiti

21 Nolu kesitte bulunan kolonun donatı seçimi adına yapılacak hesap adımları.

$$d''/h = 520/600 = 0.87 \quad \text{abaktan okunan değeri } d''/h = 0.90 \text{ alınmıştır.}$$

Eksenel Kuvvet Değerine göre Ebatların Kontrol Edilmesi

$$N_d = -504.79 \text{ kN} (1.4 \cdot G + 1.6 \cdot Q)$$

$$N_d < 0.5 \cdot A_c \cdot f_{ck} \quad (5.19)$$

$$504.79 \cdot 10^3 < 0.5 \cdot 300 \cdot 600 \cdot 30 \sim 504.79 \cdot 10^3 < 2700 \cdot 10^3$$

Koşullar uygundur.

Koşulları sağlanan kesitlerde donatı seçimi yapılırken simetrik ve aynı çap donatı seçimi önemlidir. Bunun için sistematik bir şekilde donatı hesabı yapılan her kesit için seçilen donatı alanını karşılaması ve güvenli tarafta kalabilmek için en uygun adet ve çapta donatı seçimleri yapılmalıdır.

Kolonların hesabında tasarım yaparken kullanılacak abakların doğru seçilmesi ve buradan değerlerin doğru okunması önemlidir.

Kullanılacak Diyagram İçin Boyutsuz Oranların Belirlenmesi

En Elverişsiz kesit etkileri $1*G+1*Q-1*EQE$ yüklemesinde yaşanmıştır;

$N_d = -385.257 * 10^3$ N ayrıca moment

$M_d = 104.475 * 10^6$ Nmm'dir.

$$\frac{N_d}{b * h * f_{cd}} \quad (5.20)$$

$$= \frac{385.26 * 10^3}{300 * 600 * 20} = 0.107$$

$$\frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \quad (5.21)$$

$$104.48 \cdot 10^6 / 300 \cdot 600^2 \cdot 20 = 0.0484$$

Diyagramdan Ψ Değerinin Elde Edilmesi

Yukarıda bulunan değerler abaktakta kesişen noktaların bu kesitler için en uygunu

$\Psi=0.10$ seçilebilir

$$\rho_t = \Psi \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (5.22)$$

$$= 0.10 \cdot 20 / 365 = 0.00548$$

Anlaşıldığı üzere hesaplanan $\rho_1=0.00548$, minimum donatı oranı ($\rho_{\min}=0.01$)dan daha küçük çıkmıştır. O halde minimum donatı oranı hesapta göz önünde bulundurulmalıdır.

Boyuna Donatı Alanını ve Çapını Belirlemek;

$$A_{st} = \rho_t \cdot b \cdot h \quad (5.23)$$

$$= 0.01 \cdot 300 \cdot 600 = 1800 \text{ mm}^2$$

Sayısal uygulamanın donatılandırılmasında 8 adet boyuna donatıya sahip kesit dikkate alındı ve donatı çapının yaklaşık olarak, n ise donatı sayısını ifade etmektedir.

$$\frac{\pi \cdot \Phi^2}{4} \cdot n = A_{st} \quad (5.24)$$

$$\frac{\pi \cdot \Phi^2}{4} \cdot 8 = 1800 \text{ Buradan } \Phi = 116.91 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı çapı ise $\Phi=18 \text{ mm}$ 'dir.

8 Φ 18 seçimi ile seçilen donatının toplam alanı: $A_{st}=2034.7 \text{ mm}^2$ 'dir.

$$A_{st} = \rho_t \cdot b \cdot h \quad (5.25)$$

$$2034.7 = \rho_t \cdot 300 \cdot 600 \quad \rho_t = 0.0113 \text{ elde edilir.}$$

$\rho_t=0.0113$ alındığı durum için bulunacak yeni Ψ değeri;

$$\rho_t = \Psi * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \rightarrow 0.0113 = \Psi * \frac{20}{365}$$

$$\Psi = 0.0113 * 365 / 20 = 0.206 \text{ için abaktan bakılır. } \frac{M_d}{b * h^2 * f_{cd}} = 0.125 \text{ okunmuştur.}$$

$$\text{Abaktan } \frac{N_d}{b * h * f_{cd}} = 0.205 \text{ okunmuştur.}$$

$$\frac{M_d}{30 * 600^2 * 20} = 0.125$$

Buradan $M_d = 270.0 \text{ kNm}$ elde edilmiştir.

Diğer kesitlerde bulunan kolonların donatılarının da aynı hesap yöntemi ile elde edilmiştir.

Kritik kesitler için atanan donatıların tamamı Tablo 5.5.'te verilmiştir.

Tablo 5.5. Kritik Kesitlere Atanan Donatılar

Kesit	M (kNm)	M_d (kNm)	Elverişsiz Yük Birleşimi	Gerekli Donatı (mm^2)	Atanan Donatı
3	-144,823		G+Q-E	729,51	4Ø16=804.00
4	100,218		1.4G+1.6Q	971,28	5Ø16=1004.8
5	-160,966		G+Q+E	810,82	3Ø14+2Ø16=864.00
6	-152,671		G+Q-E	780,84	6Ø14=924.00
7	86,401		1.4G+1.6Q	971,28	5Ø16=1004.8
8	-152,574		G+Q+E	778,65	6Ø14=924.00
12	1,274	270	1.4G+1.6Q	1800	8Ø18=2035
13	-0,446	367,2	G+Q+E	1800	8Ø18=2035
14	0,369	291,6	G+Q-E	1800	8Ø18=2035
20	-80,855	248,4	1.4G+1.6Q	1800	8Ø18=2035
21	104,475	270	G+Q-E	1800	8Ø18=2035
22	-98,526	367,2	G+Q+E	1800	8Ø18=2035
23	-34,059	270	G+Q-E	1800	8Ø18=2035
24	96,441	291,6	G+Q-E	1800	8Ø18=2035
25	-34,580	237,6	G+Q-E	1800	8Ø18=2035
26	-102,941	259,2	G+Q+E	1800	8Ø18=2035
27	79,734	39,96	1.4G+1.6Q	1800	8Ø18=2035
28	-164,003		G+Q-E	826,12	6Ø14=924.00
29	99,799		1.4G+1.6Q	1012,96	4Ø16+2Ø14=1112
30	-144,578		G+Q+E	728,273	6Ø14=924.00

8Φ18 kolon kesitine ait taşıyabileceği maks. eksenel kuvvet değeri:

$$N_u = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_c + A_{st} \cdot f_{yk} \quad (5.25)$$

$$A_c = 300 \cdot 600 - 8 \cdot 3,14 \cdot 18^2 / 4 = 177\,965 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 8 \cdot 3,14 \cdot 18^2 / 4 = 2034 \text{ mm}^2 \quad N_u = 0.35 \cdot 30 \cdot 177\,965 + 2034 \cdot 420 =$$

5392,39 kN elde edilir.

Aynı şekilde

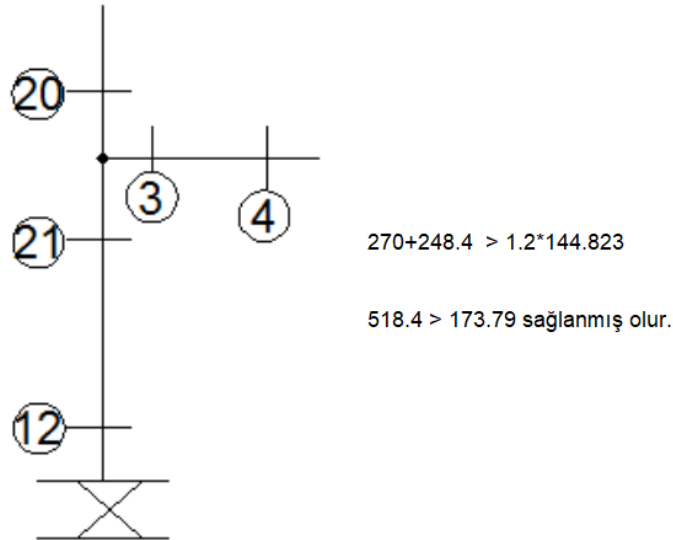
8Φ24 için $N_u = 6016,91 \text{ kN}$

8Φ22 için $N_u = 5789,28 \text{ kN}$

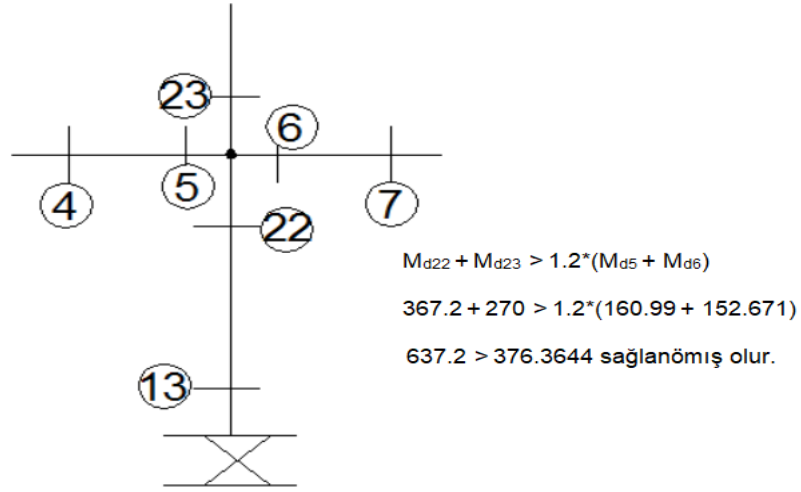
8Φ12 için $N_u = 4946,6 \text{ kN}$

Sistemdeki kuvvetli kolon-zayıf kiriş durumunun kontrolü için yapılması gereken hesaplamalar ve bu hesapları anlatan çizimler Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7. 'de açıklanmıştır. TBDY 2018'e göre düğüm noktasında oluşan kuvvetli kolon-zayıf kiriş etkisinde

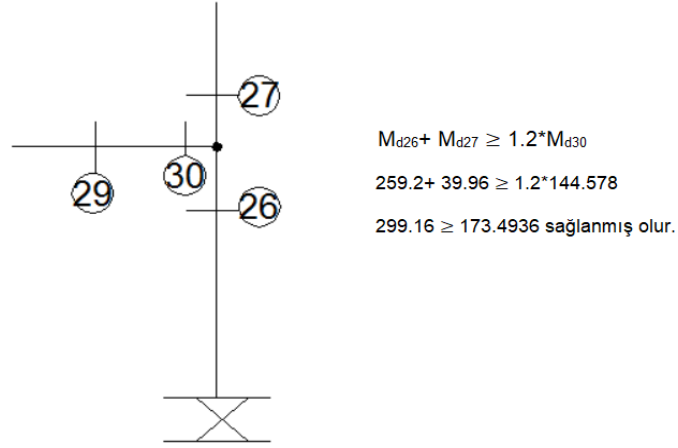
$M_{d21} + M_{d20} \geq 1.2 \cdot M_{d3}$ olması koşulu gerekmektedir.



Şekil 5.5. Sol Uç Aksı 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri

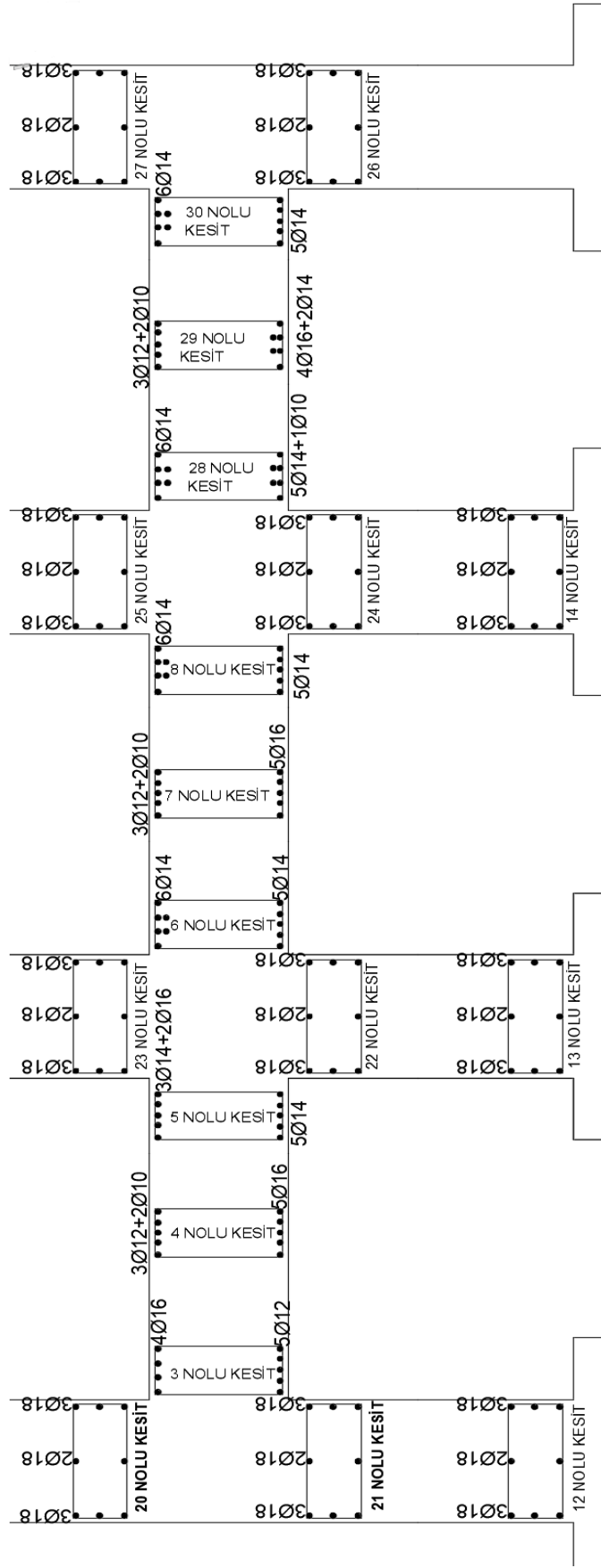


Şekil 5.6. Orta Kısım Aks 1. Kat düğüm Noktası Momentleri



Şekil 5.7. Sağ Uç Aksı 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri

Yapılan hesaplamaların neticesinde sistemde bulunan bütün kesitlerin içinde bulunduğu donatılandırma şeması hazırlanmıştır. Şekil 5.8.de gösterildiği gibi, 2. Ve 3. Katta bulunan kesitlere ait donatıların da 1. Kat ile aynı donatı atamaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8. Kritik Kesitlere Atanan Donatıların Gösterilmesi

6. 2 BOYUTLU SİSTEM DE YATAY YÜK ARTIMI (STATİK İTME) ANALİZİ

6.1. Limit Yük ve Plastik Mafsal Kavramı

Yapıda oluşan hasar anlamına gelen kalıcı şekil değiştirmelerin elemanın küçük bir bölgesinde toplanması ve iyi bir yaklaşımla diğer bölgelerin elastik davranış içinde kalacağını varsayılması plastik mafsal hipotezi olarak bilinmektedir.[6]

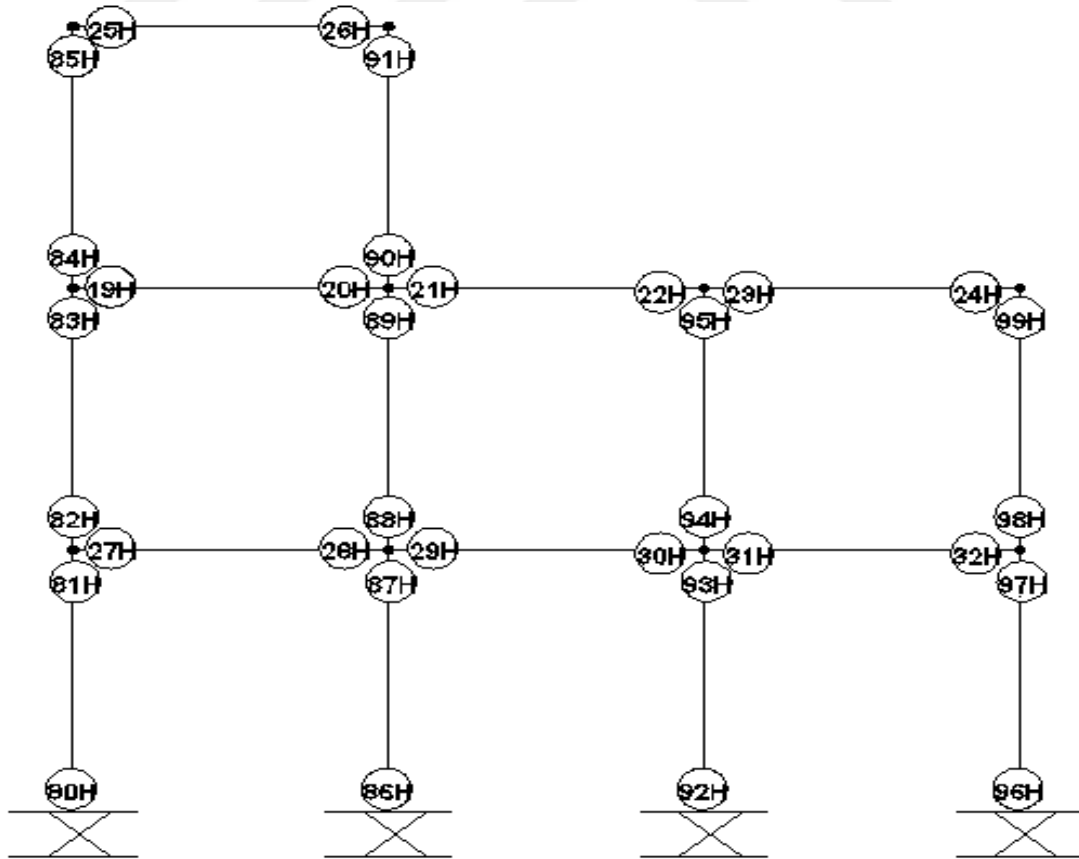
İzostatik sistemlerde en çok zorlanan kesitte plastik mafsalın oluşması ile sistem yük taşıyamaz duruma gelirken hiperstatik sistemlerde oluşan plastik mafsal, sistemin hiperstatiklik derecesini düşürür. Fakat güç tükenmesi durumu oluşmaz. Yüklemeye ve plastik mafsal kabulü kullanılmaya devam edilirse, plastik mafsalların sayılarının artmasıyla, taşıyıcı sistem, yerel olarak veya tüm sistem olarak mekanizma durumuna gelir ve bu durum yük de sınır (limit) değerine ulaşır. Yükün en son değeri Limit Yük olarak adlandırılır. Limit yüke erişinceye kadar plastik mafsallarda dönmeler ve bunun sonucunda sistemde yer değiştirmeler ortaya çıkar. Limit yükün kabul edilebilmesi için bu dönme ve yer değiştirmelerin kabul edilebilir seviyede olması gerekir. Kabul edilebilir seviyeyi iki türlü yorumlamak gerekir. Birincisi ortaya çıkan yer değiştirme ve şekil değiştirmelerin sistemin ve ilgili kesitin kapasitesi içinde olması gerekir. İkincisi ise, elastik ötesi yer değiştirme ve şekil değiştirme kalıcı türden olduğu ve hasar olarak ortaya çıktığı için sistemin kullanıcısı tarafından kabul edilebilir olması gerekir.[3]

6.2. Limit Yükün Yük Artımı Yöntemiyle Hesabı ve Doğrusal Olmayan Statik Hesap

Plastik mafsal kabulünü kullanarak, bir taşıyıcı sistemin güç tükenme durumunun elde edilmesinde en basit yöntem sistemin yükü artırılarak adım adım sistemin davranışının plastik mafsal oluşumu da göz önünde tutularak incelenmesidir. Bu işlemde, eğilme momentinin sınır değere eriştiği kesitlere plastik mafsal yerleştirilerek taşıyıcı sistemde mekanizma durumu oluşuncaya kadar devam edilerek limit yük bulunur. [3]

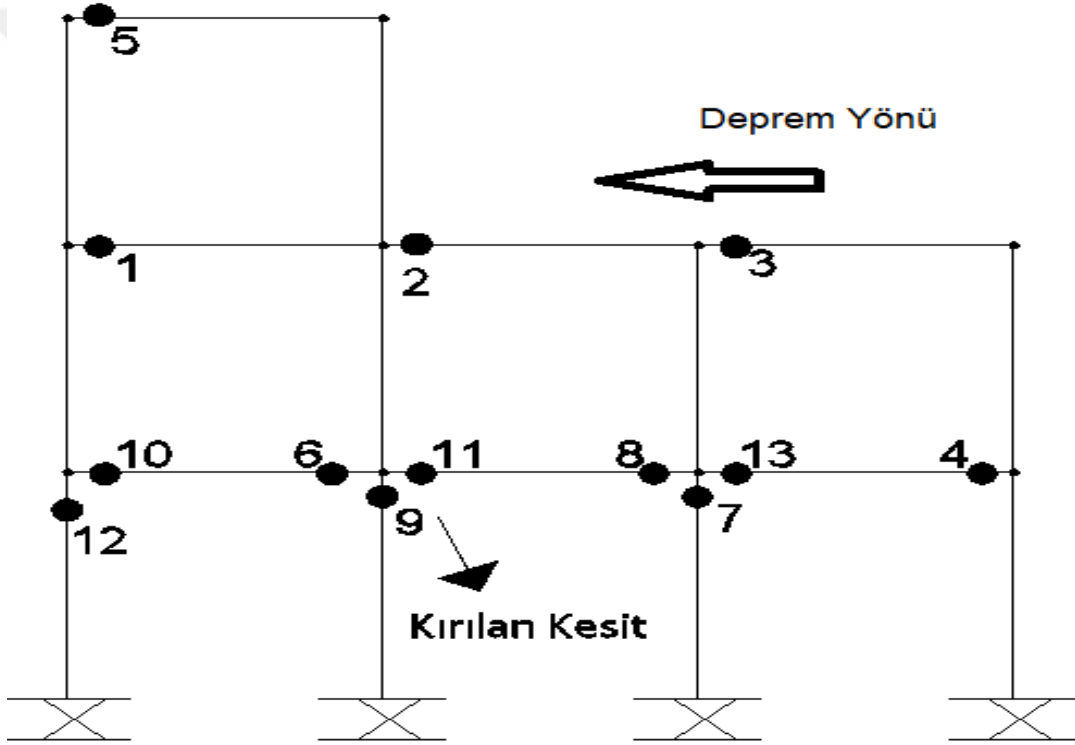
Binaların daha kapsamlı ve detaylı değerlendirilmesi için doğrusal olmayan statik itme analizi (pushover) uygulanmaktadır. Bu metotta, sistemin taban kesme kuvveti-tepe noktası deplasman ilişkisini gösteren kapasite eğrişi elde edilir. Bu eğri söz konusu yapının artan taban kesme kuvveti altında sergileyeceği davranışı temsil etmektedir. Düşük deprem etkileri altında eğri doğrusal kalarak yapının elastik davranışını temsil eder. Artan deprem etkileri altında ise elemanlarda kapasite aşımaları meydana geleceğinden yük deformasyon ilişkisi değişerek elastik davranışı yansıtmaktadır. Bu eğrinin en son noktası yapının göçmeden hemen önceki durumuna karşılık gelmektedir.[2]

Sistem içinde bulunan kolonların ve kirişlerin kesitleri, bu taşıyıcı sistem elemanlarına ait malzemelerin özellikleri ve atanan donatıları ile beraber bir yapı programı olan XTRACT'e tanımlanmasının yapılmasının ardından sistemde bulunan her kesite ait Moment- Eğrilik grafiği elde edilmiştir. Moment-Eğrilik grafiğinin kırıklı 2 doğru şeklinde getirilmesinin ardından moment ve eğrilik değerlerinin bulunduğu bu bilgilerin tamamını yine bir yapı programı olan Sap 2000'de kesitler için atamasının yapılması gereken plastik mafsallara ait tüm özellikleri ifade edebilecek halinde tanımlamalar yapılmıştır. Bahsi geçen plastik mafsalların numaraları Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Kesitlere Atanmış Plastik Mafsal Numaraları

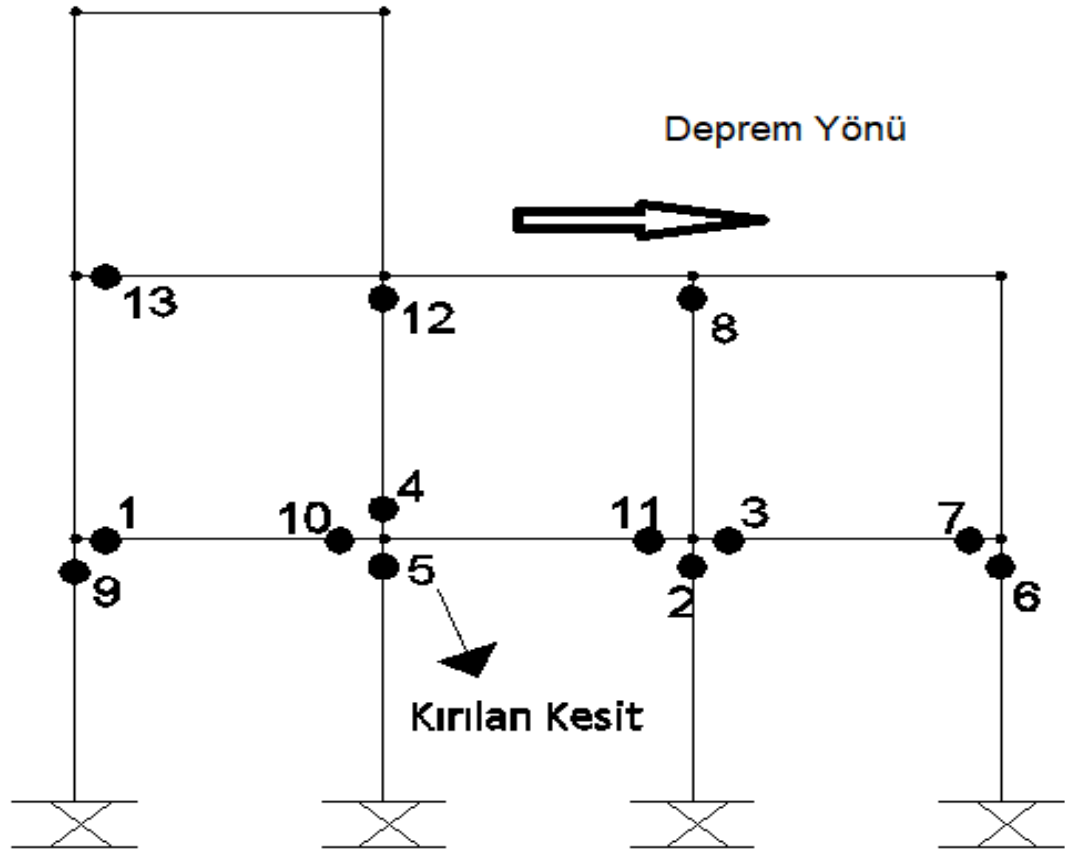
Yapı programı olan Sap 2000’de sabit düşey yüklerin ve bununla birlikte artarak devam eden yatay deprem kuvvetlerinin etkisi altında doğrusal olmayan yani nonlinear analiz şekline Yatay Yük Artımı Analizi ya da Statik İtme Analizi, başka bir ifade ile Pushover Analizi kabul edilmektedir. Çalışmalarda ise “Yatay Yük Artımı Analizi” ismi ile ifade edilecektir. Kullanılan yapı program Sap2000’de kolonların ve kirişlerin iki ucuna da atanacak plastik mafsalların özelliklerinin tamamı sisteme girilmiştir. Her iki ucu içinde atanan plastik mafsalların sisteme ayrı ayrı atanması için tüm taşıyıcı yapı elemanlarının tam ortadan ikiye bölecek şekilde merkez düğüm noktası oluşturulmuştur. Bunun sonucunda tüm taşıyıcı sistem elemanları iki çubuk eleman şekline gelmiştir. Depreme ait kuvvetlerin sağdan sola şeklinde (-X yönünde) etkitildiği Yatay Yük Artımı Analizinden sonra da sistemde meydana gelen plastik mafsallara ait oluşum konumları ve sıralaması Şekil 6.2.’de anlatılmıştır.



Şekil 6.2. Statik İtme Analizi Sonucu -X Yönlü Deprem Etkisi İle Oluşmuş Mafsal Yerleri ve Sırası

Sap2000’de yapılmakta olan Yatay Yük Artımı Analizi sonucunda elde edilen toplamda 293 adımlı sistemde bulunan 87H isimli mafsaldaki (Şekil 6.2.’de 9. Sırada mafsallaştığı gösterilen kesitin) kesitte kırılma yaşanmıştır. Bunun anlamı ise yapı 293.adımda göçme yaşandığı varsayılmaktadır.

Deprem kuvvetlerinin farklı olarak bu sefer soldan sağa şeklinde (+X yönünde) etkitildiği durumda da yapılan Yatay Yük Artımı Analizinin ardından yapıda meydana gelen plastik mafsallara ait oluşum yeri ve sıralamaları Şekil 6.3.’te anlatılmıştır.



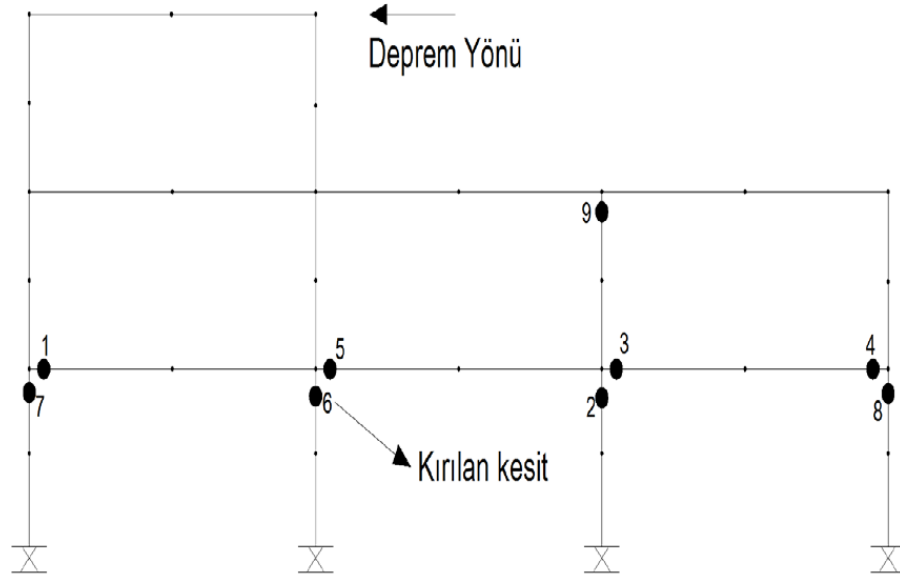
Şekil 6.3. Statik İtme Analizi Sonucu +X Yönlü Deprem Etkisi İle Oluşmuş Mafsall Yerleri ve Sırası

Sap2000'de yapılmakta olan Yatay Yük Artımı Analizi sonucunda elde edilen toplamda 255 adımlı sistemde bulunan 87H isimli mafsaldaki (Şekil 6.3.'de 5. Sırada mafsallaştığı gösterilen kesitin) kesitte kırılma yaşanmıştır. Bunun anlamı ise yapı 255.adımda göçme yaşandığı varsayılmıştır.

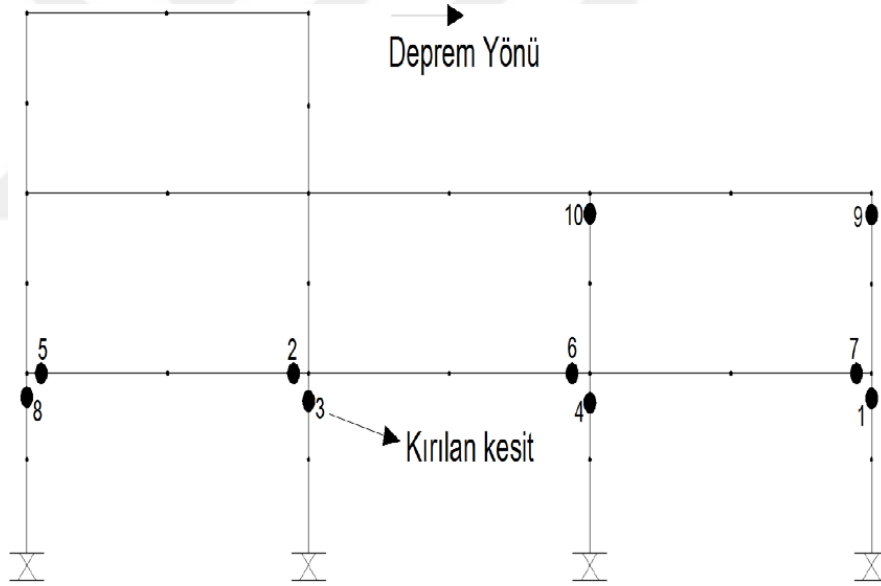
Sisteme uygulanan hem $-X$ hem de $+X$ yönü deprem kuvvetlerinin etkisi ile analiz sonucunda meydana gelen plastik mafsall yerlerinin ve oluşum sıralamasının farklı olduğu tespit edilmiştir. Farklı deprem yönleri farklı plastik mafsall oluşumu demektir.

Bu çalışmayı destekleyen başka bir tez çalışmasında da farklı yönlerde etkitilen deprem kuvvetleri ile yapıda meydana gelen plastik mafsall yerleri ve oluşum sıraları farklılık göstermektedir (Ünver 44-45). Şekil 6.4. ve 6.5.'te gösterilmiştir.

Bu analizler sonucunda elde edilen veriler ile Yatay Yük Artımı Analizi sonrası tüm kesitlere ait akma anında oluşan moment-eğrilik değerleri ile yapının göçme durumuna ulaşana kadar elde edilen moment-eğrilik değerlerinin tamamı Tablo 6.1.'de oluşturulan tablo ile açıklanmıştır.



Şekil 6.4. Statik İtme Analizi Sonucu -X Yönlü Deprem Etkisi İle Oluşmuş Mafsall Yerleri ve Sırası[16].



Şekil 6.5. Statik İtme Analizi Sonucu +X Yönlü Deprem Etkisi İle Oluşmuş Mafsall Yerleri ve Sırası[16].

Tablo 6.1. Tüm Kesitlerin Moment ve Eğrilik Değerleri

Plastik mafsallar	M _{akma} kNm	X _{akma} (rad/m)	M _{maks} (kNm)	X _{maks} (rad/m)	X _{maks} / X _{ak}	M _{255.adım}	X _{255.adım}
19 H	155,36	0,0062	178,74	0,1184	19,02	182,51	0,0117
20 H	-409,54	-0,0063	-431,19	-0,1088	17,27	-403,06	-0,0022
21 H	163,57	0,0058	177,85	0,1193	20,58	124,25	0,0058
22 H	-399,62	-0,0063	-416,76	-0,1205	19,19	-222,53	-0,0021
23 H	162,88	0,0063	177,20	0,1204	19,24	76,63	0,0063
24 H	-391,44	-0,0062	-408,12	-0,1322	21,24	-265,68	-0,0049
25 H	155,36	0,0062	178,74	0,1184	19,02	96,23	0,0117
26 H	-409,54	-0,0063	-431,19	-0,1088	17,27	-293,06	-0,0022
27 H	155,36	0,0062	178,74	0,1184	19,02	158,87	0,0112
28 H	-409,54	-0,0063	-431,19	-0,1088	17,27	-403,06	-0,0025
29 H	163,57	0,0058	177,85	0,1193	20,58	158,22	0,0055
30 H	-399,62	-0,0063	-416,76	-0,1205	19,19	-390,53	-0,0021
31 H	162,88	0,0063	177,20	0,1204	19,24	157,18	0,0046
32 H	-391,44	-0,0062	-408,12	-0,1322	21,24	-382,68	-0,0049
33 H	377,04	0,0067	390,62	0,1320	19,67	160,16	0,0067
34 H	377,04	0,0067	390,62	0,1320	19,67	-353,99	0,0067
35 H	377,04	0,0067	390,62	0,1320	19,67	155,62	0,0067
80 H	364,12	0,0069	362,11	0,2706	39,22	95,83	0,0066
81 H	-364,12	-0,0069	-362,11	-0,2706	39,10	-360,29	-0,0545
82 H	-201,61	0,0066	-200,25	0,1963	29,74	-200,74	-0,0066
83 H	-201,61	0,0066	-200,25	0,1963	29,74	-84,59	-0,0066
84 H	-201,61	0,0066	-200,25	0,1963	29,74	-39,55	-0,0066
85 H	-201,61	0,0066	-200,25	0,1963	29,74	-39,55	-0,0066
86 H	396,25	0,0071	365,25	0,1163	16,42	96,04	0,0071
87 H	-450,40	-0,0071	-411,37	-0,0907	12,82	-401,21	-0,0504
88 H	377,04	0,0067	390,62	0,1320	19,67	155,62	0,0067
89 H	377,04	0,0067	390,62	0,1320	19,67	-250,34	0,0067
90 H	370,96	0,0068	379,82	0,1798	26,42	95,93	0,0068
91 H	-370,96	-0,0068	-379,82	-0,1798	26,42	-377,03	-0,0534
92 H	320,99	0,0065	330,24	0,1429	21,82	171,35	0,0068
93 H	-320,99	-0,0065	-330,24	-0,1429	21,82	-314,89	-0,0115
94 H	316,37	0,0067	335,65	0,1640	24,62	95,59	0,0067
95 H	-316,37	-0,0067	-335,65	-0,1640	24,63	-329,44	-0,0509
96 H	301,44	0,0064	325,94	0,1905	29,77	53,61	0,0064
97 H	-301,44	-0,0064	-325,94	-0,1905	29,75	-301,44	0,0013
98 H	163,57	0,0058	177,85	0,1193	20,58	124,25	0,0058

X_P : Plastik mafsalsal boyu

$$X_P = \theta_P / L_P \quad (6.1)$$

θ_P = plastik dönme,

L_P =plastik mafsalsal boy değeri $=h/2=0.30$ m,

h =çalışan doğrultusundaki kesitin ebatı=0.60 metre

X_Y =akma eğrilik değeri

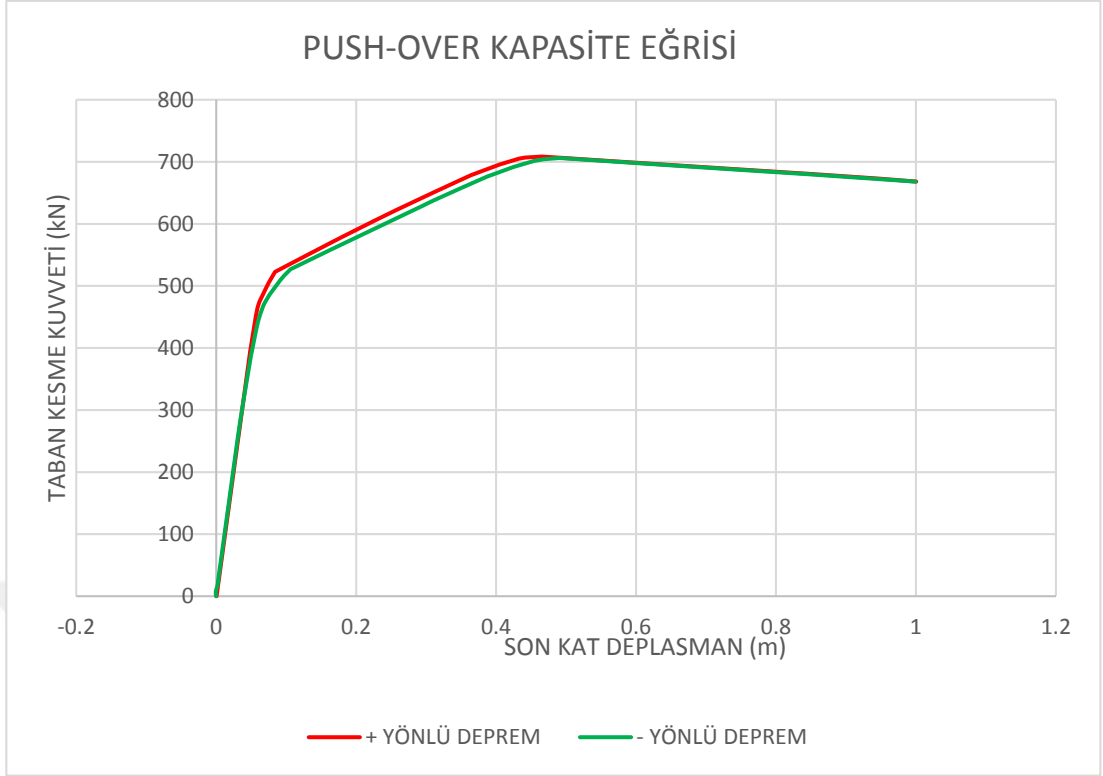
Total eğriliğin hesabı: $X_{TOP}=X_Y+X_P$ şeklinde ifade edilir.

87H kesitinde yaşanan göçme yani kırılmanın nedeni sargılanmış betona ait göçme birim boy değişiminde yaşanan aşılma olmuştur. Kesitte yaşanan kırılma anındaki yatay yer değiştirme (deplasman) 15.1 cm olarak ölçülmüştür.

Sisteme ait kapasite eğrisini elde edilmek için, o seviyeye gelindiği durumda sistem içinde meydana gelen plastik mafsalların tahmin edilen moment-eğriliğe ait değer sınırının aşılması durumunda gelmesi bununla birlikte yerelde veya genelde burkulmayı engelleyen güvenlik katsayısında aynı şekilde tahmin edilen değerlerden daha aşağıya değerlere düşmemelidir. Bu paragrafta anlatılan açıklama iki amaç doğrultusuna hizmet vermektedir. Bunlar aşağıda ifade edilmiştir.

- Limit yük kapasitesine erişildiği anda plastik mafsallarda meydana gelen eğriliklerin tamamı tekrardan incelenmelidir.
- Plastik mafsalların oluşumuyla azalmaya başlayan burkulmaya karşı güvenliğin dikkatle takip edilmelidir.

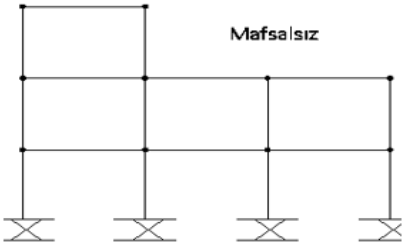
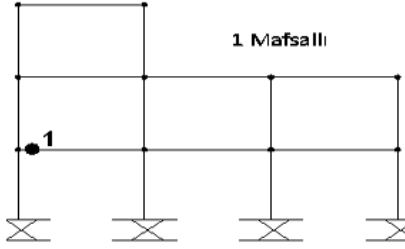
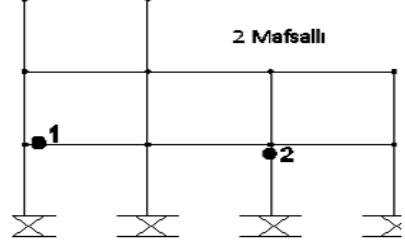
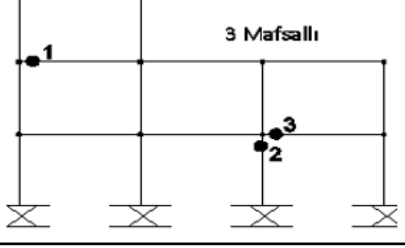
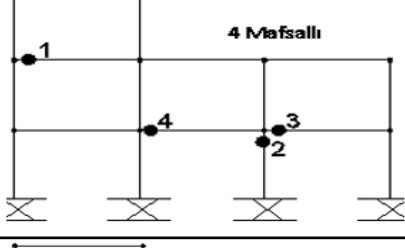
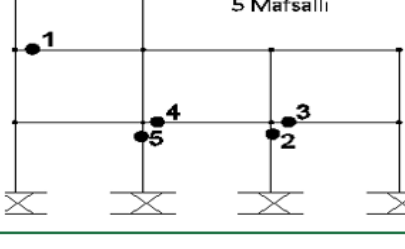
Sap 2000'de yapılan Yatay Yük Artımı Analizi sonucunda elde edilen Kapasite Eğrileri Şekil 6.4'te verilmiştir. Ayrıca plastik mafsallara ait Moment-Eğrilik grafiklerinin tamamı da Ekler kısmında Ek B olarak eklenmiştir.



Şekil 6.6. +X ve -X Yönlü Deprem Etkileri Sonucu Sistem İçin Kapasite Eğrisi

Şekil 6.64.'te ifade edildiği üzere farklı deprem yönleri olan -X ve +X yönleri etkisi altında yapılan analizler sonucunda elde edilen kapasite eğrileri birbirlerine benzer olarak elde edilmiştir.

Yatay Yük Artımı Analizi modu ile yatay kuvvetlerin +X yönlü olduğu durum incelendiğinde sistemde meydana gelen plastik mafsalların eğriliklerinin dikkatle ele alınıp incelenmiş bununla birlikte limit yüke ulaşmadan 87H isimli kesitte 255. Adımında göçme yani kırılma yaşanmıştır. Bu kırılma olayının yaşanmasına gelinen süre içinde sistem içinde toplam 13 adet farklı kesitlerde akma potansiyeline erişildiği diğer adı ile bu kesitlerde mafsallaşma olayının gerçekleşmesi görülmüştür. Sistemde yaşanan bu olayların ardından yapılan değerlendirmeler ışığında yapıda plastik mafsalların sayısının artması yani plastik mafsallar meydana geldikçe mod şekillerinin, titreşim periyotlarının ve aynı zamanda 1.moddan kaynaklı bütün katlara etkiyen kuvvetlerin tamamı Şekil 6.7 ve 6.8.'da verilmiştir.

Mafsalsız Durumu	1. Moddan Gelen Yatay Kuvvetler	1. Mod Periyodu	1. Mod Şekli
	23.36 kN 49.34 kN 29.62 kN	0,7753	1.0000 0.8807 0.6186
	21.88 kN 46.21 kN 27.73 kN	0,8417	1.0000 0.8980 0.6210
	19.73 kN 41.66 kN 25.01 kN	0,9580	1.0000 0.8980 0.6210
	19.20 kN 40.55 kN 24.34 kN	0,9911	1.0000 0.9240 0.6729
	17.70 kN 37.37 kN 22.43 kN	1,0975	1.0000 0.9311 0.6777
	16.13 kN 34.05 kN 20.44 kN	1,2328	1.0000 0.9441 0.7224

Şekil 6.7. Sistemde Bulunan Mafsalsız Durumu İle İlgili Mod Şekli, Periyot ve Katlara Etkiyen Kuvvetler

Mafsall Durumu	1. Moddan Gelen Yatay Kuvvetler	1. Mod Periyodu	1. Mod Şekli
6 Mafsallı	13.49 kN 28.50 kN 17.10 kN	1,5402	1.0000 0.9698 0.8125
7 Mafsallı	13.29 kN 26.81 kN 15.59 kN	1,5703	1.0000 0.9678 0.7978
8 Mafsallı	12.60 kN 25.41 kN 14.76 kN	1,6789	1.0000 0.9574 0.7499
9 Mafsallı	7.38 kN 14.88 kN 8.65 kN	3,2775	1.0000 0.9916 0.9690
10 Mafsallı	7.36 kN 14.86 kN 8.64 kN	3,2840	1.0000 0.9908 0.9622

Şekil 6.8. Sistemde Bulunan Mafsall Durumu İle İlgili Mod Şekli, Periyot ve Katlara Etkiyen Kuvvetler

Tabloda da görüldüğü gibi betonarme çerçeveli sistemde plastik mafsalsal sayılarının artması sonucu yapı periyodunda ciddi bir artış ile birlikte katlara etkiyen eş değer deprem kuvvetlerinde de aksi yönde ivme kazanıldığı görülmektedir.

Ortak çalışma grubunda yer alan bir diğer tez çalışmasında da artan mafsalsal sayıları ile betonarme çerçeveli sistemde meydana gelen periyot, mod şekilleri ve katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetlerinde yaşanan değişimler benzer ivmelerde olduğu görülmüştür(Ünver 49-50). Şekil 6.7 ve 6.8.'da verilmiştir.

Mafsalsal durumu	1. moddan gelen yatay kuvvetler	1. modun periyodu	1. modun şekli	Mafsalsal durumu	1. moddan gelen yatay kuvvetler	1. modun periyodu	1. modun şekli
	31.9 kN 74.4 kN 62 kN	0.825 s	1.00000 0.83897 0.56613		17.68 kN 46.65 kN 47.71 kN	1.442 s	1.00000 0.94981 0.78647
	29.72 kN 70.90 kN 62.43 kN	0.872 s	1.00000 0.85878 0.61217		17.55 kN 45.94 kN 45.21 kN	1.489 s	1.00000 0.94209 0.75059
	27.86 kN 67.72 kN 58.75 kN	0.933 s	1.00000 0.87495 0.61443		12.79 kN 34.46 kN 40.13 kN	1.990 s	1.00000 0.97017 0.91447
	24.55 kN 61.04 kN 58.30 kN	1.040 s	1.00000 0.89503 0.69207		12.84 kN 34.53 kN 39.81 kN	1.995 s	1.00000 0.96838 0.90378
	18.90 kN 49.56 kN 52.23 kN	1.318 s	1.00000 0.94392 0.80537		13.00 kN 34.66 kN 38.71 kN	2.014 s	1.00000 0.95971 0.86772
	17.73 kN 46.92 kN 48.92 kN	1.421 s	1.00000 0.95261 0.80412				

Şekil 6.9. Sistemde Bulunan Mafsalsal Durumu İle İlgili Mod Şekli, Periyot ve Katlara Etkiyen Kuvvetler[16]

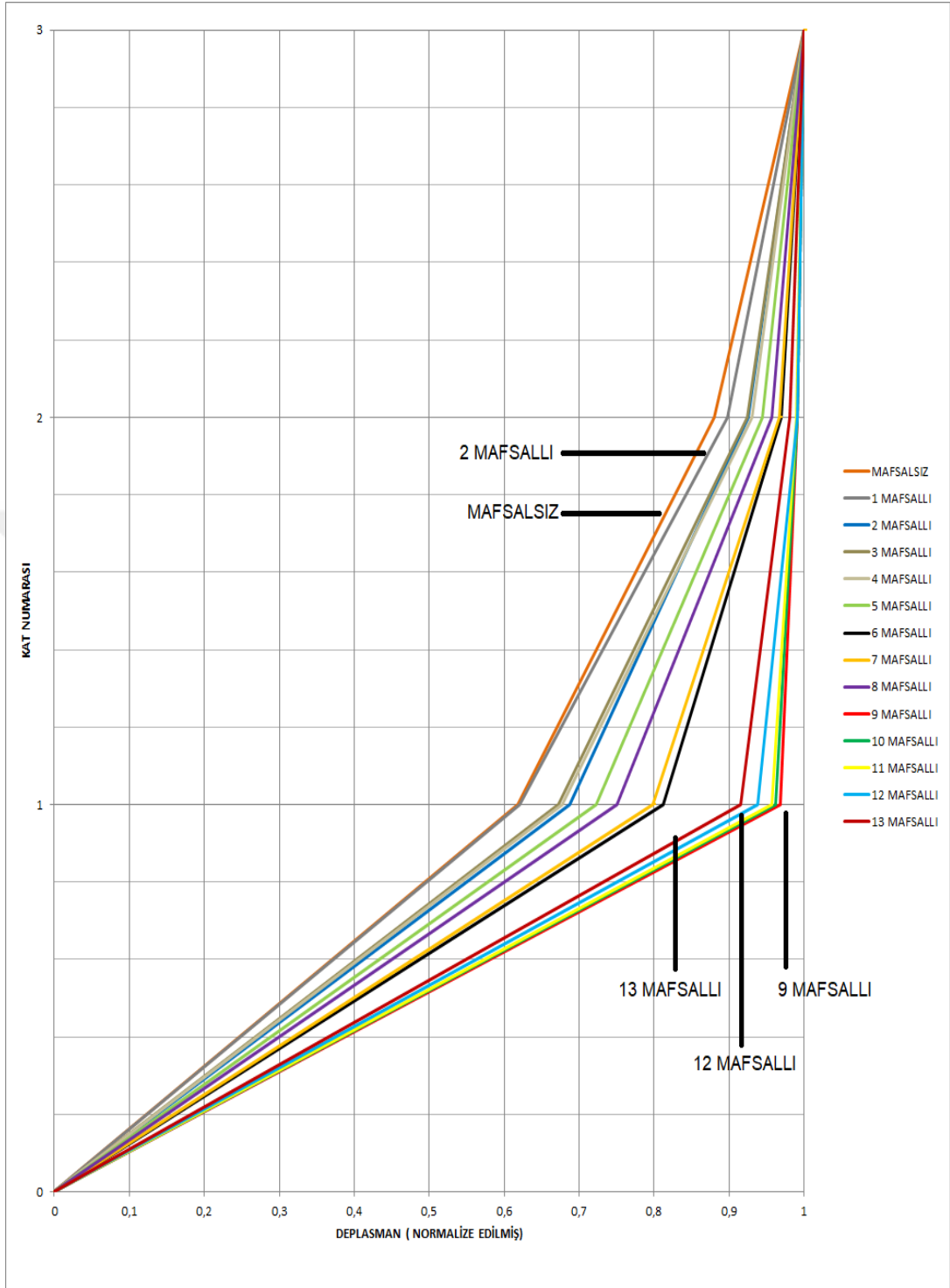
6.3. Sistemin Modlarına Ait Serbest Titreşim Karakteristikleri

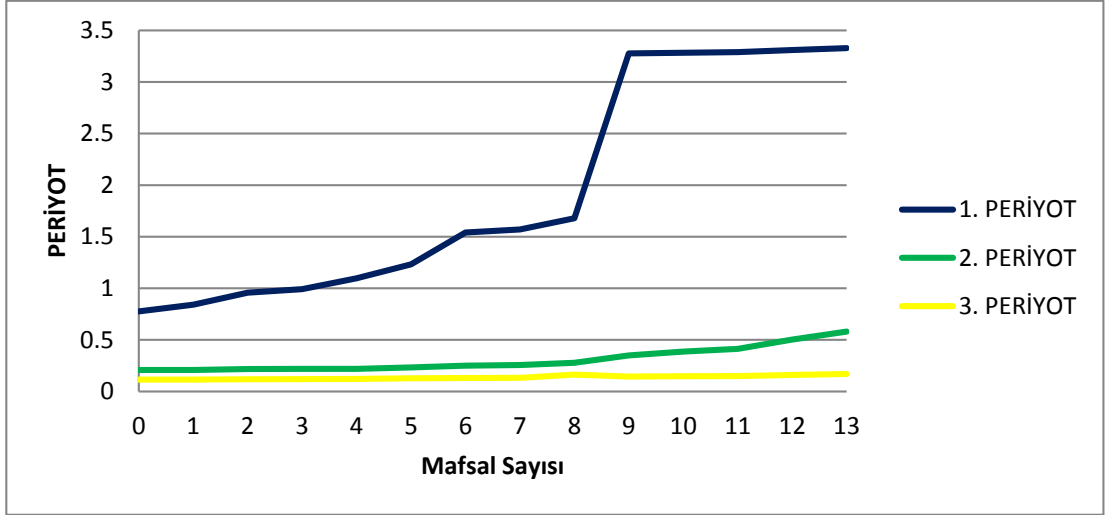
1.moddan kaynaklı tüm katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin hesabı

$$F_i = \Gamma_i * \Phi_i * M_i * S_a(T_i) \text{ (i=kat numarası) (Denk. 6.2.)}$$

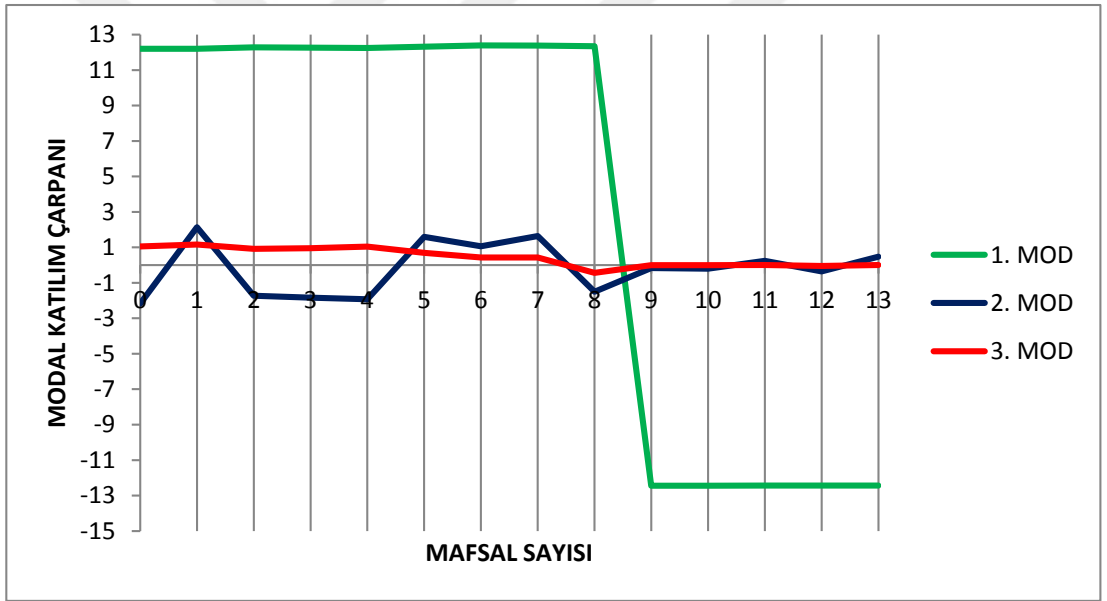
İfade edildiği üzere yapıda adi mafsalların sayısının artması ile yapıya ait 2. Ve 3. Modların periyotlarında da artış oranı fazla iken 1. Moda ait periyot değeri de dikkate değer bir artış yaşanmıştır. Bununla birlikte katlara etkiyen deprem yüklerinde de tersi durumda azalma göstermektedir.

Binanın; mafsalsız durumundan 10 mafsallı durumuna ulaşınca dek 1. Moda ait mod şekilleri, periyotlar, modal katılım çarpanları ve modal kütle katılım oranları ile mafsal sayılarına ilişkin grafikler Şekil 6.7, 6.8, 6.9. ve 6.10.'da verilmiştir.

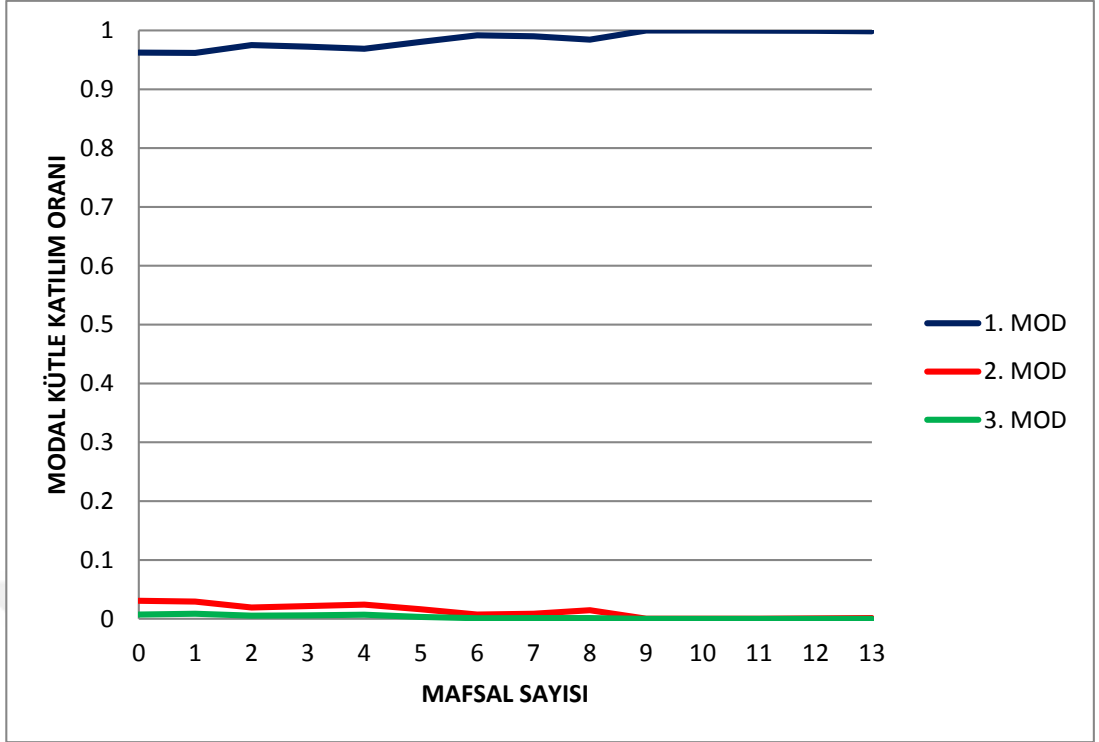




Şekil 6.11. Farklı Modların, Mafsals Sayısına Göre Periyot İle İlişkisi



Şekil 6.12. Farklı Modların, Mafsals Sayısına Göre Modal Katılım Çarpanı İle İlişkisi



Şekil 6.13. Farklı Modların, Mafsallara Sayısına Göre Modal Kütle Katılım Oranları İle İlişkisi

Yatay Yük Artırımı Analizi sonucunda oluşan mafsalların artış gösterdiği sistemdeki burkulma güvenliğinin azalması dikkat çekici bir detay olacaktır ve aşamadan sonra dikkatle incelenecektir.

Yapılan bu çalışma ile birlikte elde edilen sonuçlar ve değerlendirme yorumlarının daha güvenilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle benzer çalışma yürüten birçok akademik çalışmalar ile sonuçlar mukayese edilerek genelleme yapılabilmektedir.

7. 2 BOYUTLU SİSTEM DE BURKULMA

7.1. Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayan ve İkinci Mertebe Kuramı İle Hesap Yapılması- Burkulma Yüğü

Sistemdeki yatay yer değiştirmeler hangi nedenle artarsa artsın, büyüdükçe ikinci mertebe etkilerinin yok sayılmayacağı durumlar ortaya çıkabilmektedir.[5]

Burkulma olgusu, elastik eğrinin şekil değiştirmiş konumunun denge denklemlerinde göz önünde tutulmasını, ya da ikinci mertebe teorisi ile hesap yapılmasını gerektirmektedir. [5]

Geometri değişimleri nedeniyle doğrusal davranış sergileyen yapı sistemlerinde ortaya çıkan yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkileri büyük olurken, süreklilik denklemlerine etkileri uygulamada karşılaşılan pek çok yapı sistemi için yok sayılabilmektedir. Süreklilik denklemleri ya da geometrik uygunluk şartları; sistemdeki çubukların uçlarında her düğüm noktasında ortak bir tek dönme ortaya çıkacak, düğüm noktalarında birbirlerine rijit bağlı tüm çubukların uçları aynı dönmeyi yapacaktır. Bu durumda şekil değiştirmelerden sonra da düğüm noktalarında süreklilik koşulları sağlanıyor olacaktır. [5]

Sonuç olarak malzemenin doğrusal elastik olduğu, şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin denge denklemlerini etkileyecek kadar büyük fakat süreklilik denklemlerini (geometrik uygunluk şartlarını) etkiyemeyecek kadar da küçük varsayıldığı bu hesap, ikinci mertebe kuramı ile hesap olarak tanımlanmaktadır. [7]

Bu bölümde Yüğü-Deplasman yükleme (P-δ yükleme) statik ve lineer olmayan (2. Mertebe etkilerini dikkate alan) bir yüklemedir. Malzeme elastik kabul edilmiştir. Yani plastik mafsallar yoktur. Bunun için Sap 2000 programında kesitlerin plastik mafsallarda özelliklerinde mafsallaşmanın hemen gerçekleşmesi için kesitin akma ve daha sonraki moment ve eğrilik değerleri gerçek değerlerden çok daha büyüktür.

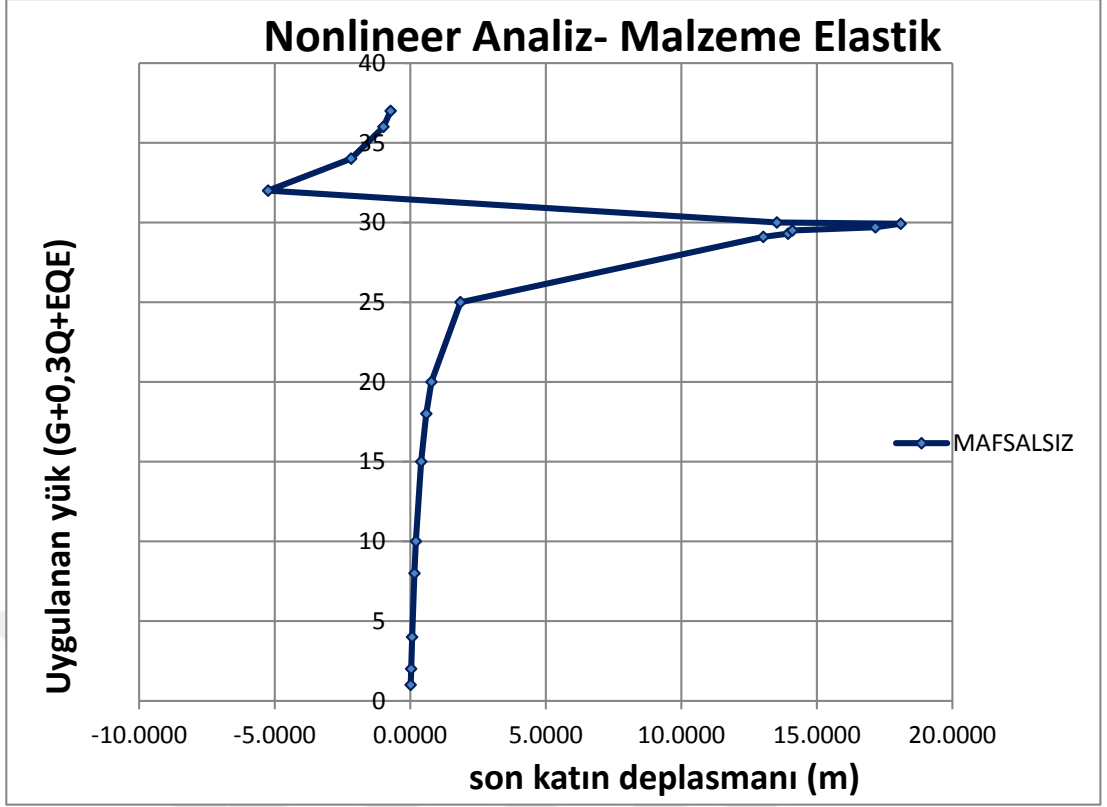
Burkulma analizi sonucunda sistemde meydana gelen $P-\delta$ ve $P/\delta-P$ arasında oluşan ilişki değerlerinin bulunduğu bütün değerler Tablo 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8. ve 7.9.'da elde edilen grafik çizimleri de Şekil 7.1.ve Şekil 7.2.de gösterilmiştir.

Sap 2000'de burkulma analizinin yani Buckling Analysis yapıldıktan sonra tüm yüklerin sabit bir oran ile artırılarak sistemde meydana gelen son kata ait deplasman değeri elde edilmiştir.

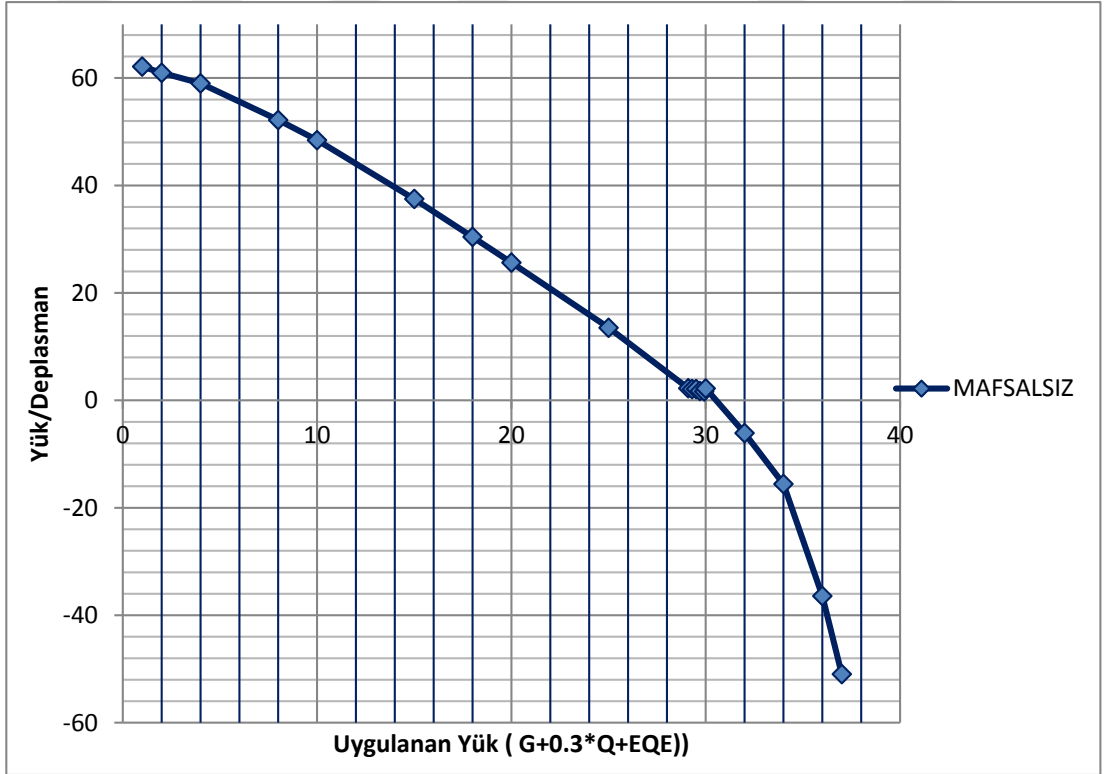
Tablo 7.1. Mafsalsız Sisteme Ait $P-\delta$ Yükleme

MAFSALSIZ		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI ($G+0.3*Q+EQE$)	YÜK/DEPLASMAN
0.0161	1	62.1118
0.0328	2	60.9756
0.0678	4	58.9971
0.1533	8	52.1853
0.2065	10	48.4262
0.4002	15	37.4813
0.5916	18	30.4267
0.7800	20	25.6410
1.8500	25	13.5135
13.0228	29.1	2.2345
13.9372	29.3	2.1023
14.0969	29.5	2.0927
17.1582	29.7	1.7310
18.0942	29.92	1.6536
13.5229	30	2.2185
-5.2443	32	-6.1019
-2.1823	34	-15.5802
-0.9884	36	-36.4236
-0.7262	37	-50.9494

Burkulma yük faktörü=29,92



Şekil 7.1. Mafsalsız Sisteme Ait P- δ Grafiği



Şekil 7.2. Mafsalsız Sisteme Ait P/ δ -P Grafiği

7.2. Kademeli Şekilde Mafsal Sayısı Artan Sistemlerde Burkulma Yük Faktörü

Ek olarak lineer olamayan analiz yapılırken yani eksenel kuvvetler altında 2. Mertebe etkilerinin göz önüne alındığı malzemenin elastik olduğu ve tüm yük değerlerin artırıldığı durumlar için, Yatay Yük Artırımı yüklemesi gibi olan sisteme de moment taşıyamayan adi mafsalların atanması ile meydana gelen burkulma yük faktörlerinin farklı mafsallara göre analizi yapıldı ve Tablo 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8. ve 7.9.'da verilmiştir.

Tablo 7.2. 1 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

1 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI (G+0.3*Q+EQE)	YÜK/DEPLASMAN
0.0181	1	55.2486
0.0367	2	54.4959
0.0758	4	52.7704
0.1692	8	47.2813
0.2257	10	44.3066
0.4465	15	33.5946
0.6850	18	26.2774
1.0050	20	19.9005
1.2250	21	17.1429
13.0228	25	1.9197
18.9850	25.1	1.3221
19.0969	25.3	1.3248
19.8600	25.5	1.2840
20.0852	25.7	1.2795
21.2236	25.91	1.2208
21.7560	26.1	1.1997
-11.3650	28	-2.4637
-3.2443	30	-9.2470
-1.8823	32	-17.0008
-0.9846	35	-35.5474

Burkulma yük faktörü=25,91

Tablo 7.3. 2 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yüklemesi

2 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YUKUN KATI (G+03*Q+EQE)	YÜK /DEPLASMAN
0.0236	1	42.3729
0.0485	2	41.2371
0.1023	4	39.1007
0.2465	8	32.4544
0.3564	10	28.0584
0.5465	12	21.9579
0.8850	14	15.8192
2.0050	16	7.9800
9.2250	18	1.9512
15.0350	18.1	1.2039
16.9850	18.2	1.0715
17.0969	18.3	1.0704
17.8600	18.5	1.0358
18.0852	18.7	1.0340
19.0365	19.02	0.9991
21.7560	20	0.9193
-3.3650	22	-6.5379
-1.2825	24	-18.7135
-0.8564	26	-30.3596
-0.4963	30	-60.4473

Burkulma Yük Faktörü =19,02

Tablo 7.4. 3 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

3 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI (G+0.3*Q+EQE)	YÜK/DEPLASMAN
0.0299	1	33.4448
0.0621	2	32.2061
0.1375	4	29.0909
0.3463	8	23.1014
0.5289	10	18.9072
0.8465	12	14.1760
1.5210	14	9.2045
3.7540	16	4.2621
9.6450	17	1.7626
10.0410	17.1	1.7030
10.6520	17.2	1.6147
11.0120	17.3	1.5710
11.4230	17.5	1.5320
11.7850	17.7	1.5019
17.4560	18.16	1.0403
-5.2130	20	-3.8366
-1.6540	22	-13.3011
-0.9470	24	-25.3432
-0.6520	26	-39.8773
-0.4412	30	-67.9964

Burkulma yük faktörü= 18.16

Tablo 7.5. 4 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yüklemesi

4 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI (G+0.3*Q+EQE)	YÜK/DEPLASMAN
0.0329	1	30.3951
0.0683	2	29.2826
0.1475	4	27.1186
0.4218	8	18.9663
0.7274	10	13.7476
1.6500	12	7.2727
2.9210	13	4.4505
7.7540	14	1.8055
9.6450	14.1	1.4619
9.8410	14.3	1.4531
10.1200	14.5	1.4328
11.0120	14.7	1.3349
11.2360	14.9	1.3261
11.4523	15	1.3098
16.2130	15.1	0.9314
-3.2130	17	-5.2910
-1.1540	20	-17.3310
-0.7630	22	-28.8336
-0.5652	24	-42.4628
-0.4412	26	-58.9302

Burkulma yük faktörü=15,1

Tablo 7.6. 5 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

5 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI	YÜK/DEPLASMAN
0.0372	11	26.8817
0.0783	2	25.5428
0.1775	4	22.5352
0.2465	5	20.2840
0.5125	7	13.6585
0.7631	8	10.4836
1.4540	9	6.1898
9.8410	10.1	1.0263
10.1200	10.3	1.0178
10.3650	10.5	1.0130
10.5980	10.7	1.0096
13.0065	10.9	0.8380
20.2130	11.06	0.5472
-4.3250	12	-2.7746
-1.2130	13	-10.7172
-0.4300	15	-34.8837

Burkulma yük faktörü=11,06

Tablo 7.7. 6 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

6 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI (G+0.3*Q+EQE)	YÜK/DEPLASMAN
0.0523	1	19.1205
0.1198	2	16.6945
0.3765	4	10.6242
0.7965	5	6.2775
0.9456	5.1	5.3934
1.3630	5.3	3.8885
1.8632	5.4	2.8982
7.8410	5.5	0.7014
10.1200	5.7	0.5632
10.3650	5.9	0.5692
10.5980	6	0.5661
24.0065	6.13	0.2553
-6.2130	7	-1.1267
-0.8950	9	-10.0559
-0.5160	10	-19.3798
-0.2100	12	-57.1429

Burkulma Yük faktörü= 6.13

Tablo 7.8. 7 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yüklemesi

7 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI (G+0.3*Q+EQE)	YÜK/DEPLASMAN
0.0575	1	17.3913
0.1298	2	15.4083
0.4565	4	8.7623
2.8450	5.1	1.7926
6.9236	5.2	0.7511
7.1630	5.4	0.7539
7.1963	5.6	0.7782
16.6520	5.85	0.3513
-11.1200	6	-0.5396
-3.3625	7	-2.0818
-1.6455	8	-4.8617
-1.0365	9	-8.6831
-0.6352	12	-18.8917
-0.4524	14	-30.9488

Burkulma yük faktörü=5,85

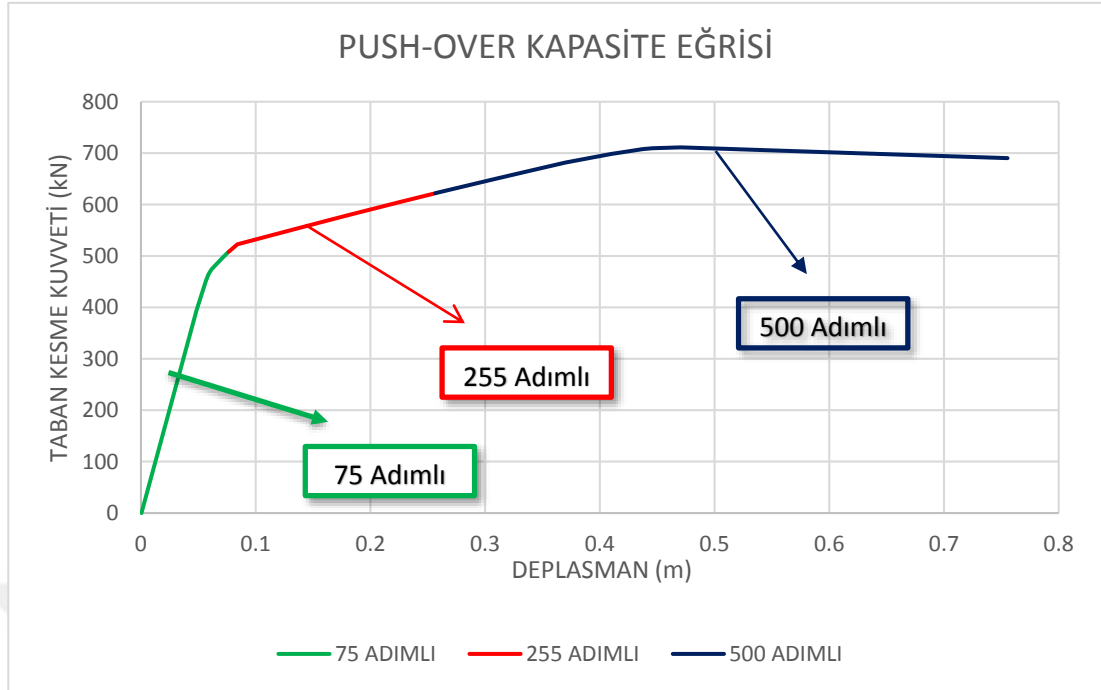
Tablo 7.9. 8 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yüklemesi

8 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜKÜN KATI (G+0.3*Q+EQE)	YÜK/DEPLASMAN
0.0612	1	16.3372
0.1398	2	14.3062
0.2896	3	10.3591
0.7456	4	5.3648
1.1200	4.3	3.8393
1.5556	4.5	2.8928
2.7365	4.7	1.7175
7.3652	4.9	0.6653
8.4562	5	0.5913
9.1974	5.1	0.5545
76.6630	5.31	0.0693
-8.1200	6	-0.7389
-2.3565	7	-2.9705
-1.2365	8	-6.4699
-1.0365	9	-8.6831
-0.5932	12	-20.2293
-0.4456	14	-31.4183

Burkulma faktörü=5,31

Bu çalışma sonucunda da anlaşılabacağı üzere mafsalsız sistemden başlayıp 8 mafsallı sisteme geçiş süresi boyunca burkulma yük faktörünün değeri 29.91'den 5.31'e kadar düşmektedir. Yatay Yük Artımı Analizi sonucunda sistemin 8. Mafsala ulaştığı adım ise 75'te gerçekleşmektedir. Bu haliyle var olan sistem için 255. Adım ile 87H isimli kesitte kırılma yaşandığı böylelikle dönme kapasitesinin de sonuna doğru gelindiğinde fakat henüz sistem 75. Adımına eriştiğinde burkulma güvenlik değerinin aşağılara düştüğü görülmüştür. Bu detaylara altında sistemin limit yüke ulaşmadan önce bir kesitte dönme kapasitesinin aşıldığı yani erken göçme başlamıştır. Bu göçme kavramından öncede burkulma yük faktörü değerinin çok aşağıya düşmesi ile birlikte sistem burkulmadan dolayı göçme yük değerine ulaşmıştır denilebilmektedir. Yatay Yük Artımı Analizi sonucunda göçme adımı ve burkulma yük faktör değerinin çok fazla azaldığı bununla birlikte göçme adımlarının da aynı kapasite eğrisi altında gösterilen grafik Şekil 7.3.'de gösterilmiştir.

Sistemde kademe kademe artırılan plastik mafsalların karşısında burkulma güvenliğinde yaşanan azalmanın sonuçları Şekil 7.4, 7.5. ve 7.6.'da verilmiştir.



Şekil 7.3. Yapının Burkulma ve Pushover Analizinde Göçme Durumlarını Kapsayan Kapasite Eğrisi

Tablo 7.10. Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü

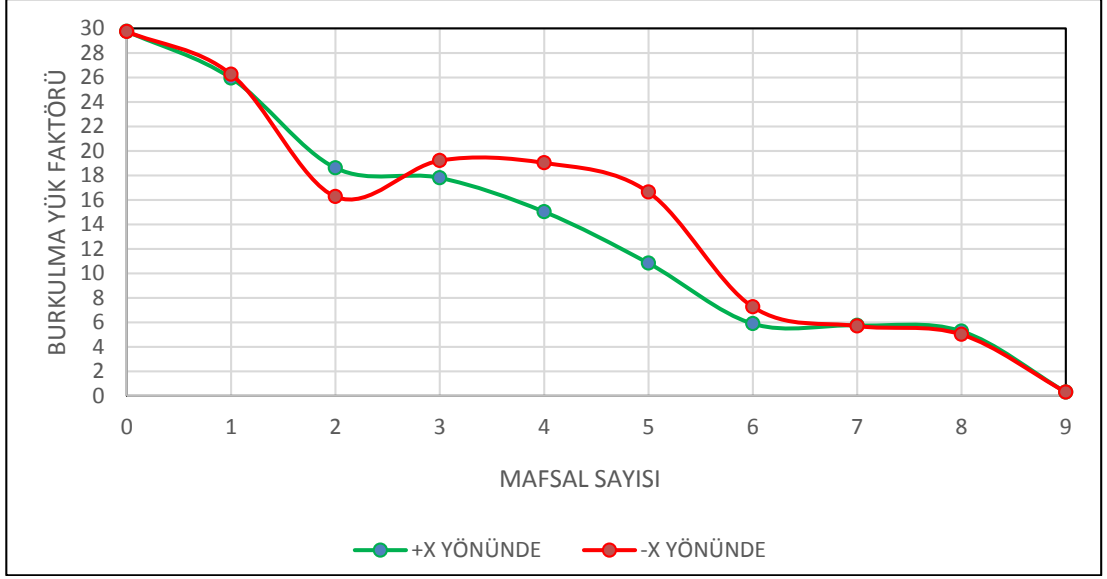
Mafsal Durumu	Deprem +X Yönünde		Deprem -X Yönünde	
	Burkulma Yük Faktörü	Periyot (s)	Burkulma Yük Faktörü	Periyot (s)
mafsalsız	29,753	0,775	29,751	0,7754
1 mafsallı	25,941	0,842	26,256	0,896
2 mafsallı	18,609	0,958	16,265	1,0036
3 mafsallı	17,797	0,991	19,214	0,9965
4 mafsallı	15,029	1,098	19,026	1,0455
5 mafsallı	10,827	1,233	13,634	1,1325
6 mafsallı	5,889	1,540	7,263	1,4123
7 mafsallı	5,751	1,570	5,703	1,6321
8 mafsallı	5,277	1,679	5,011	1,8363

Bu çalışmayı destekleyen başka bir tez çalışmasında da farklı yönlerde etkililen deprem kuvvetleri ile yapıda meydana gelen burkulma yük faktörü ve periyotlarında yaşanan değişim farklılıkları benzer eğilim göstermektedir. Artan mafsallı sayıları ile azalan burkulma yük faktörü ve buna bağlı olarak yapı periyodunun artışı gözlemlenmiştir (Ünver 66). Tablo 7.11.'de gösterilmiştir.

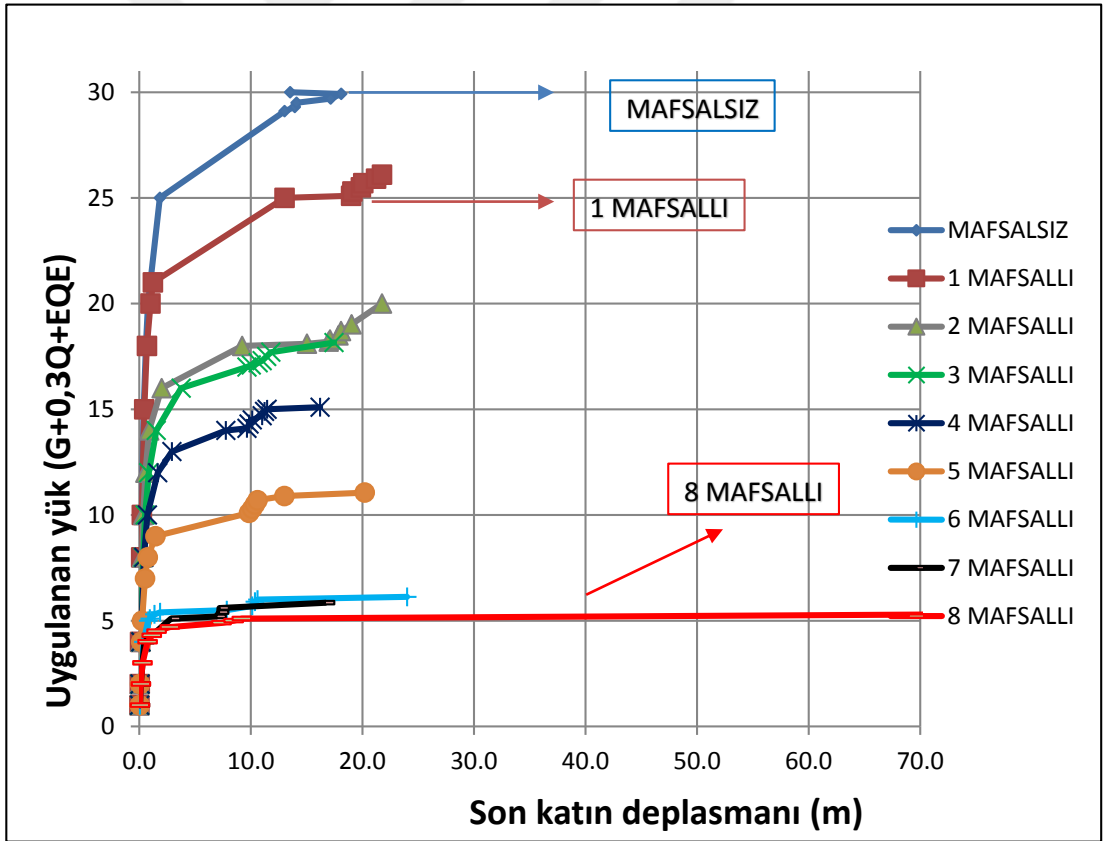
Tablo 7.11. Mafsallı Sayısının ve Deprem Kuvveti yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü[16]

Mafsallı durumu	Deprem +X Yönlü		Deprem -X Yönlü	
	Burkulma Yük Faktörü	Periyot (s)	Burkulma Yük Faktörü	Periyot (s)
mafsalsız	23.77	0.825	23.77	0.82524
1 mafsallı	20.22	0.872	21.03	0.89117
2 mafsallı	18.24	0.933	15.66	1.00034
3 mafsallı	13.59	1.040	15.07	1.03338
4 mafsallı	7.84	1.318	13.61	1.09636
5 mafsallı	6.86	1.421	11.43	1.22397
6 mafsallı	6.78	1.442	8.54	1.36561
7 mafsallı	6.61	1.489	6.19	1.53211
8 mafsallı	3.15	1.990	3.15	1.98972

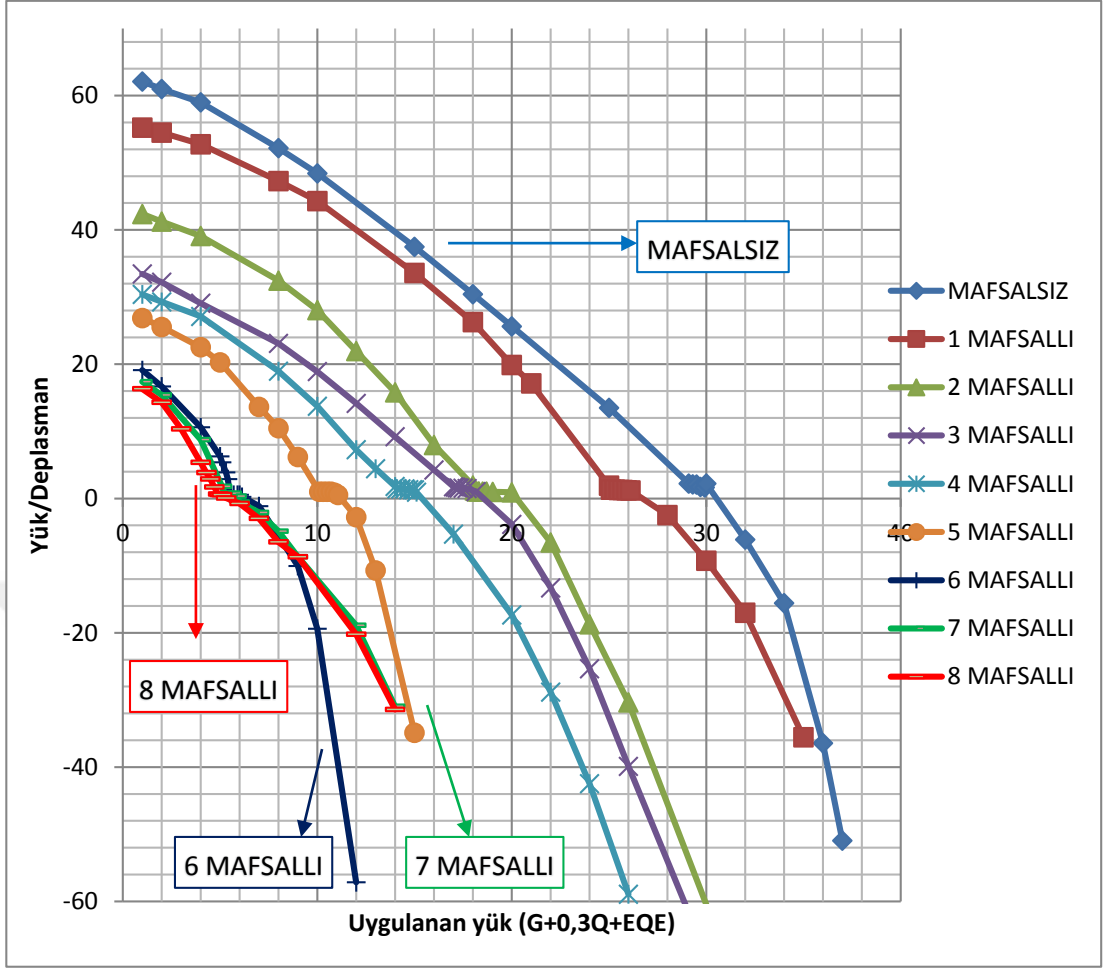
Burada dikkat edilesi asıl nokta; Burkulma Yük Faktörünün üzerindeki yatay yük kuvvetinin çok fazla etkisinin bulunmadığı, artırılan mafsallı sayıları ile birlikte burkulma yük faktörünün önemli oranda düşüş göstermesidir.



Şekil 7.4. +X ve -X Yönlü Deprem Etkileri Sonucu İle Mafsalsal Sayısı Burkulma Yüğü İlişkisi



Şekil 7.5. Farklı Mafsalsal Durumlarından Elde Edilen P-δ Grafiği



Şekil 7.6. Farklı Mafsallı Durumlarından Elde Edilen P/δ-P Grafiği

8. YAPININ 3 BOYUTLU MODELLENMESİ

Çok katlı yapılarda artan kat sayısı ve yükseklik sebebi ile düşey yüklere göre yatay yüklerin etkisi daha fazladır. Bir deprem bölgesi olan ülkemizde bu çeşit binaların yanal deprem kuvvetleri altındaki performansı, konu üstünde dikkatle durulmalı ve araştırılması elzem bir konu başlığıdır. Yaşadığımız yüzyıl ile birlikte gelişen teknoloji yardımıyla yeni hesap yöntemleri ve uygulama programları kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür programlar sayesinde bütün yapıları 3D modelleme ve varsayımlar üzerine farklı yükler altında seri bir şekilde çözümleyebilmektedir. Bu çalışma da kullanılan yapı programı olan Sap2000 teorik olarak etkili bir hesaplama ve çözümleme metodu olarak Sonlu Elemanlar Metodunu referans olarak kabul edilmektedir. Çalışmanın konusunun içine dahil edilen 3-boyutlu betonarme bir yapının modellenmesi, tasarımının gerçekleştirilmesi, statik itme (pushover) analizinin yapılması ve deprem kuvvetleri altında göstermiş olduğu davranış ve performansı incelenecektir. Kullanılan malzemelerin ve dizayn detayları ise;

Malzemeler: C 30 / BÇIII, S 420

Yapı kat sayısı toplamı: 3

Normal Kat Sayısı: 2 (h=3.00 metre)

Zemin Kat Sayısı: 1 (h= 3.00 metre)

Deprem Bölgesi:1. Deprem Bölgesi

Zemin Sınıf: ZB (az ayrışmış-orta sağlam kayalar)

Zemin Emniyet Gerilmesi: 3 kg/cm²

Zemin İçsel Sürtünme Açısı(Φ): 30

Binanın süneklik düzeyi: Yüksek süneklikli,

Yapının Katlarında: Kirişli Döşeme ve döşemenin yüksekliği $h_f=15$ cm'dir.

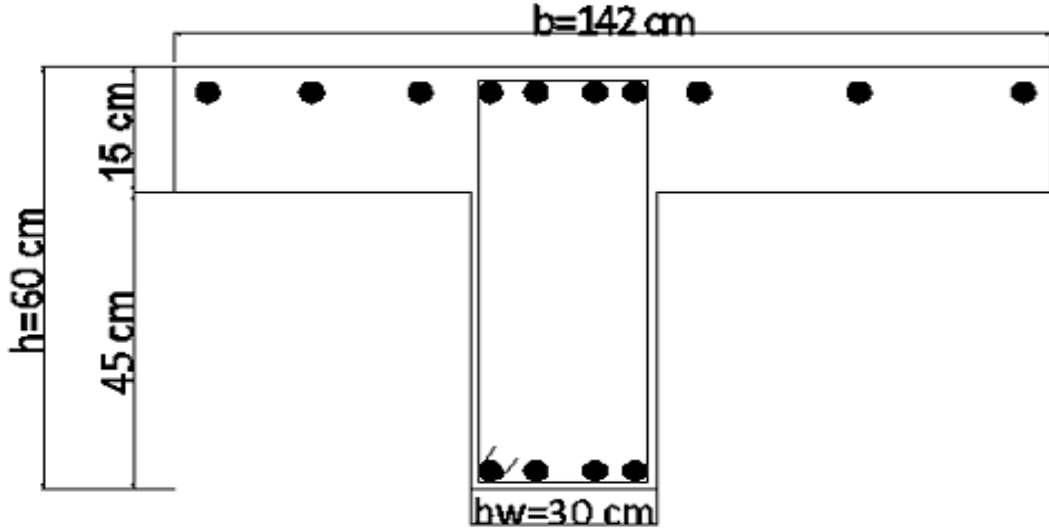
Sıva Beton yükü= 2 kN/m²

Hareketli Yükün değeri: $q= 5$ kN/m²

Akslarda Bulunan Yayılı Yüklerin Değeri: 2 kN/m²

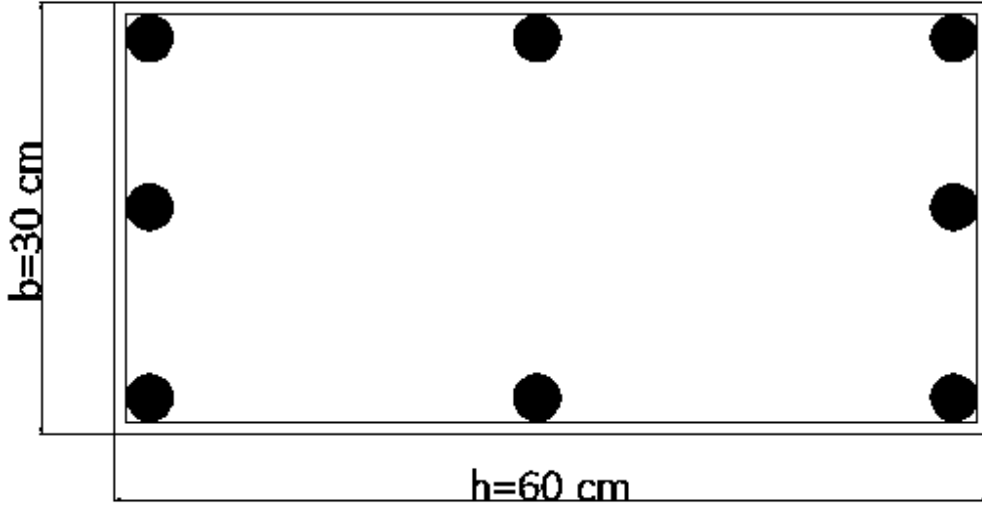
8.1. Malzeme, Kesitler ve Ölü-Hareketli Yüklerin Tanımlanması

Kirişler Şekil 8.1.'de gösterildiği gibi 30/60/15-142 cm boyutlu olarak tasarlanmıştır.



Şekil 8.1. Yapıda Bulunan Kirişlerin En Kesiti

Kolonlarda da iki farklı format vardır. S1 kolonları 30*60 iken S2 kolonları 60*30'dur. Her iki kolonda simetri donatı şekline sahiptir. Şekil 8.2. 'de gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Yapıda Bulunan Kolonların En Kesiti

8.1.1. Taşıyıcı Betonarme Elemanların Üzerinde Bulunan Yüklerin Hesabı

Kirişler için birim uzunluk ağırlıklarının hesaplanması: $0.30 \times 0.44 \times 30 = 3.96 \text{ kN/m}$

Kolonlar için birim ağırlık hesabı: $(0.30 \times 0.60 \times 30) \times 3 = 16.2 \text{ kN}$

İç-Dış bölme duvarlara ait ağırlıklar ve kalınlıklar: $2 \cdot (3 - 0.6) = 4.8 \text{ kN/m}$ (19mm-14mm)

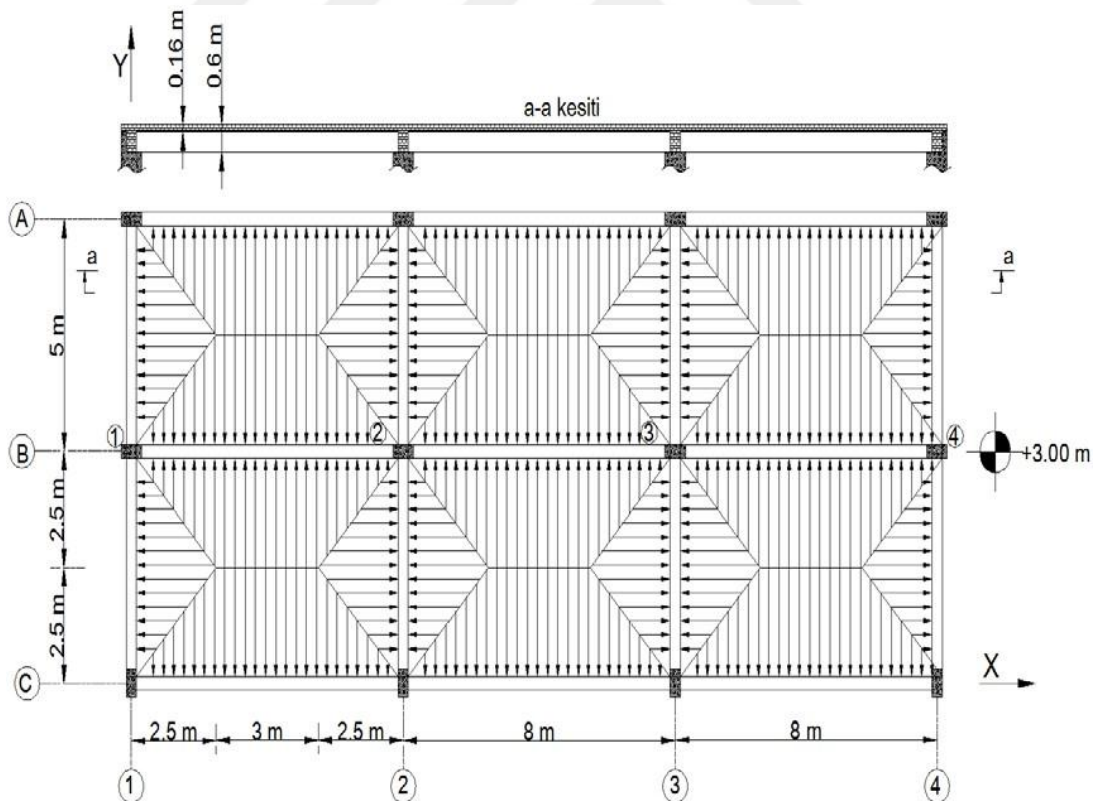
Döşemelerin Ölü yükleri: $0.15 \cdot 30 + 2 = 6.5 \text{ kN/m}^2$

Döşemede yatay taşıyıcı betonarme eleman kirişlere gelen ölü ve hareketli yükler

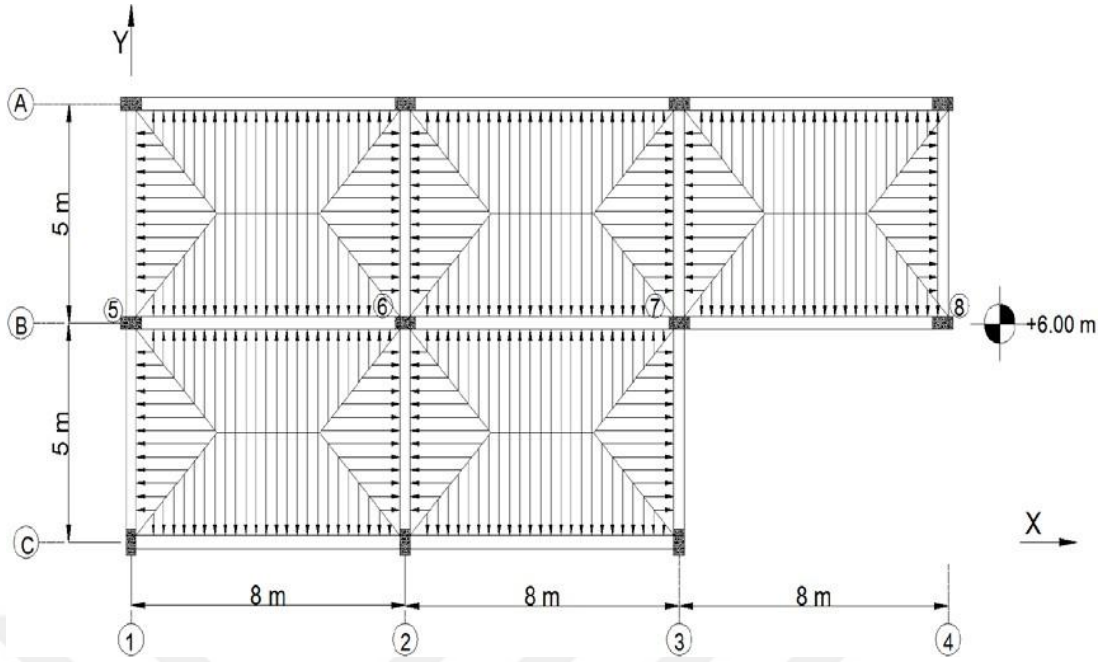
$$g_1 = 6 \cdot 2.5 = 15 \text{ kN/m}, q_1: 2 \cdot 2.5 = 5 \text{ kN/m}$$

8.1.2 Ölü ve Hareketli Yüklerin Kat Planı Üzerindeki Yük Dağılımının Gösterimi

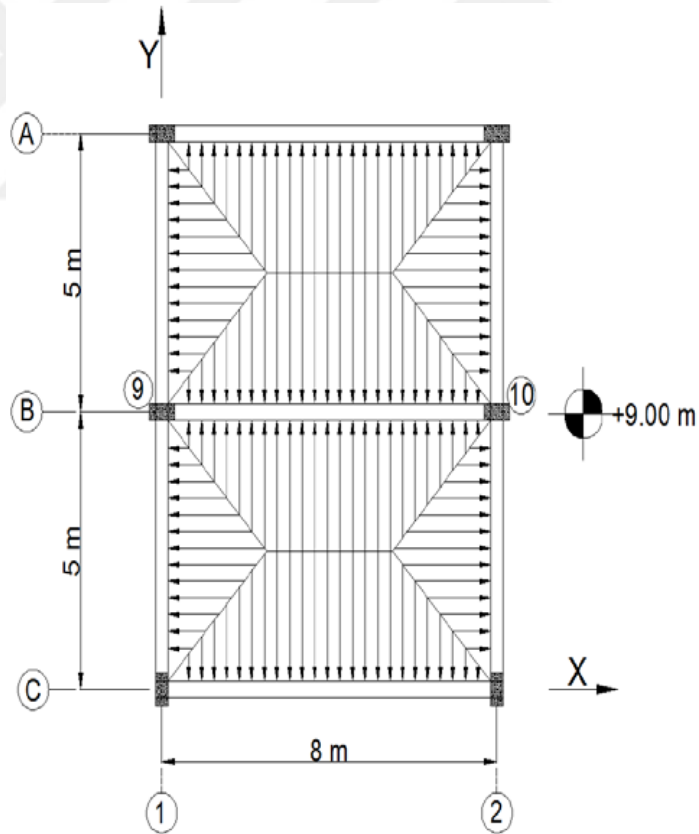
Sistemde bulunan döşemeler bu döşemelerden kirişlere aktarılan yüklerin ve sisteme ait diğer kotlarda bulunan kat planı kesitleri Şekil 8.3, 8.4. ve 8.5.'te verilmiştir.



Şekil 8.3. Yapıda Bulunan Z= 3.00 Metre Kotu Kat Planı



Şekil 8.4. Yapıda Bulunan Z= 6.00 Metre Kot Kat Planı



Şekil 8.5. Yapıda Bulunan Z= 9.00 Metre Kot Kat Planı

8.2. Yapı ve Kat Ağırlıkları İle Yapı Periyodunun Bulunması

3 Boyutlu modellemeye devam edebilmek için yapıya bir önceki adımda bulunan ölü hareketli yükler Sap2000'e aktarılmıştır. Bununla birlikte TS500'e göre tasarımı yapılan kolon ve kiriş kesitleri de sisteme tanıtılmıştır. Bu veriler ışığında sırada yapı ve kat ağırlıklarının bulunması bir sonraki adımda ise yapı periyodunun bulunması amaçlanmıştır

8.2.1. Yapı ve Kat Ağırlıklarının Bulunması

Yapıya TBDY 2018 yönetmeliğine uygun şekilde deprem yükü etkiyebilmek için her bir katın ağırlığı ile yapının toplam ağırlığının da hesaplanması gerekmektedir. Temel kural ise; döşemler kendilerine etkiyen yükleri ve ağırlıkları bağlı olduğu kirişlere ve kirişlerde kolonlara aktarır. Böylelikle kolon uçlarındaki eksenel yük seviyelerinin bulunması kat ağırlığının dolayısıyla yapı ağırlığının da bulunması demektir.

Sap 2000 ile her katın ağırlığı ve toplam yapı ağırlığı hesaplanmıştır. Tablo 8.1.'de yazılmıştır.

Tablo 8.1. Kat ağırlıkları ve Toplam Yapı Ağırlığı

	3.KAT	2. KAT+ 3.KAT	1.KAT+2.KAT+3.KAT
	184.831	461.474	728.398
	189.903	698.953	1233.698
	371.273	146.739	620.318
	366.771	177.631	141.954
	181.342	574.458	1397.183
	192.983	1218.824	2146.173
		876.756	1511.948
		472.243	667.551
		654.730	753.683
		356.700	1169.739
		190.622	870.717
			470.722
TOPLAM	1487.103	5829.130	11712.084
	3.KAT	2.KAT	1.KAT
	1487.103	4342.027	5882.954
			TOPLAM YAPI AĞIRLIĞI (W)
			11712.084 kN

8.2.2. Yapının Doğal Titreşim Periyodunun Bulunması

Yapı Mühendisliğinde basit anlatım ile yapının periyodu veya bir diğer deyişle yapının doğal titreşim periyodu demek; deprem kuvvetlerinin etkisi altında yapının harekete başlama zamanı ile yapının tekrar eski konumuna gelmesi arasında geçen süreye denir.

Bir yapının deprem kuvvetlerinin etkisi altında analizi için yapının doğal titreşim periyodunun bilinmesi gerekmektedir. Çok karmaşık olmayan yapıların deprem hesabında kullanılan eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapıya gelecek olan deprem yükü yapının doğal titreşim periyodu (ya da birinci mod periyodu) ile direkt ilgilidir. Bununla birlikte birinci mod her zaman X yönünü ifade eder gibi bir algı vardır. Bu doğru değildir. Sistem analiz edildikten sonra yapının 1. Mod hareket yönüne bakılır ve buna göre doğal titreşim periyodunun yönü ve sayısal değerine ulaşılmış olur.

Bunlara ek olarak yapı doğal titreşim periyotlarını bulabilmek için öncelikle sisteme kütle kaynağının tanıtılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan yapı programı olan Sap2000'e kütle kaynağı olarak G+0.3Q sisteme tanımlanır. Kütle kaynağından belirtilen 0.3 katsayısı; bina türü yapılar için hareketli yük kütle katılım katsayısıdır. (Tablo 8.2.). Tablo 8.3. de yapının doğal titreşim periyotları verilmiştir.

Tablo 8.2. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (TBDY 2018 Tablo 4.3.)

Binanın Kullanım Amacı	η
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

Tablo 8.3. Yapı Doğal Titreşim Periyodu

PERİYOTLAR		
Mod 1	1.08068	y doğrultusunda
Mod 2	0.88297	x doğrultusunda
Mod 3	0.72889	burulma

8.3. TBDY 2018'e Göre Eşdeğere Deprem Yüğü Hesabı

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönetimi, yükseklik olarak fazla olmayan yapılarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Deprem doğrultusu üzerinde yapı dinamik davranışlarının taşıyıcı sistemdeki hakim titreşim modunda oluşan davranışları ile ifade edilen hesaplama yöntem metodudur. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, yalnız 1. Mod etkisi altında yapılan dinamik analizi yöntemi diye de adlandırılır. Ancak 1. Moda ait kütle katılım oranının yüksek çıkması, elbette bütün durumlarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin kullanılacağı anlamını da taşımamaktadır. Uygulanabilirliği farklı faktör ve karakterler ile ilişkilidir.

8.3.1. Yapı Hakkında Bilgiler

Binanın bulunduğu konum: M.Akif Mahallesi (Enlem:41.054545, Boylam:28.80175)

Zemin Cinsi: ZB (az ayrılmış, orta sağlam kayalar)

Deprem Yer Hareket Düzeyi: DD-2 (50 sene de aşılma olasılık değeri %10 (tekrarlanma periyot süresi 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi)

Bina Türü: Konut

Taşıyıcı Sistem: Deprem Etklerinin tamamını moment olarak aktarabilen süreklilik seviyesi yüksek betonarme çerçeveler ile karşılanan yapılar.

Bina Kat Sayısı: 3, Bina Yüksekliği: Tüm katlarda 3 metre

Yapının X Yönü Periyodu (T_x): 0.88297 sn (Tablo 8.2.)

Yapının Y Yönü Periyodu (T_y): 1.08068 sn (Tablo 8.2.)

Yapının Ağırlığı: 11712.084 kN (Tablo 8.1.)

8.3.2. X ve Y Yönü Toplam Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Hesaplanması

Bu aşama ile birlikte yukarıda yapı ve zemin hakkında verilmiş bilgilerle birlikte yapının her iki yönde de toplam eşdeğer deprem yükleri hesaplanacaktır. Bunun için ortak işlem adımları ile birlikte tamamlanacaktır.

8.3.3. Deprem ve Yer Hareketlerine Ait Veriler

Deprem yer hareketlerine ilişkin verilere; "Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulaması" (<https://tdth.afad.gov.tr>) internet sayfasından elde edilmektedir.

$S_s = 0.888$	$S_1 = 0.250$	$S_{DS} = 0.799$	$S_{D1} = 0.200$
$PGA = 0.367$	$PGV = 22.901$		

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

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

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 8.6. Deprem ve Yer Hareketine Ait Sonuçlar

8.3.4. Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsısının (I) Bulunması

Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı(I), Binaların kullanım amacına göre TBDY 2018'de sayfa 15'de bulunan Tablo3.1'den faydalanarak belirlenir. Tablo 8.4.'te bu tablo gösterilmiştir.

Tablo 8.4. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Bu tabloya göre binanın türü konut olduğu için Bina Kullanım sınıfı (BKS)= 3 ve buna bağlı olarak Bina Önem Katsayısı(I)=1'dir.

8.3.5. Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi (DTS)

Deprem tasarım sınıfının belirlenebilmesi için Tablo 8.4.'ten elde edilen BKS ile interaktif web uygulamasından alınan S_{DS} bilgilerine bağlı olarak TBDY 2018'de sayfa 16 bulunan Tablo 3.2'den faydalanarak belirlenir. Tablo 8.5.'te bu tablo gösterilmiştir.

Tablo 8.5. Deprem Tasarım Sınıfları(DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Şekil 8.6.'da daha önce $S_{DS} = 0.799$ olarak bulunmuştur. BKS değeri de Tablo 8.4.'te de elde edildiği gibi BKS=3'tür. Bu bilgiler ile birlikte;

$0.75 \leq S_{DS} = 0.799$ ve BKS=3 verilerin kesiştiği bölümde Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)=1 olarak elde edilir.

8.3.6. Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi (BYS)

Bina Yükseklik Sınıfı (BYS); Tablo 8.5.'ten elde edilen Deprem Tasarım Sınıfı(DTS) ve bina yüksekliğine(H_N) bağlı olarak TBDY 2018'de sayfa 17 bulunan Tablo 3.3.'ten faydalanarak belirlenir. Tablo 8.6.'te bu tablo gösterilmiştir.

Tablo 8.6. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Tablo 8.5.'ten elde edilen Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)=1 olarak bulundu. H_N değeri ise binanın toplam yüksekliğidir. Binanın 3 katlı ve her kat yüksekliğimiz 3.0 metre olarak daha önce belirtilmişti. Bu bilgiler ile birlikte;

DTS=1 ve $H_N = 3 \times 3.0 = 9.0$ m bina yüksekliği ile verilerin kesiştiği bölümde Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)=7 olarak elde edilmiş olur.

8.3.7. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin Kullanılabilirliğinin Kontrolü

Her zaman Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi kullanılamaz ve bununla birlikte buna karar verebilmek içinde TBDY 2018'de sayfa 49'da bulunan Tablo4.4'ten faydalanarak belirlenir. Tablo 8.7.'te bu tablo gösterilmiştir.

Tablo 8.7. Binalar da Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin Uygulanabilirlik Kontrolü

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6

Tablo 8.6.'dan elde edilen Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)=7 olarak bulundu. Tablo 8.5'ten de Bina Tasarım Sınıfı(BTS)=1 olarak elde edildi. Binanın burulma düzensizliği hakkında şuan bir bilgiye sahip olunmadığı için diğer tüm binalar bölümü ve BYS=7≥5 olduğundan bina için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılabilir.

8.3.8. Toplam Yapı Kütlesinin Belirlenmesi (m_t)

$$m_t: \text{Toplam yapı kütlesi} = \sum_i^N m_i = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots m_N ; \quad (8.1)$$

$$m_i = m_{Gi} + nm_{Qi} \quad (\text{i. katın kütlesi}) \quad (8.2)$$

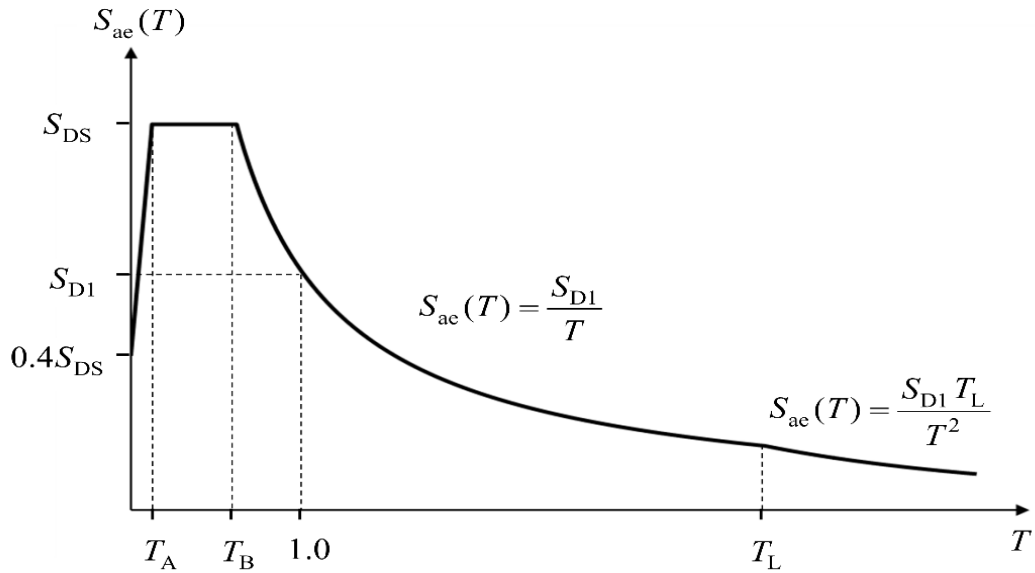
n hareketli yük azaltma katsayısı olup Tablo 8.2. den $n = 0.3$ olarak elde edilmiştir.

$W=11712.084$ kN (Tablo 8.1.)

$$m_t = \frac{W(kN)}{g(m/sn^2)} \quad (8.3)$$

$$m_t = \frac{11712.084}{9.81} = 1193.89 \text{ kNsn}^2/m$$

8.3.9. X Yönu Toplam Eşdeğer Deprem Yüğüünün Belirlenmesi



Şekil 8.7. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Herhangi bir deprem hareketine ait düşey elastik yer ivmesi koordinatları mevcut düşey elastik spektral ivmelerin $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyodu ile ilişkili şekilde yerçekimi ivmesi (g) türünden Denk. (8.3)'te tanımlanır. Şekil 8.7'de bu spektrum gösterilmiştir.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (8.3)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (8.4)$$

$$T_L = 6 \text{ sn} \quad (8.5)$$

$$S_{aR}(T_p^{(X)}) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (8.6)$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t * S_{aR}(T_p^{(X)}) \quad (8.7)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.20}{0.799} = 0.2503 \text{ sn}$$

$$T_A = 0.2 * T_B = 0.2 * 0.2503 = 0.0501 \text{ sn}$$

$$T_X = 0.88297 \text{ sn}$$

$$T_B \leq T \leq T_L (0.2503 \leq 0.88297 \leq 6)$$

$$T_L = 6 \text{ sn}$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T_X} = \frac{0.20}{0.88297} = 0.2265g = 2.222 \text{ m/sn}^2$$

$R_a(T)$ = Deprem yükü azaltma katsayısı aşağıdaki koşullara göre belirlenir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (8.8)$$

$R_a(T)$ = Deprem yükü azaltma katsayısının belirlenebilmesi için R: Taşıyıcı sistem davranış katsayı değeri ayrıca D: Dayanım fazlalığı katsayı değeri TBDY 2018'de sayfa 35-38 Tablo 4.1.'den alınır. Tablo 4.1. Ek B bölümünde mevcuttur.

"Tablo 4.1. Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları" da yapı için uygun olan deprem etkilerinin tamamı moment aktarabilen süneklilik seviyesi oldukça fazla betonarme çerçeveler ile karşılanan yapılar ve İzin verilen Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)=7 ile tablodan elde edilen veriler;

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayı Değeri (R)=8

Dayanım Fazlalığı Katsayı Değeri (D)=3 olarak elde edilmiştir.

$$T_X > T_B \text{ olduğundan } R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1} = 8$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t * S_{aR}(T_p^{(X)}) \quad S_{aR}(T_p^{(X)}) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (8.9)$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t * \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} = 1193.89(kNsn^2/m) * \frac{2.222 m/sn^2}{8}$$

$$= 331.305 kN$$

$$V_{tEmin}^{(X)} \geq 0.04 * V_{tE}^{(X)} * I * S_{DS} * g \quad (8.10)$$

$$= 0.04 * 331.305 * 0.799 * 9.81 = 103.873 kN$$

$V_{tE}^{(X)} > V_{tEmin}^{(X)}$ olduğundan işlemlerde $V_{tE}^{(X)}$ kullanılacaktır.

8.3.10. Y Yönü Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.20}{0.799} = 0.2503 sn$$

$$T_A = 0.2 * T_B = 0.2 * 0.2503 = 0.0501 sn$$

$$T_Y = 1.08068 sn$$

$$T_B \leq T \leq T_L (0.2503 \leq 1.08068 \leq 6)$$

$$T_L = 6 sn$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T_Y} = \frac{0.20}{1.08068} = 0.1851g = 1.82 m/sn^2$$

$$T_Y > T_B \text{ olduğundan } R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1} = 8$$

$$V_{tE}^{(Y)} = m_t * \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} = 1193.89(kNsn^2/m) * \frac{1.82 m/sn^2}{8}$$

$$= 271.61 kN$$

$$V_{tEmin}^{(Y)} \geq 0.04 * 271.61 * 0.799 * 9.81 = 85.157 kN$$

$V_{tE}^{(Y)} > V_{tEmin}^{(Y)}$ olduğundan işlemlerde $V_{tE}^{(Y)}$ kullanılacaktır.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 * N * V_{tE}^{(X)} \quad (8.11)$$

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_N) \frac{W_i H_i}{\sum_{i=1}^N W_i H_i} \quad (8.12)$$

X ve Y yönlerine ait taban kesme kuvvetlerinin Toplam Eşdeğer Deprem Yüklerini Tablo 8.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 8.8. X ve Y Yönleri Toplam Eşdeğer Deprem Yükleri

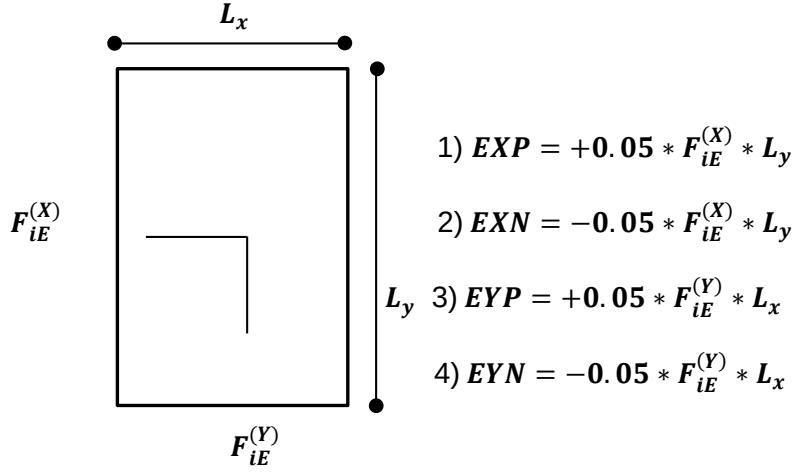
kat	W_i	H_i (yerden yüksekliği)	$W_i H_i$	$\frac{W_i H_i}{\sum_{i=1}^N W_i H_i}$	$V_{tE}^{(X)}$	$V_{tE}^{(Y)}$	$\Delta F_{NE}^{(X)}$	$\Delta F_{NE}^{(Y)}$	$F_{tE}^{(X)}$	$F_{tE}^{(Y)}$
3	1487.10	9.00	13383.90	0.2345	331.31	271.61	7.45	6.11	83.3831	68.3590
2	4342.03	6.00	26052.18	0.4564					147.7976	121.1672
1	5882.95	3.00	17648.85	0.3092					100.1243	82.0838
		$\sum W_i H_i$	57084.93						331.31	271.61

8.4. Kat Hizalarına Etkiyen Deprem Yükleri ve Ek Kat Burulma Momentlerinin Bulunması

Deprem hesabının Denk. 8.6'ya ilişkin modal yöntemlerin kullanılması durumlarında modellemenin kolay olması açısından deprem yüklerinin kaydırılabilmesi yerine, kat kütle merkezlerine atanan kat kütlelerine m_i ile birlikte, kat kütle eylemsizlik momentine de $m_{i\theta}$ 'ya Denk.(8.13) de tarif edilen $\Delta m_{i\theta}$ değer artımı eklenmesi makuldür.[1]

$$\Delta m_{i\theta} = m_i e^2 \quad (8.13)$$

Yönetmelikte de belirtildiği gibi ek dış merkezliği de hesap yaparken dikkate almalı ve sistemi buna uyarak çözmek gerekmektedir. Ek dış merkezlik ise; Rijitlik merkezi ile kütle merkezlerinin çakışmaması durumunda deprem kuvvetlerinin yapı rijitlik merkezi etrafında döndürmeye çalışacaktır. Çünkü deprem kuvveti kat kütle merkezine etki eder. Her yön için %5 oranında ek dış merkezlik dikkate alınarak ek kat burulma momentleri hesaplanmalıdır.



$F_{iE}^{(X)}$ = Depremden dolayı i. kata X doğrultusunda etkiyecek kuvvet

$F_{iE}^{(Y)}$ = Depremden dolayı i. kata Y doğrultusunda etkiyecek kuvvet

$M_{ib}^{(X)}$ = i. kata X doğrultusunda etkiyecek kat burulma Momenti

$M_{ib}^{(Y)}$ = i. kata Y doğrultusunda etkiyecek kat burulma Momenti

$$F_{iE}^{(X)} = \left(V_{tE}^{(X)} - \Delta F_N \right) \frac{W_i H_i}{\sum_{i=1}^N W_i H_i} \quad (\text{Denk. 8.12})$$

W_i = i. katın ağırlığı

H_i = i. katın yerden yüksekliği

EXP= Depremden dolayı X yönünde etkiletilecek pozitif dış merkezlik(ek kat burulma momenti)

EXN= Depremden dolayı X yönünde etkiletilecek negatif dış merkezlik(ek kat burulma momenti)

EYP= Depremden dolayı Y yönünde etkiletilecek pozitif dış merkezlik(ek kat burulma momenti)

EYN= Depremden dolayı Y yönünde etkiletilecek negatif dış merkezlik(ek kat burulma momenti)

Tablo 8.9.'da kat seviyelerine gelen eşdeğer deprem yüklerini ve ek kat burulma momentlerini göstermektedir.

Tablo 8.9. Kat Seviyelerine Gelen Deprem Yükleri ve Ek Kat Burulma Momentleri

kat	W_i	H_i (yerden yüksekliği)	$W_i H_i$	$\frac{W_i H_i}{\sum_{i=1}^N W_i H_i}$	$V_{tE}^{(X)}$	$V_{tE}^{(Y)}$	$\Delta F_{NE}^{(X)}$	$\Delta F_{NE}^{(Y)}$	$F_{tE}^{(X)}$	$F_{tE}^{(Y)}$	L_x	L_y	$M_{ib}^{(X)}$	$M_{ib}^{(Y)}$	YÜK TİPİ	Force Global X veya Force Global Y	Moment about Global Z
3	1487.10	9.00	13383.90	0.2345	331.31	271.61	7.45	6.11	83.3831	68.3590	24.00	10.00	41.6915	82.0308	EXP	83.3831	41.6915
															EXN	83.3831	-41.6915
															EYP	68.3590	82.0308
															EYN	68.3590	-82.0308
2	4342.03	6.00	26052.18	0.4564					147.7976	121.1672			73.8988	145.4007	EXP	147.7976	73.8988
															EXN	147.7976	-73.8988
															EYP	121.1672	145.4007
															EYN	121.1672	-145.4007
1	5882.95	3.00	17648.85	0.3092					100.1243	82.0838			50.0622	98.5006	EXP	100.1243	50.0622
															EXN	100.1243	-50.0622
															EYP	82.0838	98.5006
															EYN	82.0838	-98.5006
		$\sum W_i H_i$	57084.93						331.31	271.61						SARI BÖLGEDEKİ DEĞERLER SAP2000'E AKTARILACAK	

8.5. Deprem Yüklerinin ve Ek Kat Burulma Momentlerinin Kat Kütle Merkezlerine Atanması

Daha önce elde edilen ve her kata, her iki doğrultuda etkiyen deprem kuvvetlerinin ve bu deprem kuvvetlerinden kaynaklanan ek kat burulma momentleri de elde edilmiştir. Bulunan bu değerleri, yönetmeliğinde detaylandığı gibi kat kütle merkezlerine atanmalıdır.

$$X_{com} = \frac{\sum (x.m)}{\sum m} \quad (8.14)$$

X= herhangi bir noktanın koordinatları

m= herhangi bir noktanın kütlesi

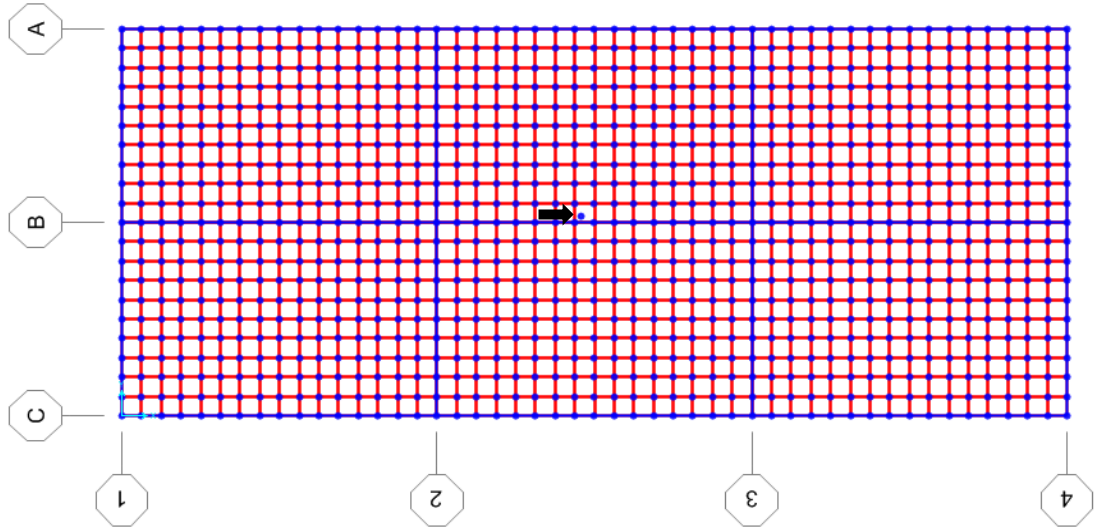
Bu formülasyon ile Sap2000'den aldığımız verilerin sonucunda her kat için kat kütle merkezlerini elde edilmiş olmaktadır.

Tablo 8.10'da her katın atanacak olan kat kütle merkez koordinatlarını göstermektedir.

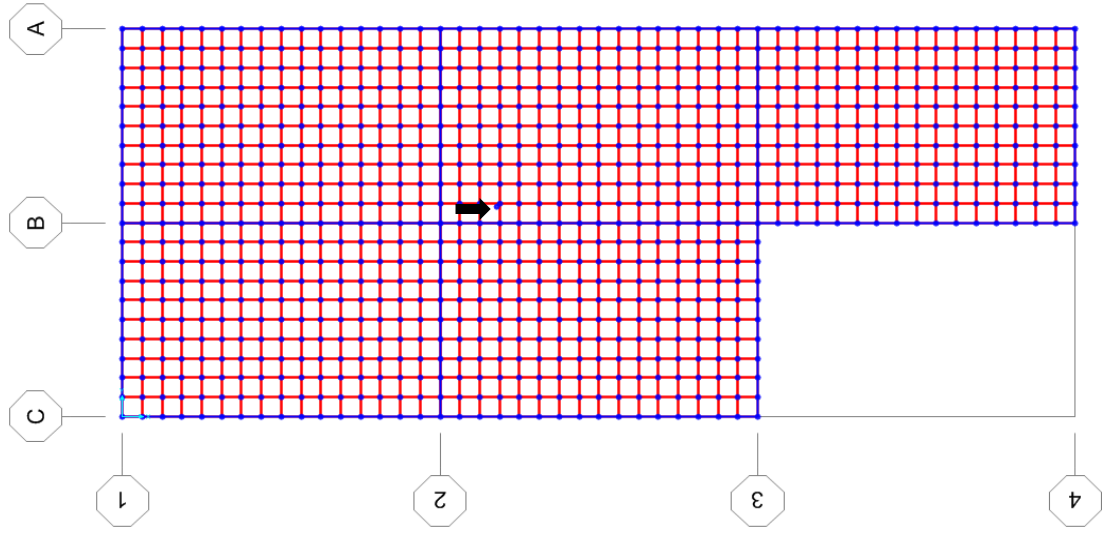
Tablo 8.10. Tüm Katların Kat Kütle Merkezlerinin Kordinatları

KAT	X	Y	Z
3	4	4.999730076	9
2	9.419185406	5.422315755	6
1	11.65193265	5.146973139	3
BU DEĞERLER SAP2000'E GİRİLECEKTİR.			

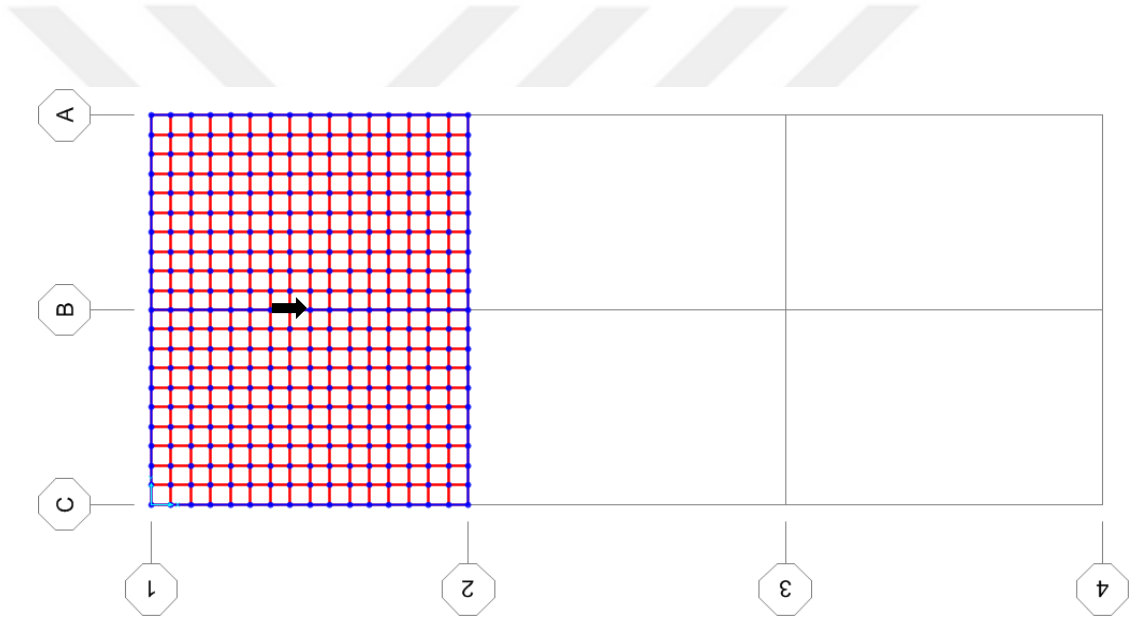
Şekil 8.8, 8.9 ve 8.10' Sap2000' de atanmış kat kütle merkezlerinin gösterimini göstermektedir.



Şekil 8.8. 3.00 metre Kotu 1. Katın Kat Kütle Merkezi



Şekil 8.9. 6.00 metre Kotu 2. Katın Kat Kütle Merkezi



Şekil 8.10. 9.00 metre Kotu 3. Katın Kat Kütle Merkezi

9. TBDY 2018'E GÖRE YAPI DÜZENSİZLİKLERİNİN KONTROLLERİNİN YAPILMASI

Yapılara etkiyen yatay ve düşey yüklerin etkileri altında nizami şekilde taşıyıcı sistem bağlantıları bununla birlikte temel seviyesine kadar aktarılmasını, yapı güvenliği bakımından çok fazla önemli bir durumdur. Düzensizliğe sahip yapılarda deprem davranışı bakımından nizami yapılar kadar etkili olmadığını yürütülecek araştırmalar ve çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu sebeple plan üzerinde bulunan ve düşeyde düzensizliğe sahip yapılarda deprem yönetmeliğinde bazı sınırlama koşulları belirtilmektedir. Bu sınırlandırma ve kontrol şartlarını 2. Bölümde detaylı olarak incelendi. Bu çalışmanın amacı modellenen binanın yönetmeliğe uygunluğunu ve uygunsuzluk durumunda yapı modellemesinde ne tür değişiklikler yapılabilir konusu üzerine inceleme yapılacaktır.

DBYBHY-2007 ile TBDY-2018'de düzensizliklerin bulunduğu durumlar, planda düzensizlik ve düşeyde düzenlik başlıkları altında 2 bölümde incelenmiştir. Planda düzensizliğin olduğu durumlar; A1 burulma düzensizliğinin olması, A2 döşeme süreksizliğinin olması, A3 planda girinti-çıkıntılar bulunma durumları olarak detaylandırılmıştır. Düşey doğrultuda bulunan düzensizliğe ait durumlar ise; B1 zayıf kat diğer adı ile komşu katlar arası dayanım düzensizliği, B2 yumuşak kat bir diğer adı ile komşu katlar arası rijitlik düzensizliği ve B3 taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği konularını belirtmiştir.

Bunlara ek olarak düzensizlik sınıfına girmemesine karşı modellenen binaya ek olarak birkaç kontrol daha yapılacaktır. Modellenen yapı için görel kat ötelemeleri kontrolü ile birlikte ikinci mertebe etkileri incelenecektir.

9.1. Burulma Düzensizliğinin Kontrolü (A1)

Binaların tasarım seviyesinde asimetric tasarımlarının yapılması ya da deprem sırasında açığa çıkan taşıyıcı sistem bölümlerinde kesit kayıplarının yaşanması durumunda, yapının rijitlik merkezlerinin, kütle merkezlerinden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu gibi durumlarda depremden kaynaklanan yatay kuvvetler, rijitlik

merkezine uygulandığında, binaya ağırlık merkezinden geçecek düşey eksen çevresinde döndürebilme eğilimine sahip güç ortaya çıkar. Bu etkiler ile birlikte, düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yüksek seviyede kesit zorlamalarına neden olacaktır.

Yapı da yönetmeliğin belirtilen düzensizlikler var mıdır sorusuna cevap aramak için ve yapının kararlı olup olmadığını tespit edebilmek için azaltılmış görelî kat ötelemelerine ihtiyaç vardır. Bu değerler ile bu kontroller yapılacaktır. Azaltılmış görelî kat ötelemeleri demek; ardışık iki kat arasında oluşan yer değiştirme farkına denir. Deprem yükü azaltma katsayısına bölündüğünde elde edilen veri azaltılmış görelî kat ötelemesinin elde edilmiş olmaktadır.

Daha önce Sap2000'de yapı için EXP, EXN, EYP ve EYN olarak 4 adet deprem kuvveti tanımlanmıştı. Bunlara ek olarak sisteme Tablo 9.1.'de anlatıldığı gibi her aks birleşiminde bulunan bütün kolonlara tanımlanan deprem tiplerine göre birim kuvvet dahil edildi ve böylece azaltılmış görelî kat öteleme değerlerini elde edildi. Tablo 9.1. Sap2000'den alınan değerlerdir. Buradan alınan değerler yapı düzensizlikleri için kullanılacaktır.

Tablo 9.1. Azaltılmış Kat Öteleme Değerleri

AKSLAR	DEPREM TİPİ	Δ (azaltılmış görelî ötelenme)	AKSLAR	DEPREM TİPİ	Δ (azaltılmış görelî ötelenme)
XA-K1	EXP	0.004206	Y1-K1	EXP	-0.001062
XA-K1	EXN	0.00444	Y1-K1	EXN	-0.000332
XA-K1	EYP	0.000394	Y1-K1	EYP	0.006177
XA-K1	EYN	0.000855	Y1-K1	EYN	0.007613
XA-K2	EXP	0.002011	Y1-K2	EXP	-0.000328
XA-K2	EXN	0.002113	Y1-K2	EXN	-0.000053
XA-K2	EYP	0.00019	Y1-K2	EYP	0.002428
XA-K2	EYN	0.000391	Y1-K2	EYN	0.00297
XA-K3	EXP	0.001196	Y1-K3	EXP	-0.000168
XA-K3	EXN	0.001314	Y1-K3	EXN	-0.000018
XA-K3	EYP	-0.000039	Y1-K3	EYP	0.001048
XA-K3	EYN	0.000193	Y1-K3	EYN	0.001342
XB-K1	EXP	0.004656	Y2-K1	EXP	-0.000342
XB-K1	EXN	0.004583	Y2-K1	EXN	-0.000105
XB-K1	EYP	-0.00012	Y2-K1	EYP	0.005354
XB-K1	EYN	-0.000264	Y2-K1	EYN	0.005822
XB-K2	EXP	0.002153	Y2-K2	EXP	-0.000102
XB-K2	EXN	0.002132	Y2-K2	EXN	-0.000022
XB-K2	EYP	-0.000054	Y2-K2	EYP	0.002037
XB-K2	EYN	-0.000094	Y2-K2	EYN	0.002194
XB-K3	EXP	0.001357	Y2-K3	EXP	0.00009
XB-K3	EXN	0.001331	Y2-K3	EXN	9.51E-06
XB-K3	EYP	0.000023	Y2-K3	EYP	0.001146
XB-K3	EYN	-0.000028	Y2-K3	EYN	0.000988
XC-K1	EXP	0.005105	Y3-K1	EXP	0.000377
XC-K1	EXN	0.004725	Y3-K1	EXN	0.000123
XC-K1	EYP	-0.000635	Y3-K1	EYP	0.004531
XC-K1	EYN	-0.001384	Y3-K1	EYN	0.004031
XC-K2	EXP	0.002294	Y3-K2	EXP	0.000124
XC-K2	EXN	0.002151	Y3-K2	EXN	8.19E-06
XC-K2	EYP	-0.000299	Y3-K2	EYP	0.001646
XC-K2	EYN	-0.000579	Y3-K2	EYN	0.001419
XC-K3	EXP	0.001518	Y4-K1	EXP	0.001096
XC-K3	EXN	0.001349	Y4-K1	EXN	0.00035
XC-K3	EYP	0.000084	Y4-K1	EYP	0.003708
XC-K3	EYN	-0.000249	Y4-K1	EYN	0.00224

Tablo 9.1.'den alınan azaltılmış görelî kat öteleme değeri ile yönetmelikte verilen

sınır değeri olan $\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^{(x)})_{maks}}{(\Delta_i^{(x)})_{ort}} > 1.2$ (Denk. 2.2) sağlamak zorundadır.

Buradaki η_{bi} Burulma Düzensizliği Katsayısı olarak verilmiştir. Tablo 9.2. de burulma düzensizlik kontrolleri yapıldı.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2$$

$$(\Delta_i)_{max} = (d_i)_{max} - (d_{i-1})_{max} \quad (\text{Denk.2.1})$$

$$(\Delta_i)_{min} = (d_i)_{min} - (d_{i-1})_{min} \quad (\Delta_i)_{ort} = ((\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}) / 2$$

Ayrıca η_{bi} burulma düzensizliği katsayısını elde edebilmek için Denk. 2.1. den faydalanılmalıdır. Yönetmelikte verilen bu denklem ve sınır koşulları ile yapının burulma düzensizliği hakkında fikir sahibi oluruz. Tablo 9.2.'de yapılan hesaplama gösterilmiştir.

Tablo 9.2.'de yapının 1. Ve 2. Katlarında burulma düzensizliğine rastlandı, 3. Katta ise bu düzensizlik söz konusu değildir. Bu çalışma doğrultusu ile birlikte düzensizliğin giderilmesi adına Dbi eşdeğer deprem büyütme katsayısı hesaplandı. Hesaplanan bu değeri kat kütle merkezine atanan dört deprem kuvvetleri ile çarpılır ve daha sonra Sap2000'e yeni hesaplanan eşdeğer deprem yükleri atanır. Bu birinci çözüm yoludur. Diğer çözüm yolu ise taşıyıcı yapı elemanlarının yeniden tasarlanması ve devamında eşdeğer deprem yükü hesabının tekrarlanması işlemidir.

Tablo9.3'te eşdeğer deprem yükü büyütme katsayısı ile kat kütle merkezlerine yeniden atanması gereken EXP, EXN, EYP ve EYN deprem kuvvetlerinin artırılması ile yapılan hesaplama gösterilmiştir.

Tablo 9.2. Burulma Düzensizliği Kontrolü

1.KAT																			
AKSLAR	DEPREM TİPİ	Δ (azaltılmış görelî öteleme)	AKSLAR	DEPREM TİPİ	Δ (azaltılmış görelî öteleme)	AKSLAR	DEPREM TİPİ	Δ (azaltılmış görelî öteleme)	AKSLAR	DEPREM TİPİ	Δ (azaltılmış görelî öteleme)								
XA-K1	EXN	0.00444	XA-K1	EXP	0.00421	Y1-K1	EYN	0.00761	Y1-K1	EYP	0.00618								
XB-K1	EXN	0.00458	XB-K1	EXP	0.00466	Y2-K1	EYN	0.00582	Y2-K1	EYP	0.00535								
XC-K1	EXN	0.00473	XC-K1	EXP	0.00511	Y3-K1	EYN	0.00403	Y3-K1	EYP	0.00453								
						Y4-K1	EYN	0.00224	Y4-K1	EYP	0.00371								

Tablo 9.2.'de de görüldüğü gibi 3. Katta burulma düzensizliği yoktur. Bununla birlikte 1. Kat ve 2. Katta burulma düzensizliği durumu söz konusudur. Bu katlarda $\max n_{bi}$ değeri 1.2'den büyük çıktı ve bu durum yönetmeliğe aykırıdır. Bu katlardaki burulma düzensizliğini ortadan kaldırmak için yönetmelikte verilen D_{bi} büyüme katsayısını kullanılması gerekmektedir.

$\max n_{bi} > 1.2$ den büyük olduğu için D_{bi} katsayısı hesaplanır ve bu değer EXP, EXN, EYP, EYN deprem kuvvetlerinin ek kat burulma momentlerinin her biri D_{bi} ile çarpılarak kat kütle merkezlerine tekrar girilir ve yapı burulma düzensizliği ortadan kaldırılır. Tablo 9.3.'te büyütme katsayısı kullanılarak Sap2000'de kat kütle merkezlerine tekrar girilecek değerler elde edildi. Kırmızı sütunlarda gösterilen değerler Sap200'e girilecek yeni değerlerdir ve bundan sonraki çalışmalar bu değerler kabul edilerek devam edecektir.

Tablo 9.3. Burulma Düzensizliğinin D_{bi} Büyütme Katsayısı İle Düzeltilmesi

kat	W_i	H_i (verden yüksekliği)	$W_i H_i$	$\frac{W_i H_i}{\sum_{i=1}^N W_i H_i}$	$V_{tE}^{(X)}$	$V_{tE}^{(Y)}$	$V_{tE}^{(X)}$	$V_{tE}^{(Y)}$	$\Delta F_{NE}^{(X)}$	$\Delta F_{NE}^{(Y)}$	$F_{tE}^{(X)}$	$F_{tE}^{(Y)}$	L_x	L_y	$M_{tb}^{(X)}$	$M_{tb}^{(Y)}$	YÜK TİPİ	D_{bi}	Force Global X veya Force Global Y	Moment about Global Z	Düzenlenmiş Moment about Global Z
3	1487.10	9.00	13383.90	0.23445924			83.3831	68.3590			83.3831	68.3590			41.6915	82.0308	EXP	1	83.3831	41.6915	41.6915
															41.6915	82.0308	EXN	1	83.3831	-41.6915	-41.6915
																	EYP	1	68.3590	82.0308	82.0308
																	EYN	1	68.3590	-82.0308	-82.0308
2	4342.03	6.00	26052.18	0.45637579			147.7976	121.1672	7.45	6.11	147.7976	121.1672	24.00	10.00	73.8988	145.4007	EXP	1.271976935	147.7976	73.8988	93.9976
															73.8988	145.4007	EXN	1.271976935	147.7976	-73.8988	-93.9976
																	EYP	1.271976935	121.1672	145.4007	184.9463
																	EYN	1.271976935	121.1672	-145.4007	-184.9463
1	5882.95	3.00	17648.85	0.309168287			100.1243	82.0838			100.1243	82.0838			50.0622	98.5006	EXP	1.658334719	100.1243	50.0622	83.0198
															50.0622	98.5006	EXN	1.658334719	100.1243	-50.0622	-83.0198
																	EYP	1.658334719	82.0838	98.5006	163.3469
																	EYN	1.658334719	82.0838	-98.5006	-163.3469
		$\sum W_i H_i$	57094.93				331.31	271.61													
																					YENİ GİRİLECEK DEĞERLER

$$a_x > 0.2L_x \quad (9.1)$$

$$a_y > 0.2L_y \quad (9.2)$$

a_x : X Yönünde bulunan çıkıntı mesafesi

a_y : Y Yönünde bulunan çıkıntı mesafesi

L_x : X Yönünde toplam kat uzunluğu

L_y : Y Yönünde toplam kat uzunluğu

TBDY 2018’de planda çıkıntılar için verilen sınır denklemlerine yapı incelenecektir.

$a_x = 8.0$ metre, $a_y = 5.0$ metre

$L_x = 24.0$ metre, $L_y = 10.0$ metre

$$a_x > 0.2L_x \quad 8.0 > 0.2 \cdot 24.0$$

$$a_y > 0.2L_y \quad 5.0 > 0.2 \cdot 10.0$$

Yapıda her iki yönde de planda çıkıntı düzensizliği mevcuttur.

Yönetmelikte belirtildiği üzere T, H, L, Y ve U şekillerine sahip planlarda çıkıntılara olan binalarda deprem yüklerinin yapı düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenli biçimde aktardığı iki boyutlu (membran) sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasıyla çözümlenmesi veya planda var olan kısımlar derz ile bölünmelidir. Dilatasyon derzi uygulanmaya durumlarda köşe bölgelerinde istenmeyen burulma ve gerilme yoğunlukları oluşacaktır.

9.4. Komşu Katlar Arasında Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat (B1)

Ülkemizde bulunan yapılarda, özellikle dikkat edilmesi gereken zemin katta bulunan dolgu duvarlarının ticari ve keyfi sebeplerle yıkılması, zemin katın diğer üst katlardan daha az kesme alanına sahip olmasına neden olmaktadır. Bu da zayıf kat etkilerinin ortaya çıkması demektir. Yeni yapılacak yapılarda yeni yönetmelik ile birlikte modelleme ve çözümleme aşamalarında bu durum daha dikkatli şekilde ele alınmalıdır ve bu yapı güvenliği konusunda hayati bir öneme sahiptir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de B1 tipi düzensizliği, “Betonarme yapılarda, birbirine dik olan iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir katta oluşan” etkili kesme alanının, bir üst katta oluşan etkili kesme alanına oranı ifadesi ile tanımlanan “Dayanım Düzensizliği Katsayısı” η_{ci} ’in 0.80’ den az çıkması durumu da.” diye

adlandırılır. Tablo 9.4.'te bina için hesaplanan komşu katlar arası dayanım düzensizliği tablosu mevcuttur. Yapı yönetmelik sınırları içinde kaldığından dolayı katlar arası dayanım düzensizliğinden bahsedilemez.

Yapı da iç duvar kalınlığı 14 cm ve dış duvar kalınlığı ise 19 cm'dir. Tablo 9.4.'te yapılan hesaplamalar bu değerler baz alınarak yapılmıştır. Bununla birlikte İlk katın iki cephesi (kısa ve uzun cephe). İkinci katın ve 3 katın ise 4 cephesine de duvar tasarımı yapılmıştır. Hesap yapılırken tasarlanan pencere ve kapı boşlukları minha olarak hesaptan düşürülmüştür.

$$\eta_{ci} = (\sum Ae)_i / (\sum Ae)_{i+1} < 0.8 \quad (9.3)$$

$\sum Ae$ = i. katta, göz önüne alınacak deprem doğrultusu üzerinde bulunan etkili kesme alanı toplamıdır.

$\sum Ae = \sum Aw + \sum Ag + 0.15 \cdot \sum Ak$ hesaplama formülasyonudur.

$\sum Aw$ = Kolonun en kesitine ait etkin gövde alanı

$\sum Ag$ =i. katta, gözönüne alınacak deprem doğrultusuna paralel halde olan betonarme perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının tamamı,

$\sum Ak$ =i. katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kergir dolgu duvar alanlarının tamamı(kapı ve pencere minhaları hariç)

Yapı da perde olmadığı için sistemin yumuşak kat kontrollerinde taşıyıcı yap elemanlarımızın kesit alanları ve bu yapı için tasarlanmış duvar kevgir ve dolgu duvar yapılarının önemi fazladır.

Tablo 9.4. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Hesabı

[illegible]

9.5. Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat (B2)

Tasarımı yapılan yapıların, herhangi bir katında sahip olduğu kolonların uçlarında oluşan yer değiştirmelerin, bir üstteki ya da bir alttaki katta yani ardışık katlardaki yer değiştirmeye farklı görelî kat ötelenmeleri denir. Herhangi bir katta oluşan görelî kat ötelenmesi yönetmeliğin belirlediği sınır koşulları içinde olması yapı güvenliğı bakımından önemli bir detaydır. Ardışık katlar arasındaki kat öteleme oranlarının, deprem yüklerinin güvenli bir biçimde taşınmasına olanak sağlaması için belir bir değeri geçmemelidir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı 2018’de birbirlerine dik doğrultuda bulunan iki depremin herhangi birisi için, herhangi bir katında bulunan i. kattaki ortalama görelî kat ötelenmesi oranının bir üstteki ya da alttaki katın ortalama görelî kat ötelenmesine bölümü ile adlandırılır. “Rijitlik Düzensizliğı Katsayısı” η_{ki} değerin 2.00’den büyük olması durumu ise “komşu katlar arası rijitlik düzensizliğı yani yumuşak kat düzensizliğı olarak adlandırılır.

$$\eta_{ki} = \left(\frac{\Delta_i^{(x)}}{h_i} \right)_{ort} / \left(\frac{\Delta_{i+1}^{(x)}}{h_{i+1}} \right)_{ort} > 2.0 \quad (\text{Denk. 2.6})$$

$$\eta_{ki} = \left(\frac{\Delta_i^{(x)}}{h_i} \right)_{ort} / \left(\frac{\Delta_{i-1}^{(x)}}{h_{i-1}} \right)_{ort} > 2.0 \quad (\text{Denk. 2.7})$$

η_{ki} =i. kat için tanımlı yapılan Rijitlik Düzensizliğı Katsayı Değeri

Δ_i =Yapının i. katında oluşan azaltılmış görelî kat ötelenmesi

h_i =Yapının i. Katının sahip olduğı yükseklik

Tablo 9.5.’te de görüldüğü tasarlanan yapı da sadece 1. Katta yumuşak kat yani katlar arası rijitlik düzensizliğı mevcuttur.1. kattaki $\eta_{ki} = 2.4264$ olarak bulunmuştur ve bu değeri $\max \eta_{ki} > 2.0$ dan büyük olduğı için 1. katta yumuşak kat düzensizliğı vardır. Bunun giderilmesi için TBDY 2018’ sayfa 49’da bulunan Tablo4.4’te belirtilen şekilde düzeltilmelidir.(Tablo 8.7.)

Tablo 9.5. Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği Hesabı

[illegible]

9.6. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3)

Taşıyıcı sisteme ait düşey elemanları olan kolonların ve perdelerin bazı katlardan kaldırılıp kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulmasını veya üst katta bulunan perdenin alttaki kolonların üzerine oturtulması durumu.[1]

Modelleme yapılan bina da bu tip düzensizliğe sebep veren oluşum yoktur.

9.7. Diğer Düzensizlik Kontrolleri

TBDY 2018'de bulunan düzensizlikler dışında yine yönetmelik için belirtilen bina tasarım kısıtlamaları mevcuttur. Bu başlık altında yapının deprem kuvvetleri altında göstereceği davranış diyagramını en yakın şekilde öngörebilmek için bu kontrollerin ve incelemelerin yapılması gerekmektedir.

9.7.1. Etkin Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

(X) deprem doğrultusu üzerinde bulunan herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasında yer değiştirme farkını anlatan azaltılmış göreli kat ötelemesi, $\Delta_i^{(X)}$ Denk.(9.4) ile elde edilecektir.[1]

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (9.4)$$

Denk.(9.4)'de $u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$, tipik (X) deprem doğrultusu için binanın i. ve (i-1). Katların da herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir. Tipik (X) deprem doğrultusu için, binanın i. katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi, $\delta_i^{(X)}$ Denk.(9.5) ile elde edilecektir[1]

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (9.5)$$

Gevrek özellikli malzemelerden yapılan boşluklu veya boşluksuz yapıya sahip dolgu duvarların ve cephe elemanları ile çerçeve elemanlarına da, aralarında herhangi bir esnek derz ya da bağıntı olmadan, bütünü ile bitişik olması durumunda,

$$\lambda \frac{\delta_{i\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008k \quad (9.6)$$

Gevrek özellikli malzemelerden yapılan dolgu duvarlar ile çerçeve elemanları aralarındaki bölüme esnek derzlerin yapılması, cephe elemanlarının da dış çerçevelere esnek şekilde bağıntılar ile birleştirilmesi ya da dolgu duvar elemanlarının çerçeveden bağımsız şekilde bulunması durumu,

$$\lambda \frac{\delta_{imax}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016K \quad (9.7)$$

$$\lambda = \frac{S_{ae}(T)(DD-2)}{S_{ae}(T)(DD-3)} \quad (9.8)$$

h_i : kat yüksekliği

K : betonarme elemanlarda kapa katsayısı 1 olarak alınır.

$\delta_{imax}^{(X)}$: X Yönünde etkin görelî kat öteleme değeri kat içinde oluşan en yüksek değeri,

$$\delta_{imax}^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)}$$

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayı Değeri

I : Bina önem katsayı Değeri

$\Delta_{imax}^{(X)}$: X Yönü için azaltılmış görelî kat ötelenmelerinin kat içinde oluşan en yüksek değeri

$U_i^{(X)}$: X Deprem doğrultusu için yapının i . ve $(i-1)$. Katlarında herhangi bir kolonun veya perdenin uçlarındaki azaltılmış deprem yüklerinin tamamına göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri ifade eder.

Sonuç olarak,

$$\Delta_{imax}^{(X)} \leq 0.008 * h_i * \frac{I}{R} * \frac{S_{ae}(T)(DD-2)}{S_{ae}(T)(DD-3)} \quad (9.9)$$

8.3.2.'de DD-2 için yapılan bütün işlemler aynı sistemde devam ederek DD-3 yani 50 sene de aşılması olasılık değeri %50 (tekrarlanma periyodunun 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi için yapılacaktır.

Deprem yer hareketlerine ilişkin verilere; "Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulaması" (<https://tdth.afad.gov.tr>) internet sayfasından elde edilir.

Şekil 9.2.'te interaktif web uygulamasından alınan DD-3 değerleri gösterilmiştir.

$S_S = 0.347$	$S_1 = 0.100$	$S_{DS} = 0.312$	$S_{D1} = 0.080$
$PGA = 0.149$	$PGV = 9.447$		

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

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

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 9.2. DD-3'e Ait Deprem ve Yer Hareketine İlişkin Sonuçlar

X için;

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.080}{0.312} = 0.2564 \text{ sn}$$

$$T_A = 0.2 * T_B = 0.2 * 0.2564 = 0.05013 \text{ sn}$$

$$T_X = 0.88297 \text{ sn}$$

$$T_L = 6 \text{ sn}$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T_X} = \frac{0.080}{0.88297} = 0.091g = 0.889 \text{ m/sn}^2$$

$$T_Y > T_B \text{ olduğundan } R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1} = 8$$

$$V_{tE}^{(X)} = m_t * \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} = 1193.89(kNsn^2/m) * \frac{0.889 * m/sn^2}{8} = 132.67 \text{ kN}$$

$$V_{tEmin}^{(X)} \geq 0.04 * 132.67 * 0.312 * 9.81 = 16.2428 \text{ kN}$$

$V_{tE}^{(X)} > V_{tEmin}^{(X)}$ olduğundan işlemlerde $V_{tE}^{(X)}$ kullanılacaktır.

Y için;

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.080}{0.312} = 0.2564 \text{ sn}$$

$$T_A = 0.2 * T_B = 0.2 * 0.2564 = 0.05013 \text{ sn}$$

$$T_Y = 1.08068 \text{ sn}$$

$$T_L = 6 \text{ sn}$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T_Y} = \frac{0.080}{1.08068} = 0.074g = 0.73 \text{ m/sn}^2$$

$$T_Y > T_B \text{ olduğundan } R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1} = 8$$

$$T_B \leq T \leq T_L (0.2564 \leq 1.08068 \leq 6)$$

$$T_B \leq T \leq T_L (0.2564 \leq 1.08068 \leq 6)$$

$$V_{tE}^{(Y)} = m_t * \frac{S_{ae}(T)}{R_{a(T)}} = 1193.89(kNsn^2/m) * \frac{0.73 m/sn^2}{8} = 108.94 kN$$

$$V_{tEmin}^{(Y)} \geq 0.04 * 108.94 * 0.312 * 9.81 = 13.3377 kN$$

$V_{tE}^{(Y)} > V_{tEmin}^{(Y)}$ olduğundan işlemlerde $V_{tE}^{(Y)}$ kullanılacaktır.

Sonuç olarak;

Yapının X yönünde yapabileceği maksimum azaltılmış görelî kat ötelenmesi

$$\Delta_{imax}^{(X)} \leq 0.008 * h_i * \frac{I}{R} * \frac{S_{ae}(T)(DD-2)}{S_{ae}(T)(DD-3)}$$

$$\Delta_{imax}^{(X)} \leq 0.008 * h_i * \frac{1}{8} * \frac{2.22}{0.889}$$

$$\Delta_{imax}^{(X)} \leq 0.0025 * h_i \quad \text{Excel tablosunda kullanılacak sınır katsayısı: 0.0025}$$

Yapının Y yönünde yapabileceği maksimum azaltılmış görelî kat ötelenmesi

$$\Delta_{imax}^{(X)} \leq 0.008 * h_i * \frac{I}{R} * \frac{S_{ae}(T)(DD-2)}{S_{ae}(T)(DD-3)}$$

$$\Delta_{imax}^{(X)} \leq 0.008 * h_i * \frac{1}{8} * \frac{1.82}{0.730}$$

$$\Delta_{imax}^{(X)} \leq 0.0025 * h_i \quad \text{Excel tablosunda kullanılacak sınır katsayısı: 0.00249}$$

Etkin görelî kat öteleme kontrolü için bütün verileri elde edildi. Oluşturulan tabloda yönetmelik sınırları değerleri de dikkate alınarak hazırlanmıştır. Tablo 9.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 9.6. Etkin Görelî Kat Ötelemesi Kontrol Tablosu

1.KAT											
ASKLAR	Δ(zararlım s görelil ölelenme)	DEPREM TİPİ	ASKLAR	Δ(zararlım s görelil ölelenme)	DEPREM TİPİ	ASKLAR	Δ(zararlım s görelil ölelenme)	DEPREM TİPİ	ASKLAR	Δ(zararlım s görelil ölelenme)	DEPREM TİPİ
XA-K1	0.00444	EXP	XA-K1	0.004206	EYN	Y1-K1	0.006177	EYP	Y1-K1	0.006177	EYP
XB-K1	0.004583	EXP	Y2-K1	0.005822	EYN	Y2-K1	0.005354	EYP	Y2-K1	0.005354	EYP
XC-K1	0.004725	EXP	Y3-K1	0.004031	EYN	Y3-K1	0.004531	EYP	Y3-K1	0.004531	EYP
			Y4-K1	0.00224	EYN	Y4-K1	0.003708	EYP			
			Δ _{max}	0.005105	Δ _{max}	Δ _{max}	0.006177				
			Δ _{min}	0.004206	Δ _{min}	Δ _{min}	0.003708				
			Δ _{ort}	0.004583	Δ _{ort}	Δ _{ort}	0.004531				
			nbi	1.086532	nbi	nbi	1.249772				
			h ₁	3	h ₁	h ₁	3				
			Δ _{ort/h₁}	0.001552	Δ _{ort/h₁}	Δ _{ort/h₁}	0.001648				
			nki alt	-	nki alt	nki alt	-				
			nki üst	2.162834	nki üst	nki üst	2.244931				
2.KAT											
XA-K2	0.002113	EXP	Y1-K2	0.00297	EYN	Y1-K2	0.002428	EYP			
XB-K2	0.002132	EXP	Y2-K2	0.002153	EYN	Y2-K2	0.002037	EYP			
XC-K2	0.002151	EXP	Y3-K2	0.001419	EYN	Y3-K2	0.001646	EYP			
			Δ _{max}	0.002294	Δ _{max}	Δ _{max}	0.002428				
			Δ _{min}	0.002011	Δ _{min}	Δ _{min}	0.001646				
			Δ _{ort}	0.002132	Δ _{ort}	Δ _{ort}	0.002037				
			nbi	1.065738	nbi	nbi	1.191949				
			h ₁	3	h ₁	h ₁	3				
			Δ _{ort/h₁}	0.000711	Δ _{ort/h₁}	Δ _{ort/h₁}	0.000679				
			nki alt	0.465248	nki alt	nki alt	0.41214				
			nki üst	1.601202	nki üst	nki üst	1.856882				
3.KAT											
XA-K3	0.001314	EXP	Y1-K3	0.001196	EYN	Y1-K3	0.001048	EYP			
XB-K3	0.001331	EXP	Y2-K3	0.001357	EYN	Y2-K3	0.001146	EYP			
XC-K3	0.001349	EXP									
			Δ _{max}	0.001518	Δ _{max}	Δ _{max}	0.001146				
			Δ _{min}	0.001314	Δ _{min}	Δ _{min}	0.001048				
			Δ _{ort}	0.001331	Δ _{ort}	Δ _{ort}	0.001097				
			nbi	1.186444	nbi	nbi	1.151931				
			h ₁	3	h ₁	h ₁	1.044667				
			Δ _{ort/h₁}	0.000452	Δ _{ort/h₁}	Δ _{ort/h₁}	0.000388				
			nki alt	0.624531	nki alt	nki alt	0.538537				
			nki üst	-	nki üst	nki üst	-				

Yapılan hesaplar doğrultusunda 1. Kata oluşan etkin görelî kat ötelemeleri yönetmeliğe aykırı durumdadır, diğêr iki kat ise yönetmeliğe uygundur. 1. Kat için bu uygunsuzluğu gidermek adına yönetmelikte “Verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.”

9.7.2. İkinci Mertebe Hesabı ve Etkilerinin İncelenmesi

Düşey yüklerin yanında deprem ve rüzgar gibi yatay yükler, yapı davranışını etkileyen büyük yer değıştirmelere ve dolayısıyla ikinci mertebe etkilerin oluşmasına yol açar. Bu tür durumlarda ikinci mertebe etkileri göz önüne alan hesap yöntemlerinin kullanılması önem arz eder.[11]

Yapılarda bulunan taşıyıcı sistem elemanları elastik doğrusal olmayan davranışlarını temel alan yeni bir hesaplama metodu veya uygulaması geliştirilmediğı sürece, İkinci Mertebe etkilerini yaklaşık olarak şu durumlarda dahil edilebilir; her bir kata, İkinci Mertebeye ait gösterge ifadesi olan θ_i 'nin, Denklem (9.10) ile ifade edilen şarta uyması olasılığında ise, ikinci mertebe etkilerinin yürürlükte olan betonarme yönetmeliğine bağılı olarak değerlendirilmelidir.

İkinci mertebe etkileri için yapılması gereken işlem adımları;

1. Her katın X doğrultusunda sahip olduğı 2 deprem tipi (EXP, EXN) için $\theta_{II,i}^{(X)}$ (x) doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değıerlerini) elde edilmelidir.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} * \sum_{k=i}^N W_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (9.10)$$

$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ = i. katın azaltılmış görelî kat ötelemelrinin kat içindeki ortalama değeri

$\sum_{k=i}^N W_k$ = k. Kata etkileyen toplam ağırlık, 3 katlı bir binada(N=3)

1. Kat için $\sum_{k=1}^N W_k = W_1 + W_2 + W_3$

2. Kat için $\sum_{k=2}^N W_k = W_2 + W_3$

3. Kat için $\sum_{k=3}^N W_k = W_3$

$V_i^{(X)}$ = X hesap doğrultusu için i. kata etkiyen kat kesme kuvveti

$$V_i^{(X)} = F_i^{(X)} + V_{(i+1)}^{(X)} \quad (9.11)$$

$F_i^{(X)}$ = X hesap doğrultusu için i. kata etkiyen deprem kuvveti

h_i = i. katın yüksekliği

2. Tüm katlarda X doğrultusu için elde ettiği ikinci merteye gösterge değerlerinin maksimumu ($\theta_{II,i}^{(X)}$) bulunmalıdır.

3. ($\theta_{II,i}^{(X)} \leq \theta_{II,sınır}^{(X)}$) ise X doğrultusu için İkinci Mertebeye ait etkilerin tasarımı temel olarak içi kuvvetlerin hesabı yapılırken dikkate tabii olması şartı yoktur.

$$\theta_{II,sınır}^{(X)} = 0.12 * \frac{D}{C_h * R} \quad (9.12)$$

D: Dayanım fazlalığı katsayısı

R: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

C_h : katsayı. Betonarme binalarda 0.5; çelik ve kompozit kolonlu binalarda 1 alınır.

4. $\theta_{II,i}^{(X)} > \theta_{II,sınır}^{(X)}$ ise iki seçenek vardır.

Bunlardan birincisi; taşıyıcı sistem rijitlik veya dayanımın uygun biçimde artırılarak deprem hesabının yenilenmesi, ikincisi ise göz önüne alınacak X deprem doğrultusunun tüm iç kuvvetleri Denk.9.13 te gösterilen ikinci merteye büyütme katsayısı $\beta_{II}^{(X)}$ ile çarpılarak artırmaktır.

$$\beta_{II} = 0.88 + \frac{C_h * R}{D} \theta_{II,max} \geq 1 \quad (9.13)$$

5. X hesap doğrultusu için yapılan tüm işlemler Y hesap doğrultusu için de yapılmalıdır. Her doğrultu kendine özgüdür ve kendi doğrultusundaki $\theta_{II,sınır}$ değeri ile kıyaslanır.

Daha önceki çalışmalarda D=3 ve R=8 değerlerini elde edilmişti. X ve Y doğrultularının her ikisi de aynı taşıyıcı sisteme sahip oldukları için D ve R değerleri birbirine eşit şekilde elde edildi. Bu durumda;

X ve Y yönlerinin her ikisinde de $\theta_{u,sınır} < \theta_{u,max}$ büyük olduğundan her iki yön içinde İkinci mertebe etkilerinin tasarıma temel iç kuvvetlerin hesapta dikkate alınması gerekmektedir. Böyle bir sonraki aşama olan Statik İtme Analizi'nde ikinci mertebe etkilerini de hesaba katarak ilerleme yapılmalıdır.



10. 3 BOYUTLU YAPIDA YATAY YÜK ARTIMI (STATİK İTME) ANALİZİ

10.1. Giriş ve Genel İlkeler

Bu yöntem doğrusal elastik sistemler için eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabildiği binalar için uygulanır. Eşdeğer yatay yük dağılımı doğrusal elastik sistem ile aynı biçimde hesaplanır, ancak adım adım artırılacak şekilde uygulanır. Deprem anında binanın en fazla zorlandığı duruma bu yolla ulaşıldığı varsayılır. Yapının kapasite eğrisi, her adımda uygulanan toplam yatay yükün çatı ötelenmesine karşı olan değişimi olarak ifade edilebilmektedir. Statik itme analizinin ilk adımlarında yapı doğrusal elastik davranacaktır. Belirli bir adımdan sonra ise plastik mafsallar oluşmaya başlayacak, özellikle mafsalların kolonlarda oluşması ile bina tamamen plastik davranış sergilemeye başlayacaktır. Yapı yatay yük kapasitesine ulaştıktan sonra, bu durumda elde edilen kapasite eğrisinden yararlanılarak bina tek dereceli bir elastoplastik sisteme dönüştürülmektedir. Bu tek dereceli sistemin aynı deprem etkisi altındaki maksimum yer değiştirmesi (spektral deplasmanı) bağımsız bir dinamik analiz ile hesaplanır. Bu işlemde sadece bir deprem yer hareketinin ivme-zaman kaydını kullanarak yapılabilir. Fakat tasarım spektrumu ile tanımlanan bir yer hareketi için bu işlemi yapmak mümkün olmamaktadır. Bunun yerine “eşit yer değiştirme” prensibi ile doğrusal olmayan sistemin maksimum yer değiştirmesinin eşdeğer doğrusal sistemin maksimum yer değiştirmesine eşit olacağı varsayılmakta ve binanın performans değerlendirmesi doğrusal elastik sisteme ait maksimum yer değiştirme değerinde yapılır. Spektral yer değiştirme isteği “eşit yer değiştirme” prensibini kullanarak tahmin edilir ve binanın deprem yönündeki hakim moduna ait titreşim özelliklerinden yararlanarak spektral yer değiştirme değerine karşılık gelen tepe yer değiştirmesi hesaplanır.

Eşdeğer deprem yükü ile statik itme analizi yöntemlerinin bu binada uygulanabilir olup olmadığını inceleyebilmek adına doğrusal dinamik analiz yapılmıştır. Mevcut yapı için 8.3.2.5 bölümünde uygunu olup olmadığı incelenmişti. Sonuç olarak eşdeğer deprem yükü yönteminin uygunluğu tespit edildi. Bu analizden çıkan sonuçlarda yapının X doğrultusunda elde edilen hakim periyot değeri 0.8830 saniye, Y doğrultusunda elde edilen hakim modunun periyodu da 1.0579 saniye olarak elde

edildi. TBDY 2018 de bulunan Bölüm 5.6.2.2’de de açıklandığı üzere her iki deprem doğrultusu için de doğrusal elastik davranışların temel olarak kabul edilmesi ile hesaplamaların tamamının hakim titreşim modu ile kütle katılımın toplam kütleyle oranı olan 0.70’den büyük olması şartı sağlanmalıdır. Yapıya ait hakim modlar ve kütle katılım oranlarının listesi Tablo 10.1’de aktarılmıştır.

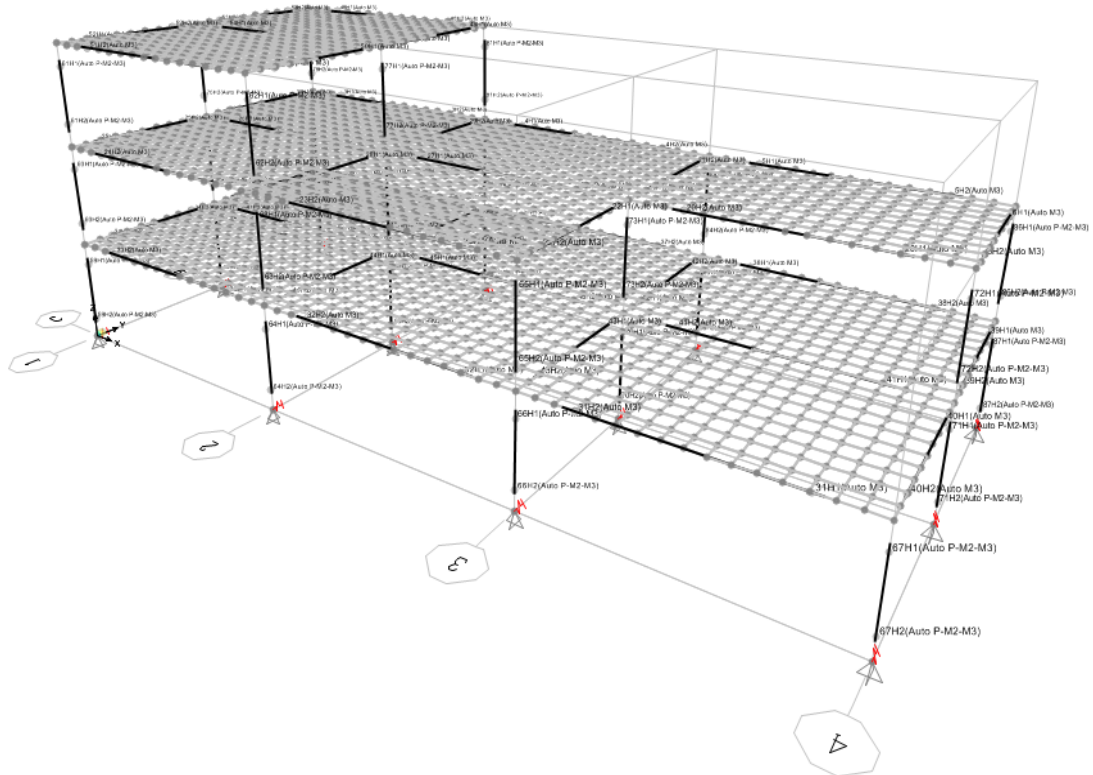
Tablo 10.1. Periyot ve Kütle Katılım Oranları

ADIM	PERİYOT	UX	UY	UZ	RZ
1	1.0579	0.0168	0.8006	0.0000	0.1568
2	0.8830	0.8988	0.0405	0.0000	0.0198
3	0.7124	0.0411	0.1364	0.0000	0.7985
4	0.2679	0.0064	0.0122	0.0000	0.0071
5	0.2589	0.0223	0.0048	0.0010	0.0002
6	0.2074	0.0001	0.0002	0.0167	0.0013
7	0.2051	0.0029	0.0015	0.0006	0.0122
8	0.1931	0.0000	0.0001	0.0071	0.0000
9	0.1838	0.0009	0.0000	0.0111	0.0001
10	0.1825	0.0000	0.0000	0.0995	0.0001
11	0.1753	0.0000	0.0000	0.0159	0.0000
12	0.1730	0.0010	0.0004	0.0434	0.0000

Yapının X doğrultusunda oluşan etkin kütle katılım değeri 2.mod da gerçekleşmektedir ve periyot değeri de 0,8830 saniye olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu modun kütle katılım oranının değeri de 0,8988’dir. Y doğrultusu içinde elde edilen sonuçlar ile etkin kütle katılımının X 1. Mod altında gerçekleşmekte ve periyot değeri de 1.0579 saniye olarak elde edilmiştir. Bu moda ait kütle katılım oranının değeri de 0,8 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda her iki deprem doğrultusu için de yapının hakim titreşim modu ve etkin kütlelerin total yapı kütlelerine oranının 0,70’ den büyük çıkmaktadır. Doğrusal elastik davranışlar esas alınıp yapıya ait yatay yüklerin bu çalışma da bölüm 4.2.4’ de anlatıldığı gibi hesaplanmıştır. Yatay yükler dikkate alındığında yapılan analizlerin sonuç maddelerinde her iki doğrultuda da katların sahip olduğu burulma düzensizlik katsayı değeri hesaplanmıştır ve TBDY 2018 de Bölüm 7.6.5.2’de ifade edildiği gibi burulma düzensizlik katsayı değeri η_{bi} ’nin 1,40’ dan az olması şartı araştırılmıştır. Burulma düzensizliği adı altında yapılması gereken kontrollerin tamamı Tablo 9.2.’de verilmiştir.

10.2. Plastik Mafsalların Sisteme Tanımlanması

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde de plastik mafsalların deprem esansında en çok zorlanacak olan kolonların ve kirişlerin uç kısımlarındaki bölgelerde bununla birlikte perdelerde de her katın kat hizasında bulunan birleşim bölgelerindeki noktalara yoğun duruma geldiği kabulü yapılan bir durumdur. Kabul edilen bu bölgelerde plastik mafsalların tanımlamaları yapılmıştır. Bu tanımlamalar yapılırken hem eğilmeye hem de normal kuvvetlerin etkisi altında kalan düşey taşıyıcı yapı elemanlarının kesitlerine P-M2-M3 mafsalları atanırken, eksenel kuvvet seviye oldukça düşük olan betonarme kirişler için de M3 mafsala atanması yapılır. Plastik mafsala atanması yapılırken bütün yapı elemanlarının uçlarını simgeleyecek şekilde 0 ve 1 rölatif uç tanımları yapılır ve elemanların başlangıç ucuna 0 ve diğer ucunu da 1 atanarak plastik mafsala tanımları yapılır. Şekil 10.1.'de atanmış olan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 10.1. Sisteme Atanan Plastik Mafsallar

10.3. Statik İtme Analizi İçin Sisteme Yapılan Tanımlamalar

Statik itme yüklemeleri yani diğer adı ile Pushover yüklemesi Sap 2000 yapı programında tasarlandı. Sistemin 3 boyutlu modellemesinin yapılması, malzeme ve kesitlerin programa tanıtılması bu çalışmanın 8. Bölümün de açıklandığı gibi yapıldı. Son olarak plastik mafsallar sisteme tanıtıldı. Bu konu 10.2. de detaylı olarak açıklandı. Push yüklemesi şeklinde sisteme yükleme tanımlandı. Bu yükleme için temel hazırlık ve düşey yükler içinde oluşturulan pushover ön yüklemesi tanımlanır. Bu çalışmada tek yükleme modu ile analiz yapılmıştır.

Tek pushover içerisinde PushX ve PushY yüklemelerini tanımlandığı zaman sistemi gereğinden çok daha büyük etkilere zorlanmış olur. Bunun nedeni ise maksimum etkilerin X ve Y yönleri için farklı zaman dilimlerinde oluşma ihtimallerinin yüksek olmasıdır. TBDY 2018’de pushover analizlerinin bağımsız iki yükleme şeklinde uygulanmasını, sonrasında bu yüklemelerden oluşan şekil değiştirmeleri $ex+0.3ey$ veya $ey+0.3ex$ şeklinde toplayarak hesapların yapılmasını istemektedir. Şekil 10.2. ve 10.3’te bu yüklemelerin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Gravity [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case []
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

☐ Linear
☒ Nonlinear
☐ Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale
Load Pattern	G	1.
Load Pattern	Q	0.3

[Add] [Modify] [Delete]

Geometric Nonlinearity Parameters

☐ None
☒ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source

G+0.3Q []

Other Parameters

Load Application: Full Load [Modify/Show...]
Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]
Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 10.2. Pushover Ön Yüklemesinin Tanımlanması

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Push **Set Def Name** **Notes:** Modify/Show...

Load Case Type: Static **Design...**

Initial Conditions:
☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case **Gravity**
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear
☐ Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:
 All Modal Loads Applied Use Modes from Case **MODAL**

Geometric Nonlinearity Parameters:
☐ None
☒ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: G+0.3Q

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale
Accel	UY	-1.
Accel	UY	-1.

Other Parameters:
 Load Application: Displ Control **Modify/Show...**
 Results Saved: Multiple States **Modify/Show...**
 Nonlinear Parameters: User Defined **Modify/Show...**

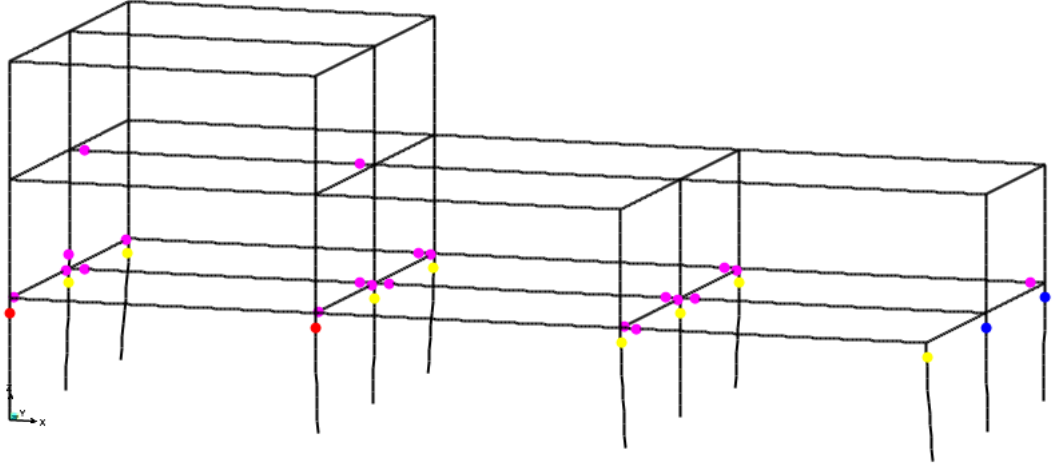
Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Şekil 10.3. Pushover Yüklemesinin Tanımlanması

Şekil 10.2 ve 10.3.'te anlatıldığı detaylar ile sistem pushover ve pushover ön yüklemesi yapılırken 9.7.2.'de anlatılan ikinci mertebe etkilerini de P-Delta olarak dahil edilmiştir. Mevcut yapıda hakim modları daha önce Tablo 10.1.'de gösterilmişti. Yapının hakim birinci modu Y yönünde olduğu için pushover analizi de bu bilgi doğrultusunda yapılacaktır. Pushover analizi Y doğrultusunda hem – hem de + yönlü olarak sisteme etkiyip bu analiz sonucunda oluşacak plastik mafsalları yerlerini ve sayılarını elde edilmiş olmaktadır.

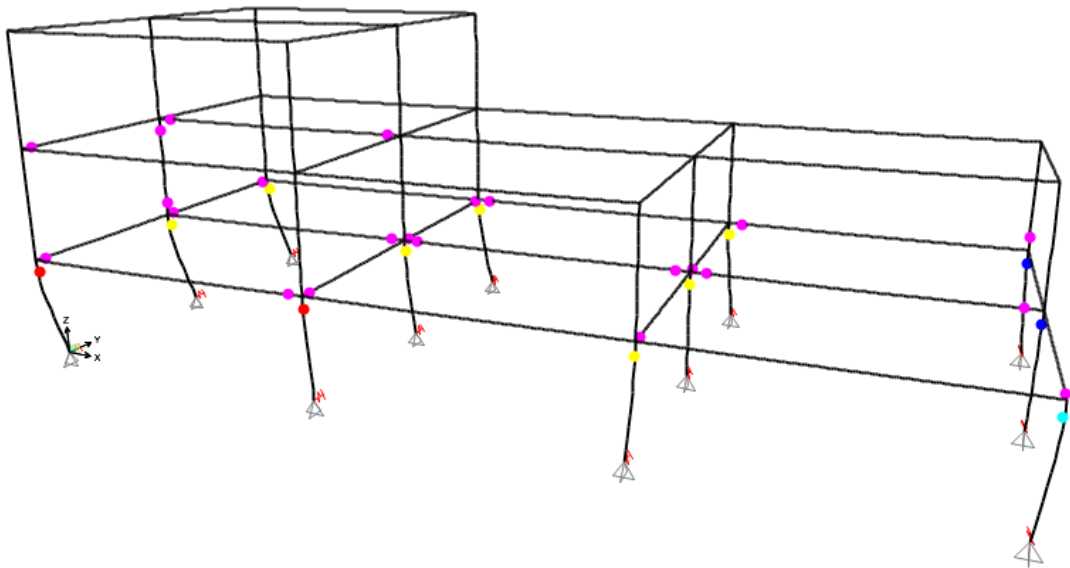
10.4. Yapı Taşıyıcı Elemanların Analiz Sonrası Değerlendirilmesi

Sap2000'de sabit düşey yüklerin ve artan yatay deprem kuvvetleri altında doğrusal olmayan analiz şekline Yatay Yük Artımı Analizi veya Statik İtme Analizidir. Bu çalışmada "Yatay Yük Artımı Analizinin" adı telaffuz edilecektir. Sap2000'de kolonların ve kirişlerin her iki ucuna da plastik mafsalların özellikleri ayrı ayrı atanabilmesi adına tüm yapı elemanları ikiye bölünmüştür.-Y yönünde uygulanan deprem kuvveti etkisi ile Yatay Yük Artımı Analizinin ardından sistemde meydana gelen plastik mafsalların oluşum sırası, yerleri Şekil 10.4.'te verilmiştir.



Şekil 10.4. Statik İtme Analizi Sonucu -Y Yönlü Deprem Etkisi İle Meydana Gelen Mafsalsal Yerleri

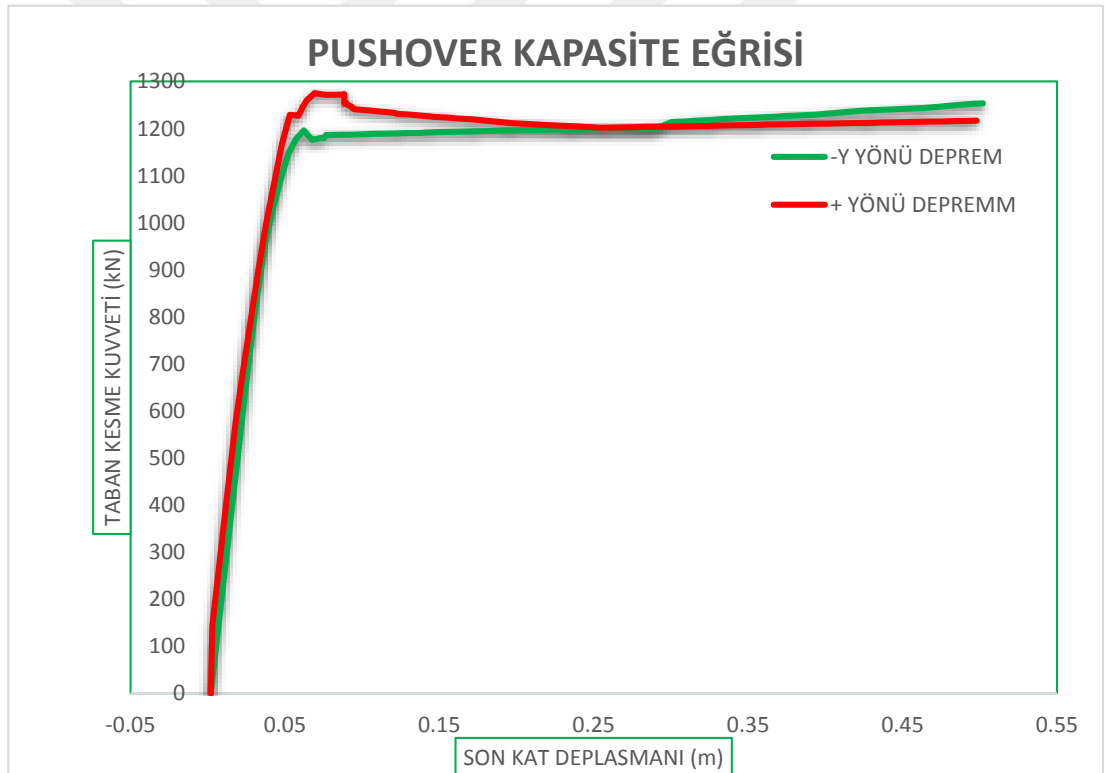
Modellenen yapıda 34 adet plastik mafsalsal oluşmuştur ve yapı mekanizma durumuna gelmiştir. Sistemde oluşan plastik mafsalların 20 tanesi kirişlerde, 14 tanesi kolonlarda meydana gelmiştir. Plastik mafsalsal yerleri Şekil 10.4.'te verilmiştir. Sap 2000'de Yatay Yük Artırımı Yöntemi Analizi sonucunda sistem 54 adım ilerledi ve 59H1 isimli mafsala ait kesitin, 75 adım ilerleme yapıldığında da 60H1 kesitinin kırıldığı görülmüştür. Sistem taşıyıcı elemanlarından kırılan her kesit kırmızı ile gösterilmiştir. Yani ilgili adımlarda sistemin göçtüğü varsayılmıştır.



Şekil 10.5. Statik İtme Analizi Sonucu +Y Yönlü Deprem Etkisi İle Meydana Gelen Mafsalsal Yerleri

Modellenen yapıda 35 adet plastik mafsall oluşmuştur ve yapı mekanizma durumuna gelmiştir. Sistemde oluşan plastik mafsalların 20 tanesi kirişlerde, 15 tanesi kolonlarda meydana gelmiştir. Plastik mafsall yerleri Şekil 10.5.'te verilmiştir. Sap 2000'de Yatay Yük Artımı Yöntemi Analizi sonucunda sistem 83 adım ilerledi. Bununla birlikte ilk kırılma 65. Adımda 59H1 mafsalındaki kesitin, ikinci kırılma ise 81 adım ilerleme yapıldığında da 64H1 kesitinin kırıldığı görülmüştür. Sistem taşıyıcı elemanlarından kırılan her kesit kırmızı ile gösterilmiştir. Sonuç olarak bahsedilen adımlarda sistemin göçtüğü kabul edilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi farklı deprem doğrultularında yapıda oluşan plastik mafsall yerleri ve sayılarında da farklılıklar görülmektedir.

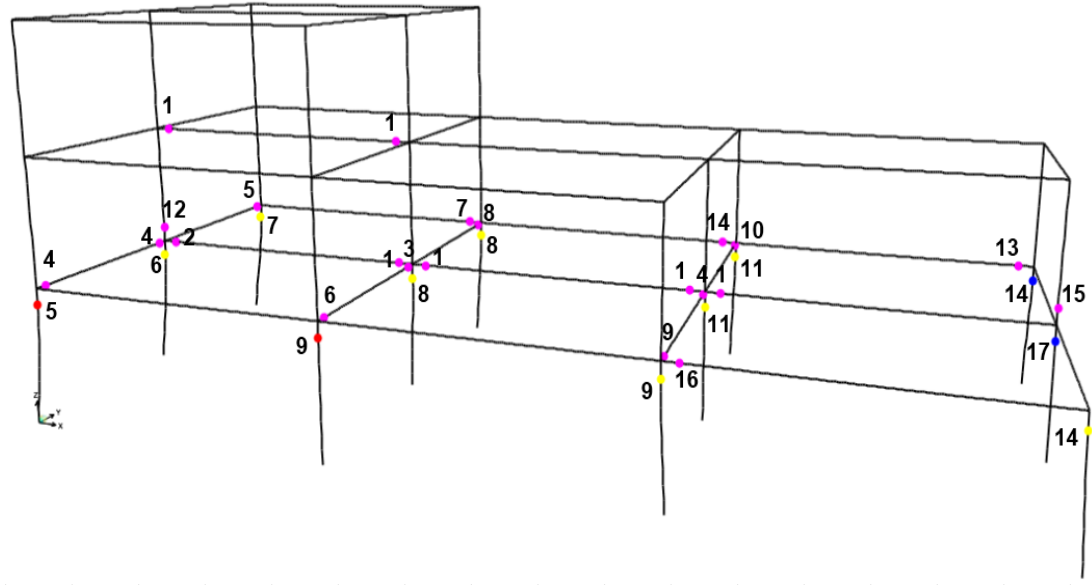
Yatay Yük Artımı Yöntemi Analizi sonucu oluşan hem + Y yönlü hemde – Y yönlü deprem kuvvetlerine ait pushover kapasite eğrileri Şekil 10.6. da gösterilmiştir.



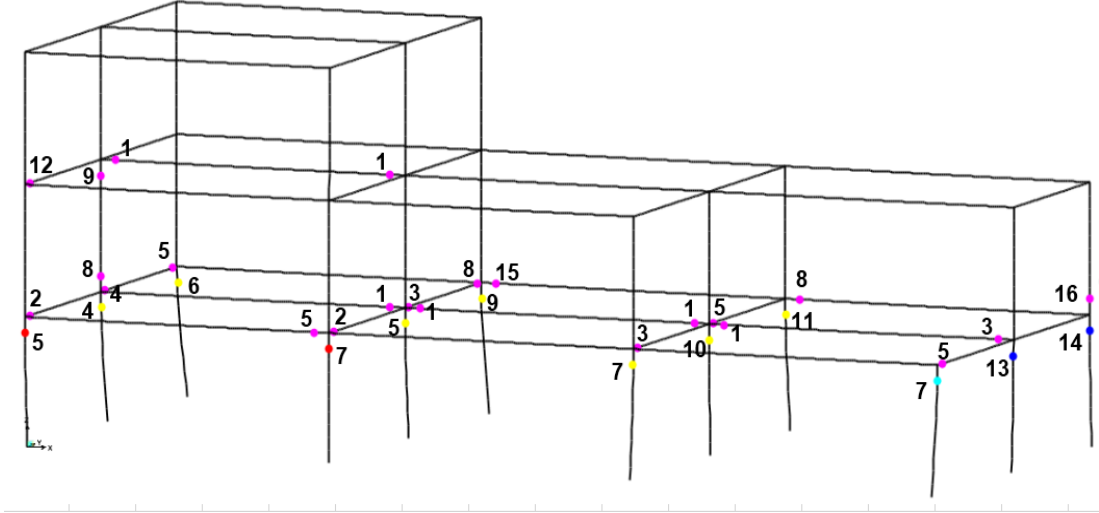
Şekil 10.6. Sisteme Ait Pushover Kapasite Eğrileri

10.5. Adi Mafsalların Atanması

Adi Mafsallar her plastik mafsal oluşumu anı için ayrı ayrı tanımlandı. Plastik mafsalın oluştuğu kesite release tanımlanır yani kesitteki adi mafsal noktası yük taşımaz duruma getirilir. Kirişlerde M3, kolonlarda ise pushover analizin yönüne bağlı olarak M2 veya M3 release tanımlanması gereklidir. Aynı adımda çok sayıda plastik mafsal oluşabilir. Bunun olasılığını azaltmak için sistemin analiz adım sayısının artırılması bu mafsalların farklı adımlarda gözlemlenmesine olanak sağlayabilmektedir. Bununla birlikte örneğin 4 mafsal aynı anda oluşuyorsa her birine aynı adım içinde adi mafsal atanabilir. -Y yönlü deprem ve + Y yönlü deprem uygulandığı zaman elde edilen plastik mafsallar sonucu sisteme atanacak adi mafsal sıra ve yerleri Şekil 10.7. ve 10.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 10.7. -Y Yönlü Deprem Sonucu Atanacak Adi Mafsal Sıra ve Yerleri



Şekil 10.8. +Y Yönlü Deprem Sonucu Atanacak Adi Mafsal Sıra ve Yerleri

-Y yönlü deprem kuvveti ile yapılan çalışmalar sonucunda bir çok farklı noktaları yakalama imkanı sağlandı. Pushover analiz sonucunda oluşan plastik mafsalaların sıra ve yerleri Şekil 10.7.'de gösterilmişti. Sap200'e plastik mafsal sırasına göre adım adım adi mafsal atamaları yapıldı. Aynı adımda birden fazla adi mafsal ataması yapılan serilerde mevcuttur. Sistematik şekilde ilerlendiğinde adi mafsal sayılarının artması ile yapıdaki periyotların, modal katkı çarpanların ve modal kütle katılım oranların 1. Mod, 2. Mod ve 3. Moda göre nasıl ve ne oranda değiştiklerini inceleme imkanı sundu. Ayrıca hangi mafsal işleminde yapı kaçınıcı adımda kırıldığını da kolaylıkla tespit etme imkanı elde edildi. Tablo 10.2, 10.3, 10.4. ve 10.5'te yapılan çalışmalar detaylı olarak gösterilmektedir.

Yapıda mafsal sayısının artması ile yapının doğal titreşim periyodunda artmasına neden olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte artan periyotlar aynı anlamda yapıya etkilene eşdeğer deprem yüklerinin de bu artışa ters oranda azalacağı bilinmektedir. 1. Modun hem modal kütle katılım oranı hem de modal katılım çarpanı değerleri 2. Mod ve 3. Moda oranla daha fazla olmaktadır.

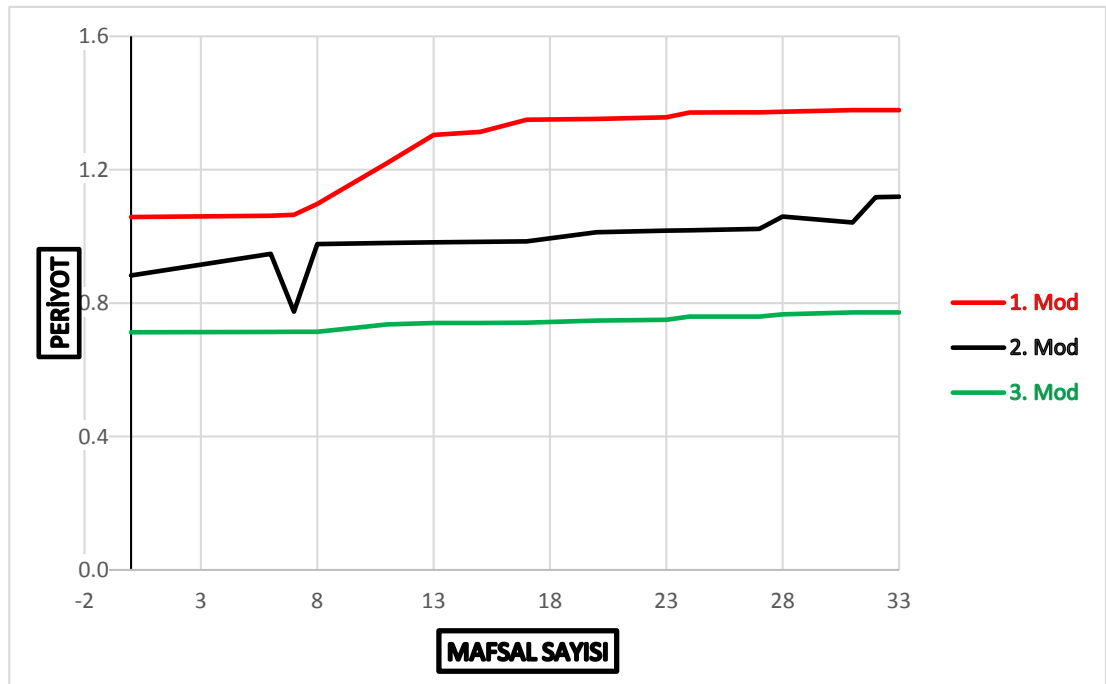
Yapı 15 mafsalı sisteme kadar 59H1 ve 64H1 mafsalına sahip yapı taşıyıcı elemanlar da kırılma yaşarken, mafsal sayısının artırılması ile 17 mafsalı sistemde sadece 59H1 mafsalı yapı taşıyıcı elemanda kırılma yaşanmaya başlandı. Ayrıca yapı 27 adi mafsalı sistemde 117. Adımda kırılma yaşanmaktadır.

Sap200 programında maksimum deplasmanın 0.5 metre ve adım sayısı olarak 100-100 sınırında 1. Hakim mod olan Y hakim moduna göre işlemler yapılmıştır. Farklı sonuçlar elde edebilmek için adım sayısı, maksimum deplasman ve hakim mod

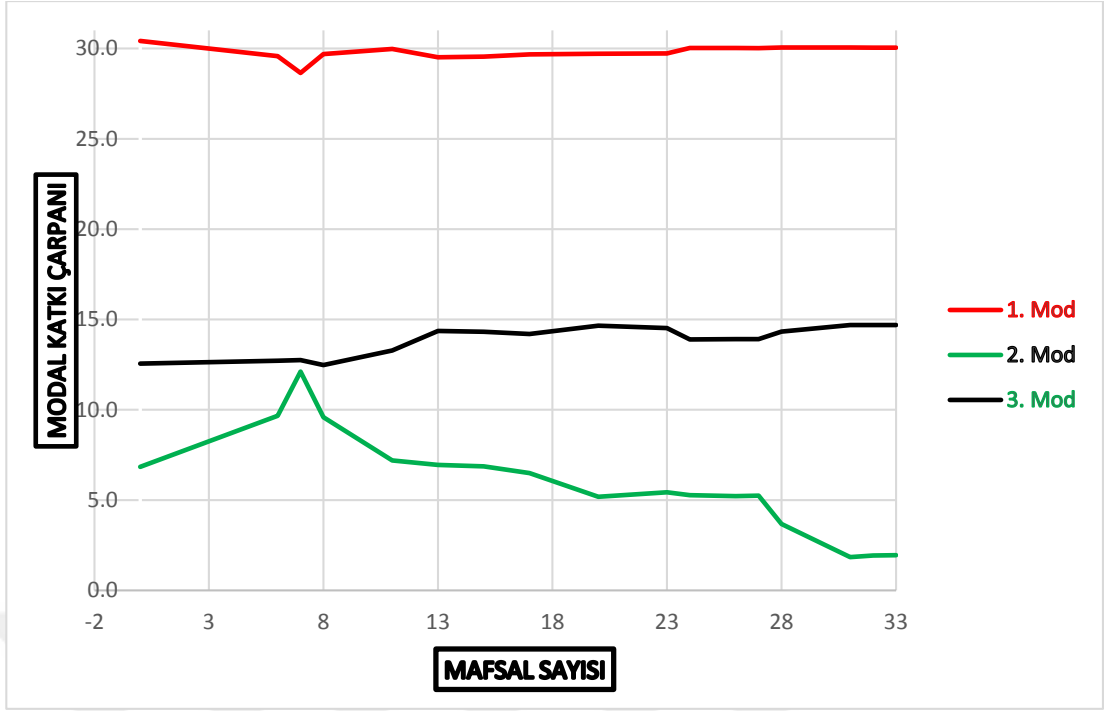
periyodunda değişiklik veya mafsalsayısını aynı adımda birden fazla yerine her adımda bir adi mafsalsal atanarak da elde edilen değerleri daha geręeęe yakın şekilde elde edebilir. Tablo 10.2.'de mafsalsayısı ile farklı modlardaki periyotlar gösterilmektedir.

Tablo 10.2. Mafsalsayısı-Periyot İlişkisi

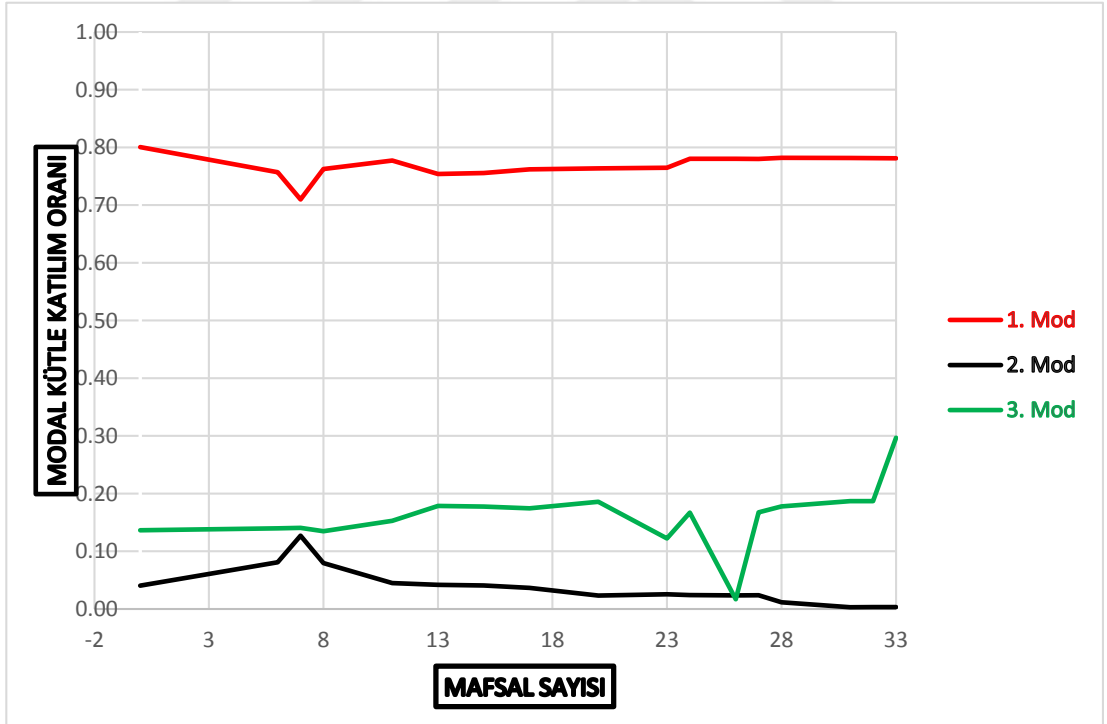
MAFSAL SAYISI		1. MOD	2. MOD	3.MOD
MAFSALSIZ		1.0579	0.8830	0.7124
6 MAFSALLI		1.0617	0.9476	0.7135
7 MAFSALLI		1.0648	0.7743	0.7138
8 MAFSALLI		1.0975	0.9769	0.7141
11 MAFSALLI		1.2196	0.9803	0.7359
13 MAFSALLI		1.3041	0.9822	0.7404
15 MAFSALLI		1.3135	0.9835	0.7405
17 MAFSALLI		1.3500	0.9850	0.7411
20 MAFSALLI		1.3522	1.0123	0.7473
23 MAFSALLI		1.3570	1.0171	0.7500
24 MAFSALLI		1.3716	1.0180	0.7593
26 MAFSALLI		1.3717	1.0208	0.7597
27 MAFSALLI		1.3718	1.0224	0.7597
28 MAFSALLI		1.3738	1.0595	0.7664
31 MAFSALLI		1.3784	1.0418	0.7719
32 MAFSALLI		1.3785	1.1173	0.7719
33 MAFSALLI		1.3785	1.1190	0.7719



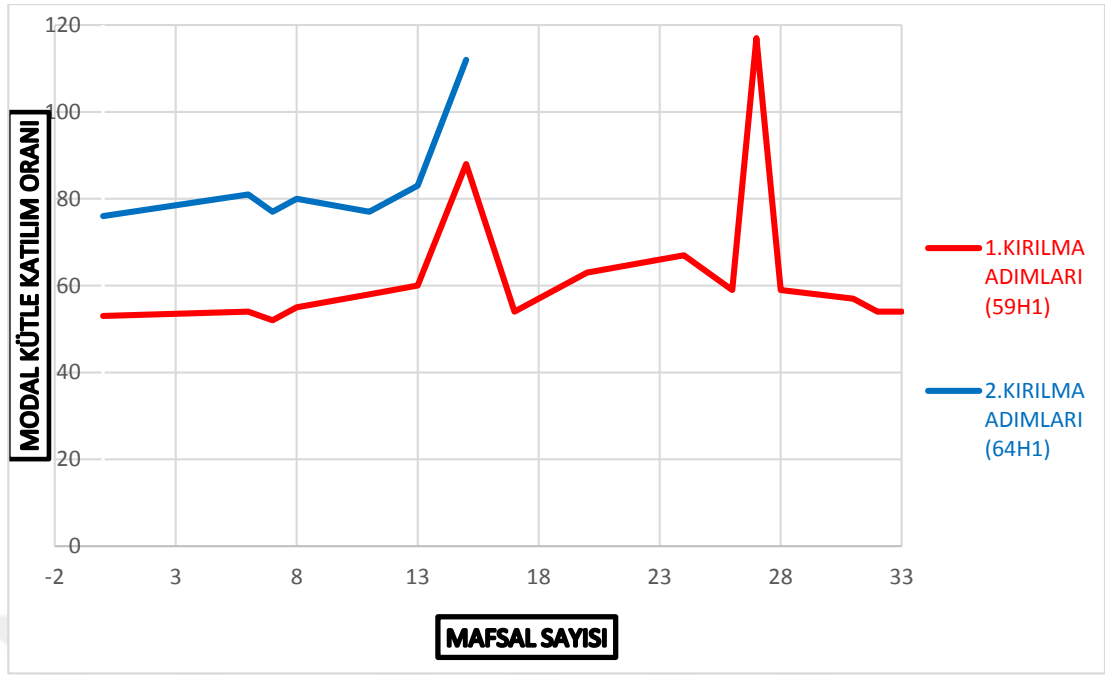
Şekil 10.9. Mafsalsayısı-Periyot İlişkisi



Şekil 10.10. Mafsalsayısı-Modal Katkı Çarpanı İlişkisi



Şekil 10.11. Mafsalsayısı-Modal Kütle Katılım Oranı İlişkisi



Şekil 10.12. Mafsalları Sayısı-Kırılma Adımları İlişkisi

5.Bölümde yapıya atanan adi mafsalların 2 boyutlu sistemdeki durumu incelenmiştir. Bu bölümde aynı temel mantık ile 3 boyutlu sisteme de aynı uygulama yapılmaktadır.

11. 3 BOYUTLU SİSTEMDE BURKULMA

11.1. Burkulmanın Tanımlanması

Bölüm 7.'de 2 boyutlu sistem için detaylı olarak açıklanmıştı. Aynı şekilde 3 boyutlu modellemesi yapılan binanın –Y ve +Y yönlü deprem etkisi altında oluşan plastik mafsalları ve yerlerini Şekil 10.7. ve Şekil 10.8.'de gösterilmişti. Oluşan bu plastik mafsalları yerlerine atanan her bir mafsalları ile birlikte yapıda meydana gelen doğal titreşim periyotlarındaki değişim, bu konuya dahil edilerek değişen periyotlar ile birlikte burkulma faktörünün değişimi incelenmiştir. Burkulma faktörü ile birlikte son kat deplasman değerlerinin de yaşanan değişimleri not edilmiştir.

Doğrusal Olmayan Statik Burkulma Analizi: Doğrusal olmayan statik burkulma analizinin gerçekleştiği esnada, total yüklerin artımlı şekilde yüklemesi yapılır. Her artışta sertlik ve tepki değerlendirilir. Doğrusal olmayan geometrik analiz, gerekli bulunursa malzeme ve sınır doğrusal olmama ile birlikte kararlı durumdan kararsız koşullara aşamalı olarak kullanılır. Bu nedenle, geometrik olarak doğrusal olmayan bir analizde, yapının sertlik matrisi, yapısal davranışı etkileyen deformasyonları dahil etmek için yükleme artışları arasında otomatik olarak güncellenir. Doğrusal olmayan burkulma analizi, orijinal yapı üzerinde kusur olmadan veya doğrusal bir burkulma modelinden ölçeklenmiş bir deforme şekle dayalı bir kusuru otomatik olarak ekleyerek yapılabilir.

P-Delta Analizi: Yapısal mühendislikte ikinci mertebe etkilerini dahil etmek için bu tür doğrusal olmayan geometriye sahip yapılar için doğru bilgilere ulaşabilmek adına kullanımına p-delta analizi denir. Katların yanal hareketi nedeniyle binada ek devrilme momentinin davranışı, bu tür p-delta etkisinin örneklerindendir.

11.2. Sap2000 İle Burkulma Faktörlerinin Bulunması

Yük-Deplasman yükleme modeli (P- δ Yükleme) statik ve doğrusal olmayan yani İkinci Mertebe etkilerinin dikkate alındığı bir yüklemesidir. Malzeme elastik yapıya sahiptir. Bu da şunu açıklar plastik mafsalların sistemde yok durumu kabul edilir.

Bundan sebep Sap2000'de tüm kesitlere atanan plastik mafsalların özelliklerinin ataması yapılır ve her kesite ait akma ve daha sonraki moment-eğrilik değerlerinin reelden çok daha büyük girilecektir.

Burkulma yani Buckling Analizinde +Y yönlü deprem kuvveti için sisteme ait $P-\delta$ ve $P/\delta-P$ parametreleri arasında ki ilişki bilgilerini Ek C bölümünde gösterilmiştir.

Sisteme atana adi mafsal sayısının artırılması ile yapıda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yapıya atanan adi mafsal sayıları artırıldığında yapı periyodunda artış bununla birlikte burkulma faktöründe de tersi doğrultuda azalma görülmektedir. Tablo 11.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 11.1. +Y ve -Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Meydana Gelen Mafsal Sayıları, Periyotlar ve Burkulma Faktörleri

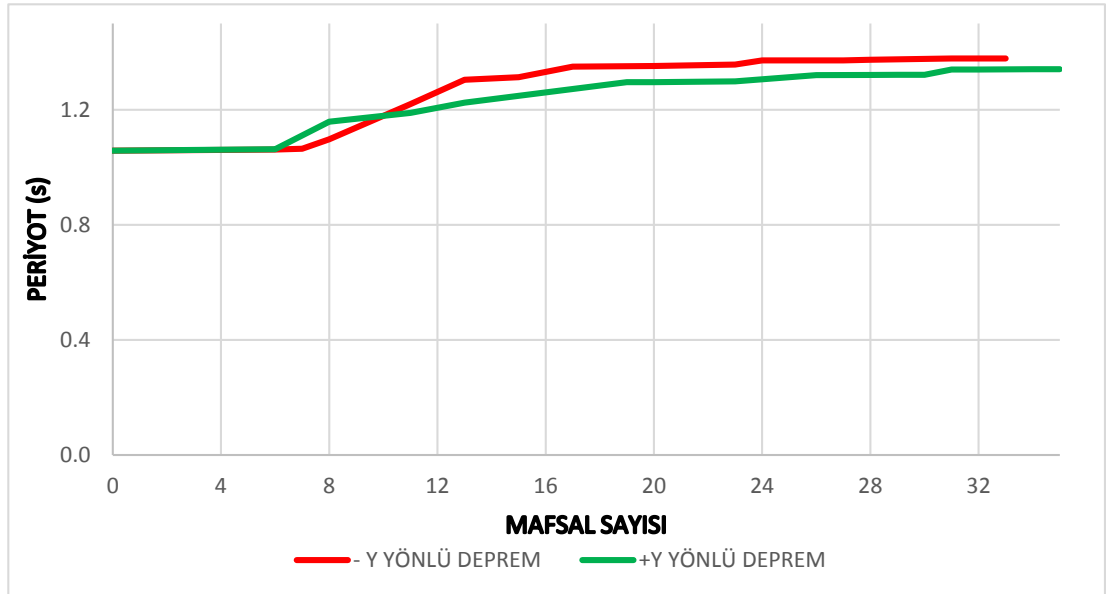
	Deprem +Y Yönlü			Deprem -Y Yönlü	
MAFSAL DURUMU	BURKULMA YÜK FAKTÖRÜ	Periyot	MAFSAL DURUMU	BURKULMA YÜK FAKTÖRÜ	Periyot
MAFSALSIZ	10.9008	1.0579	MAFSALSIZ	10.8701	1.0579
6 MAFSALLI	10.8963	1.0628	6 MAFSALLI	10.8505	1.0617
8 MAFSALLI	9.5240	1.1586	7 MAFSALLI	10.8463	1.0648
11 MAFSALLI	9.2248	1.1891	8 MAFSALLI	10.2919	1.0975
13 MAFSALLI	8.8898	1.2248	11 MAFSALLI	8.6442	1.2196
19 MAFSALLI	8.1183	1.2959	13 MAFSALLI	7.7368	1.3041
20 MAFSALLI	8.1179	1.2959	15 MAFSALLI	7.6854	1.3135
23 MAFSALLI	8.0851	1.2987	17 MAFSALLI	7.3975	1.3500
26 MAFSALLI	7.8657	1.3207	20 MAFSALLI	7.3752	1.3522
28 MAFSALLI	7.8478	1.3213	23 MAFSALLI	7.3319	1.3570
29 MAFSALLI	7.8458	1.3214	24 MAFSALLI	7.2170	1.3716
30 MAFSALLI	7.8455	1.3215	26 MAFSALLI	7.2155	1.3717
31 MAFSALLI	7.7845	1.3402	27 MAFSALLI	7.2148	1.3718
32 MAFSALLI	7.7824	1.3403	28 MAFSALLI	7.1555	1.3738
33 MAFSALLI	7.7821	1.3403	31 MAFSALLI	7.1340	1.3784
34 MAFSALLI	7.7897	1.3411	32 MAFSALLI	7.1373	1.3785
35 MAFSALLI	7.7933	1.3411	33 MAFSALLI	7.1364	1.3785

Atanan adi mafsal sayılarının artması ile yapının son katında yatay ötelenme yani deplasmanlar meydana gelmektedir. Her iki deprem yönü için de hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 11.2'de gösterilmektedir.

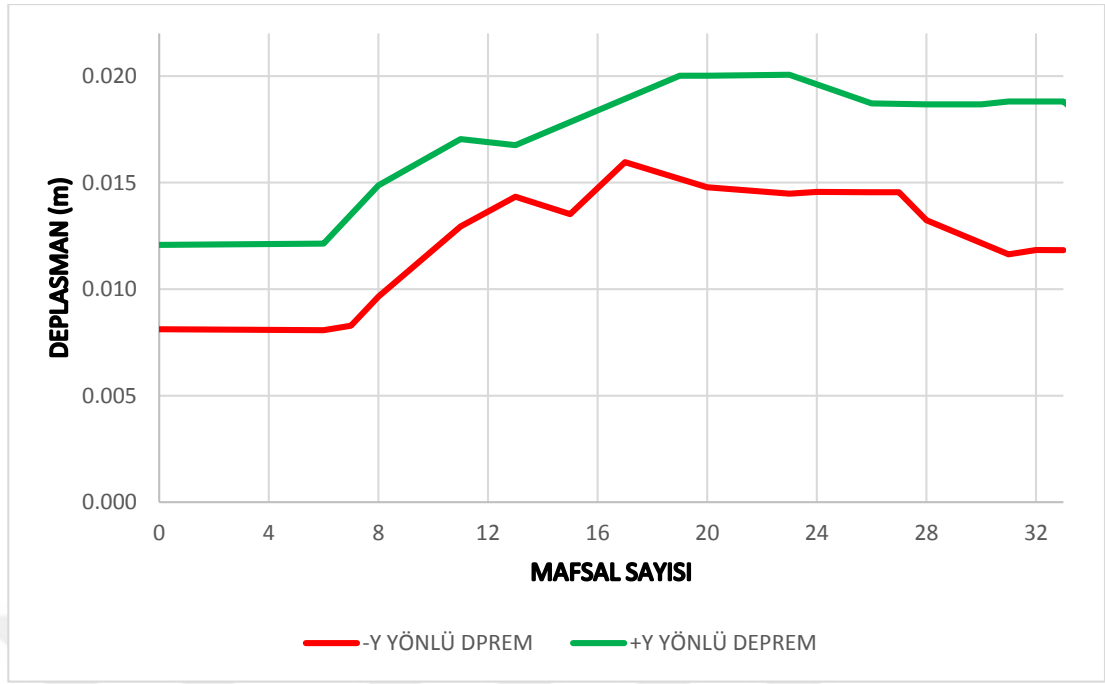
Tablo 11.2. –Y ve +Y Yönlü Deprem Kuvveti Altına Meydana Gelen Kat Deplasman Değerleri

Deprem -Y Yönlü			Deprem +Y Yönlü		
MAFSAL SAYISI	BURKULMA FAKTÖRÜ	DEPLASMAN	MAFSAL SAYISI	BURKULMA FAKTÖRÜ	DEPLASMAN
MAFSALSIZ	10.8701	0.0081	MAFSALSIZ	10.9008	0.0121
6 MAFSALLI	10.8505	0.0081	6 MAFSALLI	10.8963	0.0121
7 MAFSALLI	10.8463	0.0083	8 MAFSALLI	9.5240	0.0149
8 MAFSALLI	10.2919	0.0097	11 MAFSALLI	9.2248	0.0170
11 MAFSALLI	8.6442	0.0129	13 MAFSALLI	8.8898	0.0168
13 MAFSALLI	7.7368	0.0143	19 MAFSALLI	8.1183	0.0200
15 MAFSALLI	7.6854	0.0135	20 MAFSALLI	8.1179	0.0200
17 MAFSALLI	7.3975	0.0160	23 MAFSALLI	8.0851	0.0201
20 MAFSALLI	7.3752	0.0148	26 MAFSALLI	7.8657	0.0187
23 MAFSALLI	7.3319	0.0145	28 MAFSALLI	7.8478	0.0187
24 MAFSALLI	7.2170	0.0146	29 MAFSALLI	7.8458	0.0187
26 MAFSALLI	7.2155	0.0146	30 MAFSALLI	7.8455	0.0187
27 MAFSALLI	7.2148	0.0146	31 MAFSALLI	7.7845	0.0188
28 MAFSALLI	7.1555	0.0132	32 MAFSALLI	7.7824	0.0188
31 MAFSALLI	7.1340	0.0116	33 MAFSALLI	7.7821	0.0188
32 MAFSALLI	7.1373	0.0118	34 MAFSALLI	7.7897	0.0178
33 MAFSALLI	7.1364	0.0118	35 MAFSALLI	7.7933	0.0183

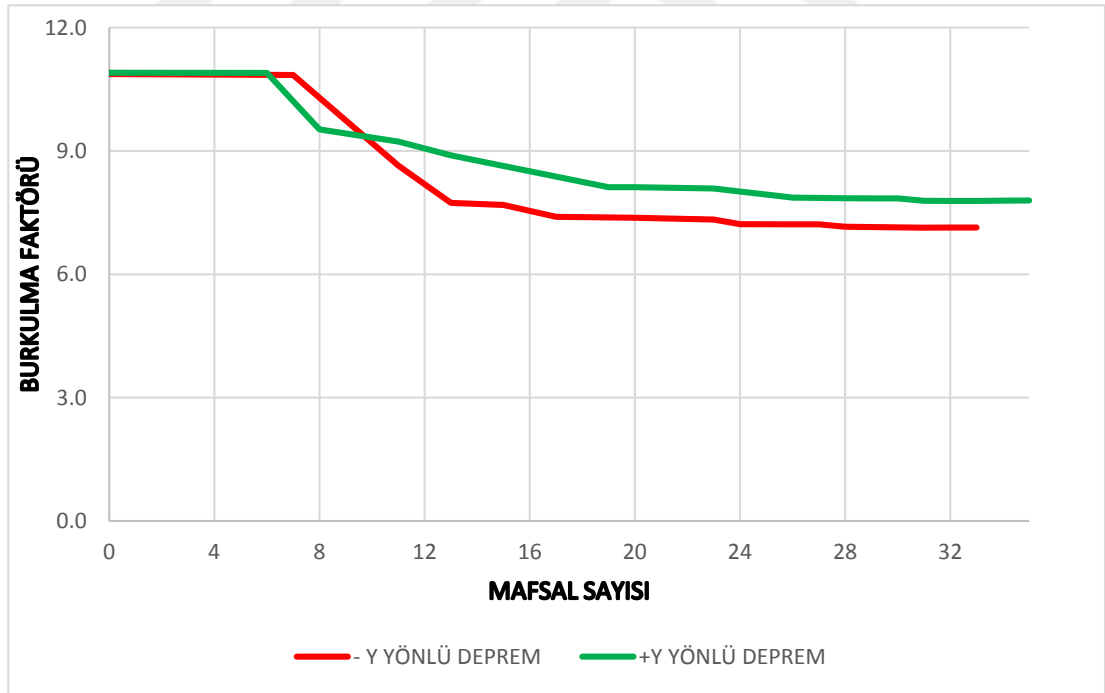
Çalışma boyunca karşılaştırma yapabilmek adına hem –Y yönlü deprem kuvveti altında hem de +Y yönlü deprem kuvveti altında aynı sistemde meydana gelen farklılıklar nelerdir sorusuna çözüm arandı. Sap2000’e –Y ve +Y yönlü deprem etkileri farklı dosyalarda dahil edilerek buckling analizi altında incelendi. Şekil 11.1, 11.2, 11.3. ve 11.4.’te gösterilmektedir.



Şekil 11.1. –Y ve +Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Mafsallı Sayıları-Periyot İlişkisi

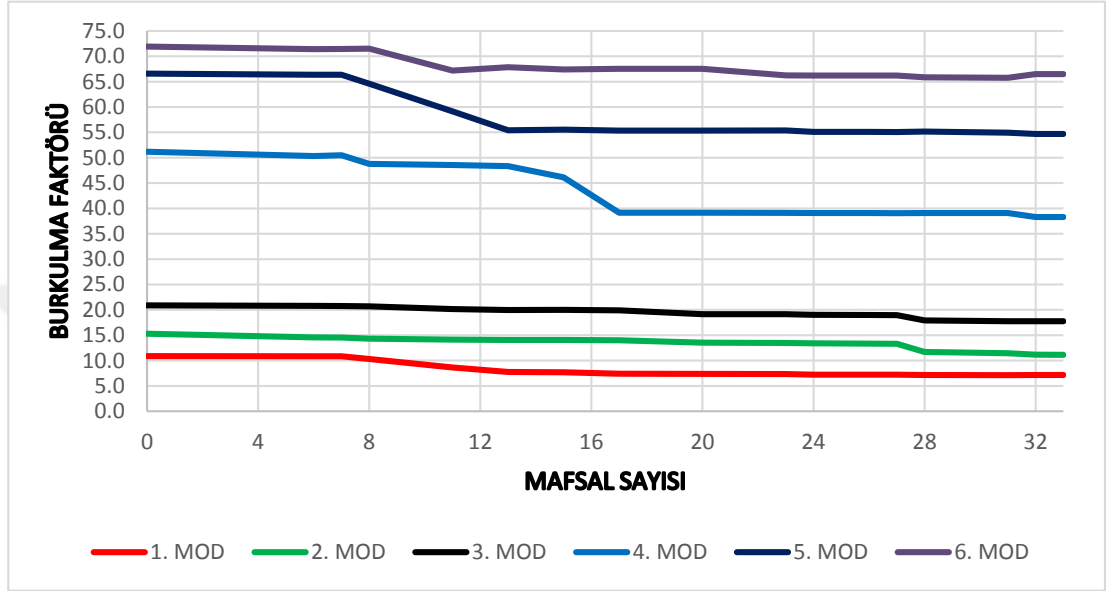


Şekil 11.2. -Y ve +Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Mafsalları-Deplasman İlişkisi



Şekil 11.3. -Y ve +Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Mafsalları-Burkulma Yük Faktörü İlişkisi

-Y yönlü deprem kuvveti altında yapılan çalışmada burkulma yük faktörü için oluşturulan sistemde 6 mod faktörü kullanılmıştır ve bunlar arasındaki ilişki nelerdir sorusuna cevap aranmıştır. Artan modlar ile birlikte yapının burkulma yükünde de artışlar görülmektedir. En düşük burulma yük faktörü 1. Mod için oluşmaktadır. Şekil 11.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 11.4. -Y Yönlü Deprem Kuvveti Altında Farklı Modlarda Meydana Gelen Burkulma Yük Faktörleri

12. SONUÇLAR

Yapıların deprem sırasındaki performanslarının daha gerçekçi belirlenmesi, yapı ve deprem mühendislikleri alanlarında pek çok araştırmacının ana konularından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemiyle analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde değerlendirilmiştir. Bununla birlikte Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de eşdeğer deprem yükü yöntemi için öngörülen uygulama sınırlarının irdelenmesi de dikkatle incelenmiştir.

Yine aynı çalışmada, betonarme çerçeveli bir yapının hem 2-boyutlu hem de 3 boyutlu olarak tasarlanan sistemlerin, farklı doğrultularda etki eden deprem kuvvetleri altında yapının doğrusal olmayan davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Sistemde artan plastik mafsalların ve bu mafsallaşma ile birlikte burkulma yük faktöründe ve yapının burkulma güvenlik seviyesinde meydana gelen değişimler mercek altına alınmıştır. Bütün bu analizler yapılırken ikinci mertebe etkilerinin de sistem üzerinde yarattığı etkilerin gözlenmesine olanak sağlanmıştır.

❖ Sabit düşey yükler etkisindeki düzlem çerçeve sisteminin artan yatay yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı, simetri özellikleri kaybolunca, yatay yüklemenin yönüne bağlı olarak değişmektedir. Yani deprem kuvvetleri yön değiştirdiğinde plastikleşme düzeni ve burkulmaya karşı güvenliği değişmektedir.

❖ Tasarlanan 2-boyutlu betonarme çerçeveli yapının, zemine bağlanma koşullarının zemin veya yapı elemanlarına ait belli parametrelerin değiştirilmesi ile yapılan serbest titreşim analizleri sonucunda yapının serbest titreşim karakteristik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Farklı mesnetlenme durumlarının yapılan analizler sonucunda yapı hakim periyotlarında ve mod şekillerinde değişimler yaşandığı görülmüştür. TBDY 2018'de de belirtildiği gibi katlara gelen eşdeğer deprem kuvvetlerinin hesabında analizler sonucunda elde edilen yapı hakim periyotlarının ne kadar etkili olduğu görülmüştür. Yüksek periyoda

sahip sistemin taban kesme kuvveti en düşük iken, en düşük periyoda sahip sisteme ait taban kesme kuvveti de tersi oranda en yüksek değere sahiptir.

❖ Yapıdaki mafsalsal sayısı arttıkça titreşim ve burkulma karakteristikleri yani titreşim modu, periyodu ve burkulma yük parametresi değişmektedir. Birinci titreşim modu ve periyodu diğerleri arasında en çok etkilenen olmaktadır.

❖ Yatay yük artımı yöntemi uygulanırken erken göçme ortaya çıkabilmekte ve burkulmaya karşı güvenlik azalmaktadır.

❖ Burkulma yük parametresinin hesaplanmasında, sisteme etkiyen yatay yüklerin sonuçlar üzerinde etkili olmadığı ancak artan mafsalsal sayılarının ve yerlerinin burkulma yük parametresini önemli ölçüde değiştirerek düşürdüğü gözlenmiştir.

❖ Tüm çubukların eğilme rijitlikleri; başlangıç rijitlikleri alınarak, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde öngörülen çatlamış kesit eğilme rijitlik değerleriyle çalışarak ve her kesitin moment-eğrilik grafiklerinden elde edilmiş çatlamış kesit rijitliği alınarak üç farklı durum için serbest titreşim parametreleri ve burkulma yükleri bulunmuş ve

a) 1. mod titreşim periyodunun en küçük çıktığı durum başlangıç rijitlikleriyle yapılan çalışmada olurken, en büyük çıktığı durum ise moment-eğrilik grafiklerinden alınan rijitliklerin alındığı durumda gerçekleşmiştir.

b) Burkulma yük parametresinin en büyük çıktığı durum başlangıç rijitlikleriyle yapılan çalışmada olurken, en küçük çıktığı durum ise moment- eğrilik grafiklerinden alınan yükleme durumunda gerçekleşmiştir. Buna göre yönetmelik öngörülerini yerine moment-eğrilik bağıntılarından yararlanılarak yola çıkılması daha gerçekçi görünmektedir.

❖ Yapının taşıyıcı sistemi incelendiğinde yapının kolonlarının güçlü eksenleri X doğrultusunda sıralanmış bulunmaktadır. Bu yüzden yapı analizi yapıldığında yapının periyotları güçlü eksen olan X yönünde (0.8830 s) daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte yapı periyodunun büyük ve rijitliğin küçük olması Y yönünde (1.0579 s) doğrusal olmayan analiz sonucunda etkiyen taban kesme kuvvetinin daha küçük olmasına etken olmuştur.

❖ Sisteme uygulanan statik itme analizi yönteminde, plastik mafsalsal hipotezi benimsenmiş, bunun için plastik şekil değiştirmelerin, plastik kesit adı verilen çerçevelerdeki kiriş ve kolon uçlarında toplandığı kabul edilmekte ve diğer kesitlerin

ise doğrusal davrandığı varsayılmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda sistem analizinde ikinci mertebe etkileri de göz önüne alınmıştır.

❖ Hiperstatik derecesi yüksek olan yapılarda yapı elemanlarının birbiri ile yardımlaşması daha kolay olacağından yapının taşıyabileceği mekanizma yükünün daha yüksek olacağı söylenebilmektedir.

❖ Final olarak Yatay Yük Artımı Yöntemi ile yapılan Statik İtme Analizi ve Burkulma Analizi sonuçlarının karşılaştırılması yapı hakkında önemli bilgiler vermektedir. Analizler sonucu yapıda meydana gelen plastik mafsalların sayısı artıkça diğer önemli parametreler olan doğal titreşim periyodu, mod şekilleri, modal katkı çarpanı, modal kütle katılım oranı ve burkulma yük faktörleri de buna bağlı olarak değişmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise uygulanan analizler sonucunda 1. Titreşim Modu ve 1. Moda ait doğal titreşim periyodunun yapının performansı ve deprem davranışları hakkında en önemli bilgileri göstermektedir.

❖ Yapılarda tasarım ve statik çalışmalar sonucunda düzensizliklerin meydana geldiği görülmektedir. 2. Bölümde TBDY 2018'e göre detaylı olarak anlatılan bu konu 9. Bölümde de her bir düzensizlik tablolar ile efektif şekilde, iki ana başlık altında açıklanmaktadır.

❖ Yapı düzensizliklerine sahip betonarme çerçeve sistemlerin analizler sonucunda yapı performanslarında yaşanan değişimlere vurgu yapılmıştır.

❖ Bütün çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında genelleme yapabilmek ve bu çalışmaların alanını artırabilmek için bu tarz çalışmalara devam edilmelidir. Bu çalışmalar ise; çok katlı ve fazla yüksekliğe sahip yapılar, geniş açıklıklı betonarme çerçeve sistemlerde ve yükseklik boyunca her katta aynı simetriye sahip yapılarda modelleme ve çözümleme çalışmaları ile devam ettirilmelidir.

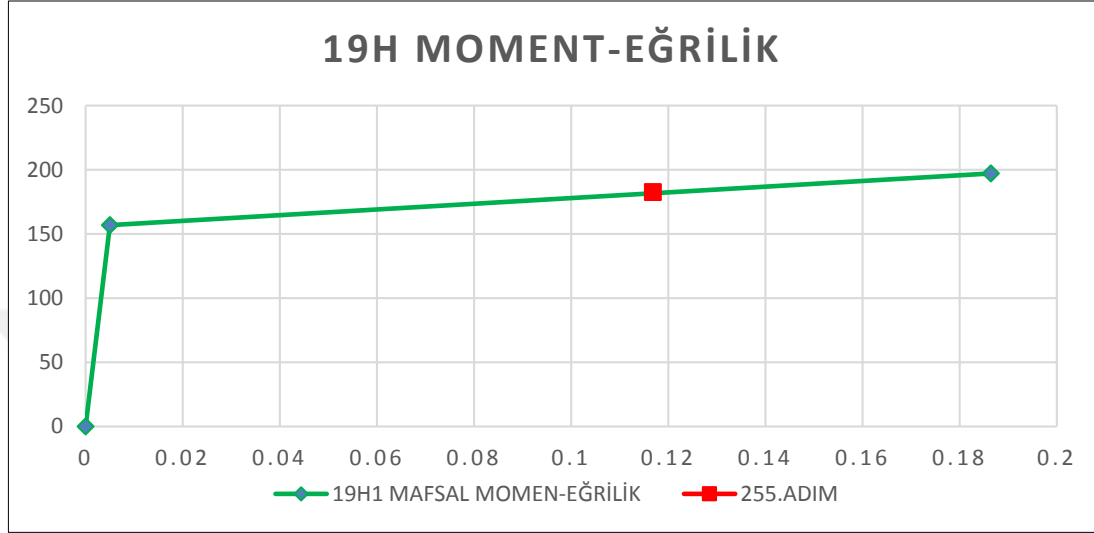
KAYNAKÇA

- [1] Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2018
- [2] Canbay, Erdem, Uğur Ersoy, Güney Özcebe, Haluk Sucuoğlu ve S. Tanvir Wasti. Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler. Ankara: Bizim Büro, 2008.
- [3] Celep, Zekai. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme. İstanbul: Beta, 2017.
- [4] Doğanğün, Adem. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. İstanbul: Birsen, 2009.
- [5] Karadoğan, Faruk vd., Yapı Mühendisliğine Giriş Yapısal Çözümleme Cilt 1, 1.baskı, 3 cilt. İstanbul: Birsen, 2011.
- [6] Karadoğan, Faruk vd., Yapı Mühendisliğine Giriş- Yapısal Çözümleme- Cilt 2- Hiperstatik Sistemler- Kuvvet Yöntemi Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranış, 1. baskı, 3 cilt. İstanbul: Birsen, 2015.
- [7] Karadoğan, Faruk vd., Yapı Mühendisliğine Giriş- Yapısal Çözümleme- Cilt 3- Hiperstatik Sistemler- Yerdeğiştirme Yöntemleri Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranış, 1. baskı, 3 cilt. İstanbul: Birsen, 2016.
- [8] Deprem Yönetmeliği, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [9] Computers and Structures, Inc., 2017. SAP 2000 Integrated Solution for Structural Analysis and Design. Berkeley, California.
- [10] Xenidis, Hariton, Triantafyllos Makarios. "Critical Buckling Load of Multi-Story R/C Buildings." *13th World Conference on Earthquake Engineering Canada 2004*. August 2004. 20 June 2019 <www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_807.pdf>.

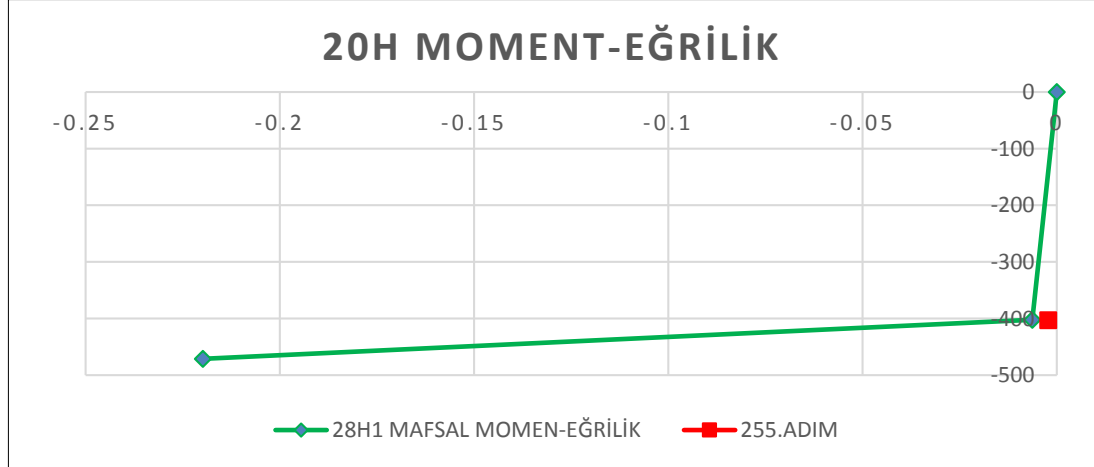
- [11] Kural, Emin, Özer Zeybek, Mutlu Seçer. "Çelik Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi" DEÜ Fakültesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 13 (2012): 75-87.
- [12] Goudar, Sudha S, R.G.Talasadar. "Buckling Analysis of RC Framed Structures With and Without Bracings." *International Research Journal of Engineering and Technology* 04. 10. (2017): 5pp. 20 June 2019 <www.irjet.net>.
- [13] Bıkçe, Murat. Betonarme Çözümlü Örnekler. Hatay: Mustafa Kemal Üniversitesi Kütüphane ve Dökümantasyon Daire Başkanlığı, 2010.
- [14] Xtract, 2007, Cross- Sectional X Structural Analysis of Components.
- [15] Aksoylu, Ceyhun, Musa Hakan Arslan. "Çerçeve Türü Betonarme Binaların Periyot Hesaplarının Farklı Ampirik Bağlantılarına Göre İncelenmesi" Bitlis. Haziran 2019. < <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.476312>>.
- [16] Ünver, Feyyaz. "Düzensiz Yapıların Deprem Davranışı ve İyileştirilmesi- Burkulma Güvenliğindeki Değişiminin İncelenmesi." İstanbul Kültür Üniversitesi. Haziran 2019.
- [17] Gürsoy A. "Elastik çubuk ve çerçeve sistemlerin burkulma yüklerinin varyasyonel türev ile incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2004.
- [18] Emam S. A. Nayfeh A. H. "Postbuckling and free vibrations of composite beams, Composite Structures", vol. 88, pp. 636-642. 2009.

EKLER

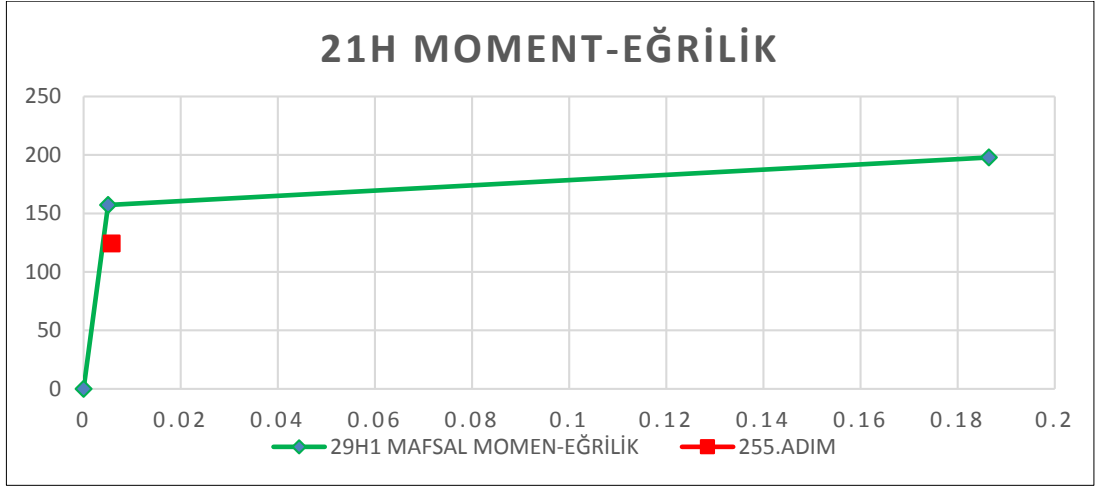
EK A



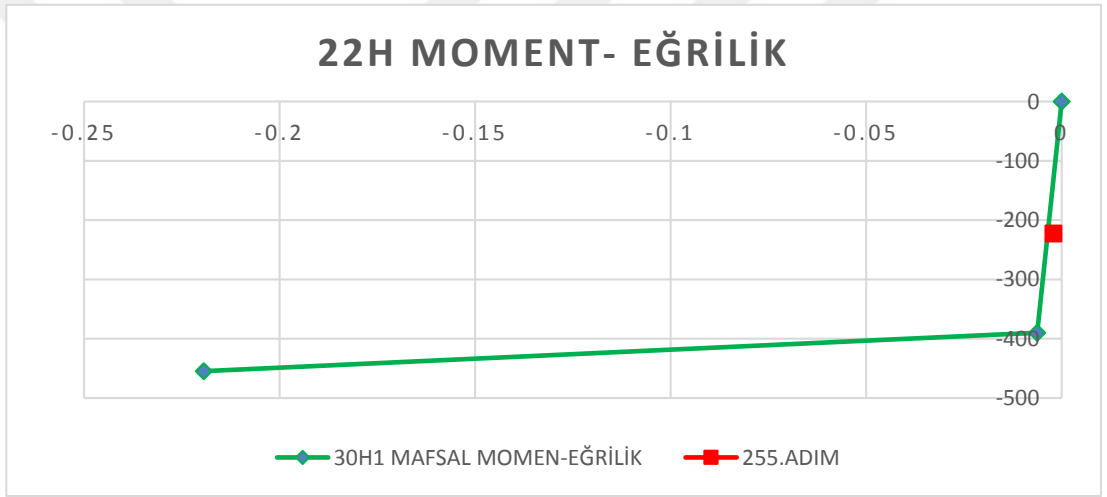
EK A-1 19H NOLU MAFSAL MOMENT EĞRİLİK GRAFİĞİ



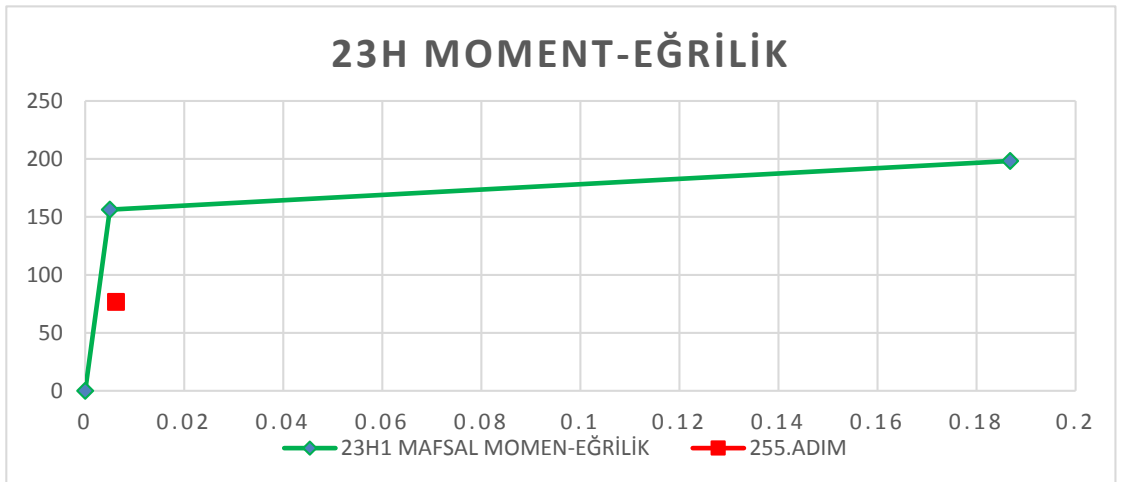
EK A-2 20H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



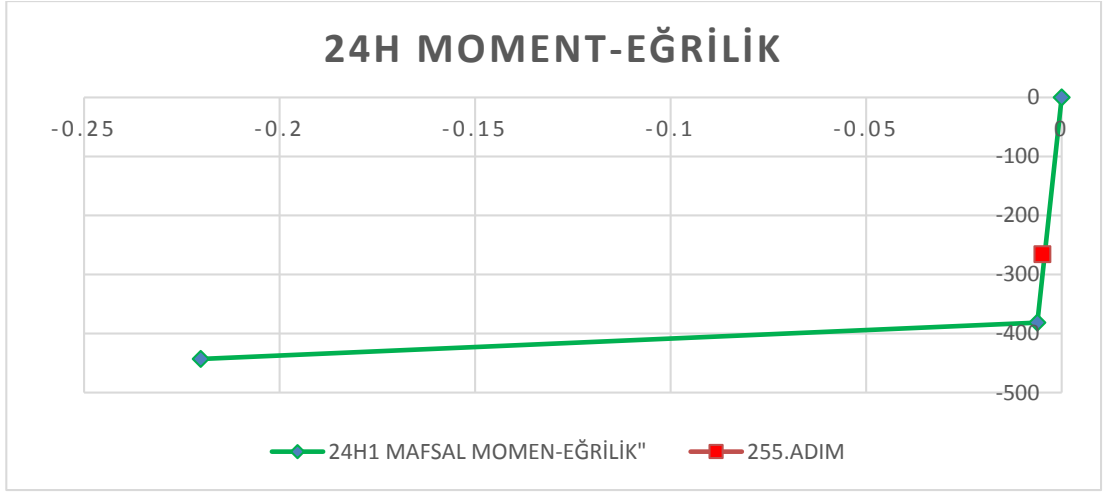
EK A-3 21H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



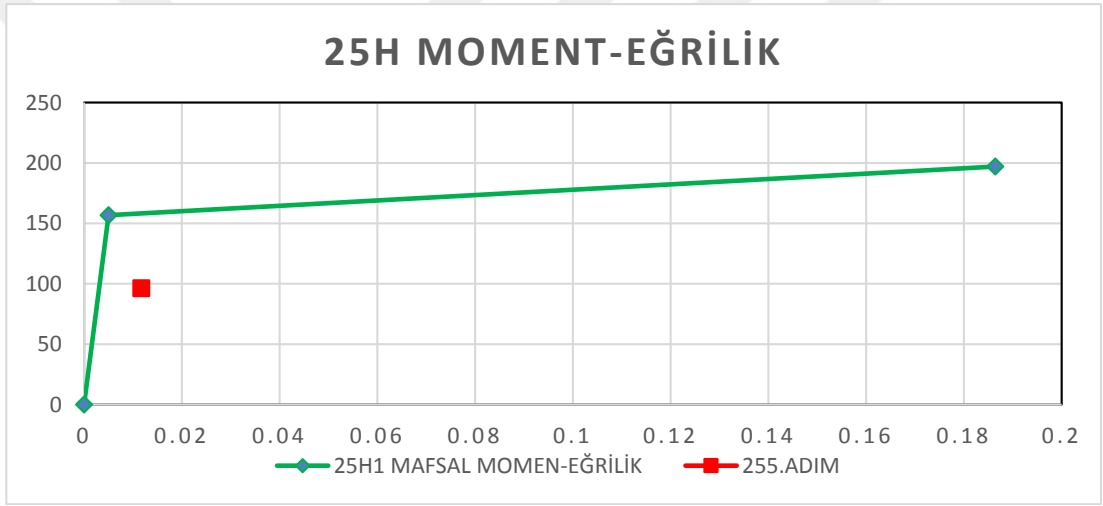
EK A-4 22H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



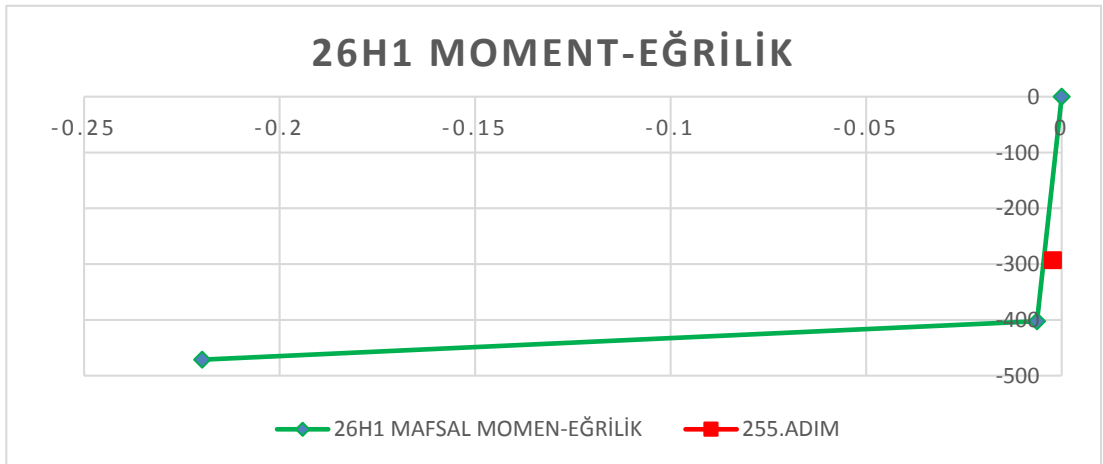
EK A-5 23H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



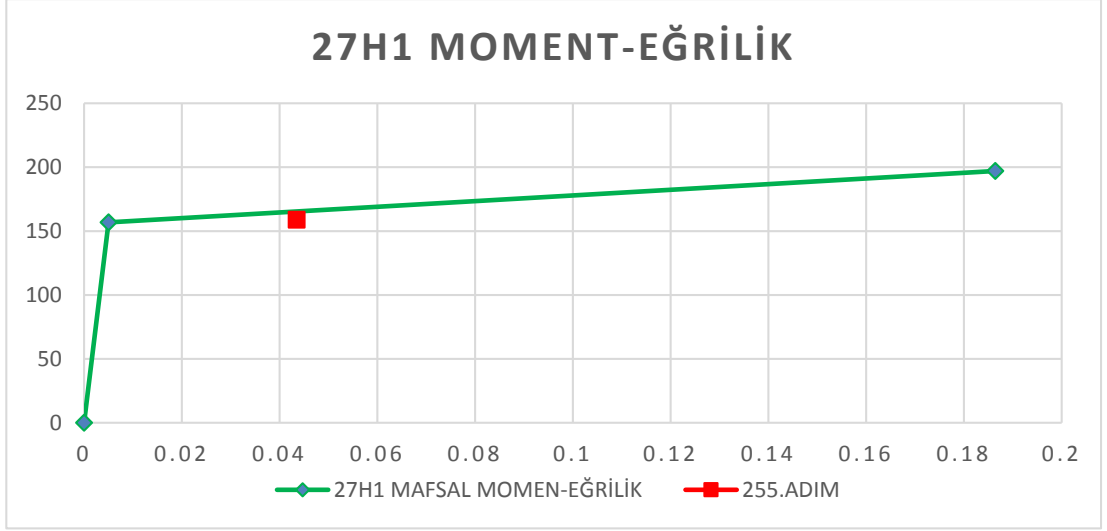
EK A-6 24H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



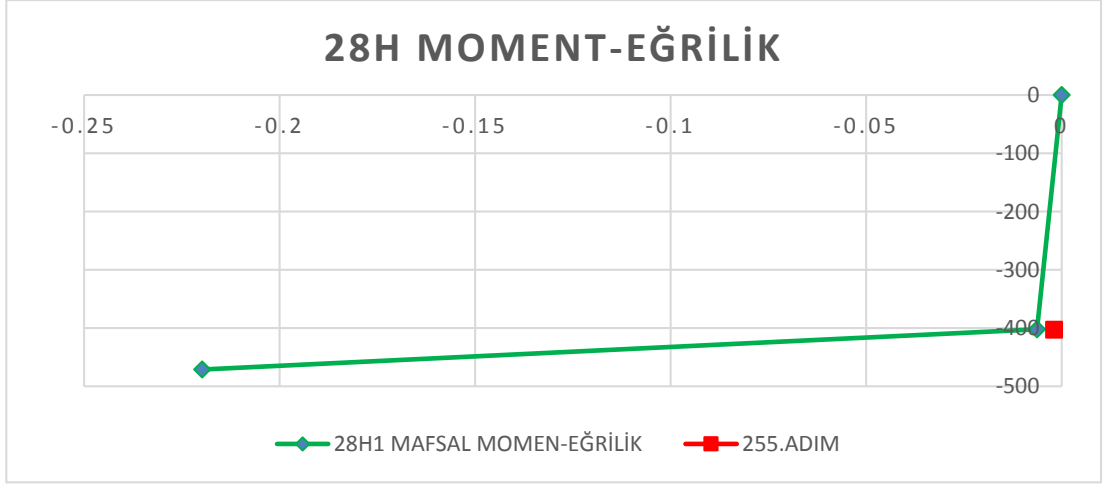
EK A-7 25H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



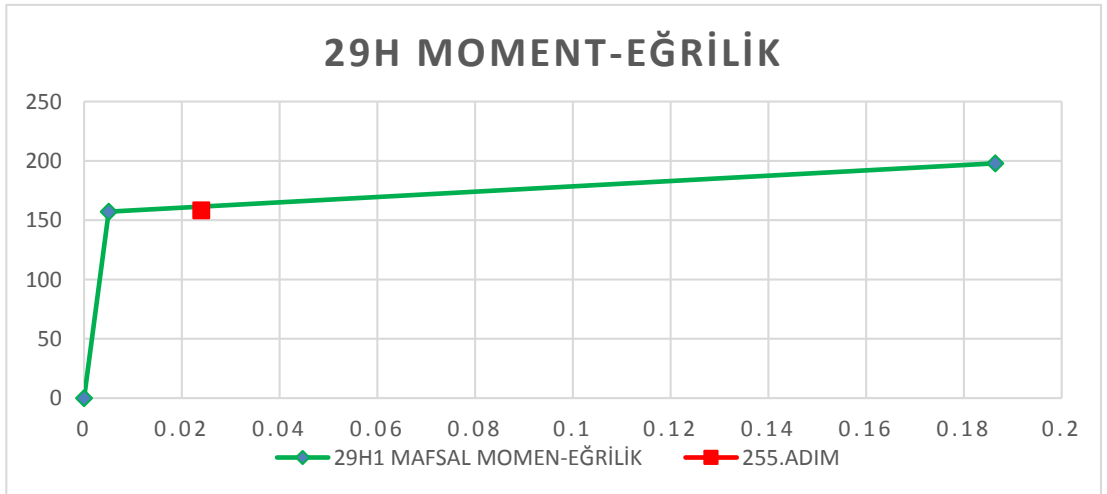
EK A-8 26H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



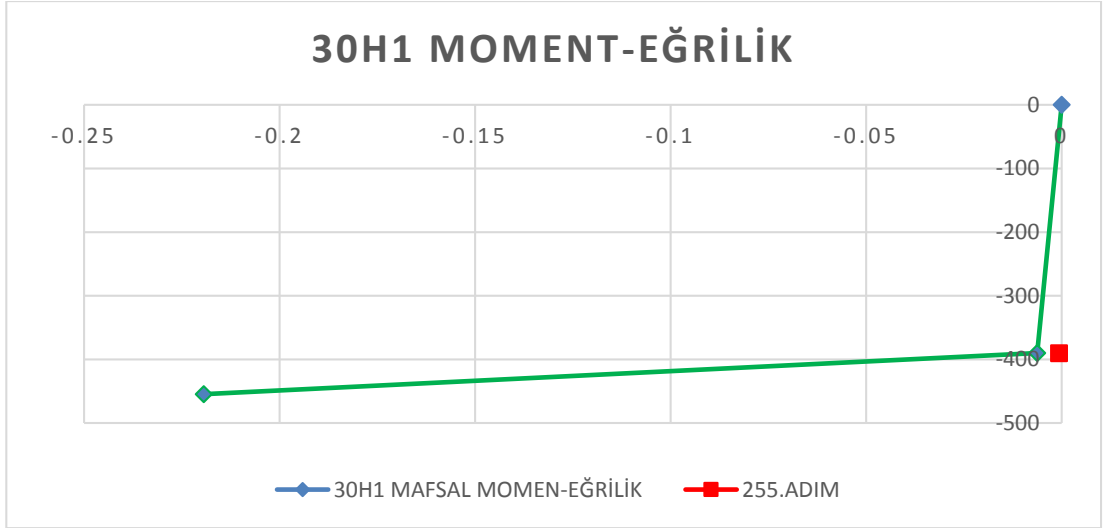
EK A-9 27H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



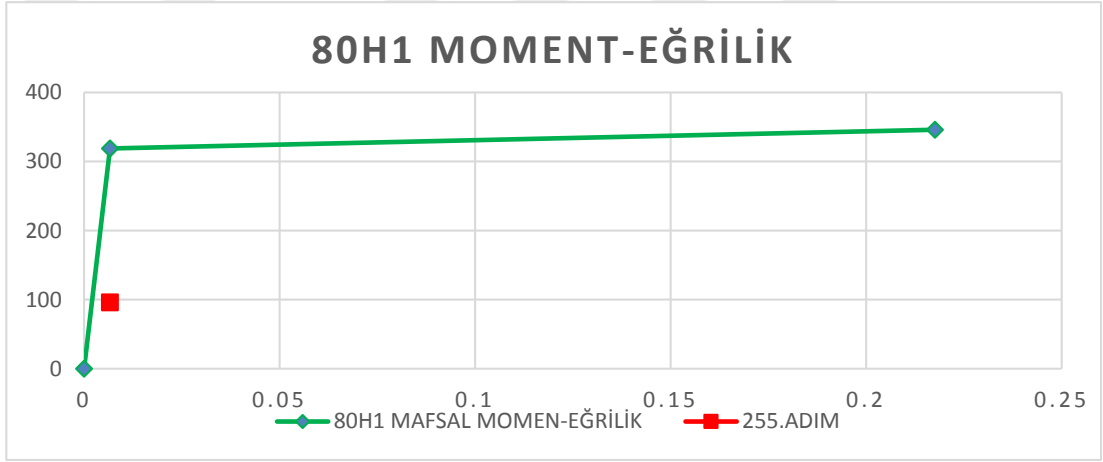
EK A-10 28H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



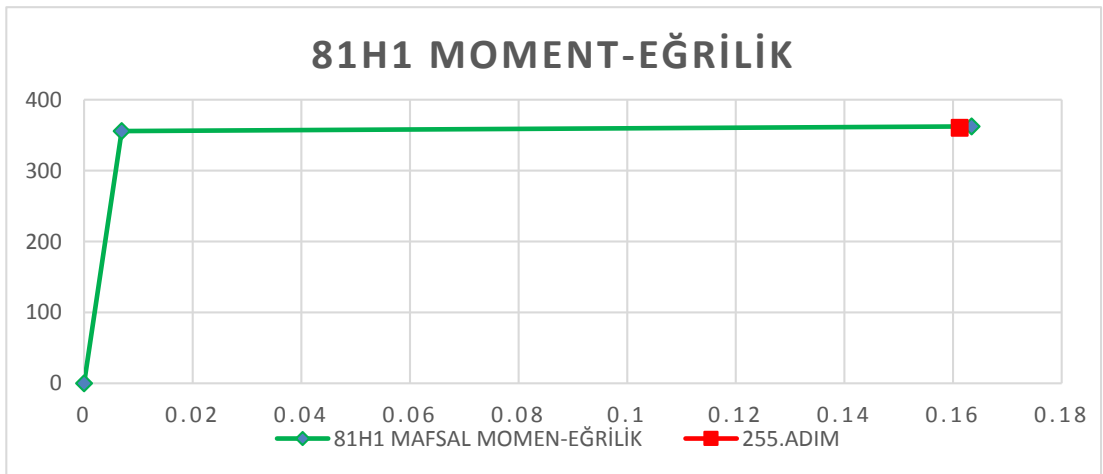
EK A-11 29H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



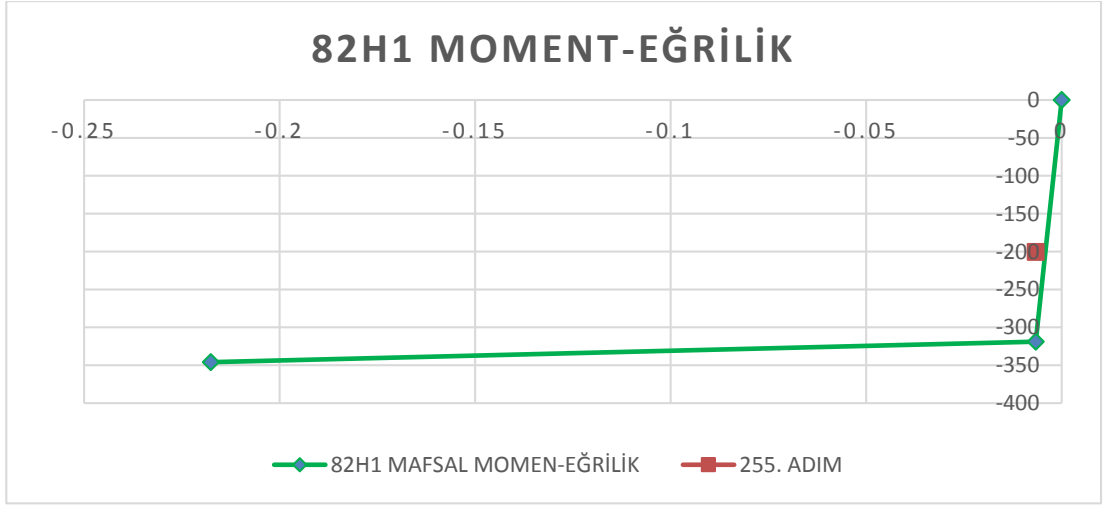
EK A-12 30H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



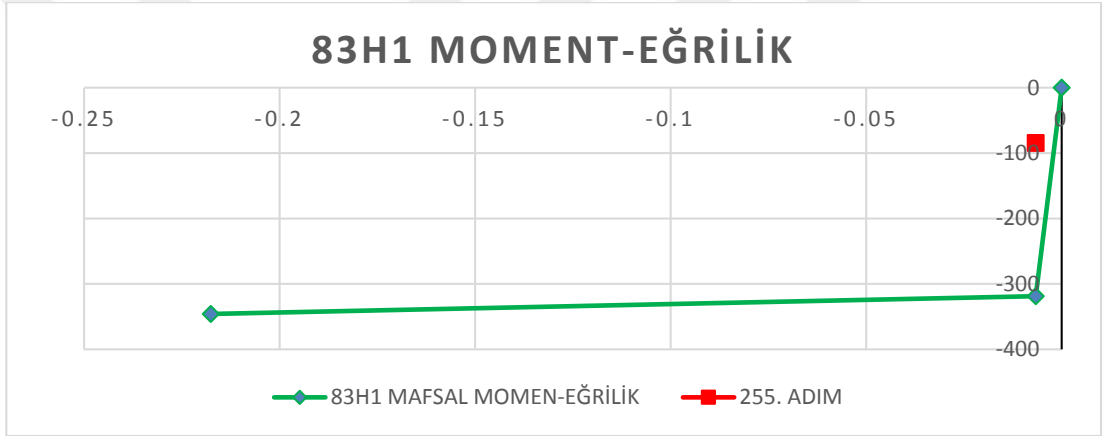
EK A-13 80H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



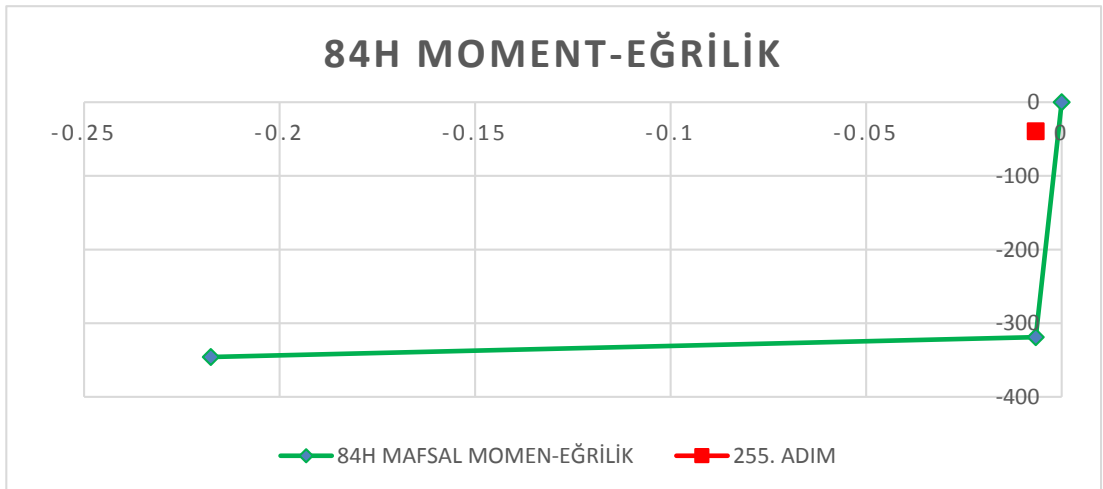
EK A-14 81H NOLU MAFSAL MOMENT EĞRİLİ GRAFİĞİ



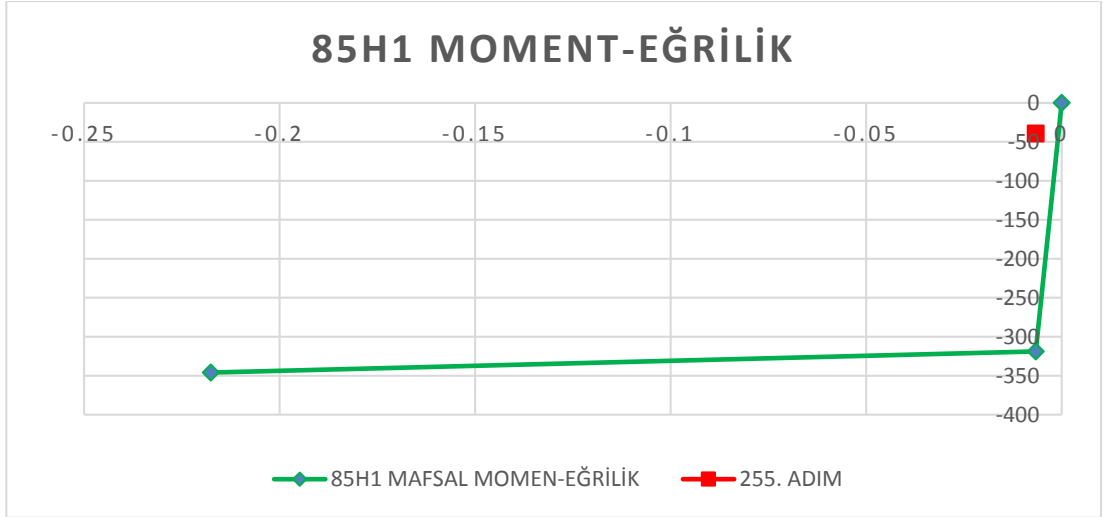
EK A-15 82H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



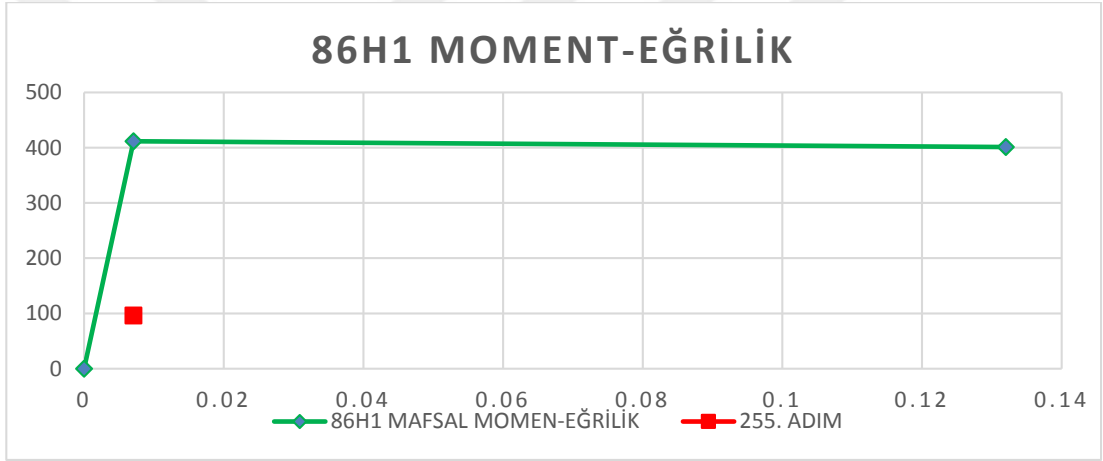
EK A-16 83H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



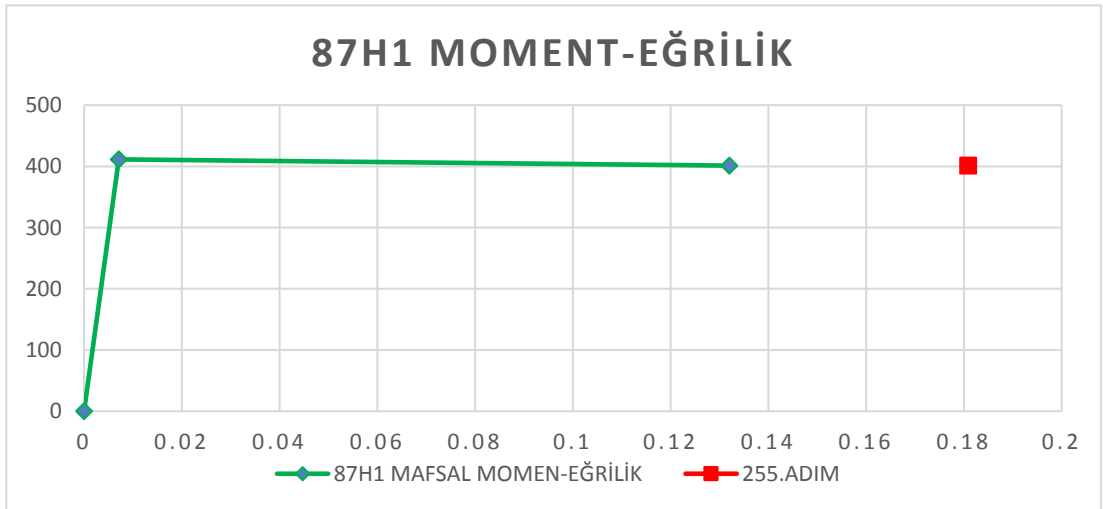
EK A-17 84H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



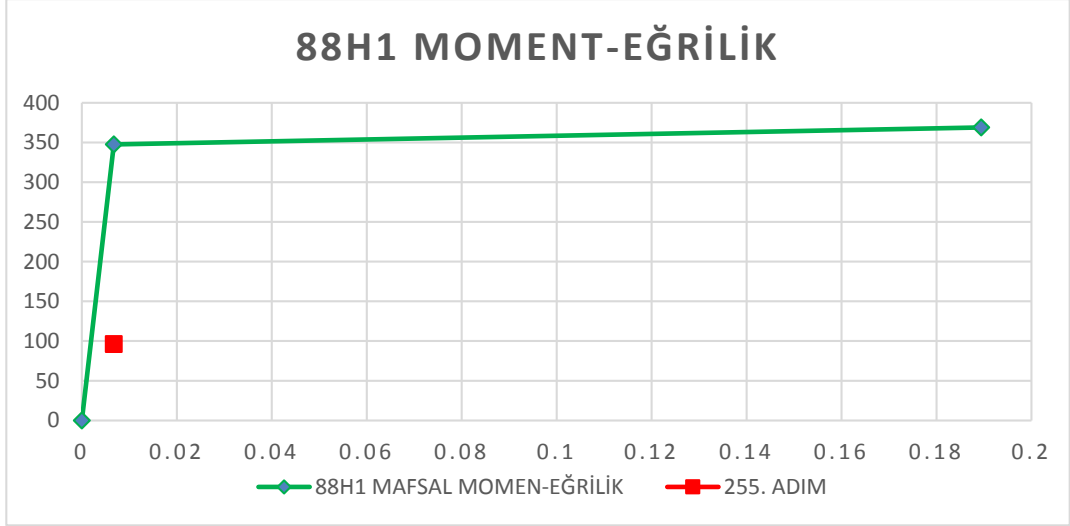
EK A-18 85H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



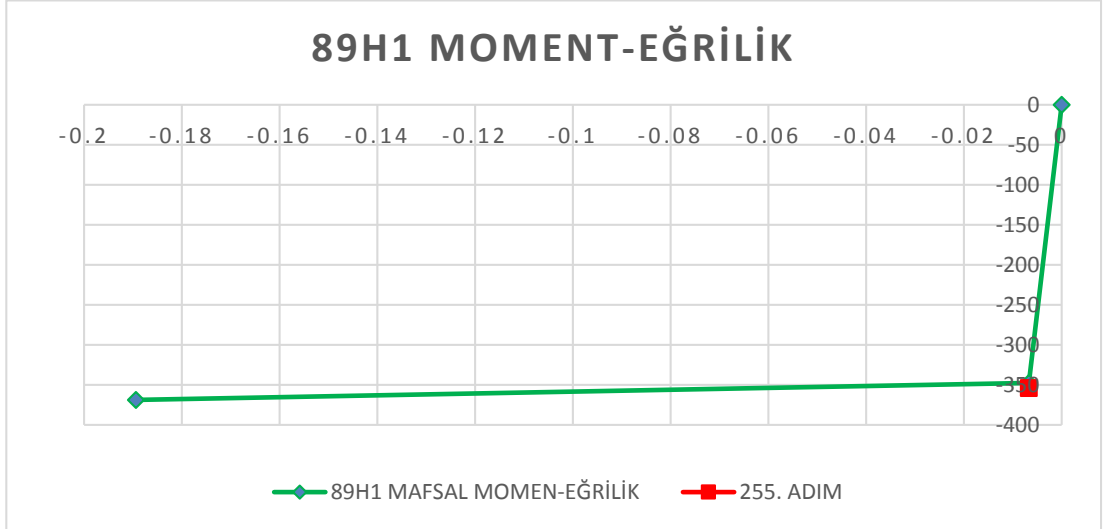
EK A-19 86H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



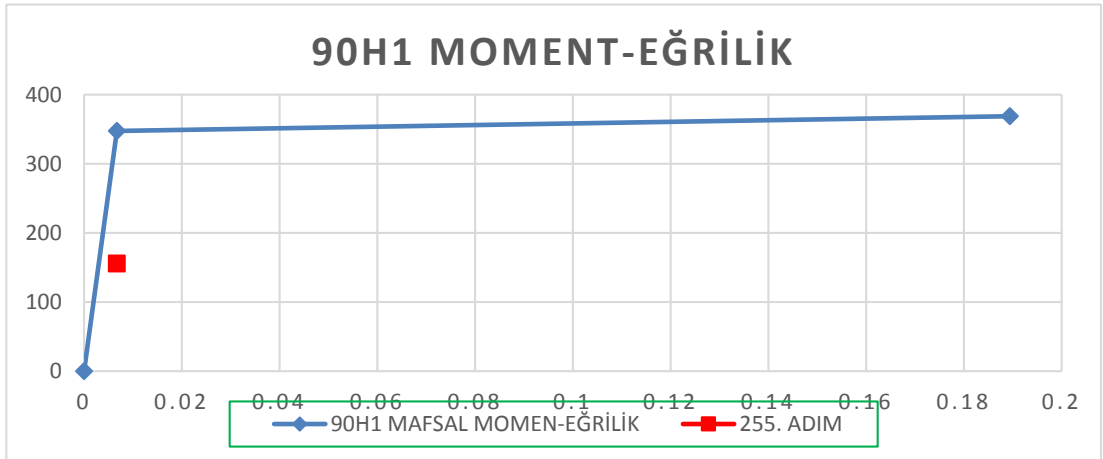
EK A-20 87H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ
KIRILMANIN GERÇEKLEŞTİĞİ KESİT



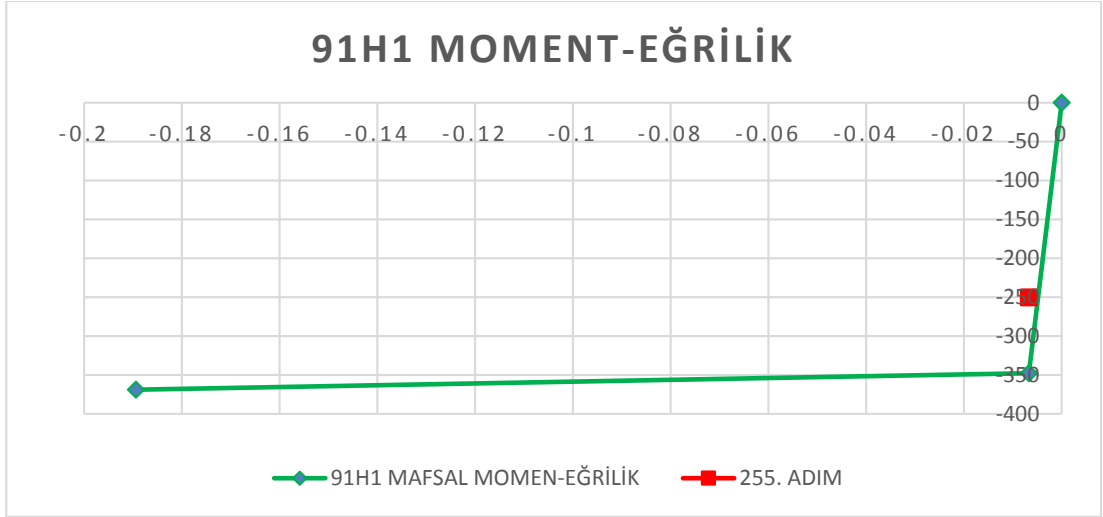
EK A-21 88H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



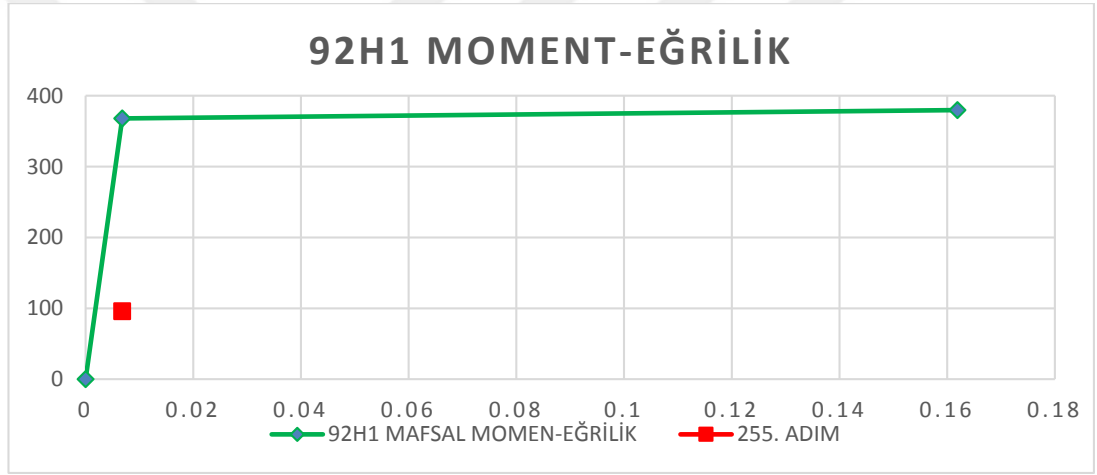
EK A-22 89H NOLU MAFSAL MOMENT EĞRİLİK GRAFİĞİ



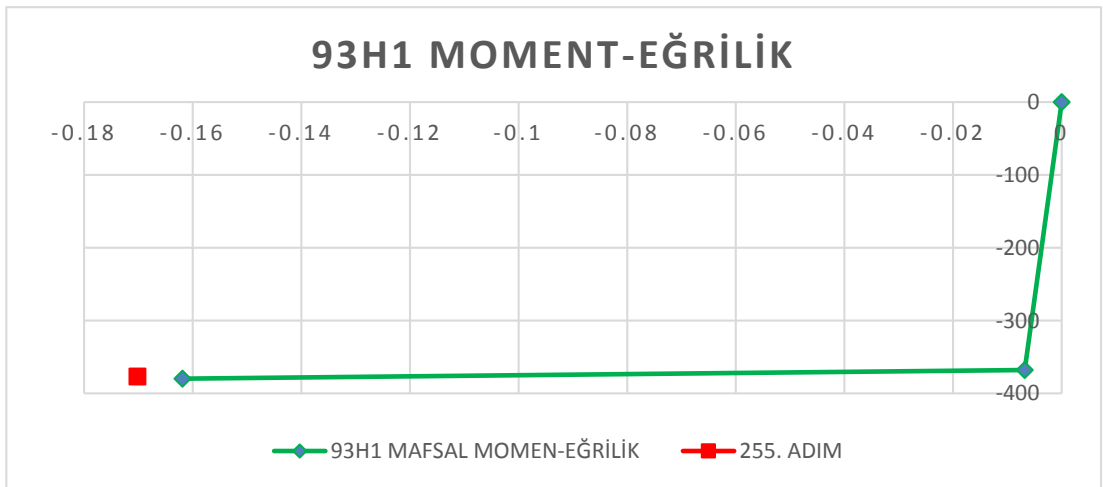
EK A-23 90H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



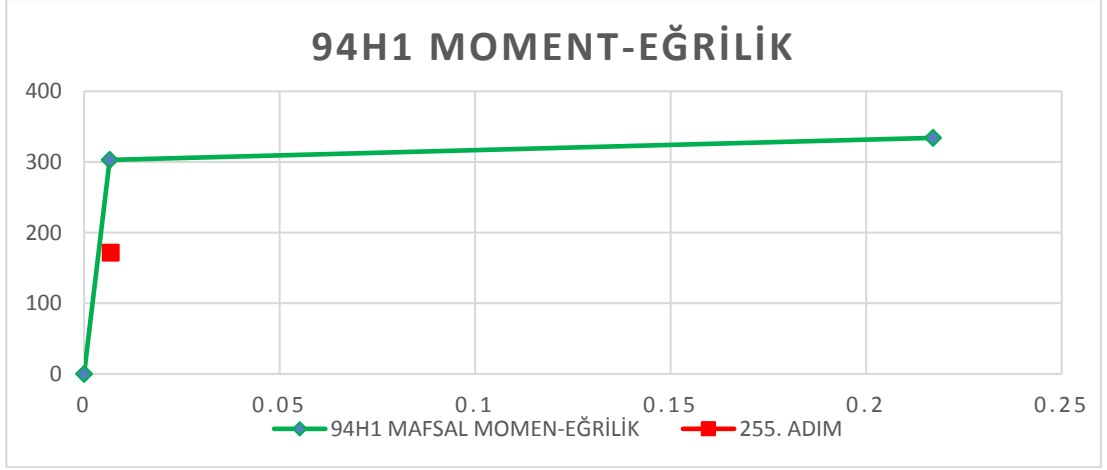
EK A-24 91H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



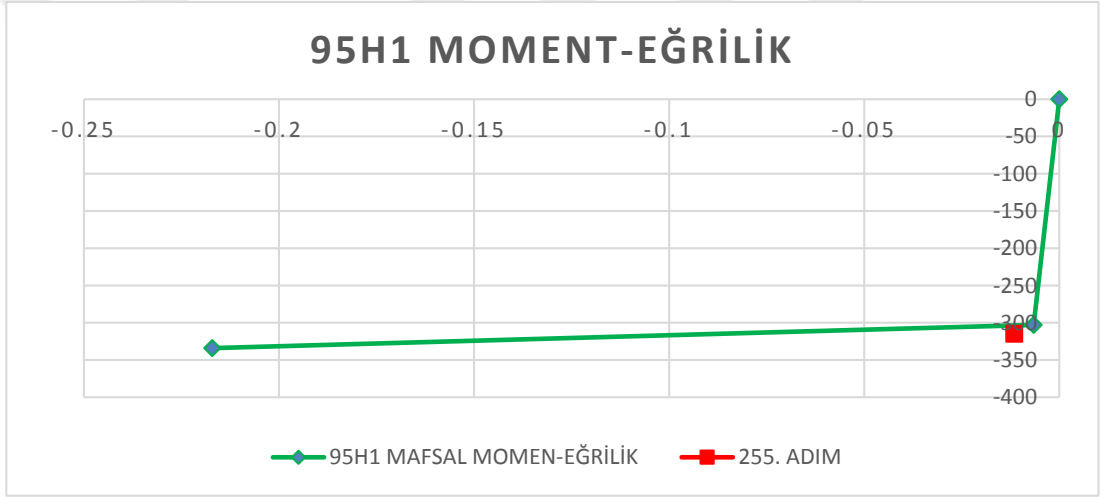
EK A-25 93H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



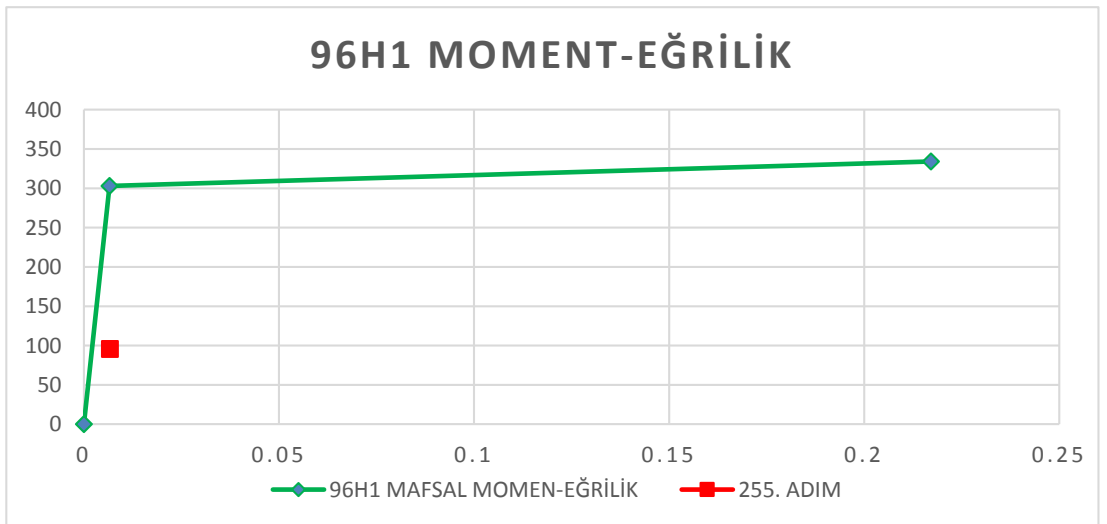
EK A-26 94H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



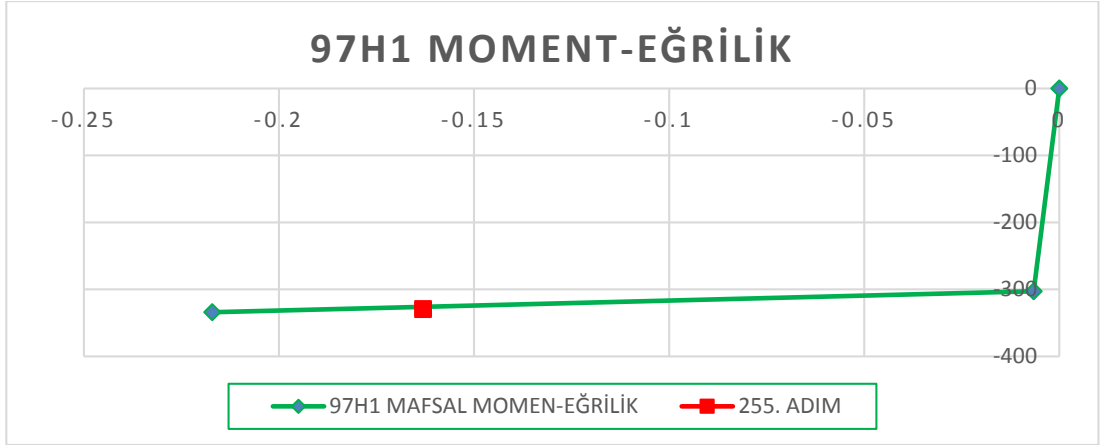
EK A-27 95H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



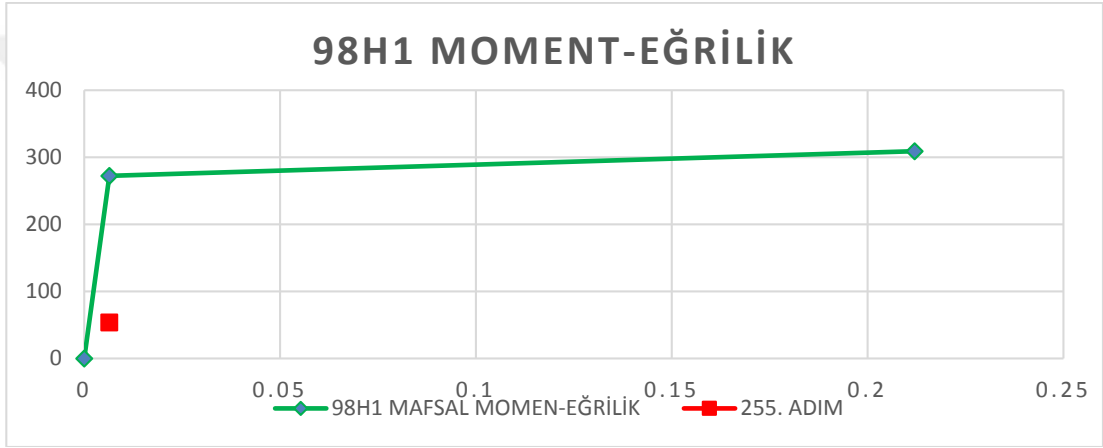
EK A-28 95H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



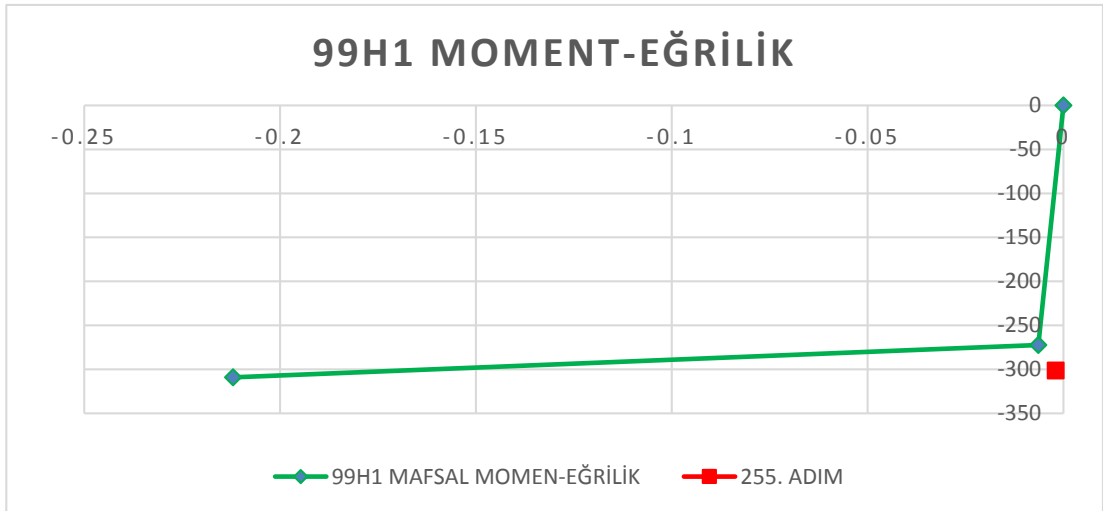
EK A-29 NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



EK A-30 97H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



EK A-31 98H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ



EK A-32 99H NOLU MAFSAL MOMENT-EĞRİLİK GRAFİĞİ

EK B

Tablo 4.1. Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	$BYS \geq 2$
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	$BYS \geq 4$
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2.5	$BYS \geq 4$
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 6$
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	$BYS \geq 6$
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.3, 4.3.4.7)			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	$BYS \geq 7$
A32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$

Tablo 4.1 (devamı)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
B. ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
B1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
B11. Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	7	2.5	$BYS \geq 4$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 6$
B12. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	7	2.5	$BYS \geq 2$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 6$
B13. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	6	2.5	$BYS \geq 2$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 6$
B14. Düşey yüklerin bağlantıları mafsallı önüretimli ve iki doğrultulu çerçeveler ile, deprem etkilerinin tamamının ise <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 7$
B15. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–
B2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
B21. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçeveler ile, <i>süneklik düzeyi yüksek</i> yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) veya boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar			
MAB1, MAB2 tipi moment aktaran bağlantılar:	5	2.5	$BYS \geq 5$
MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar:	4	2.5	$BYS \geq 6$
B3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
B31. Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	$BYS = 8$
B32. Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> önüretimli çerçeveler ile, yerinde dökme <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	3	2	$BYS \geq 7$
B33. Deprem yüklerinin tamamının önüretimli betonarme düşey çift cidarlı paneller tarafından karşılandığı <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> binalar	4	2	$BYS \geq 6$
B34. Deprem yüklerinin tamamının önüretimli betonarme düşey tek cidarlı paneller tarafından karşılandığı <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> binalar	3	2	$BYS \geq 7$

Tablo 4.1 (devamı)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
C12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
C13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	3	$BYS \geq 2$
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	6	2.5	$BYS \geq 2$
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	–
C2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
C21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	$BYS \geq 4$
C22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2	$BYS \geq 4$
C3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
C31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	$BYS \geq 7$
C32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	$BYS = 8$
C33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 7$

Tablo 4.1 (devamı)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının vidalı, bulonlu sac, OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek hafif çelik binalar	4	2	BYS = 8
D2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının alçı levhalar içeren kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	BYS = 8
E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
E1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
E11. Donatılı yığma binalar	4	2	BYS ≥ 7
E12. Donatılı gazbeton panel binalar	4	2	BYS ≥ 7
E2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
E21. Kuşatılmış yığma binalar	3	2	BYS = 8
E22. Donatısız yığma binalar	2.5	1.5	BYS = 8
F. AHŞAP BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
F1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının çivili veya vidalı OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek ahşap binalar	4	2	BYS ≥ 7
F2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının çivi, vida ve bulon ile birleştirilen tutkalı duvar panelleri ile veya ahşap çaprazlarla karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı ahşap binalar	3	2	BYS = 8

EK C

MAFSLASIZ		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0121	1	82.7815
0.0290	2	68.9417
0.0578	3	51.9031
0.1333	4	30.0075
0.2365	6	25.3700
0.4202	8	19.0386
0.6523	9	13.7973
0.8123	10	12.3107
0.9526	10.2	10.7075
1.1256	10.4	9.2395
4.0260	10.6	2.6329
5.0236	10.8	2.1499
9.0263	10.9	1.2076
4.0942	11	2.6867
-4.0653	12	-2.9518
Burkulma faktörü=10.90		
6 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0121	1	82.7815
0.0300	2	66.7601
0.0512	3	58.5938
0.1426	4	28.0505
0.2148	6	27.9330
0.4786	8	16.7154
0.6631	9	13.5726
0.7978	10	12.5345
0.8991	10.2	11.3447
2.9563	10.4	3.5179
5.0522	10.6	2.0981
7.0559	10.8	1.5306
10.9563	10.9	0.9949
5.0125	11	2.1945
-3.0523	11.5	-3.7677
Burkulma faktörü=10.89		

8 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0121	1	82.3723
0.0296	2	67.6133
0.0458	3	65.5022
0.1564	4	25.5754
0.2111	6	28.4225
0.4563	8	17.5316
0.7468	9	12.0514
2.7546	9.2	3.3399
8.6435	9.4	1.0875
10.3650	9.5	0.9165
4.0260	9.8	2.4342
3.0236	10	3.3073
Burkulma faktörü=9.50		
11 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0149	1	67.2495
0.0372	2	53.7924
0.0522	3	57.4713
0.1925	4	20.7792
0.2366	6	25.3593
0.4896	8	16.3399
1.8200	9	4.9451
8.1263	9.2	1.1321
4.6632	9.4	2.0158
-6.1470	9.2	-1.4967
-4.0630	9.8	-2.4120
Burkulma faktörü=9.20		
13 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0168	1	59.6659
0.0439	2	45.6100
0.1256	3	23.8854
0.2956	4	13.5304
0.4126	6	14.5419
1.5632	8	5.1177
4.0256	8.2	2.0369
9.0263	8.4	0.9306
12.2015	8.6	0.7048
17.2026	8.8	0.5115
5.2156	9	1.7256
-2.3650	9.5	-4.0169
Burkulma faktörü=8.8		

19 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0200	1	49.9500
0.0516	2	38.7522
0.3176	3	9.4470
0.3654	4	10.9469
0.4126	5	12.1186
2.0563	6	2.9179
6.3256	7	1.1066
10.3650	7.7	0.7429
13.3650	7.9	0.5911
14.2650	8	0.5608
18.3263	8.1	0.4420
-2.0263	8.3	-4.0961
-3.3650	8.5	-2.5260
Burkulma faktörü=8.1		
20 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0200	1	49.9500
0.0516	2	38.7522
0.3180	3	9.4340
0.3670	4	10.8992
0.4214	5	11.8652
2.0954	6	2.8634
6.4021	7	1.0934
10.5463	7.5	0.7111
13.9542	7.7	0.5518
14.5566	7.9	0.5427
18.9000	8.1	0.4286
5.0263	8.3	1.6513
-4.0263	8.5	-2.1111
Burkulma faktörü=8.1		
23 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0187	1	53.4188
0.0497	2	40.2576
0.3656	3	8.2057
0.4023	4	9.9428
0.4896	5	10.2124
2.9563	6	2.0296
7.0526	7	0.9925
9.3650	7.5	0.8009
10.3556	7.7	0.7436
12.3650	7.9	0.6389
13.6560	8	0.5858
21.3650	8.1	0.3791
6.3556	8.3	1.3059
-3.2656	8.5	-2.6029
Burkulma faktörü=8.1		

26 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0187	1	53.5619
0.0504	2	39.7219
0.3789	3	7.9177
0.4125	4	9.6970
0.5263	5	9.5003
2.9633	6	2.0248
7.1250	7	0.9825
9.4000	7.2	0.7660
10.6320	7.3	0.6866
12.2037	7.4	0.6064
13.2155	7.7	0.5827
20.1547	7.9	0.3920
5.6320	8	1.4205
-4.3256	8.3	-1.9188
Burkulma faktörü=7.9		
28 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0187	1	53.5619
0.0504	2	39.7219
0.3790	3	7.9156
0.4198	4	9.5283
0.5103	5	9.7982
2.9789	6	2.0142
7.1345	6.7	0.9391
9.5210	6.9	0.7247
10.7230	7	0.6528
12.2123	7.3	0.5978
13.2220	7.6	0.5748
19.3545	7.8	0.4030
4.6320	8	1.7271
-5.6326	8.2	-1.4558

29 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0187	1	53.5619
0.0504	2	39.7219
0.3785	3	7.9260
0.4236	4	9.4422
0.5010	5	9.9804
2.9660	6	2.0230
7.1252	6.7	0.9403
9.6325	6.9	0.7163
10.7365	7	0.6520
12.2145	7.3	0.5977
13.1256	7.6	0.5790
19.3637	7.8	0.4028
4.7896	8	1.6703
-5.8563	8.2	-1.4002
Burkulma faktörü=7.8		
30 MAFSALLI		
DEPLASMAN (m)	UYGULANAN YÜK KATI (G+0.3Q+EQE)	YÜK/ DEPLASMAN
0.0187	1	53.5619
0.0503	2	39.7456
0.3765	3	7.9675
0.4246	4	9.4215
0.5010	5	9.9796
2.9610	6	2.0263
7.1260	6.7	0.9402
9.6631	6.9	0.7141
10.6325	7	0.6584
12.2452	7.3	0.5962
13.1362	7.6	0.5786
18.6333	7.8	0.4186
4.3665	8	1.8321
-5.8563	8.2	-1.4002
Burkulma faktörü=7.8		