



KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI VE
ONARIM-GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

ALİ RIZA İLKER AKGÖNEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAHRAMANMARAŞ
Ağustos – 2005



**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI VE
ONARIM-GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ALİ RIZA İLKER AKGÖNEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
Ağustos – 2005**

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI VE ONARIM GÜÇLENDİRME
TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

ALİRIZA İLKER AKGÖNEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kod No:

Bu Tez / / 2005 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

.....

Yrd. Doç. Dr.
Hatip Tok
DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr.
Beytullah Temel
ÜYE

Yrd. Doç. Dr.
Hanifi Binici
ÜYE

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. ONUR DENİZ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
İÇİNDEKİLER.....	I
ÖNSÖZ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	2
2.2. Mevcut Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesi.....	5
2.3. Taşıyıcı Sistem Güçlendirme Tekniklerinin İncelenmesi	5
2.3.1. Betonarme Perdeler ile Güçlendirme	5
2.3.1.1. Perdelerin Tasarımı ve Mevcut Binada Yerlerinin Tespiti	7
2.3.1.2. Mantoların Tasarımı ve Mevcut Binada Yerlerinin Tespiti.....	7
2.3.2. Enerji Dağıtma Sistemleri ile Güçlendirme	8
2.3.2.1. Belli Başlı Enerji Sönümleme Sistemleri	9
2.3.2.1.1. Sürtünmeli Sistemler	9
2.3.2.1.2. Metalik Sistemler	9
2.3.2.1.2.1. Akan Çelik Sistemler.....	9
2.3.2.1.2.2. SMA Sistemler (Shape Memory Alloys).....	10
2.3.2.2. Sürtünmeli Sistem Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	10
2.3.2.3. Pasif Enerji Dağıtım Sistemleriyle Enerji Sönümlemesi	11
2.4. Taban İzolatörleri.....	12
2.4.1. Büyük Depremlerde İzolatörlü ve İzolatörsüz Binaların Karşılaştırması	13
2.4.2. İzolatör Tipleri.....	14
2.4.2.1. Sürtünmeli Sistem (Pure Friction System).....	14
2.4.2.2. Sürtünmeli-Sarkaçlı Sistem (Friction Pendulum System).....	14
2.4.3. Taban İzolatörü Davranış Şekilleri.....	15
2.4.4. Taban İzolatörü Analiz Yöntemleri ve Tasarım İlkeleri	16
2.4.5. Uygulanmış Projeler	17
3. MATERYAL VE METOD	20
3.1. İşlem Sırası	20
3.2. Elastisite Modülünün Belirlenmesi	21
3.3. Düşey Yük Hesabı.....	22
3.3.1. Ölü Yük	22
3.3.2. Hareketli Yük.....	22
3.4. Yatay Yük Hesabı.....	22
3.4.1. TDY-98	22
3.4.2. UBC-97	22
3.5. Yük Kombinasyonları (UBC97)	23
3.6. Kütle ve Rijitlik Merkezlerinin İncelenmesi	23
3.7. Dinamik Analiz	23
3.8. Dayanım Hesabı.....	25
3.8.1. Perde Eğilme Momentleri Taşıma Gücü Hesabı	25
3.8.2. Perdelerin Kayma Dayanımı	26
3.9. Deplasman Kontrolü	26

3.9.1. İtki (Push-Over) Analizi ile Yapı Performansının Belirlenmesi	27
3.9.2. Kapasite Spektrumu Metodu	27
3.9.3. Bilgisayar Programında İtki Analizinin Yapılması.....	28
4. YAPI GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	30
4.1. Güçlendirilmesi Planlanan Bina	30
4.1.1. Elastisite Modülü	30
4.1.2. Kütle ve Rijitlik Merkezleri.....	31
4.1.3. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın Modal Özellikleri.....	31
4.1.4. Güçlendirilmesi Planlanan Binaya Etkiyen Taban Kesme Kuvvetleri	32
4.1.5. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Kat Ötelenmeleri.....	33
4.1.6. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Metraji	34
4.1.7. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Meydana Gelen Eğilme Momentleri	36
4.1.8. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Kolon Kapasite Tahkikleri	38
4.2. Mevcut Binanın Betonarme Perdelerle Güçlendirilmesi	40
4.2.1. Elastisite Modülü	41
4.2.2. Kat Kütle ve Rijitlik Merkezleri	41
4.2.3. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Modal Özellikleri	41
4.2.4. Taban Kesme Kuvvetleri	42
4.2.5. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemde Kat Ötelenmeleri	42
4.2.6. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemde Eğilme Momentleri.....	45
4.2.7. Güçlendirme Yapıldıktan Sonra Kolon Tahkikleri	47
4.2.8. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemde Perde Moment ve Kesme Tahkikleri.....	47
4.2.9. Güçlendirme Perdeli Metraj.....	50
4.3. Sismik İzolatörlerle Yapının Güçlendirilmesi	50
4.3.1. Elastisite Modülü	51
4.3.2. Taban İzolatörlü Binanın Modal Özellikleri	51
4.3.3. İzolatörlü Sistem Taban Kesme Kuvvetleri	52
4.3.4. İzolatörlü Sistemde Kat Ötelenmeleri	53
4.3.5. İzolatörlü Sistemde Meydana Gelen Eğilme Momentleri.....	55
5. ALTERNATİF TÜBÜLER GÜÇLENDİRME SİSTEMİ	59
5.1. Giriş	59
5.2. Tübüler Sistemler ile Binaların Güçlendirilmesi.....	59
5.2.1. Elastisite Modülü	60
5.2.2. Kat Kütle ve Rijitlik Merkezleri	61
5.2.3. Bina Modal Özellikleri	61
5.2.4. Taban Kesme Kuvvetleri	62
5.2.5. Kat Ötelenmeleri.....	63
5.2.6. Eğilme Momenti Değerleri.....	64
5.2.7. Taşıyıcı Eleman Kapasite Tahkikleri	67
5.2.8. Tübüler Güçlendirmeli Bina Metraji	67
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	68
6.1. Lineer Analiz Sonuçlarının Grafikselsel Olarak Karşılaştırılması.....	68
6.2.1. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın İtki Analizinin Yorumlanması	73
6.2.2. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Binanın İtki Analizinin Yorumlanması	73
6.2.3. Tübüler Perdelerle Güçlendirilmiş Binanın İtki Analizinin Yorumlanması	74
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR.....	77

ÖZGEÇMİŞ	79
-----------------------	-----------

**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

**DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI VE ONARIM-GÜÇLENDİRME
TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ALİRIZA İLKER AKGÖNEN

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. HATİP TOK

Yıl : 2005 Sayfa :79

**Jüri: Yrd. Doç. Dr. Hatip TOK
 Yrd. Doç. Dr. Beytullah TEMEL
 Yrd. Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ**

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra hasar gören binaların onarımı, henüz hasar görmemiş ve görmesi muhtemel binaların güçlendirilmesi gündeme gelmiştir. Ancak birçok inşaat mühendisi güçlendirme projesi hazırlarken dikkat edilmesi gereken hususları bilmemektedir. Güçlendirme projesi hazırlamak için statik proje hazırlama tecrübesi ve afet yönetmeliğinin tam olarak bilinmesi gereklidir, ancak yeterli değildir. Yapılan güçlendirme işleminin binanın özelliklerini, statik ve dinamik davranışını nasıl etkilediğinin bilinmesi gerekmektedir. Yanlış güçlendirme tekniğinin uygulanması, yapının deprem kuvvetleri karşısında daha olumsuz bir duruma düşmesine sebep olabilir.

Bu çalışmada, mevcut taşıyıcı sistemler ve taşıyıcı sistem güçlendirme teknikleri incelenmiş, her bir sistemin statik ve dinamik özelliklerinin olumlu ve olumsuz yanları irdelenerek güçlendirmede kullanılabilecek en uygun taşıyıcı sistem tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra alternatif olarak, tübüler sistem olarak bilinen bir taşıyıcı sistem, güçlendirme tekniği olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Deprem, Onarım ve Güçlendirme

**UNIVERSITY OF KAHRAMANMARAS SUTCU IMAM
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

MSc THESIS

ABSTRACT

**DESIGN OF EARTHQUAKE RESISTANT STRUCTURE AND
INVESTIGATION OF BUILDING IMPROVEMENT TECHNIQUES**

ALİRIZA İLKER AKGÖNEN

Supervisor: Assist. Prof. Dr. HATİP TOK

Year: 2005, Page: 79

**Jury : Assist. Prof. Dr. Hatip TOK
: Assist. Prof. Dr. Beytullah TEMEL
: Assist. Prof. Dr. Hanifi BINICI**

Since August 17, 1999, Kocaeli Earthquake, improvement of the building structures became very important issue in Turkey. Most of the structural engineers are not aware of the basics of this improvement. Having an experience on static projects and being knowledgeable on disaster specification are necessary but not enough to stand alone. Static and dynamic effects of strengthening techniques must be understood very well. Wrong strengthening method application may cause to worse circumstances for building against possible earthquake forces at the future.

In this study, properties and strengthening methods of structural systems are investigated. Positive and negative sides of static and dynamic affects of the structural systems are compared in order to determine best strengthening technique. Later on as an alternative strengthening method, “Tubular Strengthening Method”, will be presented.

Key Words: Design of Earthquake Resistant Structure, Repair and Strengthening of Buildings, Earthquake

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, eğitim-öğretim ve iş hayatımda elde ettiğim birikimleri ve taşıyıcı sistem güçlendirme teknikleri konusunda edindiğim deneyimlerimi meslektaşlarımla paylaşmayı amaçladım.

Yüksek lisans tezimi yürüten danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Hatip Tok’a yardımlarından dolayı şükranlarımı sunuyorum.

Bilgi ve tecrübesiyle benden desteklerini esirgemeyen hocalarım sayın Yrd. Doç. Dr. M. Metin Köse, sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Temiz ve sayın Yrd. Doç. Dr. Hanifi Binici’ ye teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca daima yanımda olan mesai arkadaşlarıma ayrıca şükranlarımı sunarım.

Maddi ve manevi destekleriyle her zaman benim yaşam gücüm olan babam Kemal Akgönen’e, annem Nadire Akgönen’e ve kardeşlerim Serhan ve Günhan Akgönen’e de saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2005
KAHRAMANMARAŞ

Alırıza İlker AKGÖNEN

ÇİZELGELER DİZİNİ**SAYFA**

Çizelge 3.1. Bina Özellikleri.....	20
Çizelge 4.1. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Kütle ve Rijitlik Merkezleri.....	31
Çizelge 4.2. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın Modal Özellikleri	31
Çizelge 4.3. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Taban Kesme Kuvvetleri	33
Çizelge 4.4. Güçlendirilmesi Planlanan Bina’da 473 numaralı Noktadaki Kat Ötelenmesi	34
Çizelge 4.5. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Metraji	34
Çizelge 4.6. Güçlendirilmesi Planlanan Bina’da Kat Ötelenmeleri.....	35
Çizelge 4.7. Kat Kütle ve Rijitlik Merkezleri.....	41
Çizelge 4.8. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Modal Katılım Oranları	41
Çizelge 4.9. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Taban Kesme Kuvvetleri.....	42
Çizelge 4.10. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapıda 473 Numaralı Noktada Kat Ötelenmeleri	43
Çizelge 4.11. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapıda Kat Ötelenmeleri.....	43
Çizelge 4.12. Betonarme Perdelerdeki Donatı Miktarları	47
Çizelge 4.13. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Metraji.....	50
Çizelge 4.14. İzolatörlerin Karakteristik Özellikleri.....	50
Çizelge 4.15. Taban İzolatörlü Yapının Modal Özellikleri.....	51
Çizelge 4.16. Taban İzolatörlü Yapının Taban Kesme Kuvvetleri	53
Çizelge 4.17. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapıda 473 Numaralı Noktanın Sürüklenmeleri	54
Çizelge 4.18. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Kat Ötelenmeleri	54
Çizelge 5.1. Tübüler Güçlendirilmiş Binanın Kütle-Rijitlik Merkezleri.....	61
Çizelge 5.2. Tübüler Sistemle Güçlendirilmiş Binanın Modal Özellikleri	62
Çizelge 5.3. Tübüler Güçlendirmeli Binanın Taban Kesme Kuvvetleri.....	63
Çizelge 5.4. Tübüler Güçlendirmeli Binanın 473 Numaralı Noktada Kat Ötelenmeleri	63
Çizelge 5.5. Tübüler Sistemle Güçlendirilmiş Binada Kat Ötelenme	64
Çizelge 5.6. Tübüler Güçlendirilmiş Binanın Metraji	67
Çizelge 6.1. İtki Analizi Değerlerinin Tablo Şeklinde Sunumu.....	75

SEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Bina Geometrisi Düzensiz Binalar.....	2
Şekil 2.2. Süreksiz Binalara Örnekler	3
Şekil 2.3. Bina Rijitliğinin Tepki Spektrumuna Etkisi	3
Şekil 2.4. Süneklilik Davranışını ve Göçme Modunu Gösteren Grafik.....	4
Şekil 2.5. Perdelerle Mantoların Atalet Momenti Kıyaslaması.....	6
Şekil 2.6. Güçlendirme Perdesi Detayı.....	6
Şekil 2.7. Mantolama Detayı.....	7
Şekil 2.8. Pall Friction Damper	8
Şekil 2.9. Sürtünmeli Visko-Elastik Sönümleyici	9
Şekil 2.10. Knee Tipi Bağlantı	10
Şekil 2.11. Deprem Yüğü Altında Sönümleyici Davranışı	11
Şekil 2.12. Pall Friction Damper Bağlantı Detayı (Betonarme)	11
Şekil 2.13. Taban İzolatör Modeli	12
Şekil 2.14. Sürtünme Tipli İzolatör Modeli.....	14
Şekil 2.15. Sarkaç Tipli İzolatör Modeli.....	15
Şekil 2.16. İzolatör Davranış Şekli Şeması	16
Şekil 2.17. Yunanistan'ın Revithoussa Adasındaki İzolatörlü LNG Deposu İnşaatı..	17
Şekil 2.18. İzolatörlü Temel İnşaatı	18
Şekil 2.19. İzolatörlü Temel İnşaatında Yakın Görünüş	19
Şekil 3.1. Bina Plan Görünüşü.....	21
Şekil 3.2. Binanın Üç Boyutlu Görünüşü.....	21
Şekil 3.3. Periyodun Grafik Olarak Gösterimi	24
Şekil 3.4. Modal Titreşimler	24
Şekil 3.5. Zemin Koşulları ve Yapı Periyodu İlişkisi.....	25
Şekil 3.6. Push Over Grafiği	28
Şekil 3.7. Performans Noktasının Tespiti	29
Şekil 4.1. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Modeli	30
Şekil 4.2. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Birinci Mod	32
Şekil 4.3. İvme Spektrumu.....	32
Şekil 4.4. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Kat Ötelenmeleri	33
Şekil 4.5. X-Yönündeki Deprem Kuvvetleriyle 2-2 Aksında Eğilme Momentleri	36
Şekil 4.6. Y-Yönündeki Deprem Kuvvetleriyle 2-2 Aksında Eğilme Momentleri	37
Şekil 4.7a. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 2-2 Aksı Kolon Kapasiteleri	38
Şekil 4.7b. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 3-3 Aksı Kolon Kapasiteleri	38
Şekil 4.7c. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 4-4 Aksı Kolon Kapasiteleri.....	39
Şekil 4.7d. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 5-5 Aksı Kolon Kapasiteleri	39
Şekil 4.8. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemin Plan Görünüşü.....	40
Şekil 4.9. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Binada Kat Ötelenmeleri.....	43
Şekil 4.10. 2-2 Aksında Meydana Gelen (X-Yönündeki) Eğilme Momentleri	45
Şekil 4.11. 2-2 Aksında Meydana Gelen (Y-Yönündeki) Eğilme Momentleri	46
Şekil 4.12. 3-3 Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları	48
Şekil 4.13. 5-5 Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları.....	48
Şekil 4.14. C-C Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları	49
Şekil 4.15. G1-G1 Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları.....	49

Şekil 4.16. İzolatörlü Bina Modeli.....	51
Şekil 4.17. Taban İzolatörüyle Binada Meydana Gelen Periyot Değişimi	51
Şekil 4.18. İzolatörlü Sistemde Kat Ötelenmeleri.....	53
Şekil 4.19. 2-2 Aksında Meydana Gelen (X-Yönündeki) Eğilme Momentleri	55
Şekil 4.20. 2-2 Aksında Meydana Gelen (Y-Yönündeki) Eğilme Momentleri	56
Şekil 4.21. 2-2 Aksı Kolon Taşıma Gücü Tahkikleri.....	57
Şekil 4.22. 3-3 Aksı Kolon Taşıma Gücü Tahkikleri.....	58
Şekil 5.1. Taşıyıcı Sisteme Göre Ortalama Kat Sayıları	60
Şekil 5.2. Tübüler Sistemin Plan Görünüşü	60
Şekil 5.3. Tübüler Güçlendirilmiş Binanın Plan Görünüşü	61
Şekil 5.4. Tübüler Sistemle Güçlendirilmiş Binanın Plan Görünüşü	62
Şekil 5.5. X-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri	65
Şekil 5.6. Y-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri	66
Şekil 6.1. Düğüm Noktaları Planı.....	68
Şekil 6.2. Düğüm Noktalarındaki F_x Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton).....	69
Şekil 6.3. Düğüm Noktalarındaki M_x Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton-Metre) ...	69
Şekil 6.4. Düğüm Noktalarındaki F_y Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton).....	70
Şekil 6.5. Düğüm Noktalarındaki M_y Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton-Metre) ...	70
Şekil 6.6. Düğüm Noktalarındaki M_z Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton-Metre)....	71
Şekil 6.7. 2-2 Aksı X-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri (Ton-Metre).....	71
Şekil 6.8. 2-2 Aksı Y-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri (Ton-Metre).....	72
Şekil 6.9. 2-2 Aksı T Burulma Momenti Değerleri (Ton-Metre).....	72
Şekil 6.10. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın Push Over Grafiği.....	73
Şekil 6.11. Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmiş Binanın Push Over Grafiği.....	74
Şekil 6.12. Tübüler Perdeler ile Güçlendirilmiş Binanın Push Over Grafiği	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	:Kesit Alanı
Al	:Alüminyum
A(T)	:Spektral İvme Katsayısı
Ao	:Etkin Yer İvmesi Katsayısı
ATC	:Applied Technology Council
BS	:Beton Sınıfı
Ct	:Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı
Cs	:Sismik Tepki Sabiti
Cu	:Bakır
E	:Elastisite Modülü
EC	:Eurocode
FEMA	:Federal Emergency Management Agency
Ffi	:Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkiyen fiktif yük
Fi	:Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
fed	:Betonun tasarım basınç dayanımı
fck	:Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
fctd	:Betonun tasarım çekme dayanımı
fyd	:Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
fyk	:Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
g	:Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s²)
gi	:Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
Hi	:Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği) [m]
HN	:Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik) [m]
hi	:Binanın i'inci katının kat yüksekliği
I	:Bina Önem Katsayısı
Ix	:X ekseni etrafında atalet momenti
wj	:Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin, göz önüne alınan deprem doğrultusunda çalışan uzunluğu [m]
Mr	:r'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
Mxr	:Göz önüne alınan x deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
Myr	:Göz önüne alınan y deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
Mw	:Magnitude
mi	:Binanın i'inci katının kütlesi (mi = wi / g)
m0i	:Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti

N	:Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
n	:Hareketli Yük Katılım Katsayısı
qi	:Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
R	:Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
Ra(T)	:Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
S(T)	:Spektrum Katsayısı
Spa(Tr)	:r'inci doğal titreşim modu için ivme spektrumu ordinatı [m /s²]
S1	:Maksimum Deprem Spektral Tepki İvmesi
Sds	:Kısa Periyottaki Tasarım Spektral Tepki İvmesi
SMA	:Shape Memory Alloy
T	:Bina doğal titreşim periyodu [s]
T1	:Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T1A	:Binanın amprik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu [s]
TA, TB	:Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
TDY	:Türkiye Deprem Yönetmeliğı
Tr, Ts	:Binanın r'inci ve s'inci doğal titreşim periyotları [s]
UBC	:Uniform Building Code
Vi (*)	:Göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın I'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
Vt	:Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti)
VtB	:Mod Birleştirme Yönteminde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yüğü (taban kesme kuvveti)
W	:Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
wi	:Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
Zn	:Çinko
αm	:Perdelerin taban eğilme momentlerinin toplamının, binanın tüm elemanlarının taban eğilme momenti toplamına oranıdır.
Φ	:Donatı çapı

1. GİRİŞ

Yüzölçümünün % 95'i aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizin, günümüze kadar deprem afetinden büyük zararlar gördüğü, hatta geçmiş yüzyıllarda Anadolu'da bulunan bazı medeniyetlerin deprem felaketinde yok olduğu bilinmektedir. Deprem, önlenemeyen ve ne zaman geleceği önceden kesin olarak bilinemeyen bir doğa olayıdır. Yapılması gereken, depremi tanımakla birlikte zararlarını en aza indirmek için depreme dayanıklı yapı tasarlamak ve uygulamaktır. 1999 yılında Marmara bölgesinde meydana gelen depremler, ülkemizde inşa edilen binaların çoğunun gereken dayanıma sahip olmadığını göstermiştir.

Deprem hasarına sebep olarak bilgisizlik veya imkansızlık gibi nedenler ileri sürmek gerçekçi değildir. Proje ve yapım aşamasında, süregelen yanlışlıklar bu afetlerden gereken dersin çıkarılmadığını göstermektedir.

Depremde hasar gören yapıların büyük çoğunluğunun betonarme binalar olduğu bilinmektedir. Bazı dezavantajları olmasına rağmen doğru projelendirildiği ve uygulandığı takdirde betonarme ile depreme dayanıklı yapı sistemi imal etmek mümkündür.

Binanın taşıyıcı sistem seçiminde en önemli faktör, deprem ve rüzgar kuvvetlerinin meydana getirdiği yatay yüklerdir. Yapının yüksekliğine bağlı olarak çerçeve sistemler, perdeli sistemler, çerçeve - perde sistemler, tüp sistemler ve kompozit sistemler taşıyıcı sistem olarak uygulanır.

Her bir sistemin kendine özgü olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için betonarme malzeme özelliklerinin, taşıyıcı sistem özelliklerinin ve yapı dinamiğinin mühendislerce iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

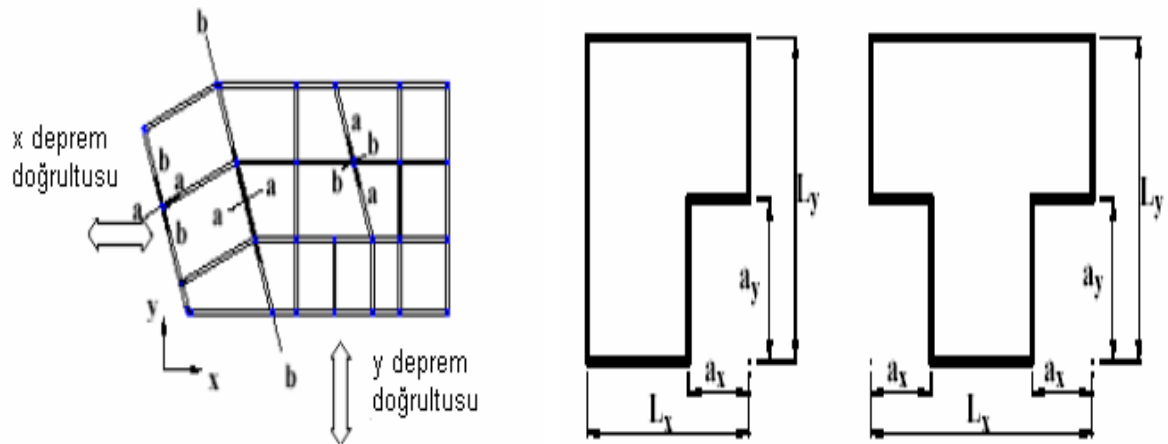
2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Bir taşıyıcı sistem tasarlanırken, yapının küçük deprem kuvvetleri altında elastik sınırlar içinde kalması, orta şiddetli depremlerde az miktarda ve onarılabılır çatlaklar oluşması, şiddetli depremlerde ise hasarların meydana gelebilmesi ancak yapının göçmemesi hedeflenir. Öncelikli amaç can kayıplarının oluşmasını önlemektir (Anonim, 1998).

Bina tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken bazı unsurlar mevcuttur. Bunlar kısaca şöyle sıralanabilir.

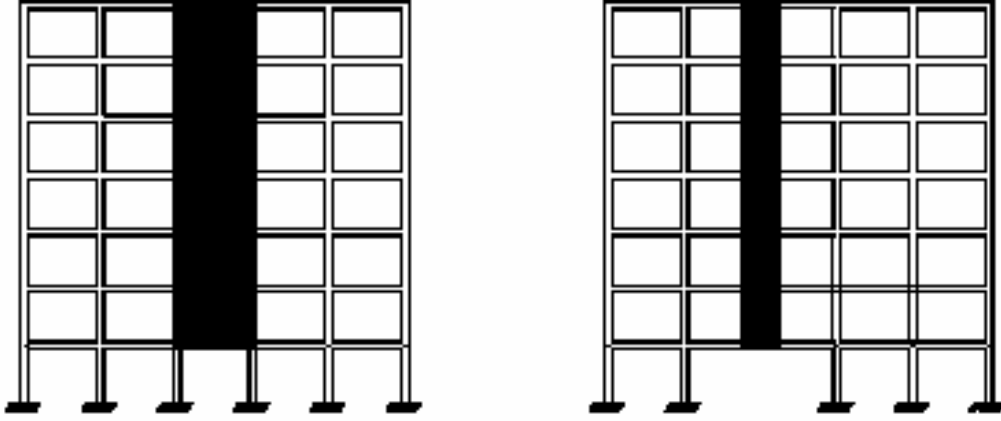
- Binanın Geometrisi
 - Süreklilik
 - Rijitlik ve Dayanım
 - Göçme Modu
 - Süneklilik
- **Binanın Geometrisi:** Yapı ne kadar basit düzenlenmiş ise o kadar depreme dayanıklıdır. Planda karmaşık ve düzensiz binalarda burulma etkileri ortaya çıkmaktadır. Bina modeli planda tasarlanırken şu hususlara dikkat edilmelidir (Celep ve Kumbasar, 2000).
1. Yapı her yönde simetrik olmalıdır.
 2. Bina kütle merkeziyle rijitlik merkezi üst üste çakıştırılmalıdır.
 3. Çok uzun binalar tasarlanmamalıdır. Bu tip binalar farklı özelliklere sahip zeminlere oturdukları zaman farklı oturmalar yaparlar.

Şekil 2.1 bina geometrisi düzensiz binalara örnek olarak gösterilebilir.



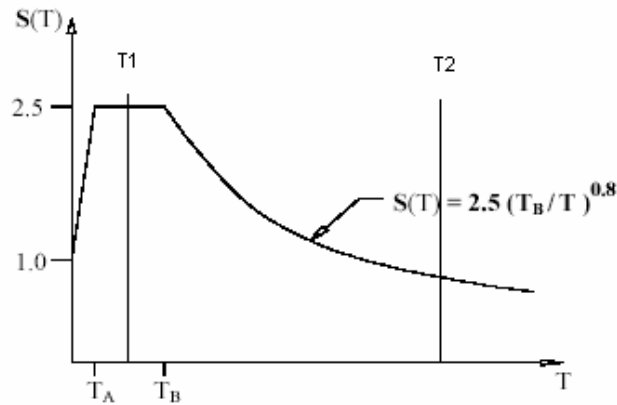
Şekil 2.1. Bina Geometrisi Düzensiz Binalar (A3 Düzensizliği) (Anonim, 1998)

- **Süreklilik:** Bütün kolon ve perdeler temelden çatıya kadar sürekli olmalıdır ve elemanların birbirlerine dış merkez olarak mesnetlenmesinden kaçınılmalıdır (Celep ve Kumbasar, 2000) Bu durum şekil 2.2’de gösterilmiştir



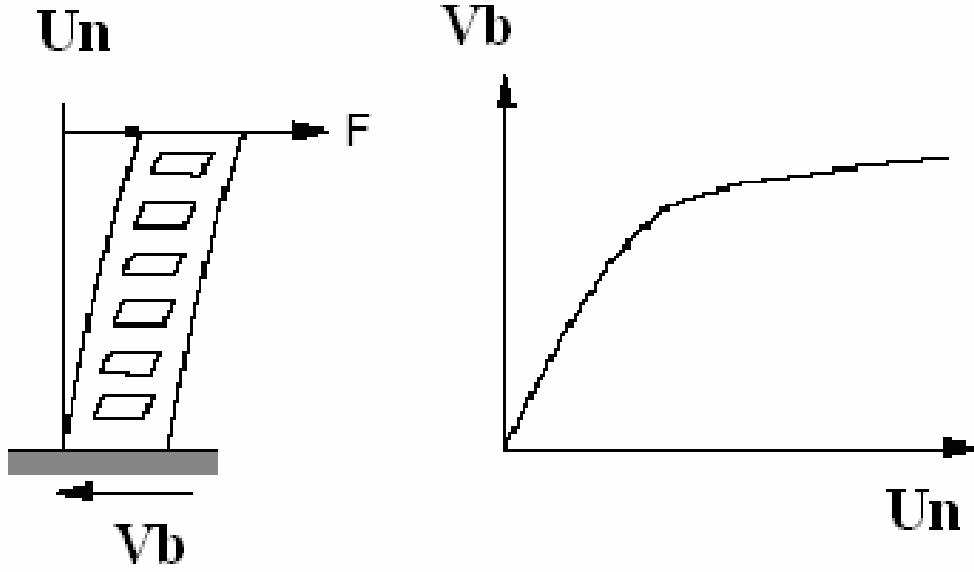
Şekil 2.2. Süreksiz Binalara Örnekler (Anonim, 1998)

- **Rijitlik ve Dayanım:** Binalarda ani rijitlik değişimine izin verilmemelidir (Yumuşak Zemin Kat). Yapı elemanının rijitliğini uygun seçerek ve titreşim periyodunu belirli aralığa getirerek deprem etkilerini küçültmek mümkündür. Bunun için bölgenin hakim periyodu ile yapının periyodu birbirlerinden uzak tutularak rezonans olayını önlemek gerekmektedir. Mesela yumuşak zeminlerde (uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgelerde) kısa periyotlu rijit az katlı yapılar uygun düşer. Binalarda rijitlik artarsa katlar arası yer değiştirmeler azalır. Normal kuvvetten kaynaklanan ikinci mertebe momenti de azalmaktadır (Celep ve Kumbasar, 2000). Şekil 2.3’de bina periyodu ile spektral ivme ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Bina Rijitliğinin Tepki Spektrumuna Etkisi (Anonim, 1998)

- **Göçme Modu:** Sistemin ani olarak göçmesine izin verilmemelidir. Kolon-kiriş birleşimlerinde kiriş tarafında mafsallaşma olmalıdır (Celep ve Kumbasar, 2000). Şekil 2.4’de taban kesme kuvveti-tepe noktası deplasmanı ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Süneklilik Davranışını ve Göçme Modunu Gösteren Grafik (Hasgür, 1996)

- **Süneklilik:** Her bir elemanın sünekliliğinden bahsedilebileceği gibi sistemin sünekliliğinden de bahsedilebilir. Süneklilik, yapının mukavemetinde önemli ölçüde azalma ve kararsız denge olmaksızın, deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını plastik ve tersinir büyük şekil değiştirmeleriyle yutma yeteneğidir (Celep ve Kumbasar, 2000) .

Sonuç olarak,

1. Planda ve düşey kesitte yapı mümkün olduğu kadar basit olmalıdır.
2. Temel, sağlam ve düzgün özellikli zemine oturmalıdır.
3. Deprem etkisini taşıyacak elemanlar, planda burulma olmayacak şekilde düzenlenmelidirler.
4. Yapı elemanları yeterli dayanımları yanında sünek özellik de göstermelidirler.
5. Meydana gelen şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler, güvenliği ve kullanımı engellememelidir.

Deprem Spektrum Grafiği, deprem etkisine maruz kalan yapının davranışının (ivme, hız veya yer değiştirme) maksimumunu gösteren eğridir. Farklı periyotlarda farklı harmonik titreşimler ve bunlarında yapı üzerinde farklı etkileri olur. İşte her farklı periyotta oluşan titreşimlerden elde edilen maksimum yer değiştirme, hız veya ivme değerleri yeni bir grafik üzerinde işaretlenir ve buna spektrum eğrisi/grafiği denir.

Genelde yapıların dinamik davranışını incelemede ve analizinde ivme spektrumu tercih edilir. Her depremin kendine özgü bir ivme spektrumu vardır. Bir binanın dinamik analizinde belirli bir depremin ivme spektrumu kullanılabileceği gibi büyük depremler incelenerek genelleştirilmiş bir ivme spektrumu da kullanılabilir.

2.2. Mevcut Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesi

1- Güçlendirme projesi hazırlanırken işe mevcut binanın durumunun tespit edilmesi ile başlanır. Elde edilmesi mümkün ise, mevcut bina statik projesi incelenir. Bu mümkün değil ise binanın mimari ve statik rölevesi çıkartılır. Daha sonra statik projeye uygun olarak binanın inşa edilip edilmediği anlaşılmaya çalışılır. İnşaatta kullanılan beton ve donatı kalitesi belirlenir. Zemin etütleri yapılır (Amasralı, 2005a).

2- Yapı, $A_0=0$ ve $R=4$ (TDY97) alınarak deprem yükü verilmeden incelenir ($R=5.5$ UBC 97). Bu durumda bina taşıyıcı elemanlarındaki yetersizlikler tespit edilerek ilk önce bu elemanların güçlendirilmesi yoluna gidilir (Amasralı, 2005a).

3- Binanın hangi yıllarda inşa edildiği ve hangi deprem yönetmeliğine göre projelendirildiği belirlenir. Eğer yapı 1975’den önce yapılmış ise muhtemelen depreme göre çok yetersizdir (Amasralı, 2005a).

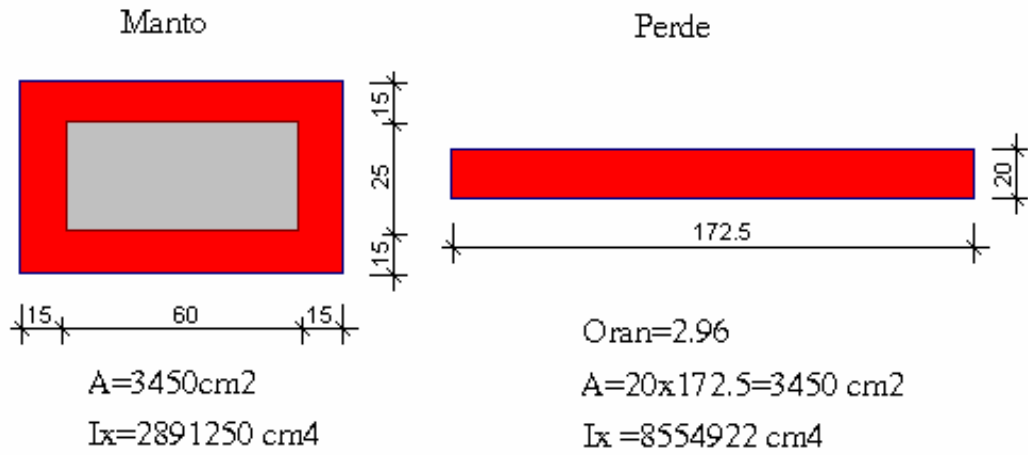
Ancak 1975’den sonra yapılmış ise deprem kuvvetlerinin dikkate alınmış olması ihtimali mevcuttur. Binada deprem perdelerinin olması depremin dikkate alındığının bir göstergesidir. Bina 1975 deprem yönetmeliğine göre analiz edildikten sonra yetersizlikler çıkıyorsa binanın daha fazla güçlendirmeye ihtiyaç duyduğu anlaşılır (Amasralı, 2005a).

4- Genellikle mevcut binalar sünek yapı özelliklerini içermemektedir. Dolayısıyla yapı normal sünek olarak çözümlenmelidir. ($R=4$) Eğer bina kolonlarındaki donatı hakkında bilgi yok ise depremsiz analizden elde edilen donatılar mevcut donatı miktarı olarak alınır (Amasralı, 2005a).

2.3. Taşıyıcı Sistem Güçlendirme Tekniklerinin İncelenmesi**2.3.1. Betonarme Perdeler ile Güçlendirme**

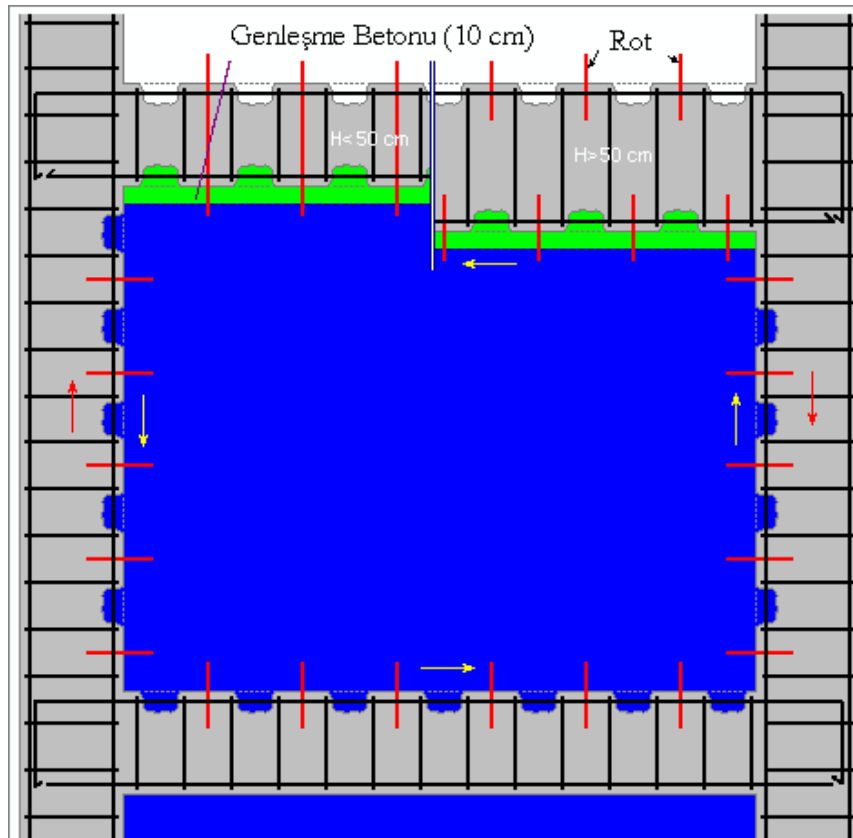
Binayı depreme karşı en çok kuvvetlendiren elemanlar perdelerdir. Mantolama depremsiz analiz sonucunda yetersizlikler ortaya çıktığı zaman uygulanır. Eğer kirişler depremlerle analizde yetersiz, depremsiz analizde yeterli ise mantolanmalarına gerek yoktur. Çünkü binaya yeni perdeler eklendiği takdirde, deprem kuvvetlerinin büyük bir kısmını perdeler karşılamaktadır. Mantolar sadece yerel güçlendirme sağlayan elemanlardır. Taşıyıcı sistemi bir bütün olarak sağlamlaştıran bir eleman değildir. Bunun en önemli sebebi, perdelerle göre daha küçük atalet momentine sahip olmasıdır. Şekil 2.5’de bu durum bir örnek ile gösterilmiştir.

Aynı hacimde bir perde eleman ile bir manto kıyaslanırsa, mantonun atalet momenti perdenin atalet momentinin $1/3$ ’ü kadardır. Yapılan araştırmalar ve gözlemler, depremden sonra en son ayakta kalan elemanların perdeler olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.5. Perdelerle Mantoların Atalet Momenti Kıyaslaması (Amasralı, 2005a).

Büyük deprem kuvvetlerinde plastik mafsallaşmaya başlayan kolonlara ancak kendinden daha rijit olan perde elemanlar destek olabilmektedir. Yeni yapılan perdelerin, deprem tesirlerinin %70'ini alacak şekilde tasarlanması gerekmektedir (Amasralı, 2005a). Aşağıdaki şekilde tipik bir güçlendirme perdesi detayı gösterilmiştir.

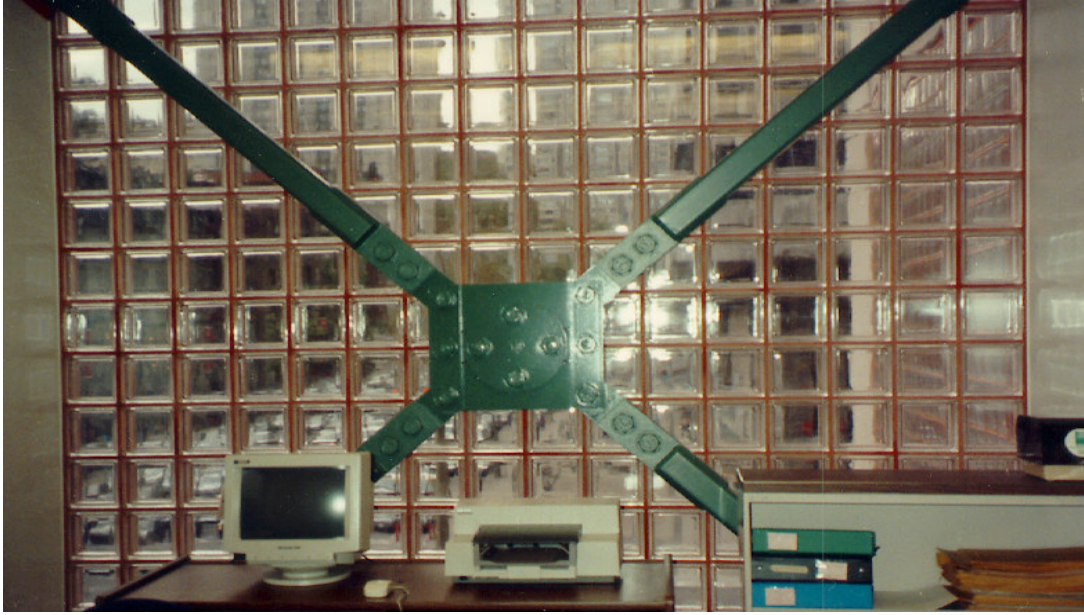


Şekil 2.6. Güçlendirme Perdesi Detayı (Amasralı, 2005a).

2.3.2. Enerji Dağıtma Sistemleri ile Güçlendirme

Pasif enerji dağıtıcı sistemleri, yapıların depreme karşı performansını önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Son yıllarda bu sistemler, büyük ölçüde yeni binalarda veya eski binaların güçlendirilmesinde kullanılmaktadırlar

Binalar, deprem kuvvetlerine karşı dizayn edilirken göz önünde bulundurulması gereken bir kaç önemli nokta mevcuttur. Binalar maksimum enerjiyi sönümleyebilecek şekilde (bu da ancak binanın plastik çalışmasıyla olur) dizayn edilirler. Büyük deprem kuvvetlerine ancak bu şekilde karşı koyulabilir. Plastik mafsallın, kolon kiriş birleşimlerinde öncelikle kiriş tarafında olması istenir. Bu bölgelerde oluşan kırılmalar, bir taraftan enerjinin bertaraf edilmesini sağlarken, diğer taraftan ciddi yapısal zararların oluşması önlenir. Bu birleşim yerleri iyi detaylandırılmış olsa bile, tekrarlı yük zaman içinde dayanımı önemli ölçüde azaltacaktır. Tekrarlı deprem kuvvetleri sırasında katlar arası sürüklenmelerden kaynaklanan kuvvetlere de karşı konulması gerekmektedir. Çünkü bu etki binada dolgu duvar, tavan ve kapı boşlukları gibi bölgelerde zarara yol açmaktadır. Bu etkilerin azaltılması için enerji dağıtma sistemleri kullanılmaktadır. Böylelikle katlar arası sürüklenme azaltılır. Yapı elemanları daha az zarar görür. Oluşan düşük ivmelenme ve kesme kuvvetlerinden dolayı yapı taşıyıcı elemanları daha az yüke maruz kalırlar. Şekil 2.8’de enerji dağıtma sistemine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Pall Friction Damper (Anonim, 2005c)

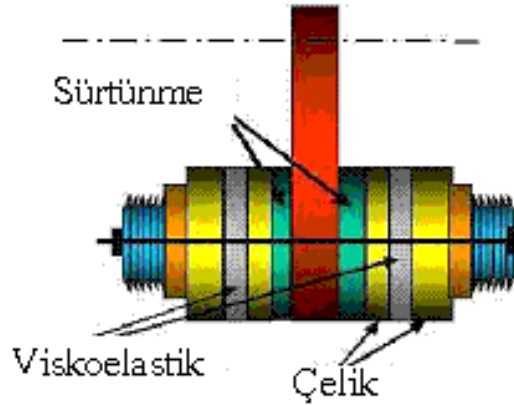
Bir çok mühendis tarafından binalarda belli bir miktar sönümleme olduğunun bilinmesine rağmen sönümleme miktarına ait tam bir tespit yapılamamıştır. Binalarda sönümleme miktarının %2-%5 arası değiştiği kabul edilmektedir.

Çeşitli yapı titreşim kontrol sistemleri mevcuttur. Şok emici sistemler ve titreşim izolatör sistemleri bunlara örnek olarak gösterilebilir.

2.3.2.1. Belli Başlı Enerji Sönümleme Sistemleri

2.3.2.1.1. Sürtünmeli Sistemler

Bir çok sürtünmeli sönümleme sistemi mevcuttur. Bu cihazların performansları gayet iyidir. Davranışları kuvvetin büyüklüğünden, frekansından ve tekrarlı yük sayısından çok fazla etkilenmezler. Bu cihazlar mekanik özellikleri ve kayma yüzeyinde kullanılan malzemeler ile birbirlerinden farklılık gösterirler. Sürtünmeli sönümleyiciler, Sumitomo Metal Endüstrileri Şirketi ve Pall Dynamics LTD. firmaları tarafından üretilmiş olup, bir çok eski ve yeni binada kullanılmışlardır. Flour Daniel firması da daha sonra yeni bir sürtünmeli sönümleyici tasarlamıştır. Bu cihazın kendi kendine merkeze dönme yeteneği mevcuttur. Kayma yükü deplasmanla orantılıdır. Kayma yüzeyi, çelik bir fiçinin içinde kayan bronz takozlardan oluşmaktadır. Sürtünmeli cihazlarda önemli bir sorun uzun zamanlı güvenilirlik ve bakım meselesidir. Bina beklenenden daha yüksek frekanslara maruz kaldığında cihazda yapışma-kayma veya kalıcı yer değiştirme davranışı gösterebilir. Ayrıca bakım yapılmadığı takdirde kayma yüzeyinde kayma oluşmayabilir. Bu da cihazın doğru çalışmaması ve dolayısıyla enerji sönümlememesi demektir (Aiken ve Kelly, 1990). Şekil 2.9 da tipik bir visko-elastik sönümleyici detayı gösterilmiştir.

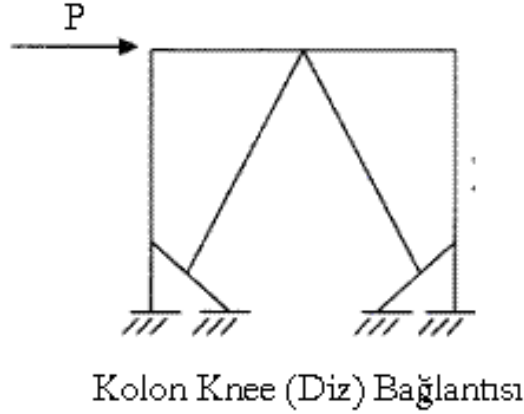


Şekil 2.9. Sürtünmeli Visko-Elastik Sönümleyici

2.3.2.1.2. Metalik Sistemler

2.3.2.1.2.1. Akan Çelik Sistemler

Bu enerji dağıtım sistemlerinde, depremin tekrarlı yüklerine karşı malzemenin plastik deformasyonu kullanılarak sistem sönümlenmeye çalışılmaktadır. Yumuşak demirin tekrarlı yükler altında ortaya koyduğu stabil akma davranışı, bunların enerji dağıtım sistemi olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu yumuşak çelik malzeme üçgen veya kum saati şeklindedir. Akma bütün malzeme boyunca meydana gelmektedir. Böylece cihaz tekrarlı plastik deformasyonlara karşı koyabilecek tarzda erken kopma veya akma yığılması olmadan çalışmaktadır (Kelly ve ark.,1972). Şekil 2.10'da knee tipi bağlantı elemanı şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Knee Tipi Bağlantı (Clement, 2002)

2.3.2.1.2.2. SMA Sistemler (Shape Memory Alloys)

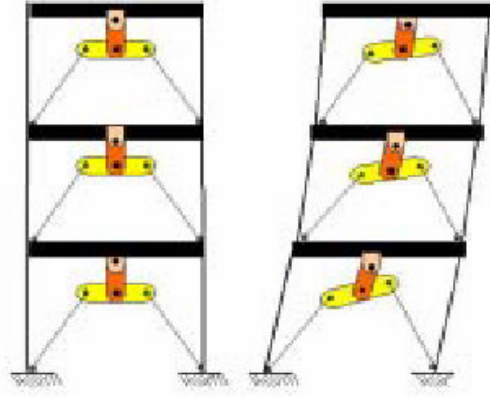
Bu malzemelerin kalıcı deformasyon yapmadan tekrar tekrar sünme özelliği vardır. Böylece sistem, yük kaldırıldıktan sonra tekrar merkeze dönebilir. Birçok deprem simülatörüyle SMA test edilmiş ve sistemlerin enerji dağıtmaları incelenmiştir. Üç katlı çelik bir bina modeli Nitinol (Nickel-Titanium)'lu ve (Cu-Zn-Al) karışımli bir SMA ile test edilmiş ve bu sistemlerin binanın sismik tepkisini azalttığı kanıtlanmıştır. SMA'lar dizayn edilirken elastik limitler içinde kalacak şekilde dizayn edilirler. Genelde SMA'lar %5 uzama oranında akmaya başlarlar. Nitinol, diğer SMA'lara göre çevre şartlarına daha dayanıklıdır.

2.3.2.2. Sürtünmeli Sistem Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Sönümleme cihazlarının dizayn kriterlerine uygun olarak çalışması için göz önünde bulundurulması gereken bazı unsurlar aşağıda verilmiştir.

- Sönümleme cihazı, rüzgar kuvvetleri veya düşük deprem kuvvetleri altında çalışmayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Sönümleme cihazında kayma, bina elemanlarında akma meydana gelmeden gerçekleşmelidir.
- Cihazda kayma oluşturacak yük öyle tasarlanmalıdır ki, yapı sisteminde sürtünmeye bağlı olarak sönümlenen enerji en fazla olsun.

Bu kriterler cihaz kayma yükü için gerekli yaklaşık değeri belirler. Daha sonra yüklerin optimizasyonu, değişen kayma yükleri altında ve tepki büyüklükleri değerlendirilerek lineer olmayan dinamik analiz ile gerçekleştirilir. Gözlemlere göre optimum kayma yükünün $\% \pm 20$ değişmesi, sönümleme cihazı kullanılmış binanın tepkisini önemli ölçüde değiştirmemektedir (Aiken ve ark., 1998). Şekil 2.11'de sönümleyicili bir sistemin deprem yükleri altında davranışı gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Deprem Yüğü Altında Sönümleyici Davranışı (Anonim, 2005c)

2.3.2.3. Pasif Enerji Dağıtım Sistemleriyle Enerji Sönümlemesi

Sürtünme sönümlemeli cihazların etkisi, en iyi yapıdaki enerji tüketimi dikkate alınarak anlaşılır. Sönümlenen enerji iki şekilde yorumlanabilir:

- Kat ötelenmelerinden kaynaklanan atalet kat kuvvetleri, her bir kat için toplanır ve bu değer sönüm cihazında bulunan enerji tüketimi değeriyle karşılaştırılır.
- Yapıya sarsma masasında verilen enerji, verilen taban kesme kuvveti vasıtasıyla saptanır. Bu değer cihazlarda tüketilen enerji ile kıyaslanır.

Bina frekansında, nonlinear kayma davranışı gösteren sürtünme cihazları sebebiyle %1-2 fark gözlemlenmiştir (Anonim, 2005c). Şekil 2.2’de sönümleyici sistemin betonarme taşıyıcı sisteme bağlantı detayı gösterilmiştir.

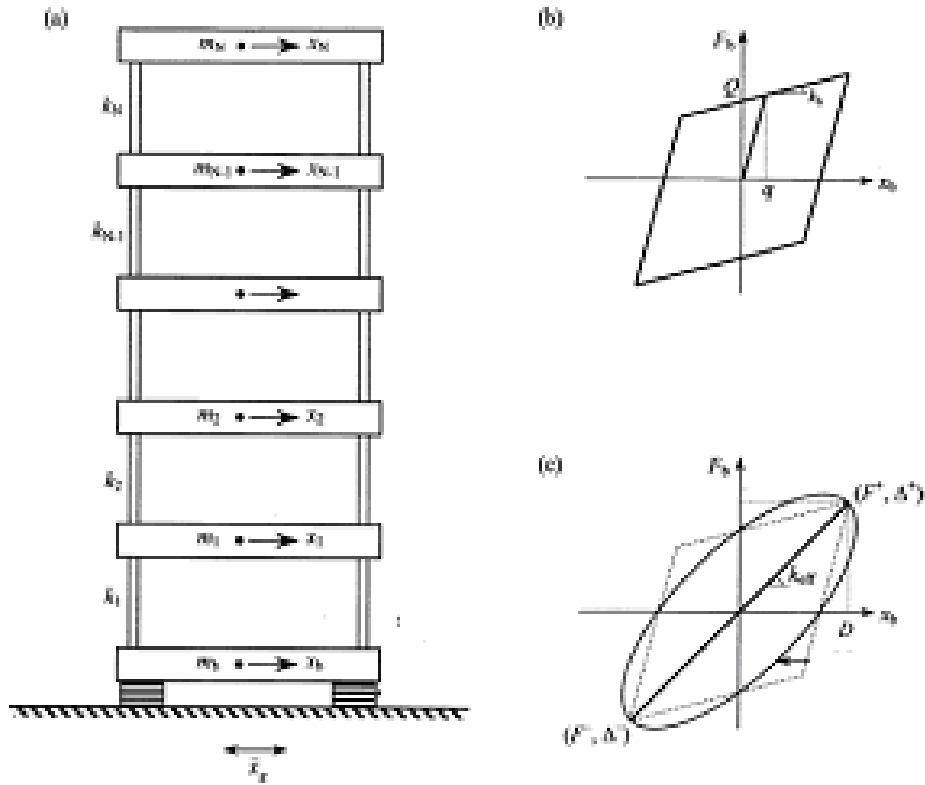


Şekil 2.12. Pall Sürtünme Sönümleyici Bağlantı Detayı (Betonarme) (Anonim, 2005c)

2.4. Taban İzolatörleri

Sismik izolasyon yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine binaya gelen sismik enerjiyi binaların periyodunu uzatarak azaltma esasına dayanan depreme dayanıklı bir dizayn yaklaşımıdır. Bu teknoloji doğru uygulandığı takdirde büyük depremler sırasında bile binadaki zorlanmalar elastik sınırlar içinde kalmaktadır.

Son yıllarda taban izolatör sistemleri depreme karşı etkili bir güçlendirme sistemi olarak dikkat çekmektedir. Yapı ile temel arasına taban izolasyon sistemi olarak esnek bir tabaka yerleştirilmektedir. Böylece bu bölgede rölatif deplasmanlara izin verilmektedir. İzolatörler esnek bir yapıya sahip olduğu için binanın hakim periyodunu izolatörsüz sistemlere göre önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Kayan tabaka içeren izolasyon sistemleri depremin enerjisini bina hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvvetleriyle dağıtırlar. Bu tip sistemler, depreme bağlı olarak oluşan titreşimlerin kontrol altına alınması ve binaya gelen etkilerin büyük yer hareketlerinden izole edilmesi yönüyle önem kazanmaktadır. Şekil 2.13'de izolatörlü bir sistemin kesit görünüşü ve kuvvet-deplasman ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Taban İzolatör Modeli (Matsagar ve ark., 2004)

Günümüzde inşaat şartnameleri öncelikle can güvenliğini göz önüne almaktadır. Ancak deprem sonrasında hayati önemi olan bazı binaların (hastane, okul vs.) işlevselliğine deprem öncesinde olduğu gibi devam etmesi, önem verilmesi gereken bir diğer husustur. Maddi kayıplar; işyerindeki ekipmanların hasarı, mevcut ve stoktaki

ürünlerin hasarı, üretimin durması ve siparişlerin yetiştirilememesi şeklinde olur. Taban İzolasyon Sistemi sayesinde aşağıdaki yararlar sağlanır:

- Can güvenliği sağlanması,
- Yapısal hasarların önlenmesi,
- Yapısal olmayan hasarların önlenmesi,
- İş kesilme riskinin önlenmesi,
- Deprem sonrası fonksiyon kaybının önlenmesi,
- Pazardaki payın korunması,
- Araştırma ve geliştirme projelerinin korunması,
- Tarihi bina ve değerlerin korunması.

Taban izolasyon sisteminin uygulandığı binalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

- Elastik davranış sağlanır,
- Yapıya gelen kuvvetler azalır,
- Kat ivmeleri küçülür,
- Katlar arası deplasmanlar küçülür, hemen hemen bütün katlar yaklaşık aynı deplasmanı yapar. Rölatif kat deplasmanları sıfıra yaklaşır.

Yapılan bir araştırmaya göre, taban izolasyonlu bina Richter ölçeğine göre 8 büyüklüğündeki bir depremi, 5.5 büyüklüğündeki bir deprem gibi hisseder (Anonim, 2005c).

Taban izolasyon sistemi, uygulanacak yeni binalarda bina toplam maliyetini projeye bağlı olarak arttıracaktır. Fakat bina fonksiyonunun önemini (hastaneler, polis istasyonları, okullar, vb.) ve muhteviyatının değerini (bilgi işlem merkezleri, hastaneler, laboratuvarlar, yarı iletken fabrikaları, vb.) düşünersek bu oran deprem sonrası hasarlar ve fonksiyon kaybı yanında önemsiz kalacaktır (Anonim, 2005c).

2.4.1. Büyük Depremlerde İzolatörlü ve İzolatörsüz Binaların Karşılaştırması

- **Northridge Depremi**

6.7 M_w büyüklüğündeki deprem 15 saniye sürmüştür. Bu süre içinde toplam 30 milyar dolar hasar meydana gelmiştir. Olive View Hospital’da (İzolatörsüz bina) 400 milyon \$ değerinde tıbbi ekipman ve alet hasarı oluşmuştur. Bu binada taban ivmesi 0.80 g iken, çatıda 2.30 g’ ye yükselmiştir (Anonim, 2005c).

Taban izolasyonlu bir bina olan USC Hospital’da yapısal veya yapısal olmayan hasar meydana gelmemiştir. Bu binada taban ivmesi 0.37 g iken 0.11 g’ye düştüğü gözlenmiştir (Anonim, 2005c).

- **Kobe Depremi**

6.9 M_w büyüklüğündeki deprem 20 saniye sürmüştür. Bu süre içerisinde toplam 150-200 milyar \$ (Japonya bütçesinin % 4 ü) hasar meydana gelmiştir.

Taban izolasyonlu bir bina olan West Japan Postal Savings Computer Center'da yapısal ve yapısal olmayan hasar oluşmamıştır. Bu binadaki mevcut ekipman sayesinde taban ivmesinin deprem sırasında $0.40g$ iken, çatıda $0.12g$ 'ye düştüğü ölçülmüştür.

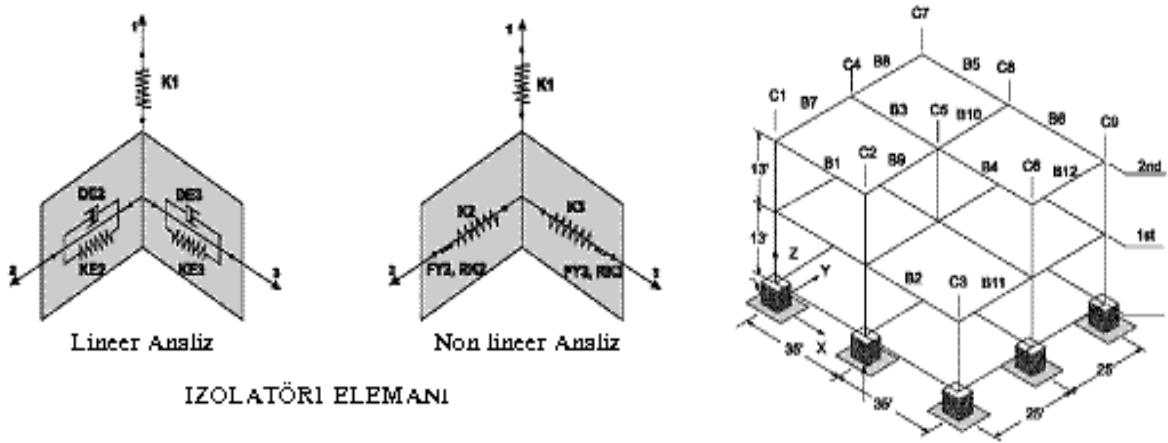
İzolatörsüz bir binada taban ivmesinin 0.37 iken, çatıda $1.18g$ 'ye yükseldiği gözlenmiştir (Anonim, 2005c).

2.4.2. İzolatör Tipleri

Genel hatlarıyla iki tip izolatör sistemi mevcuttur.

2.4.2.1. Sürtünmeli Sistem (Pure Friction System)

Yatay sürtünme yüzeyleri vardır. Büyük ve kalıcı deplasmanlar oluşur. Şekil 2.14'de sürtünmeli tipli izolatör modeli gösterilmektedir.



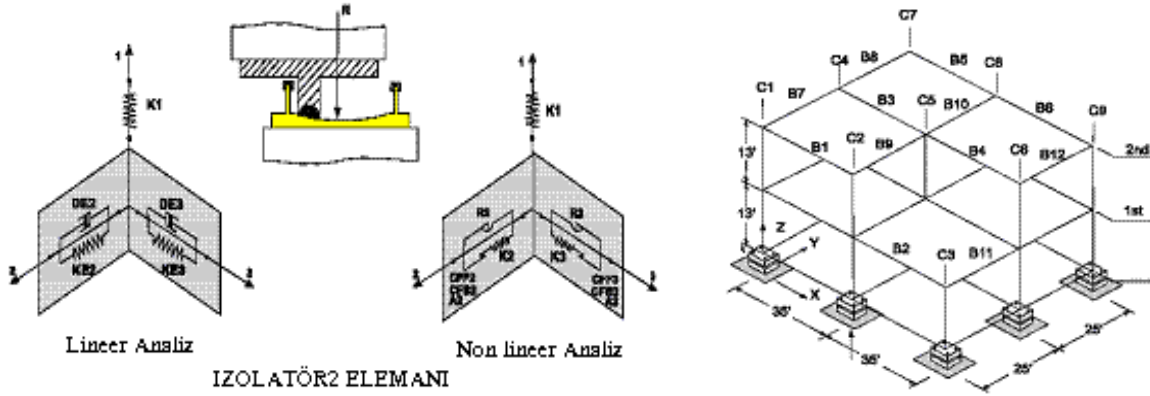
Şekil 2.14. Sürtünmeli Tipli İzolatör Modeli (Anonim, 1997).

2.4.2.2. Sürtünmeli-Sarkaçlı Sistem (Friction Pendulum System)

Kayma yüzeyi ve merkeze dönme mekanizması mevcuttur. Kayma yüzeyi konkav şeklindedir. Binaya sarkaç hareketi yaptırarak binanın yavaşça salınım yapmasına izin verilir. Bu sistemler geleneksel sünek dizayn tasarımına göre daha iyi bir koruma sağlar. Bir çok yerde kullanılabilirler. Kurulum maliyetleri PFS'ye göre daha azdır. Şekil 2.15'de sarkaç tipli izolatör detayı gösterilmektedir.

Bunların yanında "Variable Frequency Pendulum System", "Vertical Shock Absorber" vs. isimlerle başka izolatör sistemlerinin de kullanıldığı bilinmektedir. Northridge ve Kobe depremlerinde depremin düşey ivmesinin kolonlara çok büyük zarar verebileceği ortaya çıkmıştır. Hyogo- Ken Nambu depreminde depremin düşey ivmesinin yatay ivmeyi geçtiği gözlemlenmiştir. Vertical Shock Absorber depremin düşey ivmesini sönümleyen bir mekanizmaya sahiptir (Muraji ve ark.,1999).

Taban izolatörlü sistemlerde üstyapı frekansının alt yapı frekansına oranı 15'den küçük ise ve deprem dalgası parametresi 10'dan küçük ise zemin-yapı etkileşimi dikkate alınır. Aksi takdirde zemin- yapı etkileşimine bakmaya gerek yoktur. Bu etkileşim zemine ankastre olan yapıların etkileşimi kadar önemli değildir (Ateş ve Dumanoglu, 2003).



Şekil 2.15. Sarkaç Tipli İzolatör Modeli (Anonim, 1997).

Son 20 yılda taban izolatörleri üzerine yapılan çalışmalar önemli ölçüde artmıştır. Yüzlerce köprü ve bina, taban izolatörlü olarak inşa edilmiştir. 1980'li yılların ortalarında taban izolatörleri, Amerika'da bu gelişmeye paralel olarak yönetmeliklere girmiştir (FEMA, ATC, UBC). Ülkemizde önümüzdeki günler de güçlendirme ile ilgili 13. bölüm afet yönetmeliğine eklenecektir, ancak taban izolatörlerinin bu ekte yer alıp almayacağı henüz bilinmemektedir.

Yabancı şartnamelerde belli bir izolasyon sistemi belirleme yerine tasarlanması düşünülen izolatörün sağlaması gereken şartlar belirtilmiştir.

Bu şartlar başlıca şu şekilde özetlenebilir.

- Gerekli tasarım deplasmanında stabil olarak kalması,
- Artan deplasmanlar için artan direnç göstermesi,
- Tekrarlı yükler altında özelliğini kaybetmemesi,
- Gerekli mühendislik parametrelerini sağlaması (kuvvet-deplasman karakteristiği, sönümleme).

2.4.3. Taban İzolatörü Davranış Şekilleri

İzolatörlü sistemlerde dört değişik kuvvet-deplasman ilişkisi söz konusudur. Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi her bir kuvvet-deplasman ilişkisi için aynı tasarım deplasmanı söz konusudur. Bu grafikler idealleştirilmiş grafiklerdir (Anonim, 1997b).

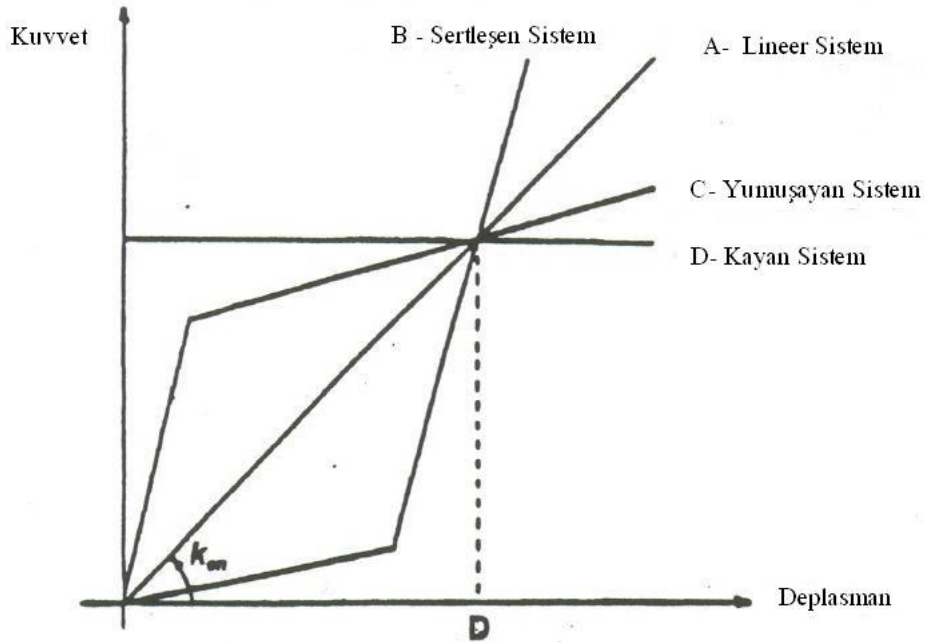
- **Sertleşen İzolatör Sistemleri:** B grafiğiyle gösterilmiştir. Lineer sistemlere göre başlangıçta daha yumuşaktır. Daha sonra sertleşmeye başlarlar. İzolatör

sertleştikçe periyot düşer. Yapı tasarım deplasmanını geçerse lineer izolator sistemlerine göre yapıya daha çok kuvvet gelir ve izolator daha az deplasman yapar.

- **Yumuşayan İzolator Sistemleri:** C grafiğiyle gösterilmiştir. Lineer sistemlere göre başlangıçta daha serttir. Daha sonra yumuşamaya başlarlar. İzolator yumuşadıkça periyot artar. Yapı tasarım deplasmanını geçerse lineer izolator sistemlerine göre yapıya daha az kuvvet gelir ve izolator daha çok deplasman yapar.

- **Kayan Sistemler:** D grafiğiyle gösterilmiştir. Sistemin çalışması izolasyon sistemindeki sürtünme kuvvetleriyle yönetilir. Yumuşayan sistemlerde olduğu gibi izolatore etkiyen deprem yükleri artarken efektif periyot artar. Üst yapıya etkiyen yük sabit kalır.

Şekil 2.16' da izolator sistemlerinin kuvvet-deplasman ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.16. İzolator Davranış Şekli Şeması

2.4.4. Taban İzolatorü Analiz Yöntemleri ve Tasarım İlkeleri

İzolatorler tasarlanırken üç tip analiz yöntemi kullanılabilir. Bunlar

- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- Mod birleştirme Yöntemi
- Zaman Tanım Alanı Yöntemi

Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanı analizleri daha çok kompleks yapılar için gereklidir. Tüm analiz yöntemlerinde izolator sistemi (bağlantılar, boşluklar vs.) maksimum deprem kuvvelerini %100 karşılayacak şekilde tasarlanmalı ve test edilmelidir. Fakat üst yapının bu etkileri %100 karşılayacak şekilde dizayn edilmesine (elastik tasarlanmasına) gerek yoktur.

İdeal olarak yapının yatay deplasmanında üst yapı deformasyonu yerine izolatörün deplasmanı hakim olmalıdır. İzolasyonlu sistemlerde elastik ötesi büyük deplasmanlar oluşmaması için üst yapı içinde bazı sınırlandırmalar getirilmiştir. Bu kriterler başlıca şöyle sıralanabilir(Anonim, 1997b):

- Düşük ve orta seviye depremlerde taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan elemanlar ile bina içindeki eşyalara zarar gelmemelidir.
- Büyük depremler karşısında izolatör sistemi harap olmamalı, yapı elemanlarına önemli zararlar gelmemeli ve bina içindeki eşyalar büyük ölçüde fonksiyonelliğini kaybetmemelidir.

Şekil 2.17’ de izolatörlü olarak tasarlanmış bir yapının temeli görülmektedir.



Şekil 2.17. Yunanistan’ın Revithoussa Adasındaki İzolatörlü LNG Deposu İnşaatı

Non-lineer izolatör tasarlandığında, sürtünmeli sarkaç izolatör sistemlerinde, efektif sönümleme değerinin kriterlerin verdiği değerden %30 fazla olması durumunda ve izolatörlerde tekrar merkeze gelme mekanizması olmadığında Zaman Tanım Alanı analizi yapılmalıdır(Anonim, 1997b).

Eğer binanın bulunduğu bölge aktif fay hattına 10 km yakınlıktaysa veya zemin NEHRP97 afet yönetmeliğine göre E veya F sınıfını olarak tanımlanıyorsa o bölge için özel tasarım spektrumu oluşturulmalıdır (Anonim, 1997b).

2.4.5. Uygulanmış Projeler

İzolatör sistemleri dünyaca ünlü bir çok yapıda başarıyla uygulanmıştır. Bu binalara örnek olarak

- 1- U.S. Court of Appeals
- 2- San Francisco Airport international Terminal
- 3- Liquefied National Gas Tanks
- 4- Benici- Martinez Köprüsü
- 5- Birleşik Devletler Yüksek Temyiz Mahkemesi, San Francisco, California
- 6- City and Country Binası, Salt lake
- 7- William Clayton Binası, Wellington
- 8- Oakland City Hall, California
- 9- Foothill Law and Justice Center

sıralanabilir. Şekil 2.18 ve Şekil 2.19’ da izolatörlü bir binanın temel inşaatı ile bir izolatörün yakından görünüşü görülmektedir.



Şekil 2.18. İzolatörlü Temel İnşaatı (Anonim, 2005c)



Şekil 2.19. İzolatörlü Temel İnşaatında Yakın Görünüş (Anonim, 2005c)

3. MATERYAL VE METOD

Model olarak kolonları (30 x 70), (30 x 85), (30 x 90) ve kiriş ebadı (25 x 45) olan, 6 katlı, planda düzensiz, perdeli-çerçeve sistem, çeşitli güçlendirme teknikleri kullanılarak SAP2000, ETABS programları yardımıyla incelenmiştir. Bina modeli AUTOCAD 2004 programı kullanılarak çizilmiştir. Taşıyıcı sistem çözümü için gerekli bazı hesaplamalar VISUAL BASIC’ de kodlanan bir program yapılmıştır. Bulgular ve tartışma bölümündeki grafikler EXCEL programında hazırlanmıştır. Çizelge 3.1’de binanın karakteristik özellikleri tablo olarak sunulmuştur.

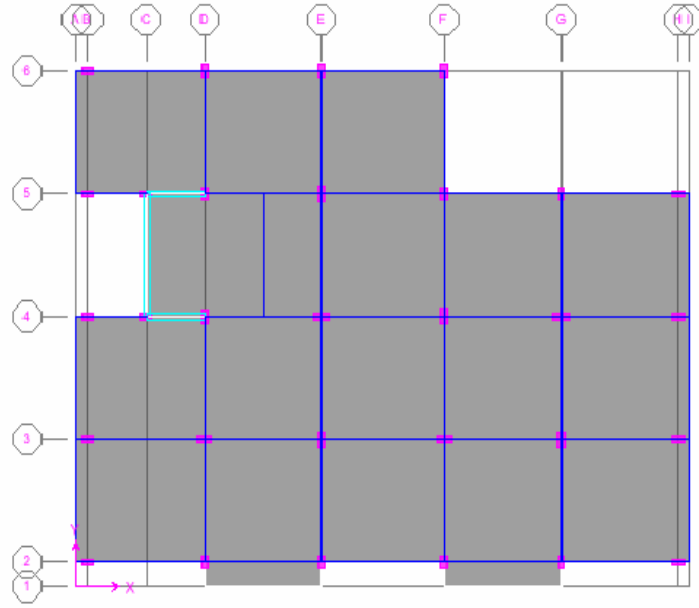
Çizelge 3.1. Bina Özellikleri

Bina Hareketli Yüğü	0.2	t/m ²
Bina Ölü Yüğü	0.2	t/m ²
Bina Önem Katsayısı	1	
Bina Davranış Katsayısı (TDY 97)	4	
Bina Davranış Katsayısı (UBC 97)	5.5	
Donatı Sınıfı (Boyuna Donatı)	BÇ1	
Enine Sınıfı (Boyuna Donatı)	BÇ3	
Güçlendirme de kullanılan Bet.Elastisite. Modülü (BS25)	3000000	t/m ²
Kayma Modülü	1011542	t/m ²
Mevcut Beton Elastisite Modülü	2615000	t/m ²
Zemin Periyotları (TDY 97)	0.15-0.4	
Zemin Periyotları (UBC 97)	0.08-0.4	sn
Zemin Sınıfı Ve Koşulları (TDY 97)	Z2	
Zemin Sınıfı Ve Koşulları (UBC 97)	Sb	

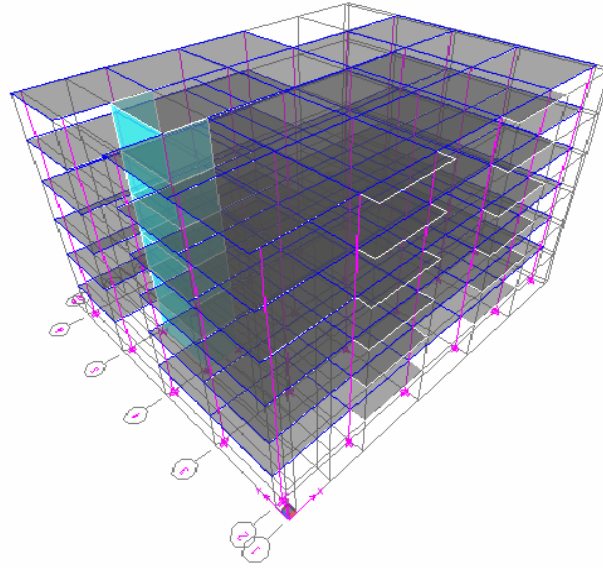
3.1. İşlem Sırası

- Mevcut binanın malzeme özellikleri tespit edilmiştir.
- Düşey yük ve yatay yük hesapları yapılmıştır.
- Önceki çalışmalar bölümünde anlatılan güçlendirme teknikleri, ETABS ve SAP2000 programlarıyla belli bir bina için modellenerek, bu güçlendirme tekniklerinin fayda ve zararları incelenmiştir.
- Bilgisayarda oluşturulan modellerin eşdeğer deprem yükü (UBC97) altında aldığı eğilme momenti değerleri saptanmış ve hangi güçlendirme tekniğinin taşıyıcı sisteme gelen etkileri ne kadar azalttığı incelenmiştir.
- Oluşturulan modeller, itki analiziyle incelenerek uygulanan güçlendirmenin bina kapasitesine etkisi araştırılmış ve en dayanıklı sistem bulunmak istenmiştir.
- Her bir güçlendirme sisteminin dinamik özellikleri incelenmiş ve yorumlanmıştır. Binanın olumsuz modal özelliklerinin nasıl düzeltileceği anlatılmıştır.
- Bulgular ve tartışma kısmında incelenen bu modeller grafiklerle karşılıklı olarak kıyaslanmış ve en başarılı model tespit edilmeye çalışılmıştır.

Şekil 3.1 ve 3.2 de bina modelinin plan ve üç boyutlu cephe görünüşleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Bina Plan Görünüşü



Şekil 3.2. Binanın Üç Boyutlu Görünüşü

3.2. Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Bina ilk olarak takviyesiz olarak modellenmiştir. Mevcut yapı modellenirken, TS500'ün verdiği aşağıdaki formülle hesaplanmış olan beton Elastisite Modülü değeri kullanılmıştır.

$$E = 10\,270 (f_{ck})^{0.5} + 140\,000 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3.1)$$

3.3. Düşey Yük Hesabı**3.3.1. Ölü Yük**

Her bölgede 0.2 t/m² ölü yük olduğu kabul edilmiştir.

3.3.2. Hareketli Yük

Her bölgede 0.2 t/ m² hareketli yük olduğu kabul edilmiştir.

3.4. Yatay Yük Hesabı

Deprem Yatay Yükleri, TDY-97 ve UBC-97 afet yönetmeliklerinden hesaplanmıştır. Bunlara göre taban kesme kuvveti için;

3.4.1. TDY-98

$$V = (A_0 I S / R) W \quad (3.2)$$

formülü kullanılmıştır. Burada;

$$\begin{aligned} S &= 2.5 & (T < T_B \text{ için}) \\ S &= 2.5 (T_B / T)^{0.8} & (T > T_B \text{ için}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} T_a &= 0.15 \text{ saniye} & (Z2 \text{ tipi zemin}) \\ T_B &= 0.40 \text{ saniye} & (Z2 \text{ tipi zemin}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= 4 & (\text{Takviyesiz Hal}) \\ R &= 5 & (\text{Takviyeli Hal}) \\ R &= 4 + 3 \alpha & (\text{Eğer; } 0.4 < \alpha < 0.66) \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\alpha = \Sigma (M_p) / M_o > 0.4 \quad (3.5)$$

M_p = Perdelerin Tabandaki Eğilme Momentleri

M_o = Deprem Kuvvetleri Devrilme Momenti

$$I = 1 \quad (\text{Önem Faktörü})$$

$$A_0 = 0.40 \quad (\text{Birinci Derece Deprem Bölgesi})$$

T = Binanın 1 inci Doğal Titreşim Periyodu

W = Binanın Toplam Ağırlığı

3.4.2. UBC-97

Amerikan yönetmeliği, UNIFORM BUILDING CODE-97' ye göre

$$V = (C_v \cdot I \cdot W) / (R \cdot T) \quad (3.6)$$

Aynı zamanda taban kesme kuvveti

$$V = (2.5 \cdot Ca \cdot I \cdot W) / R \text{ değerini aşmamalıdır ve} \quad (3.7)$$

$$V = 0.11 \cdot Ca \cdot I \cdot W \text{ değerinden az olmamalıdır} \quad (3.8)$$

$$Ca = \text{Tablo 16Q'dan alınan sismik sabittir.}$$

$$R = \text{Tepki Değişme Faktörü (Çizelgelerden alınır.)}$$

$$I = \text{Bina Önem Katsayısı}$$

3.5. Yük Kombinasyonları (UBC97)

Yapısal model kurulduktan ve yük değerleri ilave edildikten sonra, taşıyıcı sistem aşağıdaki on yükleme kombinasyonlarının her biri için ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Burada, DL=zati yükleri, LL=hareketli yükleri, EL=deprem yüklerini, WL=Rüzgar yüklerini göstermektedir.

- 1.4 DL (UBC 1909.2.1)
- 1.4 DL + 1.7 LL (UBC 1909.2.1)
- 0.9 DL ± 1.3 WL (UBC 1909.2.2)
- 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL ± 1.7 WL) (UBC 1909.2.2)
- 0.9 DL ± 1.0 EL (UBC 1909.2.3, 1612.2.1)
- 1.2 DL + 0.5 LL ± 1.0 EL (UBC 1909.2.3, 1612.2.1)

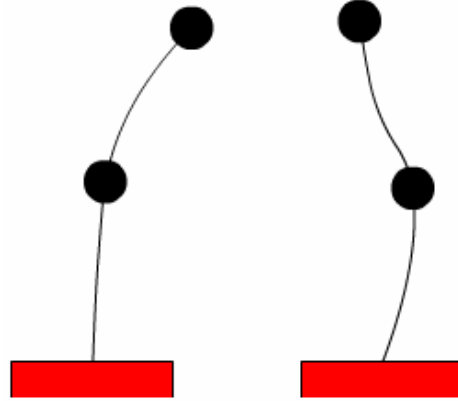
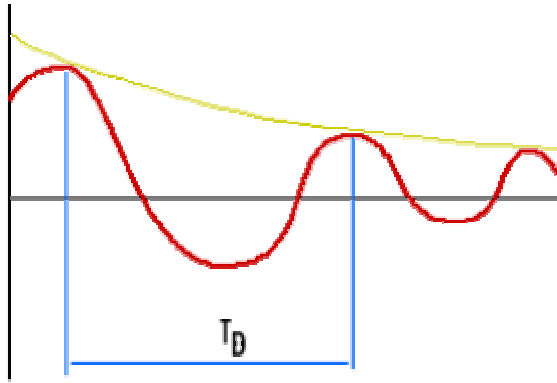
3.6. Kütle ve Rijitlik Merkezlerinin İncelenmesi

Bina kütle ve rijitlik merkezlerinin mümkün olduğu kadar yakınlaştırılmasına dikkat edilir. Böylelikle bina, kütle merkezine etkidiği kabul edilen deprem kuvvetleri tarafından rijitlik merkezi etrafında burulmaya zorlanmaz.

3.7. Dinamik Analiz

Bir binanın dinamik özelliklerini gösteren en önemli işaretler mod şekilleri ve doğal titreşim periyotlarıdır. Binanın periyodu, binanın bir salınımı için geçen süredir. Frekans ise saniyede yaptığı salınım sayısıdır (Anonim, 2005b).

Şekil 3.3 ve şekil 3.4'de periyodun grafiksel olarak tanımı ve iki katlı bir yapının sembolik modal titreşimleri gösterilmiştir. Şekil 3.4'de her bir kat kütlelerinin tek bir noktada toplandığı kabul edilmiştir.



Şekil 3.3. Periyodun Grafik Olarak Gösterimi Şekil 3.4. Modal Titreşimler

Mod birleştirme yönteminde yapıya dışarıdan bir zorlama fonksiyonu uygulanır. Bu zorlama fonksiyonu, herhangi bir deprem kaydı veya bir spektrum zarfı olabilir. Yapının mod şekilleri ve doğal frekansı hesapları, yapıdaki kütle - rijitlik yayılımı ile deprem spektrumunun direk fonksiyonlarıdır (Anonim, 2005b).

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -Mr\ddot{u}_g \text{ (Yapı Hareket Denklemi)} \quad (3.9)$$

Modal analizde yapı kütlelerinin modellenmesi büyük önem taşır ve hesap sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

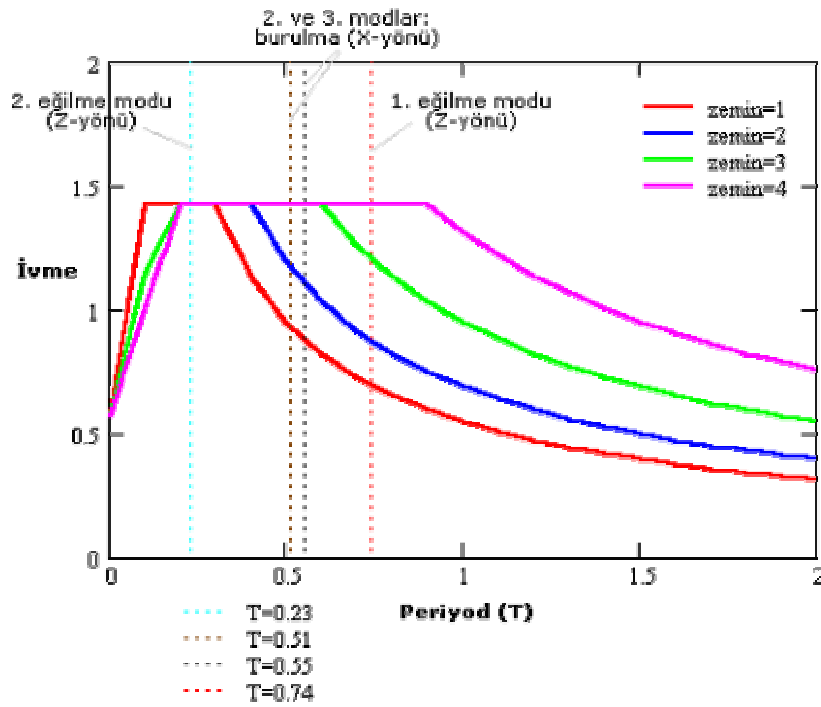
Mod birleştirme yöntemi hesabı sonucunda şu bilgiler elde edilebilir.

- Doğal titreşim modları
- Bu modlara denk gelen titreşim periyotları
- Bu modlara denk gelen ivmeler
- Bu modlara denk gelen genlikler
- Bu modlara denk gelen etkin kütleler ve toplam etkin kütleye oranları
- Bu modlara denk gelen etkin kütlelerden hesaplanan taban kesme kuvveti
- Toplam taban kesme kuvveti

Bu bilgiler arasında en önemli verilerden biri her bir moda etki eden etkin kütle oranlarıdır. Bunlar incelenerek binanın davranışına en çok etkileyen modlar bulunur. TDY-97 afet yönetmeliğine göre, incelenen yöndeki toplam etkin kütle, bina toplam kütlelerinin en az %90'ı olma şartı vardır (Anonim, 1998).

Şekil 3.5'de zemin koşulları ile yapı periyodu ilişkisi farklı zemin koşulları için grafiksel olarak sunulmuştur.

Önemli modlar tespit edildikten sonra bu modlardaki periyotların zemin hakim periyoduyla çakışıp çakışmadığı kontrol edilir. Çakışma olayı olması durumunda deprem yapıya önemli zararlar verebilir. Bu duruma binanın rezonansa uğraması denilmektedir.



Şekil 3.5. Zemin Koşulları ve Yapı Periyodu İlişkisi (Anonim, 2005b).

Zayıf zeminde (zemin 4) ivme değerleri daha yüksektir. Daha yüksek ivme, daha fazla deprem kuvveti demektir. Kaya zeminde (zemin 1), deprem ivme değerleri yumuşak zemine göre (Zemin 4) çok daha azdır.

Modellenen yapının birinci eğilme modu periyotları mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Böylelikle binaya daha az deprem yükleri etki eder. Yüksek katlı yapılarda bina periyodu yüksektir. Dolayısıyla yapı kütlesi fazla olsa dahi daha az ivmeye maruz kaldıkları için daha az hasar görürler. Burulma modlarında etkin kütle oranları yüksek ise binada yapılacak ek düzenlemelerle burulma modlarının etkin kütle oranları azaltılır.

3.8. Dayanım Hesabı

3.8.1. Perde Eğilme Momentleri Taşıma Gücü Hesabı

Betonarme takviye perdelerinin tasarımı sırasında, perdelerin moment taşıma gücü hesabı için, aşağıdaki formül esas alınmıştır (Tezcan ve Bal, 2004).

$$M_u = 0.5 A_s f_{yk} d [1 + (N / A_s f_{yk})] (1 - \gamma) \quad (3.10)$$

Burada;

M_u = Perdenin moment taşıma gücü

A_s = Perde düşey donatısı toplam alanı

ρ = Perde toplam düşey donatı oranı

b = Perdenin kalınlığı

d = Perdenin yatay düzlemdeki boyu

f_{yk} = Donatı karakteristik akma sınırı

f_{ck} = Betonun karakteristik basınç dayanımı
 f_{cu} = Betonun karakteristik küp basınç dayanımı

N = Perdenin yük faktörleri ile çarpılmış eksenel yükü

$$\gamma = (\alpha + \beta) / (2\beta + 0.85 \beta_1) \quad (3.11)$$

$$\beta_1 = 0.58$$

$$\alpha = 1.2 \rho f_{yk} / f_{cu} \quad (3.12)$$

$$\beta = 1.2 N / b d f_{cu} \quad (3.13)$$

Tüm perdelerin uç kısımlarında, toplam perde boyunun onda biri uzunluğunda, gizli kolon (başlık kolonu) teşkil edilmiştir. Başlık kolonu donatılarının moment kapasitesine etkisi;

$$M_{u-ek} = A_{sb} f_{yk} (0.8) (d - l_u) \quad (3.14)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada,

M_{u-ek} = Başlık kolonu donatılarından gelen ek moment taşıma gücü

A_{sb} = Başlık kolonu donatıları toplam alanı

l_u = Uç kolonun perde içindeki boyu

3.8.2. Perdelerin Kayma Dayanımı

Takviye Perdelerinin ve mevcut kolonların yatay kesme kuvveti dayanımı, V_u , için 1998 Deprem Yönetmeliği Madde 7.67’de verilen aşağıdaki formüller kullanılmıştır;

$$V_u = (0.65 f_{ctd} + \Phi f_{yd}) b d \leq 0.22 f_{cd} b d \quad (3.15)$$

$$f_{ctd} = 0.23 (f_{ck})^{0.5} \quad (3.16)$$

$$f_{cd} = 0.667 f_{ck} \quad (3.17)$$

Burada;

V_u = kayma dayanımı, MN

f_{ctd} = betonun çekme dayanımı, Mpa

f_{ck} = betonun silindir dayanımı, Mpa

f_{cd} = betonun tasarımı basınç dayanımı, Mpa

f_{yd} = donatının çekme dayanımı, Mpa ($f_{yd} = f_y / 1.15$)

Φ = perde toplam yatay donatı oranı

b = perde genişliği, m

d = perde plan uzunluğu, m

3.9. Deplasman Kontrolü

Yapı ile ilgili olarak, takviyesiz halde ve eğer var ise takviye perdelerinin yerleştirilmesini takiben, deplasman kontrolleri hem kat bazında rölatif deplasmanlar, hem

de binanın en üst noktasındaki toplam deplasman olarak kontrol edilmiş ve öngörülen limitler dahilinde olup olmadıkları irdelenmiştir.

3.9.1. İtki (Push-Over) Analizi ile Yapı Performansının Belirlenmesi

Her türlü depremi atlatabilecek bir bina tasarlamak ve tasarladığı binanın hangi büyüklükte bir depreme dayanabileceğini bilmek her inşaat mühendisinin arzusudur. Bugünün imkanlarıyla binanın ne kadar büyüklükte deprem kuvvetlerine dayanabileceği, binada oluşan mafsallaşma sırası, binanın hangi yük altında ne kadar hasar göreceği ve hangi yük altında yıkılacağı kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Yazılım mühendisliğindeki ve bilgisayar donanımlarındaki ilerlemeler bu tip performans analizlerini kolaylıkla uygulanabilir kılmıştır (Anonim, 2002c).

İtki analizi (Push-Over) bir nonlinear statik çözümleme tekniğidir. Deplasman esaslı ve kuvvet esaslı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

- **Kuvvet Esaslı Nonlinear Statik Analizi:** Kuvvet esaslı itki analizinde yapıya etkileyen deprem kuvvetleri belirlenen bir şekilde aşama aşama artırılarak binada oluşan zayıf bağlantılar ve düğüm noktalarındaki göçmeler saptanmaktadır.
- **Deplasman Esaslı Nonlinear Statik Analizi:** Deplasman esaslı non-lineer analizde binanın en üst kotunda belirlenen bir düğüm noktası aşama aşama belli bir deplasmanı yapmaya zorlanır. Bu zorlama bina göçene kadar devam eder. Böylelikle binanın Taban Kesme Kuvveti - Deplasman grafiği (Push-Over Curve) elde edilir.

Statik itki analizi binanın gerçek dayanımını değerlendirme çalışması olarak özetlenebilir. Bütün bunlarla birlikte Push-Over analizinin sağlam bir teorik esası bulunmamaktadır. Mesela esas mod şekline göre yükleme yaptıysanız ve diğer modlar da önemliyse dikkate aldığınız yükleme yanlış olabilir (Anonim, 2002c).

Push-Over dairesi çeşitli yönetmeliklerde farklı farklı yorumlanabilmektedir. En önemli farklar yükleme tipleri ve Push-Over dairesini basitleştirmedeki kabullerdir. Başlıca non-lineer Push-Over teknikleri, EC8, Fema273, Modal Push-Over, Capacity Spectrum (ATC 40) olarak sıralanabilir.

3.9.2. Kapasite Spektrumu Metodu

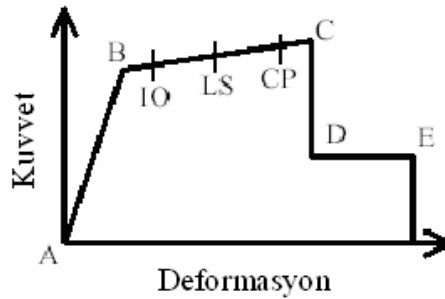
Kapasite spektrumu metodunda, analizi oluşturan iki tip grafik mevcuttur. Birinci grafik binanın kat ötelenmesi ve taban kesme kuvvetinden oluşan bina yatay yük taşıma kapasitesi eğrisidir. Bu eğri spektral ivme-spektral deplasman grafiğine dönüştürülerek ilk eğri elde edilir. Daha sonra binanın bulunduğu konuma bağlı olarak değişkenlik gösteren ve Spektral İvme-Spektral Deplasman eksen takımlarından meydana gelen, elastik ivme spektrumunun azaltılmasıyla oluşan deprem talep spektrumu elde edilir.

Bu iki eğrinin kesişim noktası performans noktası olarak adlandırılır. Bina performans noktasının bulunduğu yer depremde binanın ne kadar hasar göreceğini belirtir. (Anonim, 2002c).

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi mafsalların kuvvet-deformasyon davranışları beş ayrı şekilde sınıflandırılabilir. (A, B, C, D, E) ayrıca mafsalların kabul kriterleri IO: Immediate Occupancy (acil işgal sınırı), LS: Life Safety (can güvenliği) , CP: Collapse Prevention harfleriyle belirtilirler (Anonim,2002c).

Özetlemek gerekirse, performans analizi ana hatlarıyla şu şekilde yapılmaktadır.

- Yapı kapasitesinin belirlenmesi ve performans limitlerinin tespiti
- Senaryo deprem etkisinin ve bu etki için yapıdan beklenen talep eğrisinin belirlenmesi
- Senaryo depremde ortaya çıkan performans noktasının belirlenmesi
- Performans seviyesinin yeterliliğinin kontrolü



Şekil 3.6. Push Over Grafiği (Anonim, 2002c)

3.9.3. Bilgisayar Programında İtki Analizinin Yapılması

Aşağıda sonlu elemanlar ilkesiyle çalışan bir bilgisayar programında itki analizinin nasıl yapılacağı ana hatlarıyla sıralanmıştır.

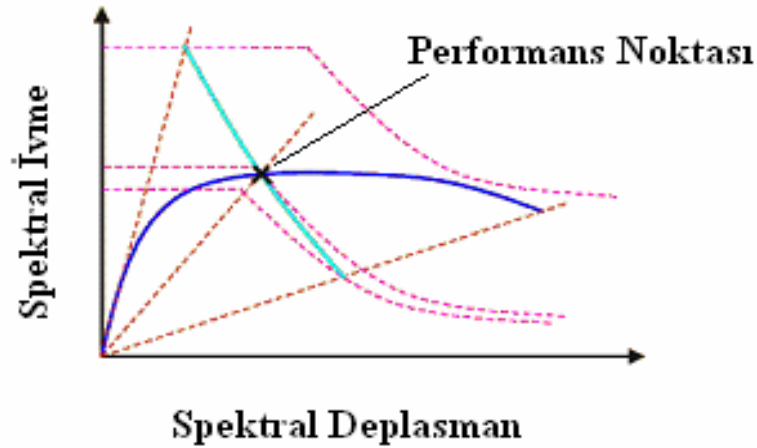
- Bilgisayar programında yapı modellenir.
- Kirişlerin mafsallaşma bölgeleri seçilir. (Her bir kirişin başlangıcı ve sonu seçilir.)
- Tanımlanacak olan mafsalların özellikleri girilir.
- İncelenecek olan mafsallar seçilerek tanımlanan mafsal özellikleri seçilen düğüm noktalarına atanır.
- İtki yük durumu belirlenir. Birden fazla itki yük durumu belirlenebilir ve ikinci itki analizi ilk itki analizinin bittiği yerden devam ettirilebilir. Genel olarak ilk önce düşey yükler altında nonlineer analiz yaptırılır. İkinci itki analizinde düşey itki analizinin bittiği yerden başlayarak sistem artan yatay yükler altında sistem çözümlenir.
- İtki yük durumu kuvvet kontrollü ve yük kontrollü olmak üzere iki çeşittir. Kuvvet kontrollü yaklaşım yerçekimi kuvvetiyle yapılan analizde, deplasman kontrollü yaklaşım ise yatay kuvvetlerle yapılan analizde kullanılmaktadır.

- İtki analizinde kullanılan yatay yük dağılımı, belli bir yöndeki uniform ivmelenmeden, belli bir mod şeklinden veya kullanıcı tarafından belirlenen statik yük durumlarından elde edilebilir.
- Analiz yapılır.
- Analiz sonrası her bir analiz adımında kaç tane mafsall oluştuğu ve oluşan düğüm noktalarının bu adımlardaki durumları gözlemlenir.
- Kapasite spektrum eğrisine bakılarak binanın performans noktası gözlemlenir. Değişen zemin şartlarına göre yeniden spektrum eğrisi çizdirilerek binanın kapasite eğrisi yorumlanabilir.
- Her itki analizi adımında incelenen yapıda meydana gelen etkilerin (N,T,M) değişimi incelenebilir.

Özellikle güçlendirme yapılan binalarda düşünülen güçlendirme metotlarının kıyaslanması açısından itki analizi hayati öneme sahiptir. Binaya eklenen sönümleme özellikleri kapasite spektrumunda kolaylıkla gözlemlenebilir. Böylelikle gerekli olduğu durumlarda bina elemanları değiştirilerek yapı daha rijitleştirilebilir veya gerekirse daha da güçlendirilebilir. Bina değişik mafsall durumları için tekrar tekrar analiz edilerek yapı incelenebilir.

Şekil 3.7’de bina kapasite eğrisi ile ivme spektrumunda elde edilen deprem talep eğrisinin çakışmasıyla elde edilen performans noktası gösterilmiştir.

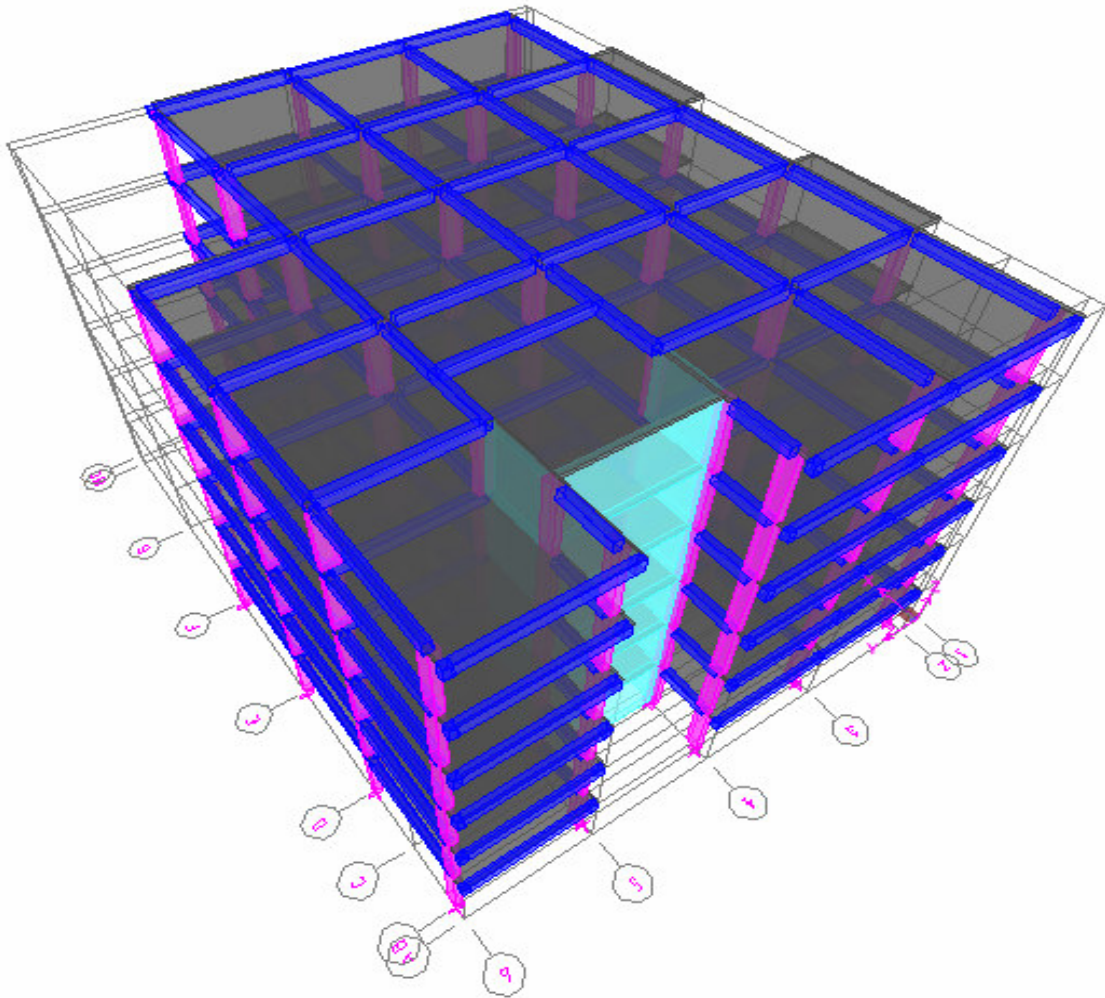
Pushover Grafiğinin Kullanılması



Şekil 3.7. Performans Noktasının Tespiti

4. YAPI GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ**4.1. Güçlendirilmesi Planlanan Bina**

Güçlendirilmesi planlanan bina altı katlı perde-çerçeve sisteminden oluşmaktadır. Düşük sünekliliğe sahip orta kalite bir konut binası olduğu kabul edilmiştir. Yapıda geometrik düzensizlikler bulunmaktadır. Binanın kütle ve rijitlik merkezleri birbirine uzak olduğu için binada meydana gelebilecek burulma momentleri dikkate alınmalıdır. Bina Davranış Katsayısının UBC97'ye göre 5.5 olduğu kabul edilmiştir ($R = 5.5$). Kolon boyutları 30x70, 30x85 ve 30x90'dir. Kiriş boyutu 25x45'dir. Lineer statik analiz için Eşdeğer Deprem Yüğü kuvvetleri UBC97 esas alınarak hesaplanmıştır. Şekil 4.1'de üç boyutlu bina modeli görülmektedir.



Şekil 4.1. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Modeli

4.1.1. Elastisite Modülü

Mevcut binada kullanılan betonun Elastisite Modülü 2615000 t/m^2 olarak alınmıştır.

4.1.2. Kütle ve Rijitlik Merkezleri

Bina kat kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirine yakın olması büyük önem taşımaktadır. Güçlendirilmesi planlanan binanın her bir katının kat kütle ve rijitlik merkezleri tablo olarak çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Kütle ve Rijitlik Merkezleri

Kat	Diyafram	XCCM	YCCM	XCR	YCR
KAT6	D6	13.582	10.088	4.379	11.996
KAT5	D5	13.227	10.241	4.115	12.217
KAT4	D4	13.227	10.241	3.869	12.434
KAT3	D3	13.227	10.241	3.736	12.623
KAT2	D2	13.227	10.241	3.840	12.762
KAT1	D1	13.227	10.241	4.630	12.723

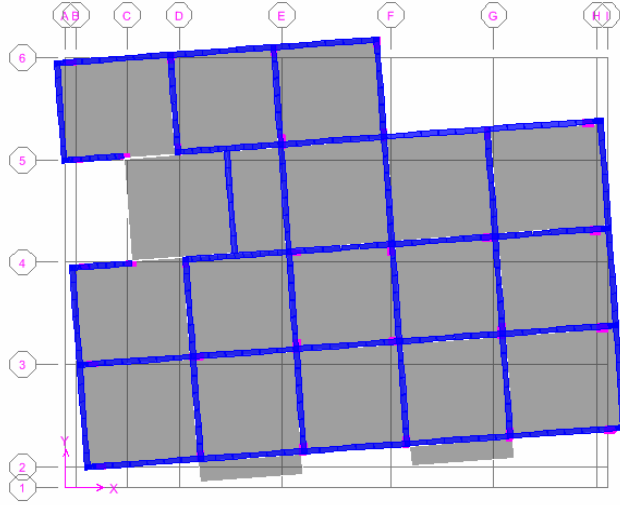
4.1.3. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın Modal Özellikleri

Hangi titreşim modunun yapı üzerinde ne kadar etkili olduğu etkin kütle oranlarıyla anlaşılır. Binanın davranışında etkin rol oynayan modlar çizelge 4.2’ye bakılarak tespit edilebilir. Aşağıda görüldüğü gibi Afet Yönetmeliğinde bulunan Etkin Kütle Katkı Oranları her iki yönde %90’ın üzerindedir (X eksen için $96.52 > 90$ ve Y eksen için $98.71 > 90$).

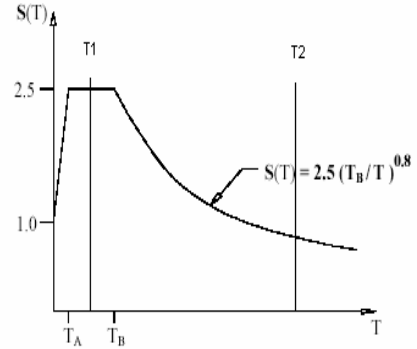
Çizelge 4.2. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın Modal Özellikleri

Mod	Periyot	UX	UY	Σ UX	Σ UY	RX	RY	RZ	Σ RX	Σ RY	Σ RZ
1	0.68	4.2	37.3	4.2	37.27	47.1	5.3	38.6	47.06	5.3	38.58
2	0.42	68.4	3	72.64	40.27	4.07	93.5	1.04	51.13	98.75	39.63
3	0.23	0	33.6	72.76	73.9	48.1	0	39.8	99.27	99.04	79.44
4	0.21	0	7.96	73.42	81.86	0	0	3.22	99.5	99.04	82.67
5	0.11	0	2.01	73.78	83.87	0	0	2.48	99.65	99.06	85.14
6	0.1	16.8	0	90.59	84.74	0	0	0	99.67	99.76	85.41
7	0.07	0	0	90.71	85.47	0	0	1.79	99.67	99.76	87.2
8	0.06	0	9.9	90.81	95.37	0	0	8.77	99.93	99.77	95.97
9	0.05	5.61	0	96.42	95.57	0	0	0	99.93	99.96	96.11
10	0.05	0	0	96.5	96.24	0	0	0	99.95	99.96	96.65
11	0.04	0	0	96.52	96.4	0	0	0	99.95	99.96	96.87
12	0.03	0	2.3	96.52	98.71	0	0	1.83	99.99	99.96	98.71

Şekil 4.2’de binanın birinci modu plandan görülmektedir. Şekil 4.3’de ise spektral ivme-periyot ilişkisi grafiksel olarak sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Birinci Mod



Şekil 4.3. İvme Spektrumu

- **Mod1 (T=0.677sn):** Binanın büyük oranda burulmaya girdiği önemli bir moddur ve mutlaka önlenmesi gerekmektedir. Hatalı projelendirmelerden kaynaklanmaktadır. Binaya yanlış yerleştirilen perdeler bunun en büyük sebebidir. Yapıda ciddi hasarlara sebep olabilir.
- **Mod2 (T=0.42sn):** Bina büyük oranda X eksen ve az miktarda Y eksen doğrultularında eğilmektedir (Çapraz eğilme). Bir miktar burulma davranışı da söz konusudur. Arzu edilen bir durum değildir.
- **Mod3 (T=0.23sn):** Burulma etkilerinin ve X yönünde deplasmanın olduğu bir durumdur. Elastik ivme spektrumunda ivmenin maksimum olduğu bölgeye denk geldiği için TDY 97 (0.15-0.4 arası) ve UBC 97 (0.08-0.40) dikkatle incelenmelidir.
- **Mod4 (T=0.21sn):** Binanın burulmaya girdiği ve kararsız titreşimler gösterdiği bir moddur. Periyodu kritik bölgede olduğu için dikkate alınmalıdır.

Diğer modlarda incelenebilir ancak bu modların periyotları çok düşüktür. Elastik ivme spektrumu incelendiğinde anlaşılabilecektir ki bu bölgede bina yüksek deprem ivmesine maruz kalmamaktadır. Diğer modlar yapıda oluşan önemsiz lokal titreşimlerdir. Çizelgedeki kütle katılım oranları ve periyotlar incelendiğinde böyle oldukları kolaylıkla anlaşılır.

4.1.4. Güçlendirilmesi Planlanan Binaya Etkiyen Taban Kesme Kuvvetleri

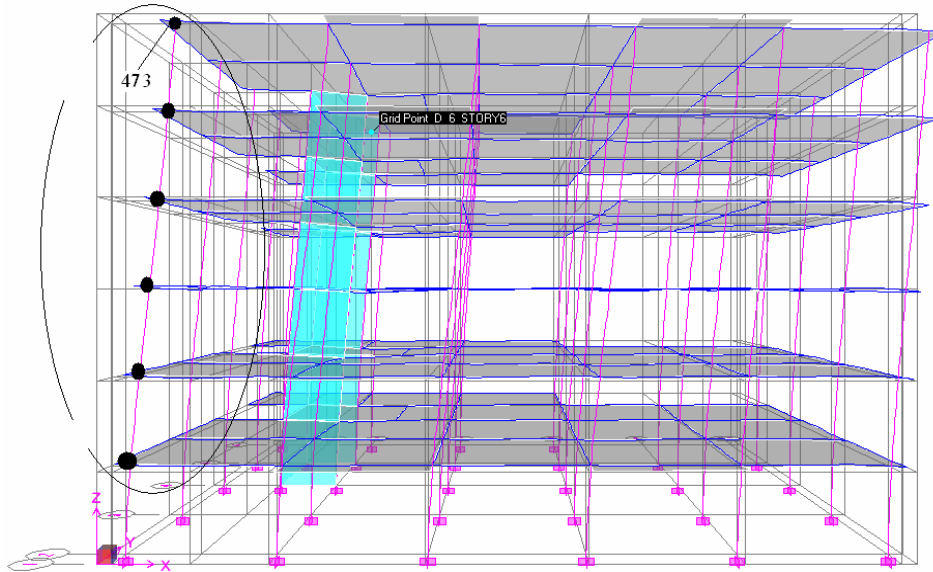
Taban ve kat kesme kuvvetleri hesaplanırken UBC97 şartnamesi kullanılmıştır. Güçlendirilmesi planlanan binaya X ve Y yönlerinde etkiyen taban kesme kuvvetleri çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Taban Kesme Kuvvetleri

Kat	Yük	Konum	P	VX	VY	T	MX	MY
KAT6	EXUBC	Alt	0	-68.8	0	695.765	0.041	-207.224
KAT6	EYUBC	Alt	0	0	-42.3	-517.501	127.326	-0.011
KAT5	EXUBC	Alt	0	-134.77	0	1.372.553	0.249	-613.452
KAT5	EYUBC	Alt	0	0	-82.86	-1.000.082	377.086	-0.131
KAT4	EXUBC	Alt	0	-187.55	0	1.913.982	0.781	-1.179.172
KAT4	EYUBC	Alt	0	0	-115.3	-1.386.155	725.254	-0.454
KAT3	EXUBC	Alt	0	-227.13	0	2.320.050	1.723	-1.864.562
KAT3	EYUBC	Alt	0	0	-139.64	-1.675.720	1.147.540	-1.035
KAT2	EXUBC	Alt	0	-253.51	0	2.590.765	2.987	-2.629.279
KAT2	EYUBC	Alt	0	0	-155.86	-1.868.761	1.619.135	-1.817
KAT1	EXUBC	Alt	0	-266.71	0	2.726.122	3.866	-3.431.996
KAT1	EYUBC	Alt	0	0	-163.97	-1.965.277	2.113.750	-2.360

4.1.5. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Kat Ötelenmeleri

Bütün yapı modellerinde, 473 numaralı düğüm noktasının sürüklenme değerleri incelenmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Şekil 4.4’de güçlendirilmesi planlanan bina için 473 numaralı düğüm noktası görülmektedir.



Şekil 4.4. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Kat Ötelenmeleri

Çizelge 4.4’de X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle 473 numaralı noktada meydana gelen kat ötelenme değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.4. Güçlendirilmesi Planlanan Bina’da 473 numaralı Noktadaki Kat Ötelenmesi

KAT	DISP-X	DISP-Y	ÖTELENME-X	ÖTELENME-Y
KAT6	0.0177	-0.0012	0.0008	0.0004
KAT5	0.0151	-0.0011	0.0010	0.0006
KAT4	0.0119	-0.0009	0.0011	0.0008
KAT3	0.0084	-0.0007	0.0011	0.0009
KAT2	0.0048	-0.0004	0.0010	0.0009
KAT1	0.0016	-0.0001	0.0005	0.0006

Bütün yapı modellerinde, kat kütle merkezlerinin sürüklenme değerleri incelenmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Çizelge 4.5’de X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle kat kütle merkezlerinde meydana gelen kat ötelenme değerleri görülmektedir.

4.1.6. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Metrajı

Güçlendirme tekniklerinin uygulama maliyeti, tekniklerin kıyaslanmasında önemli bir unsurdur. Güçlendirilmesi planlanan bina için yapı elemanlarının uzunluğu ve ağırlığı çizelge 4.6’da görülmektedir.

Çizelge 4.5. Güçlendirilmesi Planlanan Bina Metrajı

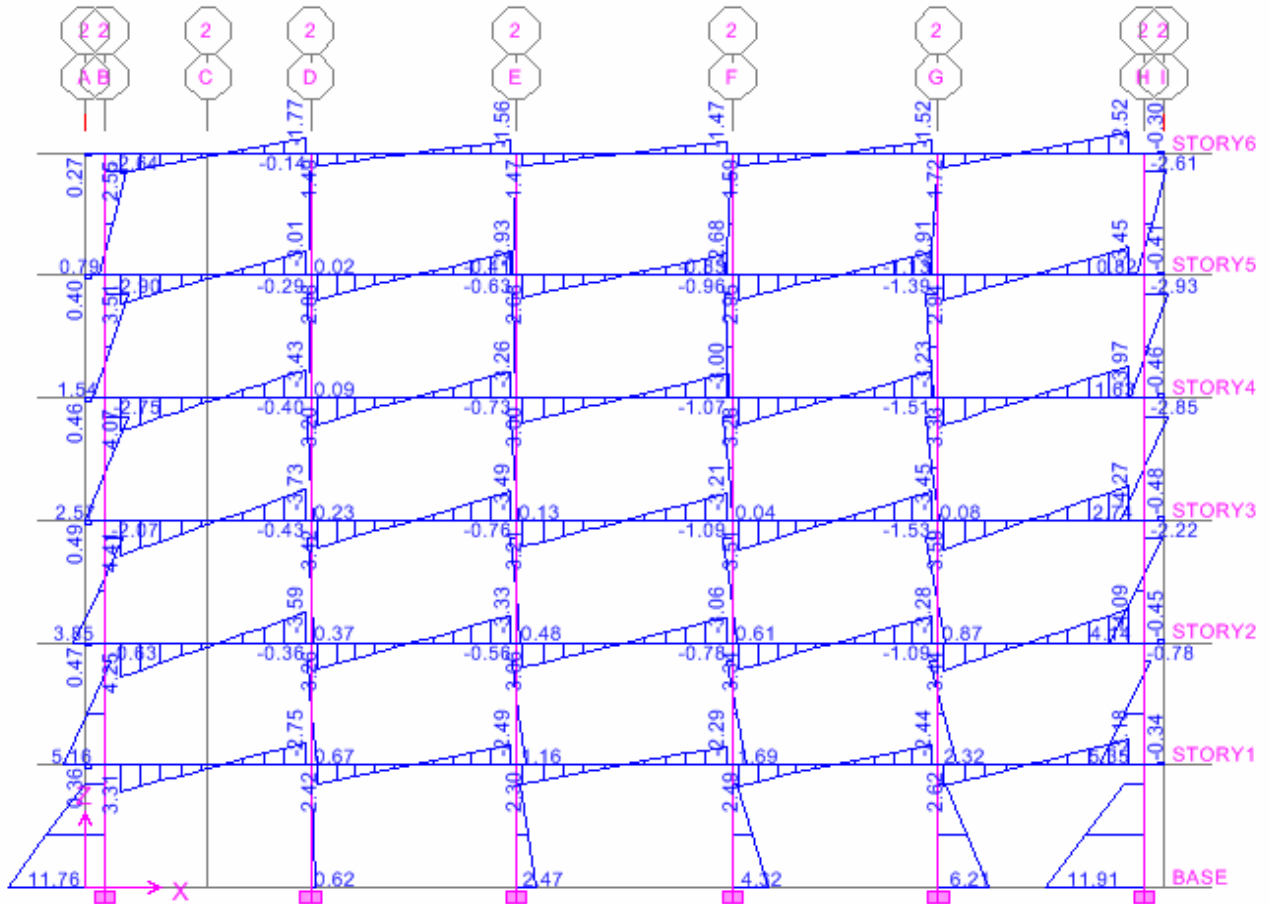
Kesit	Eleman Tipi	Parça Sayısı	Toplam Ağırlık	Toplam Ağırlık
KOL30X70	Kolon	146	532.500	236.478
KOL30X90	Kolon	36	108.000	69.996
KOL30X85	Kolon	12	36.000	22.036
KIRIS25X45	Kiriş	330	1.324.500	319.517
MEVPER25	Duvar			108.018
DOSEME12	Döşeme			807.975

Çizelge 4.6. Güçlendirilmesi Planlanan Bina’da Kat Ötelenmeleri

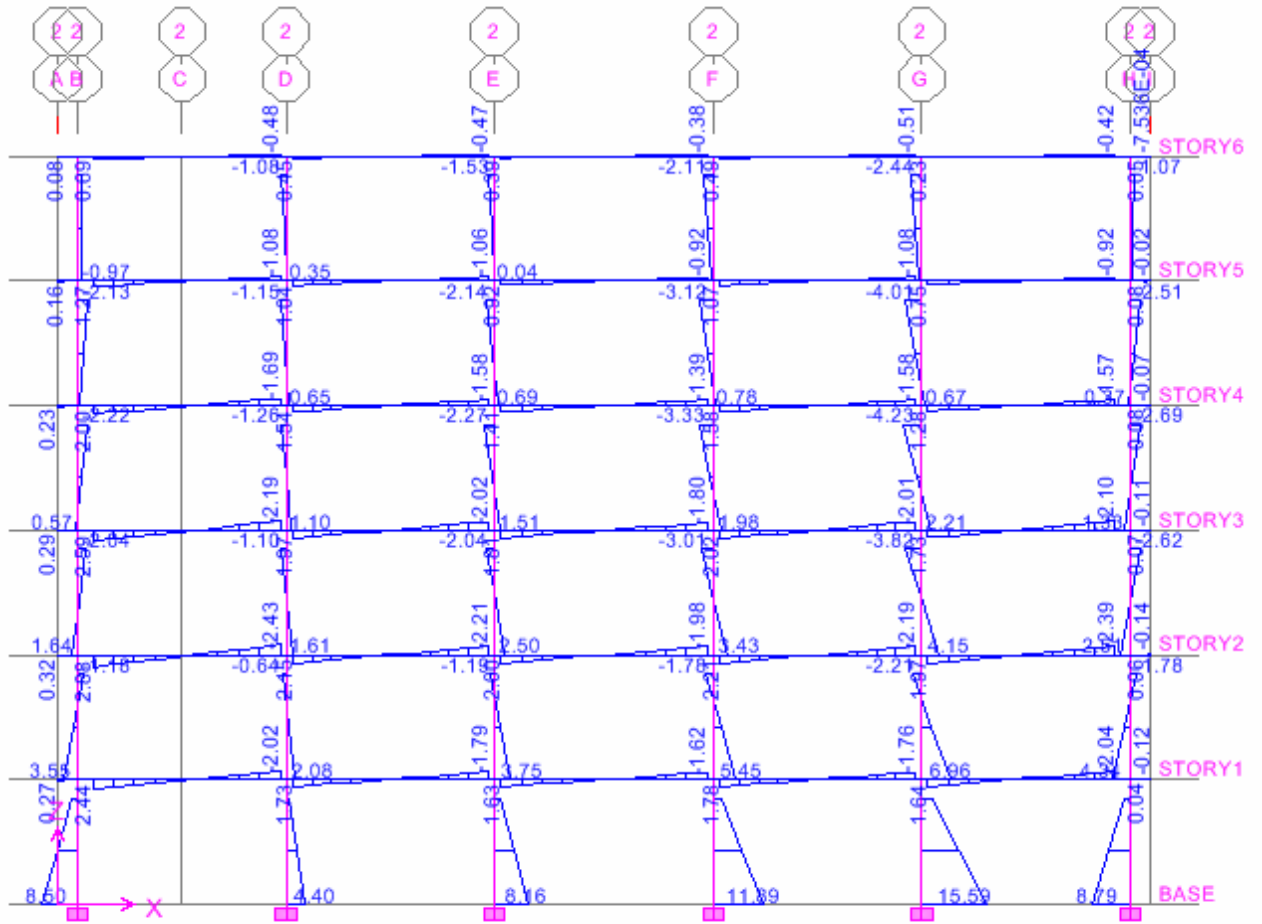
Kat	İncelenen Kriter	Yük	Düğüm Noktası	X	Y	Z	Ötelenme X	Ötelenme Y
KAT6	Max Ötelenme X	EXUBC	106	20.750	0	18.000	0.000889	
KAT6	Max Ötelenme Y	EXUBC	97	26.250	11.000	18.000		0.000110
KAT6	Max Ötelenme X	EYUBC	106	20.750	0	18.000	0.000274	
KAT6	Max Ötelenme Y	EYUBC	97	26.250	11.000	18.000		0.000766
KAT5	Max Ötelenme X	EXUBC	106	20.750	0	15.000	0.001065	
KAT5	Max Ötelenme Y	EXUBC	97	26.250	11.000	15.000		0.000288
KAT5	Max Ötelenme X	EYUBC	106	20.750	0	15.000	0.000474	
KAT5	Max Ötelenme Y	EYUBC	97	26.250	11.000	15.000		0.001150
KAT4	Max Ötelenme X	EXUBC	106	20.750	0	12.000	0.001197	
KAT4	Max Ötelenme Y	EXUBC	75	26.250	1.000	12.000		0.000467
KAT4	Max Ötelenme X	EYUBC	106	20.750	0	12.000	0.000666	
KAT4	Max Ötelenme Y	EYUBC	97	26.250	11.000	12.000		0.001503
KAT3	Max Ötelenme X	EXUBC	106	20.750	0	9.000	0.001226	
KAT3	Max Ötelenme Y	EXUBC	97	26.250	11.000	9.000		0.000605
KAT3	Max Ötelenme X	EYUBC	106	20.750	0	9.000	0.000797	
KAT3	Max Ötelenme Y	EYUBC	97	26.250	11.000	9.000		0.001721
KAT2	Max Ötelenme X	EXUBC	106	20.750	0	6.000	0.001081	
KAT2	Max Ötelenme Y	EXUBC	97	26.250	11.000	6.000		0.000644
KAT2	Max Ötelenme X	EYUBC	106	20.750	0	6.000	0.000795	
KAT2	Max Ötelenme Y	EYUBC	97	26.250	11.000	6.000		0.001663
KAT1	Max Ötelenme X	EXUBC	481	25.750	1.000	3.000	0.000567	
KAT1	Max Ötelenme Y	EXUBC	481	25.750	1.000	3.000		0.000376
KAT1	Max Ötelenme X	EYUBC	481	25.750	1.000	3.000	0.000410	
KAT1	Max Ötelenme Y	EYUBC	481	25.750	1.000	3.000		0.000911

4.1.7. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Meydana Gelen Eğilme Momentleri

Bütün yapı modellerinde, 2-2 aksında meydana gelen eğilme momentleri incelenmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Şekil 4.5' ve şekil 4.6'da güçlendirilmesi planlanan bina için 2-2 aksı eğilme momenti değerleri görülmektedir.



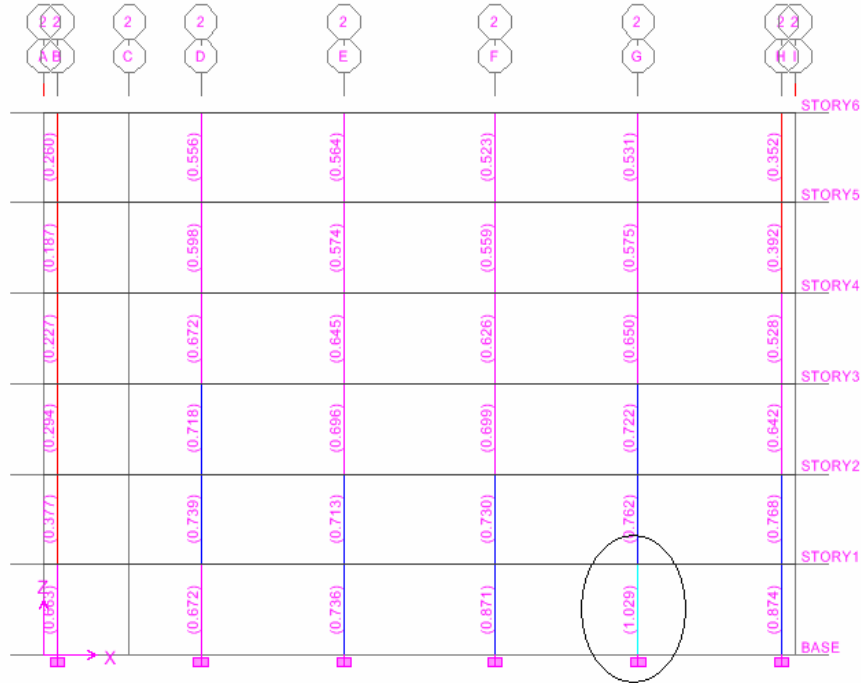
Şekil 4.5. X-Yönündeki Deprem Kuvvetleriyle 2-2 Aksında Eğilme Momentleri



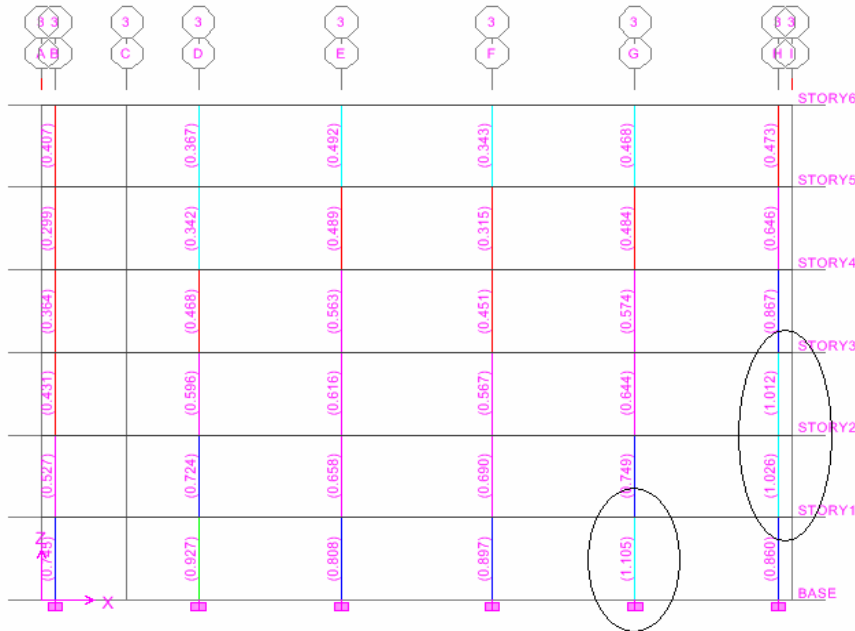
Şekil 4.6. Y-Yönündeki Deprem Kuvvetleriyle 2-2 Aksında Eğilme Momentleri

4.1.8. Güçlendirilmesi Planlanan Binada Kolon Kapasite Tahkikleri

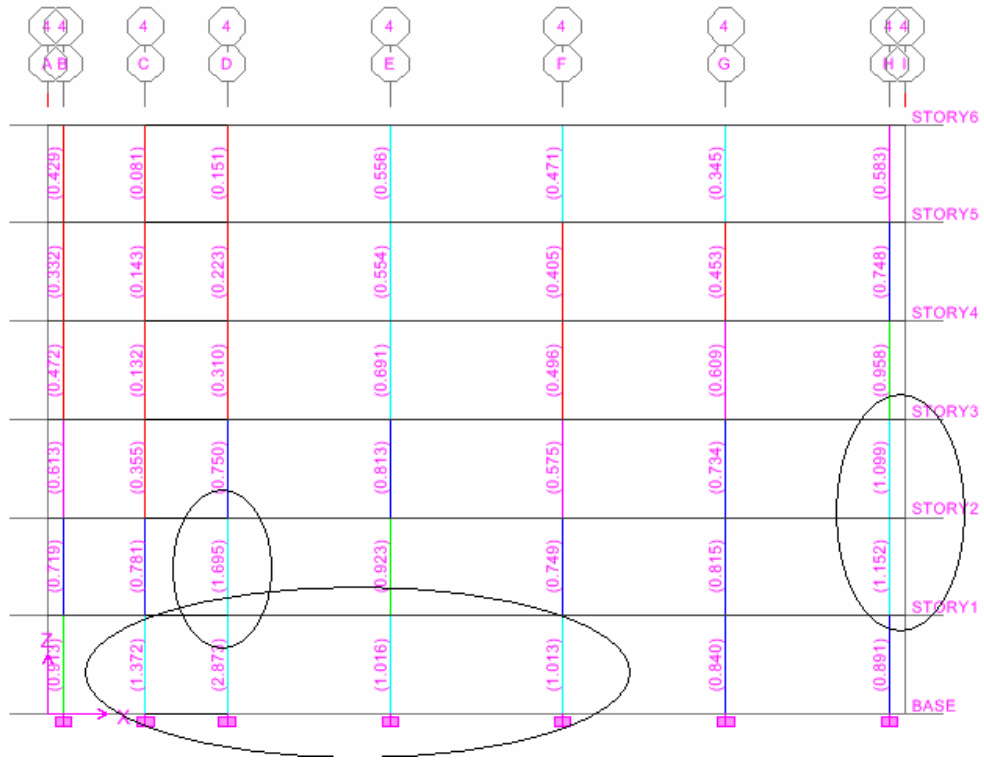
Etabs ile UBC97 yük kombinasyonları kullanılarak kolon kapasite tahkikleri yapılmıştır. Şekil 4.7a ve şekil 4.7b’de kapasitesi yetersiz kolonlar görülmektedir.



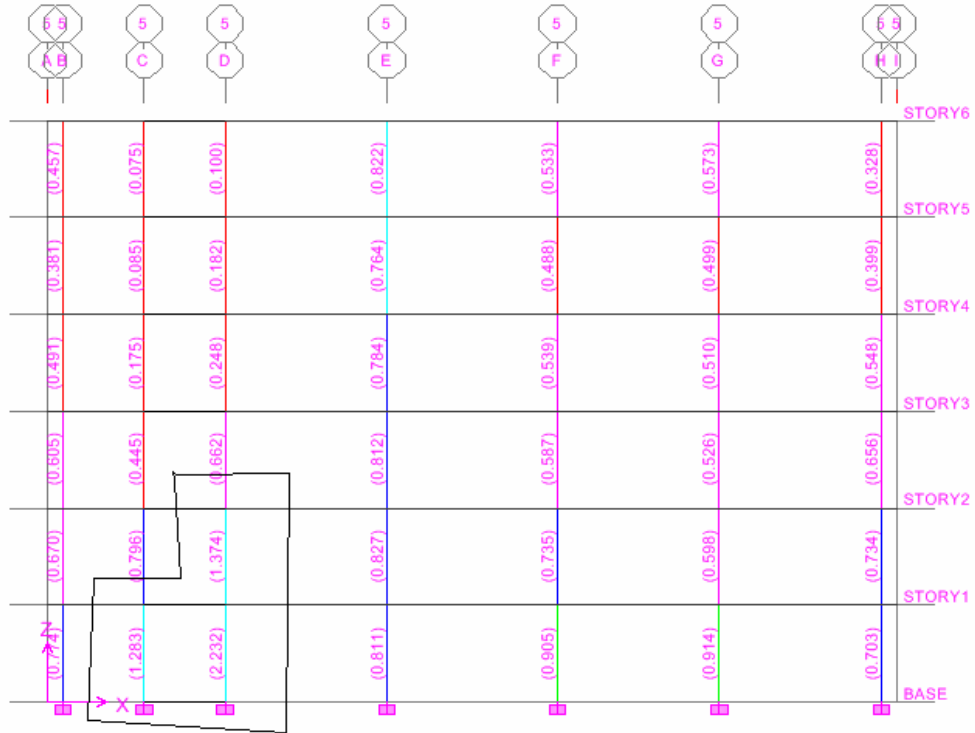
Şekil 4.7a. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 2-2 Aksı Kolon Kapasiteleri



Şekil 4.7b. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 3-3 Aksı Kolon Kapasiteleri



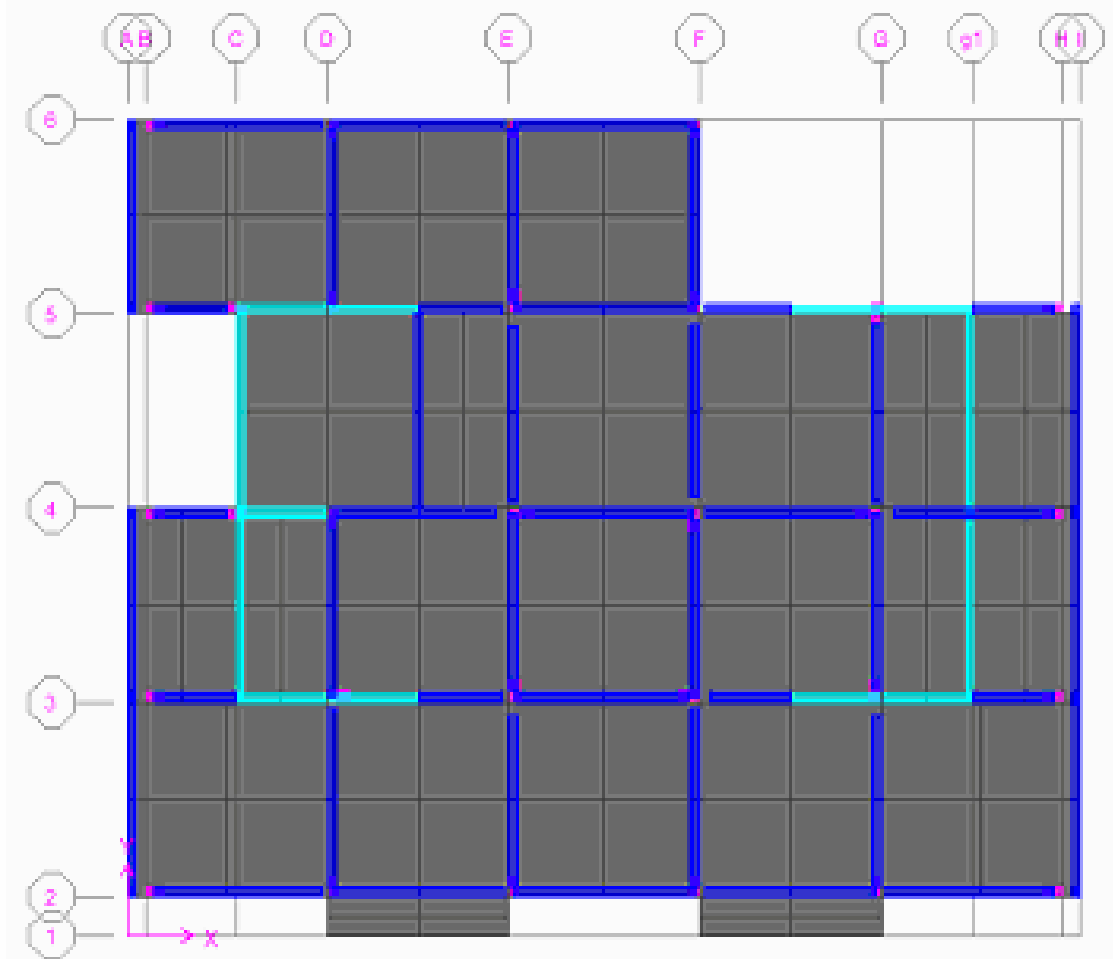
Şekil 4.7c. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 4-4 Aksı Kolon Kapasiteleri



Şekil 4.7d. Güçlendirilmesi Planlanan Binada 5-5 Aksı Kolon Kapasiteleri

4.2. Mevcut Binanın Betonarme Perdelerle Güçlendirilmesi

Betonarme perdeler, binanın rijitliğini arttıran ve deprem kuvvetlerini önemli ölçüde üzerlerine alan yapı elemanlarıdır. Binanın doğru bölgelerine uygun şekilde yerleştirildiğinde, binayı ciddi hasarlara karşı koruyabildiği gibi; yanlış bölgelerine yerleştirildiğinde ise bina taşıyıcı elemanlarına ek burulma momentleri doğuracağından zarar verebilen elemanlar olmaktadır. Dolayısıyla bina kütle ve rijitlik merkezleri hesaplanmalı, binaya sonradan eklenen perde elemanlar ile bu iki nokta mümkün olduğu kadar birbirine yaklaştırılmalıdır. Çerçeve sistemlerin perdelerle takviye edildiği durumlarda deprem etkilerini yaklaşık %70 oranında perdelerin alması istenir. Perdelerin deprem etkilerini ne ölçüde üzerlerine aldıklarını taban devrilme momentleri ve taban kesme kuvvetleri oranları hesaplanarak bulunur. Ancak yapının mimari özelliklerini bozmamak için bu %70 oranı her zaman elde edilemez. Perde moment taşıma kapasitesinin deprem devrilme momentinden büyük olması, depremde yapının plastikleşme durumunda en önemli sigortası olacaktır. Şekil 4.8’de perdelerle güçlendirilmiş binanın planı görülmektedir.



Şekil 4.8. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemin Plan Görünüşü

4.2.1. Elastisite Modülü

Mevcut binada kullanılan betonun elastisite modülü 2615000 t/m^2 olarak kabul edilmiştir. Güçlendirme de kullanılan beton BS25 ve elastisite modülü 3000000 t/m^2 olarak alınmıştır .

4.2.2. Kat Kütle ve Rijitlik Merkezleri

Perdeler eklendikten sonra kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirine yakınlaştığı görülmektedir. Güçlendirilmesi planlanan binanın her bir katının kat kütle ve rijitlik merkezleri tablo olarak çizelge 4.7’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Kat Kütle ve Rijitlik Merkezleri

Kat	XCCM	YCCM	XCR	YCR
KAT6	12.464	10.097	12.313	10.290
KAT5	12.403	10.164	12.313	10.370
KAT4	12.386	10.184	12.310	10.455
KAT3	12.378	10.193	12.313	10.543
KAT2	12.373	10.198	12.330	10.623
KAT1	12.370	10.202	12.368	10.672

4.2.3. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Modal Özellikleri

Güçlendirme perdeleri eklendikten sonra yapının modal özellikleri olumlu yönde değişmiştir. Çizelge 4.8’de güçlendirilmiş yapının modal özellikleri görülmektedir.

Çizelge 4.8. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Modal Katılım Oranları

Mod	Periyot	UX	UY	ΣUX	ΣUY	RX	RY	RZ	ΣRX	ΣRY	ΣRZ
1	0.21	72.03	0	72.03	0	0	98.9	0	0	98.89	0
2	0.14	0	79.3	72.03	79.35	99.87	0	0	99.88	98.9	0
3	0.12	0	0	72.04	79.37	0	0	80.3	99.9	98.91	80.33
4	0.05	19.47	0	91.51	79.38	0	0	0	99.9	99.82	80.34
5	0.04	0	15	91.52	94.37	0	0	0	99.9	99.82	80.34
6	0.04	0	0	91.54	94.37	0	0	14.5	99.9	99.82	94.85
7	0.03	5.44	0	96.97	94.39	0	0	0	99.91	99.98	94.86
8	0.02	0	3.56	97	97.96	0	0	0	100	99.98	94.86
9	0.02	0	0	97.03	97.96	0	0	3.3	100	99.98	98.16
10	0.02	0	1.38	97.05	99.34	0	0	0	100	99.98	98.16
11	0.02	1.99	0	99.04	99.35	0	0	0	100	99.99	98.18
12	0.02	0	0	99.09	99.35	0	0	1.24	100	99.99	99.42

Yukarıdaki çizelge güçlendirilmiş binanın modal verilerini içermektedir. Bu veriler aşağıdaki gibi yorumlanabilir.

- **Mod1 (T1=0.22):** Güçlendirilmesi Planlanan binada önemli miktarda burulma momentleri meydana gelmekteydi ve yapı hem x yönünde hem y yönünde deplasman yapmaktaydı. Güçlendirme yapıldıktan sonra burulma meydana gelmeksizin X yönünde deplasman oluşmaktadır.
- **Mod2 (T2=0.14):** X yönünde hafif burulmalı bir modal deplasman oluşmaktaydı. Güçlendirmeden sonra burulma etkisi ortadan kalkmıştır ve bina Y yönünde deplasman yapmaktadır.
- **Mod3 (T3=0.115):** Güçlendirme yapıldıktan sonra önemli burulma momentleri oluşmaktadır. Fakat bu burulma modunda periyot 0.115 sn olduğu için yapı, ivme spektrumunda maksimum ivmeye maruz kalmamaktadır. (TDY 97 : Z2 zemin grubu için 0.15 sn -0.40sn)

Ancak UBC 97'ye göre SB zemin grubu için $N_a=N_v = 0.4$ ve 0.08 sn- 0.40 sn olduğu için bina Periyodu istenilen aralığa tam olarak düşürülemedi.

Diğer modal deplasmanlar çok düşük periyotlarda meydana geldiği için bunların lokal titreşimler olduğu ve bina davranışında çok önemli olmadığı anlaşılr. Aşağıdaki Çizelgelerde X ve Y yönlerindeki perde eleman taban eğilme momentleri gösterilmektedir.

4.2.4. Taban Kesme Kuvvetleri

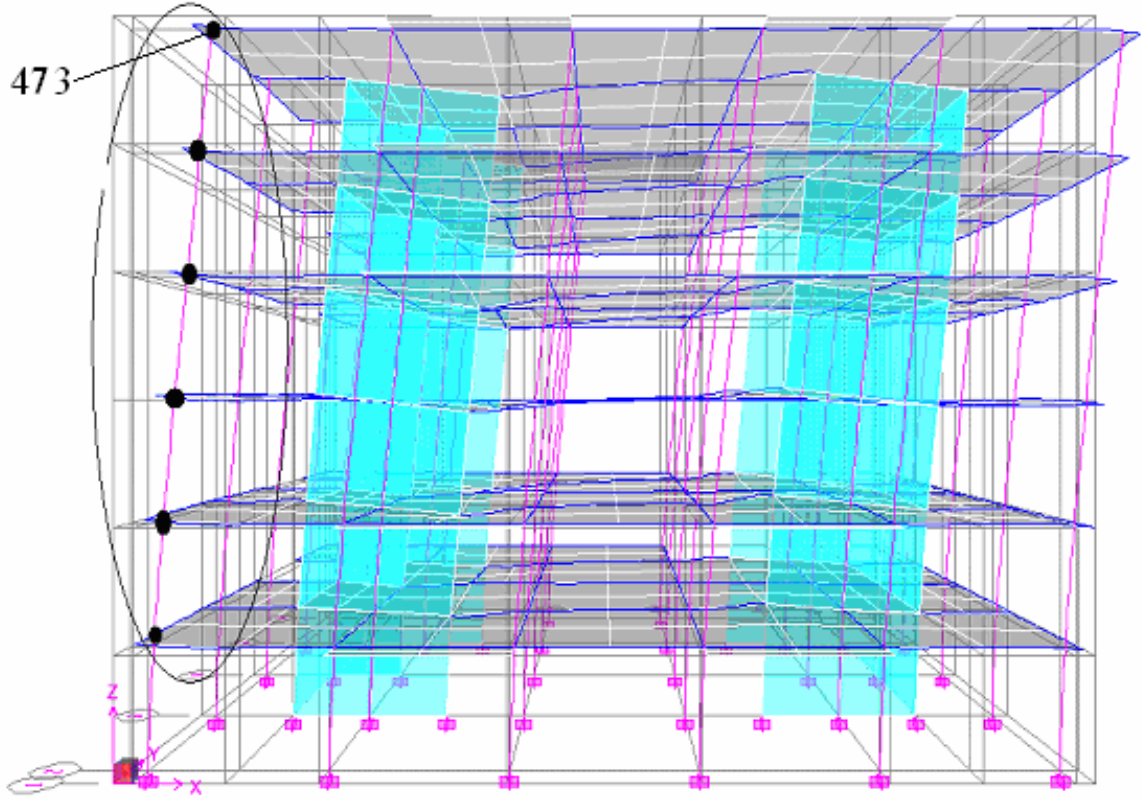
Güçlendirme perdelerinin eklenmesiyle yapı ağırlığıyla birlikte binaya etkiyen deprem yükü kuvvetleri de artmıştır. Çizelge 4.9'da perdelerle güçlendirilmiş sisteme etkiyen deprem kuvvetleri görülmektedir.

Çizelge 4.9. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Taban Kesme Kuvvetleri

Kat	Yük	Konum	P	VX	VY	T	MX	MY
KAT6	EXUBC97	Alt	0	-78	0	792.508	0	-235706
KAT6	EYUBC97	Alt	0	0	-78	-978.223	235527	0
KAT5	EXUBC97	Alt	0	-159	0	1.619.283	0	-714470
KAT5	EYUBC97	Alt	0	0	-159	-1.977.846	713902	0
KAT4	EXUBC97	Alt	0	-224	0	2.280.703	0	-1387734
KAT4	EYUBC97	Alt	0	0	-224	-2.777.544	1386597	0
KAT3	EXUBC97	Alt	0	-273	0	2.776.769	0	-2206861
KAT3	EYUBC97	Alt	0	0	-273	-3.377.319	2205059	0
KAT2	EXUBC97	Alt	0	-305	0	3.107.480	0	-3123084
KAT2	EYUBC97	Alt	0	0	-305	-3.777.168	3120700	0
KAT1	EXUBC97	Alt	0	-321	0	3.272.835	0	-4087448
KAT1	EYUBC97	Alt	0	0	-321	-3.977.093	4084844	0

4.2.5. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemde Kat Ötelenmeleri

Güçlendirme perdelerinin eklenmesiyle 473 numaralı düğüm noktasında deplasman ve sürüklenme değerlerinin düştüğü anlaşılmaktadır. Şekil 4.9'da güçlendirilmesi planlanan bina için 473 numaralı düğüm noktası görülmektedir.



Şekil 4.9. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Binada Kat Ötelenmeleri

Çizelge 4.10'da X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle 473 numaralı noktada meydana gelen kat ötelenme değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.10. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapıda 473 Numaralı Noktada Kat Ötelenmeleri

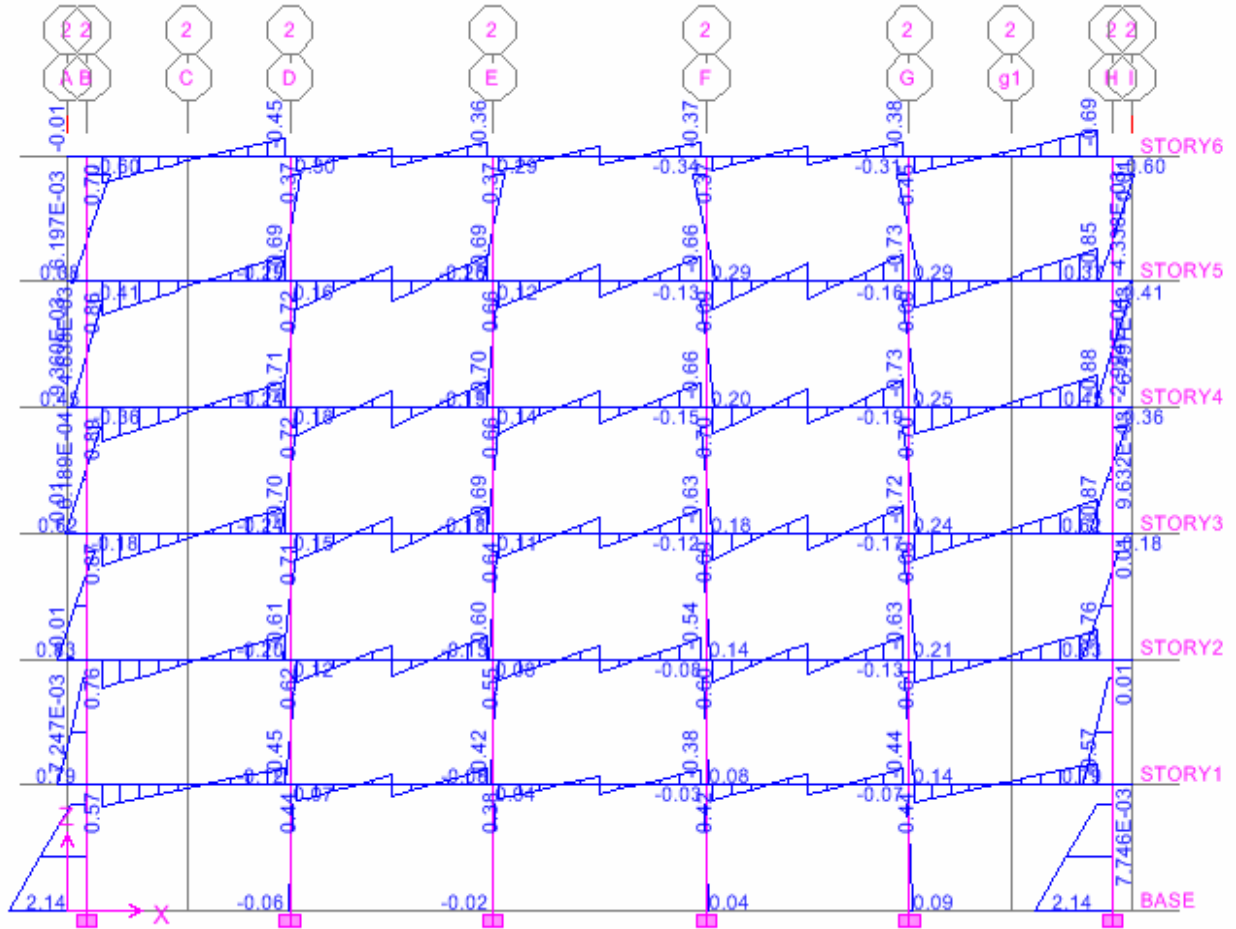
KAT	DISP-X	DISP-Y	ÖTELENME-X	ÖTELENME-Y
KAT6	0.003787	-0.000003	0.000235	0.000001
KAT5	0.003083	-0.000006	0.000250	0.000001
KAT4	0.002333	-0.000008	0.000253	0.000000
KAT3	0.001575	-0.000009	0.000235	0.000000
KAT2	0.000871	-0.000009	0.000188	0.000001
KAT1	0.000306	-0.000006	0.000102	0.000002

Güçlendirme perdelerinin eklenmesiyle kat kütle merkezindeki sürüklenme ve deplasman değerleri azalmaktadır. Çizelge 4.11'de X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle kat kütle merkezlerinde meydana gelen kat ötelenme değerleri görülmektedir. Çizelge 4.11. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapıda Kat Ötelenmeleri

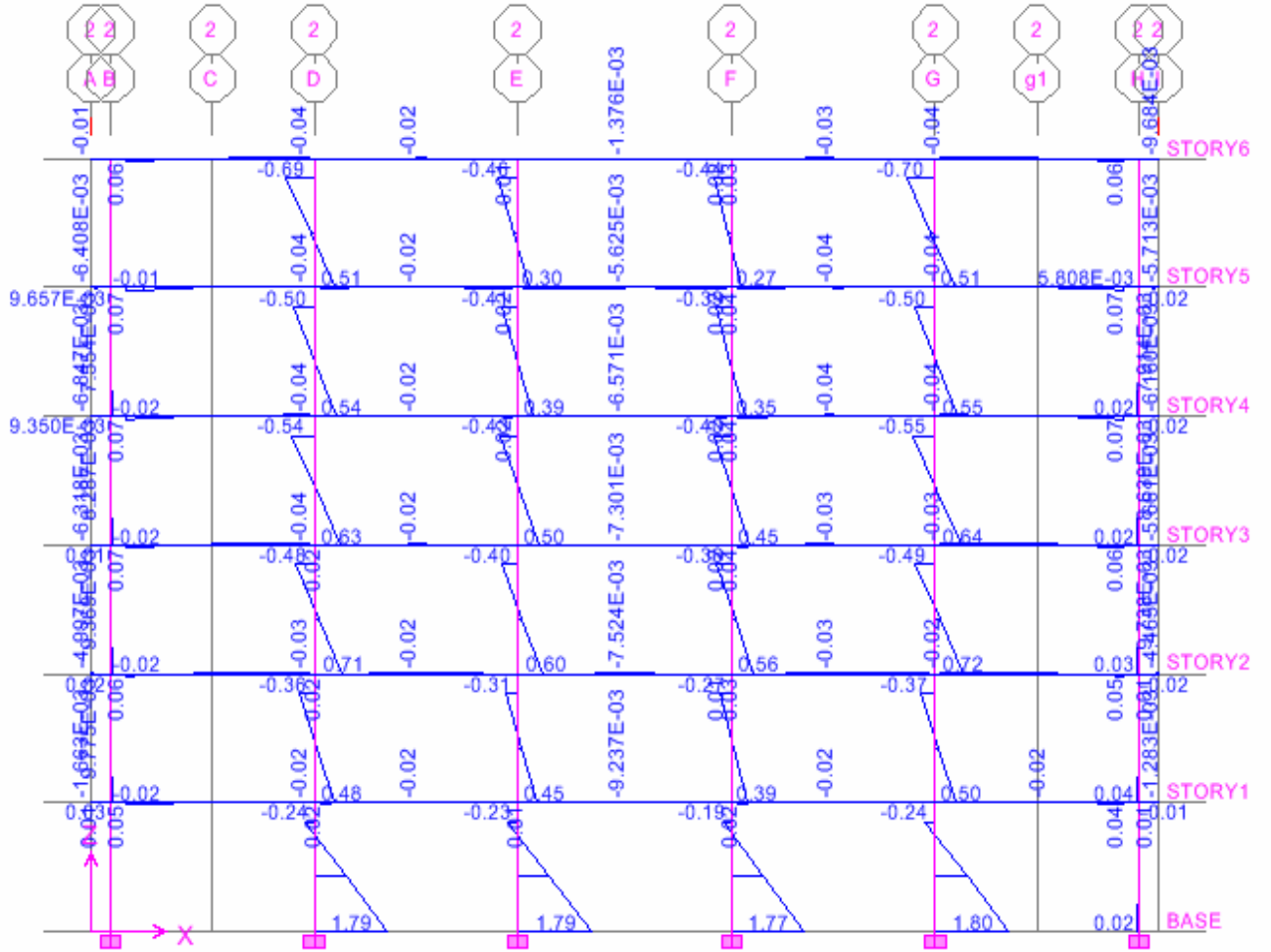
Kat	İncelenen Kriter	Yük	Düğüm Noktası	X	Y	Z	ÖtelenmeX	ÖtelenmeY
KAT6	Max Ötelenme X	EXUBC97	1066	2.750	21.000	18.000	0.000236	
KAT6	Max Ötelenme Y	EXUBC97	1069	0	3.500	18.000		0.000001
KAT6	Max Ötelenme X	EYUBC97	1053	18.250	0	18.000	0.000001	
KAT6	Max Ötelenme Y	EYUBC97	1084	26.250	8.500	18.000		0.000068
KAT5	Max Ötelenme X	EXUBC97	1053	18.250	0	15.000	0.00025	
KAT5	Max Ötelenme Y	EXUBC97	1046	26.250	3.500	15.000		0.000001
KAT5	Max Ötelenme X	EYUBC97	1053	18.250	0	15.000	0.000001	
KAT5	Max Ötelenme Y	EYUBC97	1084	26.250	8.500	15.000		0.000084
KAT4	Max Ötelenme X	EXUBC97	1053	18.250	0	12.000	0.000253	
KAT4	Max Ötelenme Y	EXUBC97	1084	26.250	8.500	12.000		0.000002
KAT4	Max Ötelenme X	EYUBC97	1053	18.250	0	12.000	0.000002	
KAT4	Max Ötelenme Y	EYUBC97	1084	26.250	8.500	12.000		0.000094
KAT3	Max Ötelenme X	EXUBC97	1053	18.250	0	9.000	0.000235	
KAT3	Max Ötelenme Y	EXUBC97	1084	26.250	8.500	9.000		0.000003
KAT3	Max Ötelenme X	EYUBC97	1053	18.250	0	9.000	0.000002	
KAT3	Max Ötelenme Y	EYUBC97	1084	26.250	8.500	9.000		0.000098
KAT2	Max Ötelenme X	EXUBC97	1053	18.250	0	6.000	0.000189	
KAT2	Max Ötelenme Y	EXUBC97	1084	26.250	8.500	6.000		0.000004
KAT2	Max Ötelenme X	EYUBC97	1053	18.250	0	6.000	0.000002	
KAT2	Max Ötelenme Y	EYUBC97	1084	26.250	8.500	6.000		0.000093
KAT1	Max Ötelenme X	EXUBC97	481	25.750	1.000	3.000	0.000102	
KAT1	Max Ötelenme Y	EXUBC97	478	25.750	16.000	3.000		0.000003
KAT1	Max Ötelenme X	EYUBC97	481	25.750	1.000	3.000	0.000001	
KAT1	Max Ötelenme Y	EYUBC97	481	25.750	1.000	3.000		0.000071

4.2.6. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemde Eğilme Momentleri

Güçlendirme perdelerinin eklenmesiyle 2-2 aksında meydana gelen eğilme momentleri azalmıştır. Şekil 4.10 ve şekil 4.11’de güçlendirilmesi planlanan bina için 2-2 aksı eğilme momenti değerleri görülmektedir.



Şekil 4.10. 2-2 Aksında Meydana Gelen (X-Yönündeki) Eğilme Momentleri



Şekil 4.11. 2-2 Aksında Meydana Gelen (Y-Yönündeki) Eğilme Momentleri

4.2.7. Güçlendirme Yapıldıktan Sonra Kolon Tahkikleri

Taşıyıcı sistemde sadece düşey yükleri taşıyacak kadar düşey donatı olduğu kabul edilmişti (ortalama olarak % 1.5 oranında donatıya denk gelmektedir). Bu şekilde yatay yüklerle birlikte yapılan analizde bazı kolonlarda kapasite yetersizliği görüldü.

Güçlendirme yapıldıktan sonra kolonlarda herhangi bir kapasite yetersizliğine rastlanmamıştır. Sadece bazı kolonlarda kesit yetersizlikleri tespit edilmiştir, ancak bunlar kapasite yetersizliği kadar önemli değildir.

4.2.8. Perdelerle Güçlendirilmiş Sistemde Perde Moment ve Kesme Tahkikleri

Kullanılan beton malzemenin kalitesi, kullanılan donatı miktarı ve donatı aralıkları elemanın taşıma kapasitesini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Çizelge 4.12’de eski ve yeni perdeler için donatı tipi, pas payı ve beton kalitesi özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Betonarme Perdelerdeki Donatı Miktarları

Perdelerin Mekanik Özellikleri	Eski Perdeler	Yeni Perdeler
Kenar donatıları	Φ 12	Φ 16
Köşe ve Uç Çubuk Donatıları	Φ 12	Φ 16
Pas payı	2.5 cm	2.5 cm
Beton Malzemesi	BS14	BS25

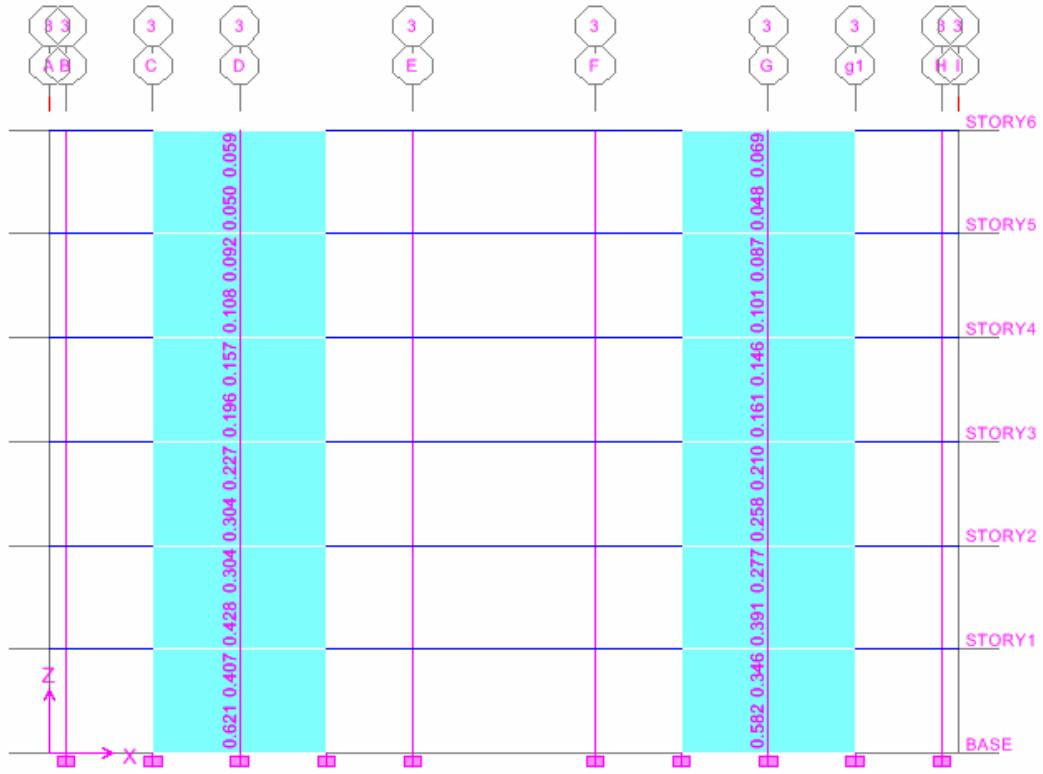
Vu: Betonarme perdeler için gelen kesme kuvvetleri

Vc: Betona düşen kesme dayanımı,

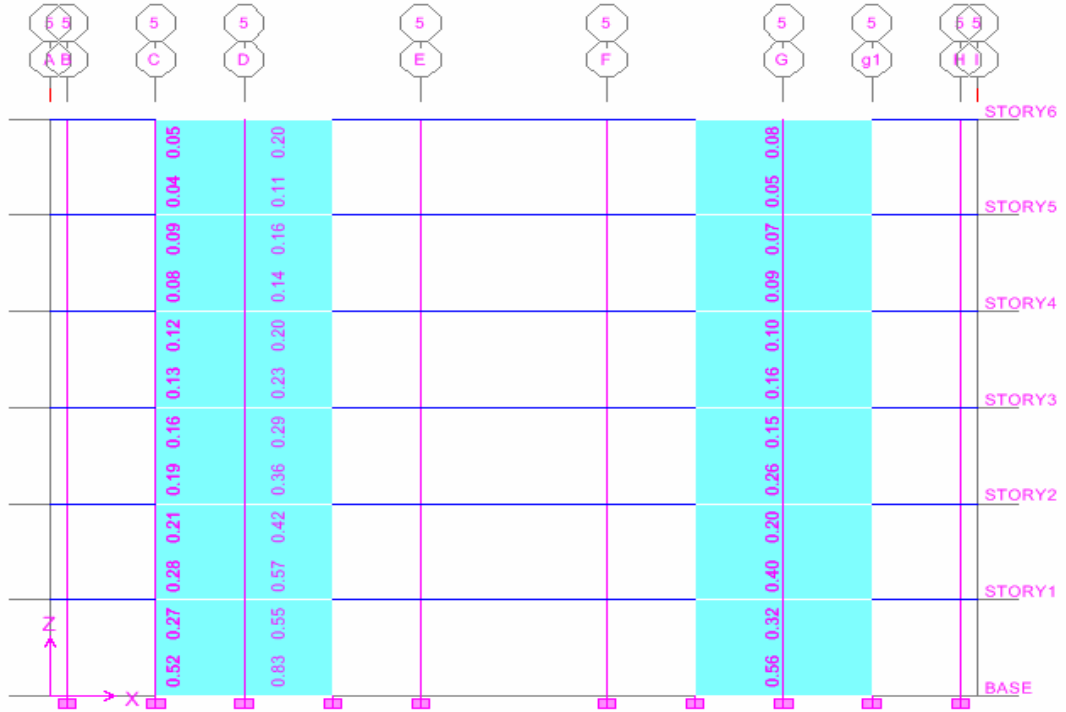
Vn: Beton ve Çeliğin toplam kesme kapasitesi

D/C: Perdeye gelen eğilme momenti etkisinin moment taşıma kapasitesine oranı (Demand / Capacity)

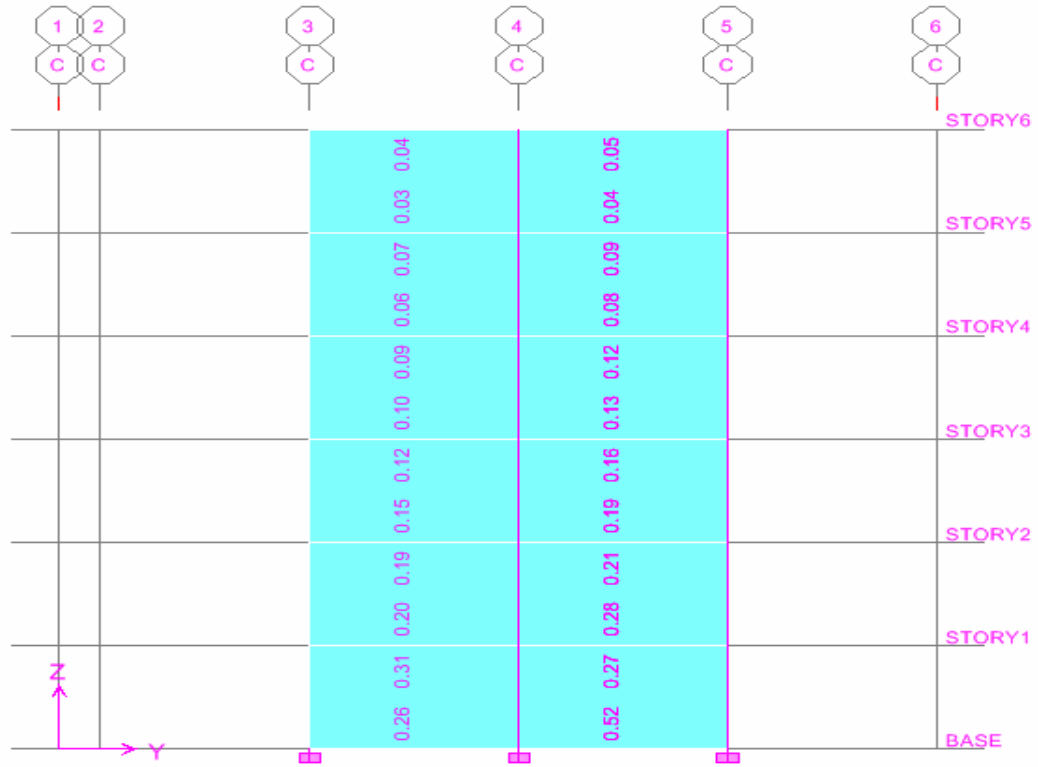
Güçlendirilmemiş modelde kolon kesitleri kesme dayanımına göre yeterli olduğu için tekrar kolon tahkiki yapılmamıştır. Şekil 4.12, şekil 4.13, şekil 4.14 ve şekil 4.15’de perdeler için (D/C) oranları gösterilmiştir.



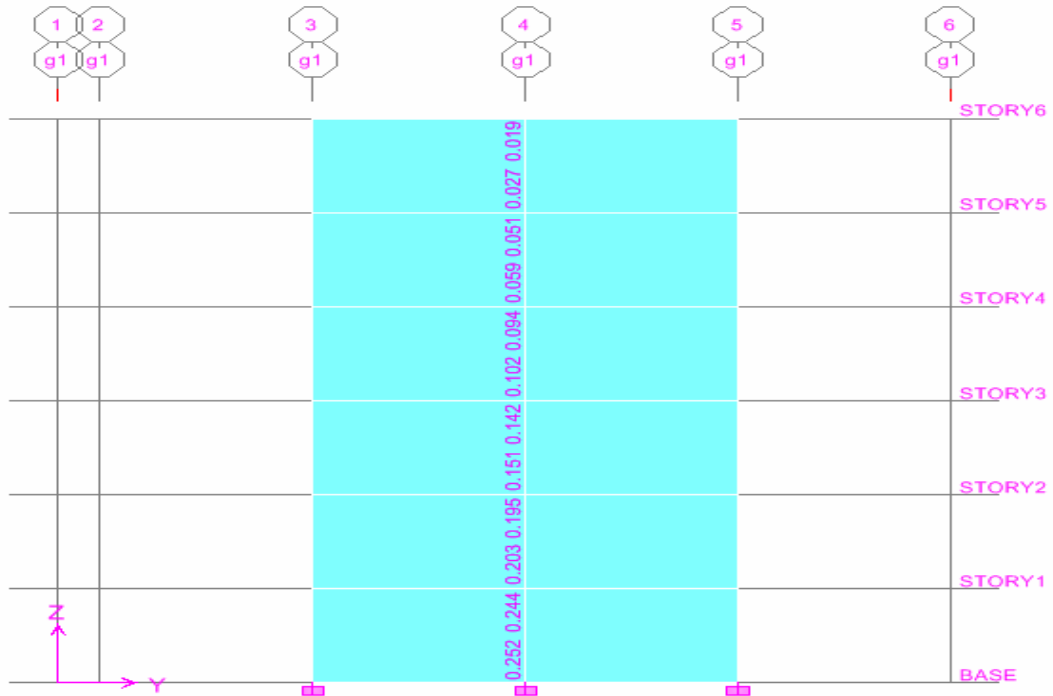
Şekil 4.12. 3-3 Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları



Şekil 4.13. 5-5 Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları



Şekil 4.14. C-C Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları



Şekil 4.15. G1-G1 Aksı Perde Etki / Kapasite Oranları

4.2.9. Güçlendirme Perdeli Metraj

Güçlendirme perdeleri eklendikten sonra binaya toplam 297 ton ek yük gelmiştir. Perdelerle güçlendirilmiş bina için yapı elemanlarının uzunluğu ve ağırlığı çizelge 4.13’de görülmektedir.

Çizelge 4.13. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Metrajı

Kesit	Eleman Tipi	Parça Sayısı	Toplam Uzunluk	Toplam Ağırlık
KOL30X70	Kolon	146	532.500	236.478
KOL30X90	Kolon	36	108.000	69.996
KOL30X85	Kolon	12	36.000	22.036
KIRIS25X45	Kiriş	324	1.219.500	294.001
MEVPER25	Duvar			108.018
DOSEME12	Döşeme			807.975
WALL20	Duvar			112.500
WALL23	Duvar			103.500
WALL18	Duvar			81.000

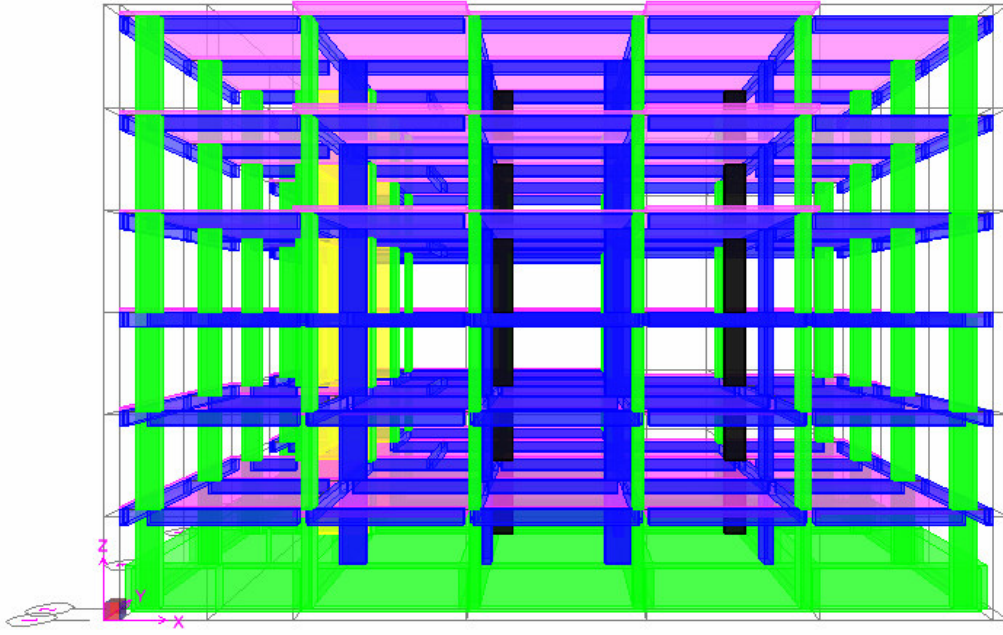
4.3. Sismik İzolatörlerle Yapının Güçlendirilmesi

Yapıların ve deprem kuvvetlerinden meydana gelen yer hareketlerinin özellikleri dikkate alınarak ve yapıların rijitliklerini azaltılıp, periyotları arttırılarak binaya daha küçük deprem kuvvetlerinin etki ettirilmesi taban yalıtımının temel ilkesidir. Yapılara gelen deprem yüklerini azaltmak için yapı temeline yatay yönde rijitliği çok az olan lastik takozlar yerleştirilerek yapının periyodu ve sönümü arttırılmaktadır. Yapı modelinde kullanılan izolatörün özellikleri çizelge 4.14’de görülmektedir.

Çizelge 4.14. İzolatörlerin Karakteristik Özellikleri

İzolatör Tipi	K _x (t/m)	K _y (t/m)	K _z (t/m)	Sönüm	D _{max}	D _{tasarım}
GYZ300	50	50	53000	0.1	16 cm	6.40 cm

Bu bölümde, Etabs’da oluşturulan yapı modelinde izolatörlü sistemin yapı üzerindeki etkileri incelenecektir. Şekil 4.16’da izolatörlü bina modelinin önden görünüşü görülmektedir.



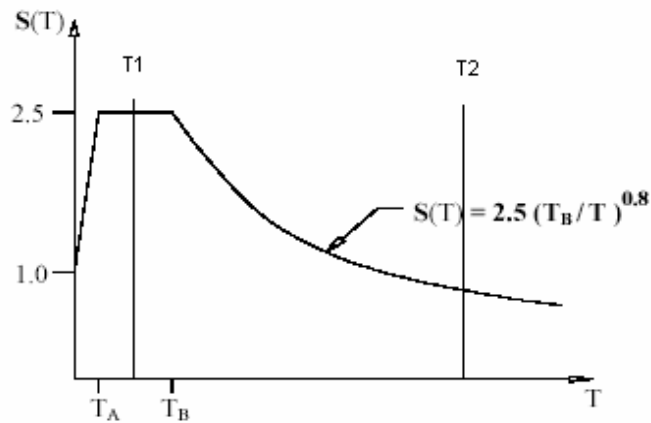
Şekil 4.16. İzolatörlü Bina Modeli

4.3.1. Elastisite Modülü

Mevcut binada kullanılan betonun Elastisite Modülü 2615000 t/m^2 olarak alınmıştır. Bağ kirişi malzemesi olarak BS25 (Elastisite Modülü 3000000 t/m^2) kullanılmıştır.

4.3.2. Taban İzolatörlü Binanın Modal Özellikleri

Taban izolatörleri yapı periyodunu arttıran elemanlardır. Şekil 4.17' de periyodun artması durumunda spektral ivmedeki azalma grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.17. Taban İzolatörüyle Binada Meydana Gelen Periyot Değişimi

Çizelge 4.15. Taban İzolatörlü Yapının Modal Özellikleri

Mod	Periyot	UX	UY	ΣUX	ΣUY	RX	RY	RZ	ΣRX	ΣRY	ΣRZ
1	2,37	26.9	64.8	26.9	64.8	42.2	17.5	8.1	42.2	17.5	8.1
2	2,34	70.5	29.5	97.3	94.3	18.9	45.2	0	61.1	62.7	8.1
3	2,17	2.6	5.6	99.9	99.9	3.3	1.6	91.7	64.4	64.2	99.9
4	0.43	0	0	99.9	100	16.6	1.7	0	81	66	100
5	0.33	0	0	100	100	1.6	33.6	0	82.6	99.5	100
6	0.23	0	0	100	100	17.2	0	0	99.7	99.7	100
7	0.18	0	0	100	100	0	0	0	99.8	99.7	100
8	0.11	0	0	100	100	0	0	0	99.8	99.7	100
9	0.11	0	0	100	100	0	0	0	99.8	99.9	100
10	0.1	0	0	100	100	0	0	0	99.9	99.9	100
11	0.09	0	0	100	100	0	0	0	99.9	99.9	100
12	0.08	0	0	100	100	0	0	0	99.9	99.9	100

- **Mod1 (T=2,37sn):** Bina büyük oranda burulmaya zorlanmaktadır. Binanın periyodu arttığı için güçlendirilmesi planlanan binada oluşan zorlanmalar kadar tehlikeli değildir.
- **Mod2 (T=2,34sn):** Bina büyük oranda X eksen ve az miktarda Y eksen doğrultularında eğilmektedir (Çapraz eğilme). Bir miktar burulma davranışı da söz konusudur. Arzu edilen bir durum değildir. Binanın periyodu arttığı için güçlendirilmesi planlanan binaya göre kesit tesirleri azalmıştır.
- **Mod3 (T=2,17sn):** Burulma etkilerinin olduğu bir moddur. Elastik ivme spektrumunda ivmenin maksimum olduğu bölgeye uzak olduğu için TDY 97 (0.15-0.4 arası) ve UBC97 (0.08-0.40) güçlendirilmesi planlanan binadaki kadar tehlikeli değildir.
- **Mod4 (T=0.43sn):** Binanın burulmaya girdiği ve kararsız titreşimler gösterdiği bir moddur. Periyodu kritik bölgede olduğu için dikkate alınmalıdır.
- **Mod5 (T=0.33sn):** Binanın burulmaya girdiği ve kararsız titreşimler gösterdiği bir moddur. Periyodu kritik bölgede olduğu için dikkate alınmalıdır.
- **Mod6 (T=0.23sn):** Binanın burulmaya girdiği ve kararsız titreşimler gösterdiği bir moddur. Periyodu kritik bölgede olduğu için dikkate alınmalıdır.
- Taban izolatörü kullanımıyla binanın modal özellikleri düzelmemiştir Binanın periyodu arttığı için depremden kaynaklanan ivme düşmüştür. Böylelikle binaya gelen deprem kuvvetleri azalmıştır.

4.3.3. İzolatörlü Sistem Taban Kesme Kuvvetleri

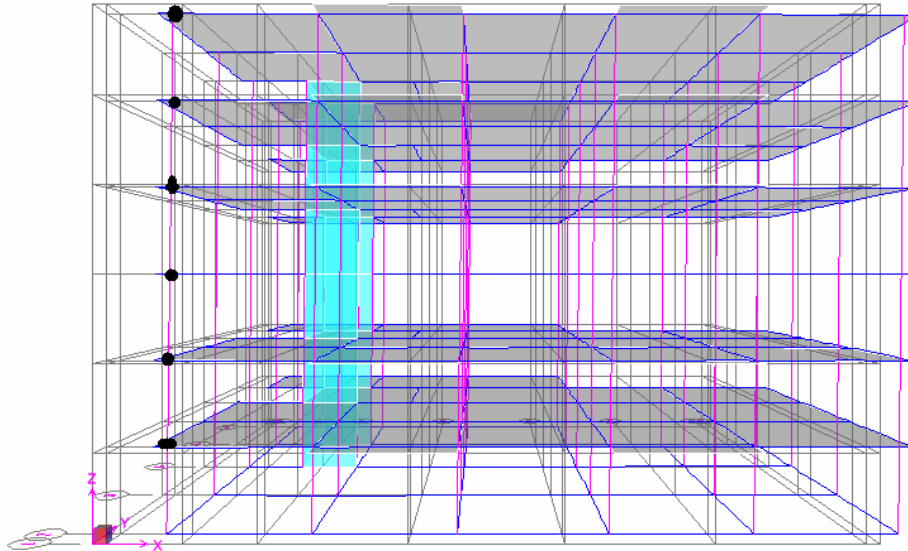
İzolatörlü sistem eşdeğer deprem yükü kuvvetleri UBC97'ye göre hesaplanmıştır. Yapı periyodunun artmasıyla spektral ivme azalmaktadır. Spektral ivmenin azalmasıyla yapıya daha az deprem kuvvetleri etki etmektedir. Çizelge 4.16'da yapıya etki eden kat kesme kuvvetleri görülmektedir.

Çizelge 4.16. Taban İzolatörlü Yapının Taban Kesme Kuvvetleri

Kat	Yük	Konum	P	VX	VY	T	MX	MY
KAT6	EXUBC97ISO	Alt	0.00	-7.64	0.00	77271.00	0.00	-23041.00
KAT6	EYUBC97ISO	Alt	0.00	0.00	-7.64	-93479.00	23025.00	0.00
KAT5	EXUBC97ISO	Alt	0.00	-14.97	0.00	152431.00	0.02	-68221.00
KAT5	EYUBC97ISO	Alt	0.00	0.00	-14.97	-180652.00	68194.00	-0.01
KAT4	EXUBC97ISO	Alt	0.00	-20.83	0.00	212558.00	0.06	-131158.00
KAT4	EYUBC97ISO	Alt	0.00	0.00	-20.83	-250393.00	131169.00	-0.06
KAT3	EXUBC97ISO	Alt	0.00	-25.22	0.00	257650.00	0.14	-207447.00
KAT3	EYUBC97ISO	Alt	0.00	0.00	-25.22	-302702.00	207570.00	-0.14
KAT2	EXUBC97ISO	Alt	0.00	-28.15	0.00	287710.00	0.24	-292641.00
KAT2	EYUBC97ISO	Alt	0.00	0.00	-28.15	-337577.00	292931.00	-0.24
KAT1	EXUBC97ISO	Alt	0.00	-29.62	0.00	302737.00	0.29	-382176.00
KAT1	EYUBC97ISO	Alt	0.00	0.00	-29.62	-355016.00	382525.00	-0.28

4.3.4. İzolatörlü Sistemde Kat Ötelenmeleri

İzolatör sistemlerinin kullanılmasıyla katlar arası sürüklenmeler büyük ölçüde azalmıştır. Şekil 4.18’de katlar arası sürüklenmelerin incelendiği düğüm noktaları görülmektedir.



Şekil 4.18. İzolatörlü Sistemde Kat Ötelenmeleri

Çizelge 4.17’de X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle 473 numaralı noktada meydana gelen kat ötelenme değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.17. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapıda 473 Numaralı Noktanın Sürüklenmeleri

KAT	DISP-X	DISP-Y	ÖTELENME-X	ÖTELENME-Y
KAT6	0.0228	-0.000699	0.000125	0.000005
KAT5	0.0225	-0.000685	0.000146	0.000008
KAT4	0.0220	-0.000662	0.000163	0.000010
KAT3	0.0215	-0.000633	0.000170	0.000011
KAT2	0.0210	-0.000600	0.000165	0.000013
KAT1	0.0205	-0.000562	0.000145	0.000007

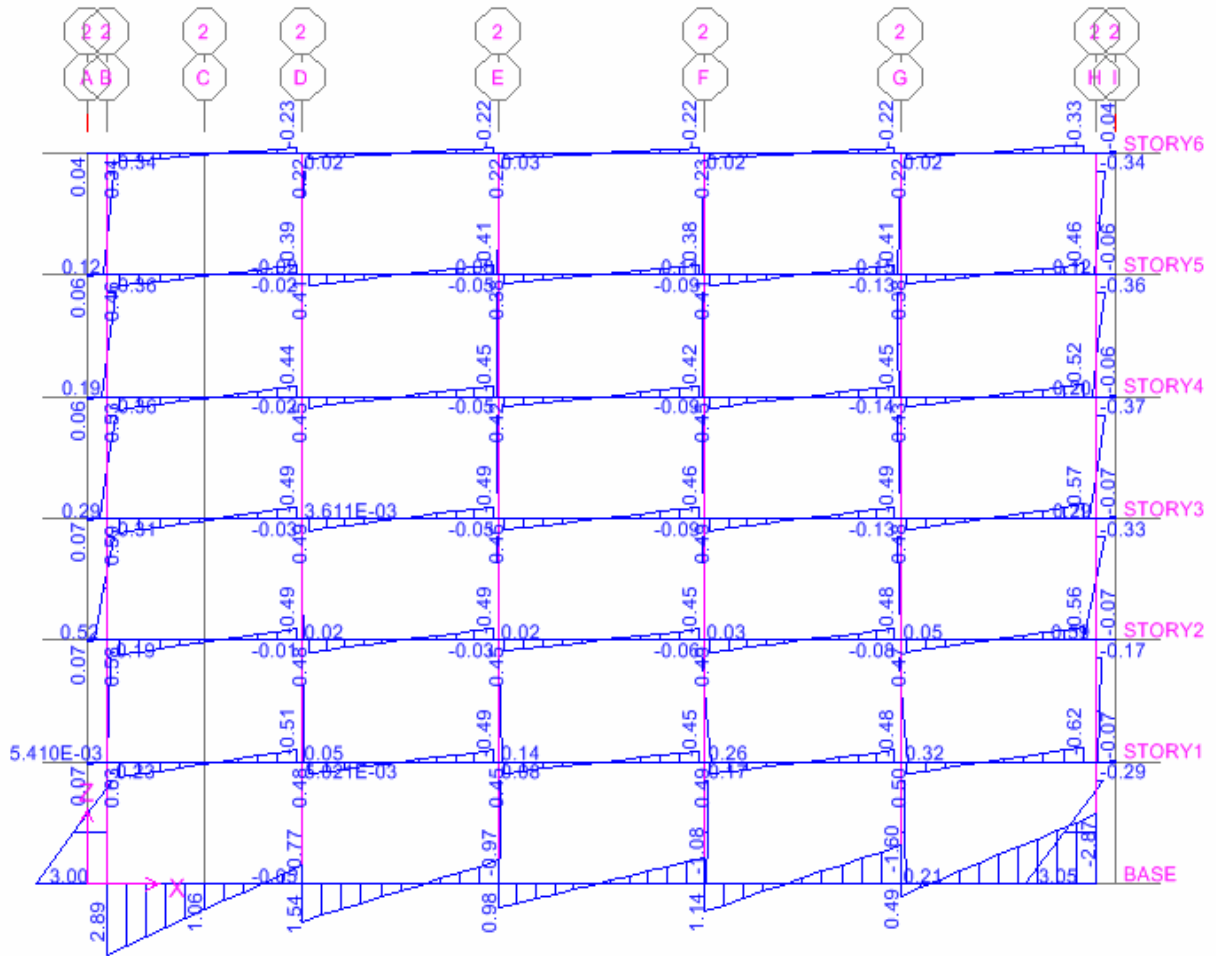
Çizelge 4.18’de X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle kat kütle merkezlerinde meydana gelen kat ötelenme değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.18. Perdelerle Güçlendirilmiş Yapının Kat Ötelenmeleri

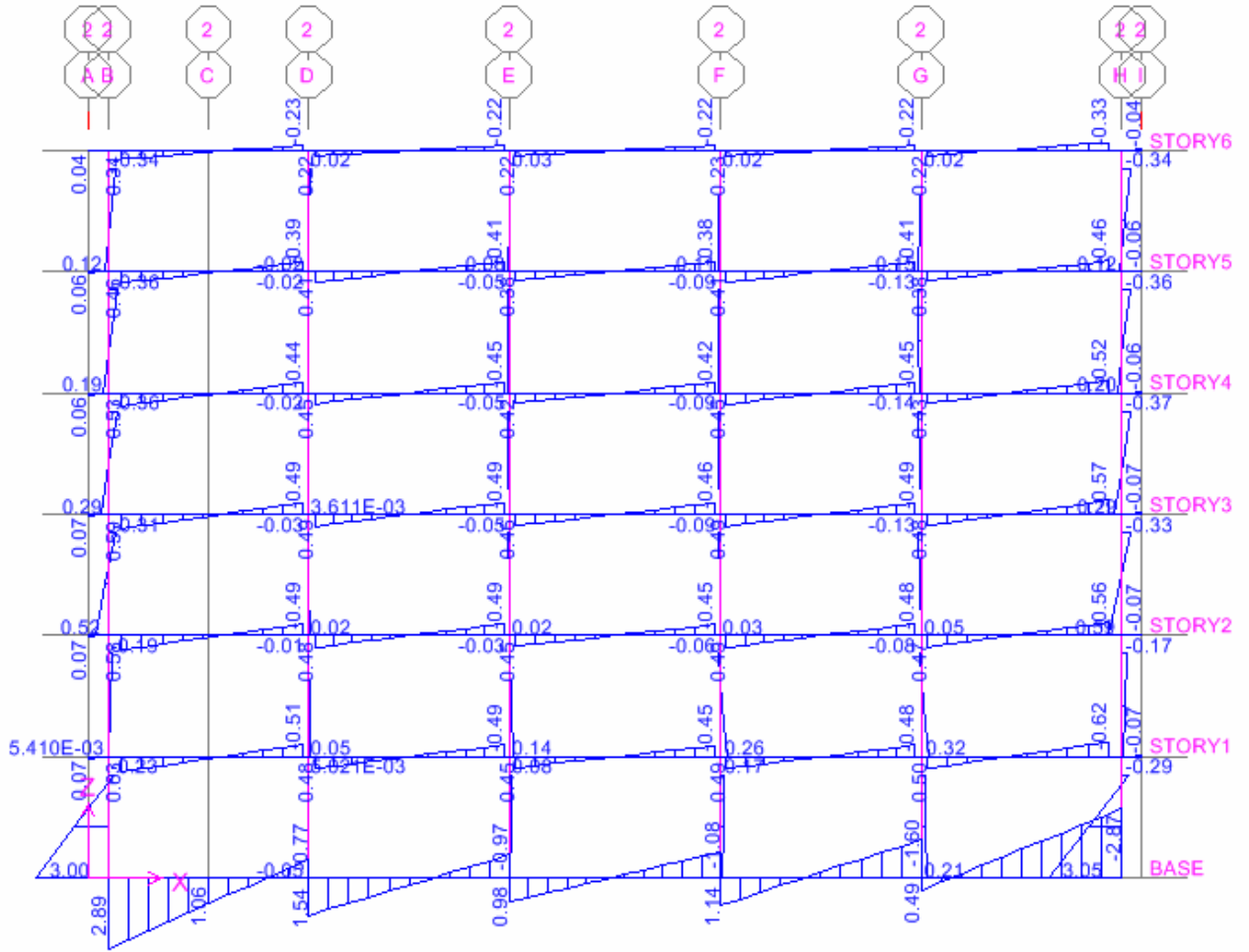
Kat	İncelenen Kriter	Yük	Düğüm Noktası	X	Y	Z	Ötelen.X	Ötelen.Y
KAT6	Max Ötelenme X	EXUBC97ISO	106	20.750	0	18.000	0.000125	
KAT6	Max Ötelenme Y	EXUBC97ISO	70	0	6.000	18.000		0
KAT6	Max Ötelenme X	EYUBC97ISO	95	0	21.000	18.000	0.000036	
KAT6	Max Ötelenme Y	EYUBC97ISO	97	26.250	11.000	18.000		0
KAT5	Max Ötelenme X	EXUBC97ISO	106	20.750	0	15.000	0.000147	
KAT5	Max Ötelenme Y	EXUBC97ISO	97	26.250	11.000	15.000		0
KAT5	Max Ötelenme X	EYUBC97ISO	106	20.750	0	15.000	0.000067	
KAT5	Max Ötelenme Y	EYUBC97ISO	97	26.250	11.000	15.000		0.000212
KAT4	Max Ötelenme X	EXUBC97ISO	106	20.750	0	12.000	0.000165	
KAT4	Max Ötelenme Y	EXUBC97ISO	97	26.250	11.000	12.000		0.000042
KAT4	Max Ötelenme X	EYUBC97ISO	106	20.750	0	12.000	0.000101	
KAT4	Max Ötelenme Y	EYUBC97ISO	97	26.250	11.000	12.000		0.000278
KAT3	Max Ötelenme X	EXUBC97ISO	106	20.750	0	9.000	0.000173	
KAT3	Max Ötelenme Y	EXUBC97ISO	75	26.250	1.000	9.000		0.000055
KAT3	Max Ötelenme X	EYUBC97ISO	106	20.750	0	9.000	0.000125	
KAT3	Max Ötelenme Y	EYUBC97ISO	97.0	26250.0	11000.0	9000.0		0.0
KAT2	Max Ötelenme X	EXUBC97ISO	106.0	20750.0	0.0	6000.0	0.0	
KAT2	Max Ötelenme Y	EXUBC97ISO	97.0	26250.0	11000.0	6000.0		0.0
KAT2	Max Ötelenme X	EYUBC97ISO	106.0	20750.0	0.0	6000.0	0.0	
KAT2	Max Ötelenme Y	EYUBC97ISO	97.0	26250.0	11000.0	6000.0		0.0
KAT1	Max Ötelenme X	EXUBC97ISO	481.0	25750.0	1000.0	3000.0	0.0	
KAT1	Max Ötelenme Y	EXUBC97ISO	481.0	25750.0	1000.0	3000.0		0.0
KAT1	Max Ötelenme X	EYUBC97ISO	481.0	25750.0	1000.0	3000.0	0.0	
KAT1	Max Ötelenme Y	EYUBC97ISO	478.0	25750.0	16000.0	3000.0		0.0

4.3.5. İzolatörlü Sistemde Meydana Gelen Eğilme Momentleri

Taban izolatörü kullanımıyla binaya etkiyen eşdeğer deprem yükü kuvvetleri ve binanın maruz kaldığı eğilme momentleri azalmıştır. Şekil 4.19 ve şekil 4.20’de X ve Y yönlerinde 2-2 aksındaki eğilme momenti değerleri görülmektedir.



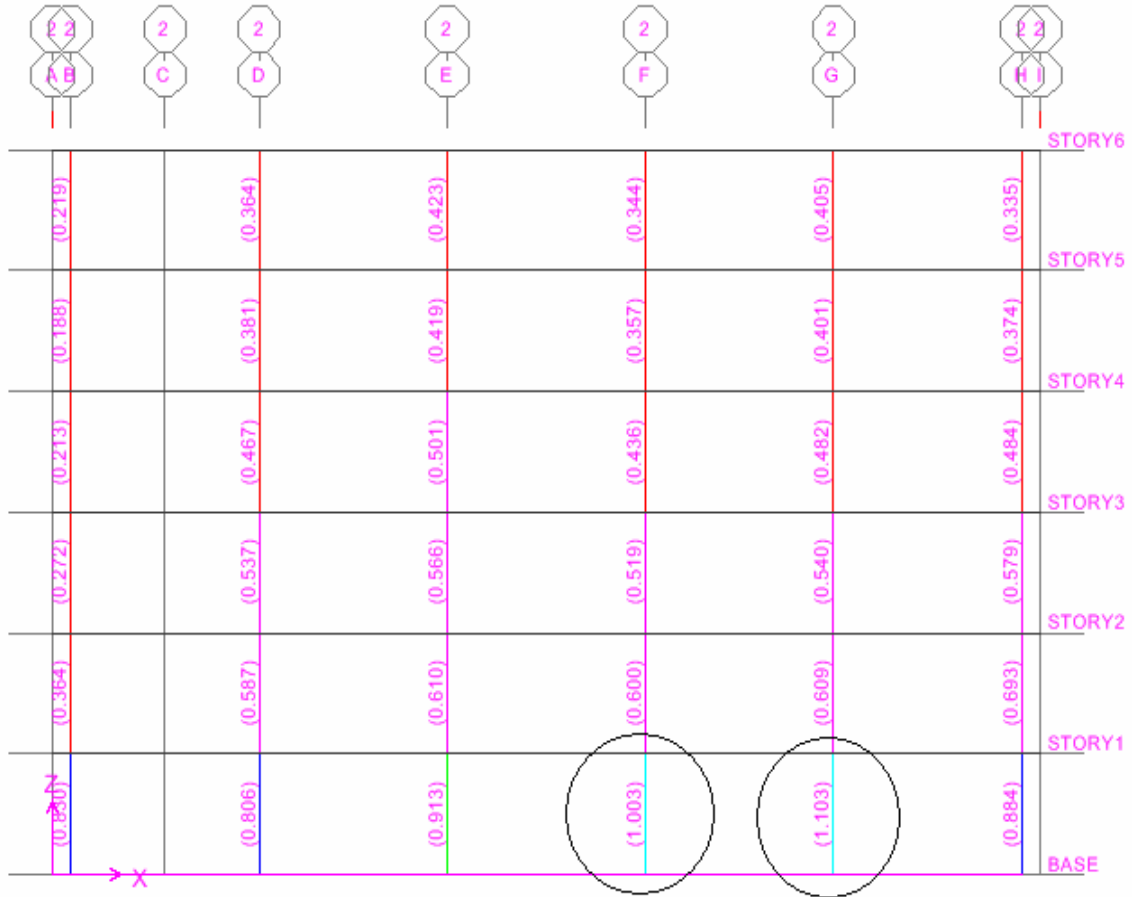
Şekil 4.19. 2-2 Aksında Meydana Gelen (X-Yönündeki) Eğilme Momentleri



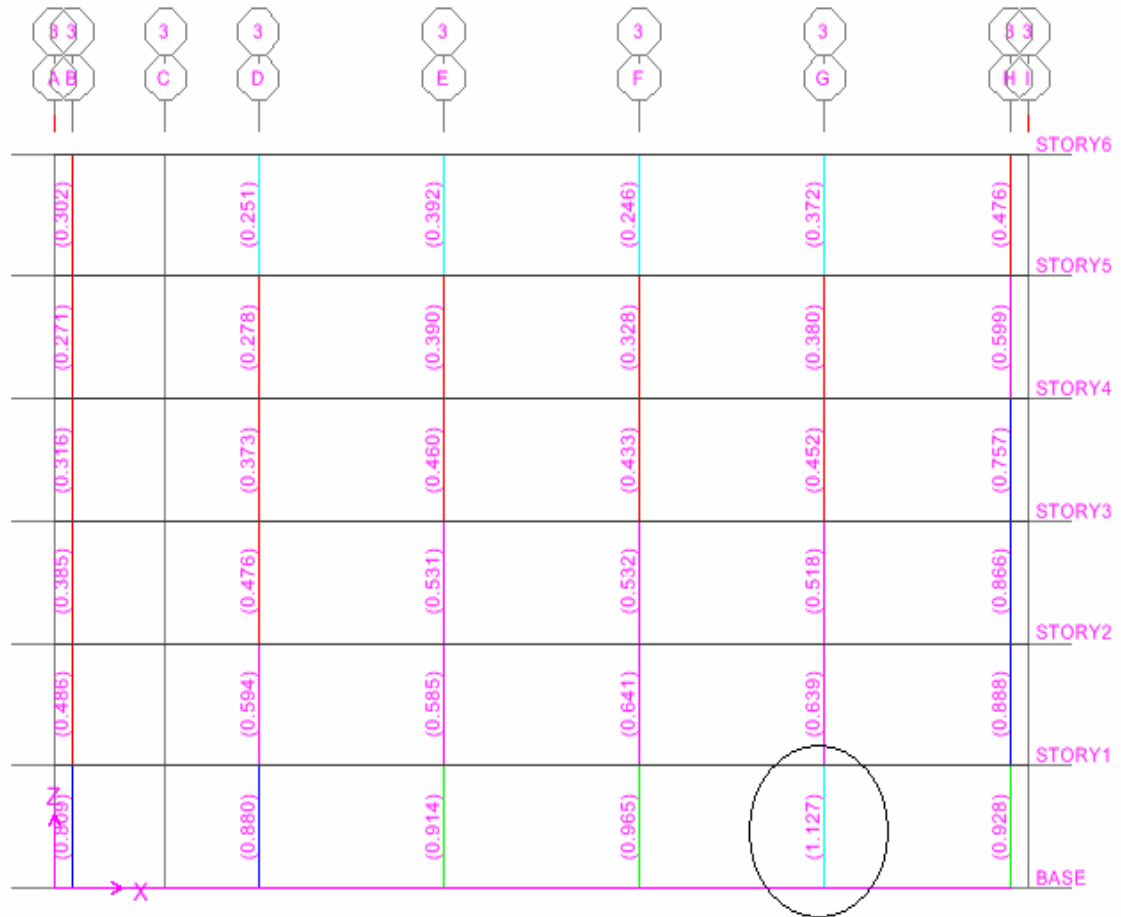
Şekil 4.20. 2-2 Aksında Meydana Gelen (Y-Yönündeki) Eğilme Momentleri

4.3.6. İzolatörlü Sistem Kolon Taşıma Tahkikleri

Taban izolatörü kullanımıyla yetersiz kesitler azalmıştır. Etabs ile UBC97 yük kombinezonları kullanılarak yapılan kapasite tahkiklerine göre yetersiz çıkan kolonlar şekil 4.21 ve şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. 2-2 Aksı Kolon Taşıma Gücü Tahkikleri



Şekil 4.22. 3-3 Aksı Kolon Taşıma Gücü Tahkikleri

5. ALTERNATİF TÜBÜLER GÜÇLENDİRME SİSTEMİ

5.1. Giriş

Türkiye, çoğunluğu deprem kuşağında olan bir ülkedir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra, hasar gören binaların onarımı ve hasar görmemiş ancak ileride oluşabilecek güçlü bir depremde hasar görmesi muhtemel olan binaların güçlendirilmesi gündeme gelmiştir. Binaların, servis ömrü içerisinde en az bir defa büyük deprem kuvvetlerine maruz kaldığı bilinmektedir. Bundan dolayı binaların güçlendirilmesi ayrı bir önem kazanmaktadır. Binaların onarımı ve güçlendirilmesi binada yaşayan insanlar için bir çok zorlukları beraberinde getirmektedir. Taşıyıcı sistem güçlendirilirken uygulanan yöntemler (perde ekleme, beton dökme vs..) takviye edilen binada yaşamayı imkansız kılmaktadır. Dolayısıyla güçlendirme yaptırmayı düşünenler bu fikirlerinden vazgeçmek zorunda kalmaktadırlar. Bu çalışmada, sözü edilen zorlukları en aza indirmek amacıyla, alternatif bir güçlendirme tekniği sunulmaktadır.

5.2. Tübüler Sistemler ile Binaların Güçlendirilmesi

Tübüler sistemler, binanın dış yüzeyine küçük aralıklarla yerleştirilen kolonlar ve bu kolonları kat seviyelerinde birbirine bağlayan derin kirişlerden oluşurlar. İlk kez 1963 yılında Chicago’da 43 katlı Dewitt Chestnut Apartment Building’de kullanılmıştır (Hasgür ve Gündüz, 1996).

Tübüler sistemlerde çerçeveyi oluşturan dış kolonlar, aralıkları eksenden eksene (1,5m-3m) arasında olacak şekilde yerleştirilirler. Kolonlar da kat seviyelerinde genellikle derinlikleri 60-120 cm arasında değişen kirişlerle birbirlerine bağlanmışlardır. Kat sayısı 20-50 arasında değişen bir çok binada bu sistem kullanılmış, mimari yönden ve ekonomik olarak büyük avantajlar elde edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu 40 kat üstünde yapılan yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının hızla arttığı görülmüştür. Bundan dolayı 40 kat üstü yapılarda tübüler sisteme ek olarak bina içinde çekirdek sistemler ve perde sistemler de kullanılmaktadır. (Hasgür ve Gündüz, 1996)

Deprem yüklerine maruz kalacak bir yapıda dört farklı taşıyıcı sistem tasarlanabilir. Bunlar

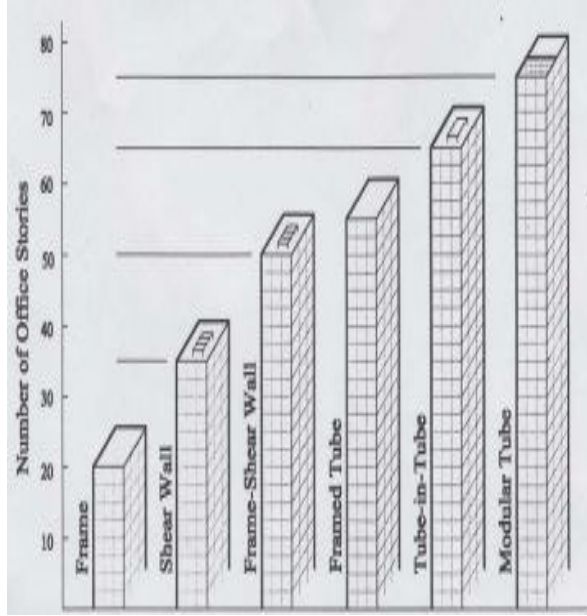
- Çerçeve Sistemler
- Perdeler
- Tüpler
- Karma Sistemler

Her bir sistemin deprem kuvvetleri altındaki şekil değiştirmesi farklılık göstermektedir. Çerçeveler kayma tipi, perdeler ise eğilme tipi deformasyon davranışı sergilemektedir. Tübüler sistemler;

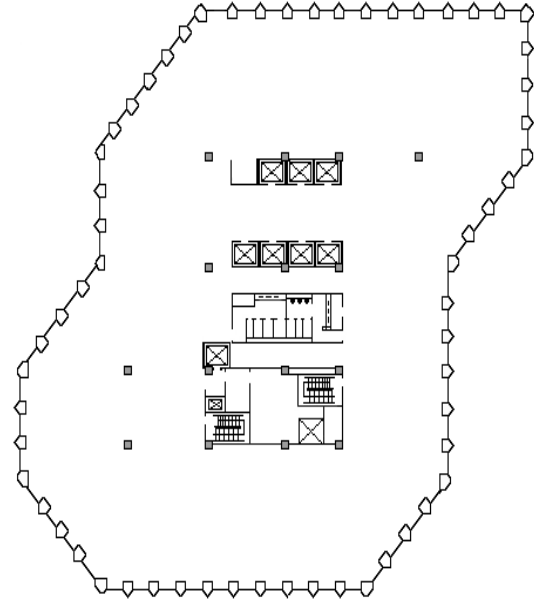
- Yatay yük doğrultusuna paralel duvarların çerçeve tipi davranışı (Kayma Davranışı)

- Tüm Yapının konsol tüp tipi davranışı (Eğilme Davranışı)

olarak her iki davranış şeklini deprem kuvvetleri altında sergilemektedir. Şekil 5.1’de yapı taşıyıcı sistemleri ile bina yükseklikleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.2’de tübüler sistemin kullanıldığı bir binanın plan görünüşü sunulmuştur.



Şekil 5.1. Taşıyıcı Sistemlere Göre Ortalama Kat Sayıları



Şekil 5.2. Tübüler Sistemin Plan Görünüşü

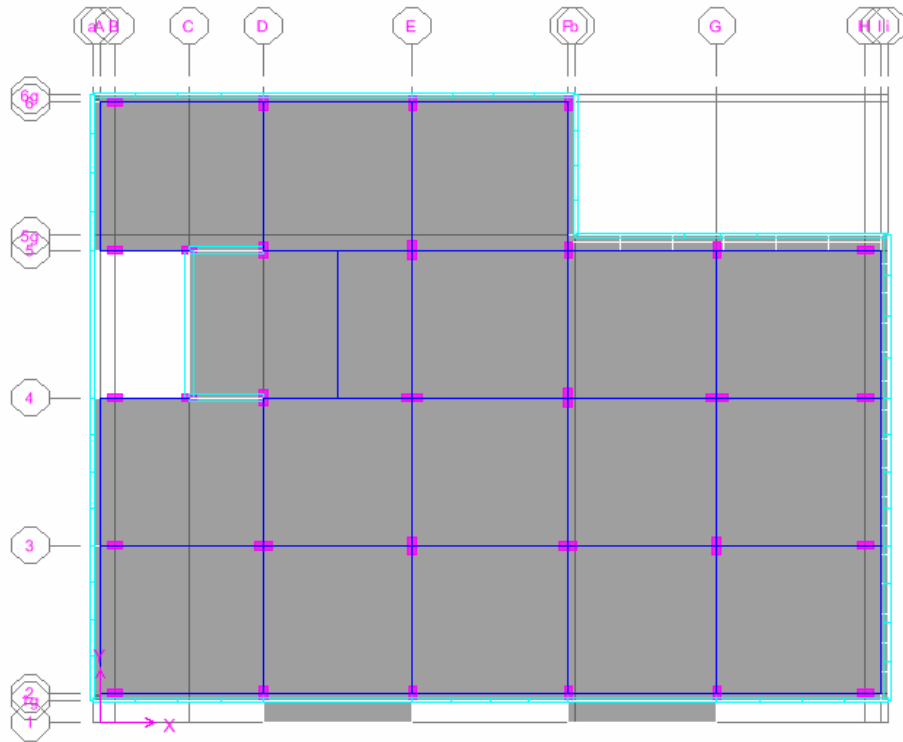
Bu bölümde, depremde zarar görmüş veya görmesi muhtemel herhangi bir binanın takviyesinde tübüler sistem kullanılmasının mevcut taşıyıcı sisteme katkısı incelenecektir.

Bir binanın güçlendirme projesi hazırlanırken ilk önce binanın başka kuvvetlere maruz kalmadan sadece düşey yüklere karşı emniyetli olup olmadığına bakılır. Eğer bina sadece düşey yüklere karşı dahi emniyetli değil ise kolonların mantolanması yoluna gidilir. Ancak bina düşey yüklere emniyetli fakat deprem kuvvetleriyle emniyetsiz duruma düşüyor ise o zaman deprem kuvvetlerinden kaynaklanan eğilme momentlerinin kolonlar yerine başka bir taşıyıcı sisteme taşınması düşünülebilir. Geleneksel güçlendirme yöntemlerinde bu görev perdelerle yüklenmektedir. Ancak perdeler binaların kullanım alanını büyük ölçüde azaltmaktadır.

Şekil 5.3’de Etabs programında oluşturulan tübüler sistemli yapı modeli görülmektedir.

5.2.1. Elastisite Modülü

Mevcut binada kullanılan betonun elastisite modülü 2615000 t/m^2 olarak kabul edilmiştir. Güçlendirmede kullanılan beton BS25’dir ve elastisite modülü 3000000 t/m^2 olarak alınmıştır .



Şekil 5.3. Tübüler Güçlendirilmiş Binanın Plan Görünüşü

5.2.2. Kat Kütle ve Rijitlik Merkezleri

Tübüler güçlendirme sistemiyle kütle ve rijitlik merkezleri birbirine yaklaştırılmıştır. Çizelge 5.1’de kat kütle ve rijitlik merkezleri görülmektedir.

Çizelge 5.1. Tübüler Güçlendirilmiş Binanın Kütle-Rijitlik Merkezleri

Kat	XCCM	YCCM	XCR	YCR
KAT1	12.322	10.470	12.546	11.241
KAT2	12.322	10.470	12.372	11.049
KAT3	12.322	10.470	12.465	10.882
KAT4	12.322	10.470	12.639	10.764
KAT5	12.322	10.470	12.846	10.668
KAT6	12.428	10.221	13.049	10.538

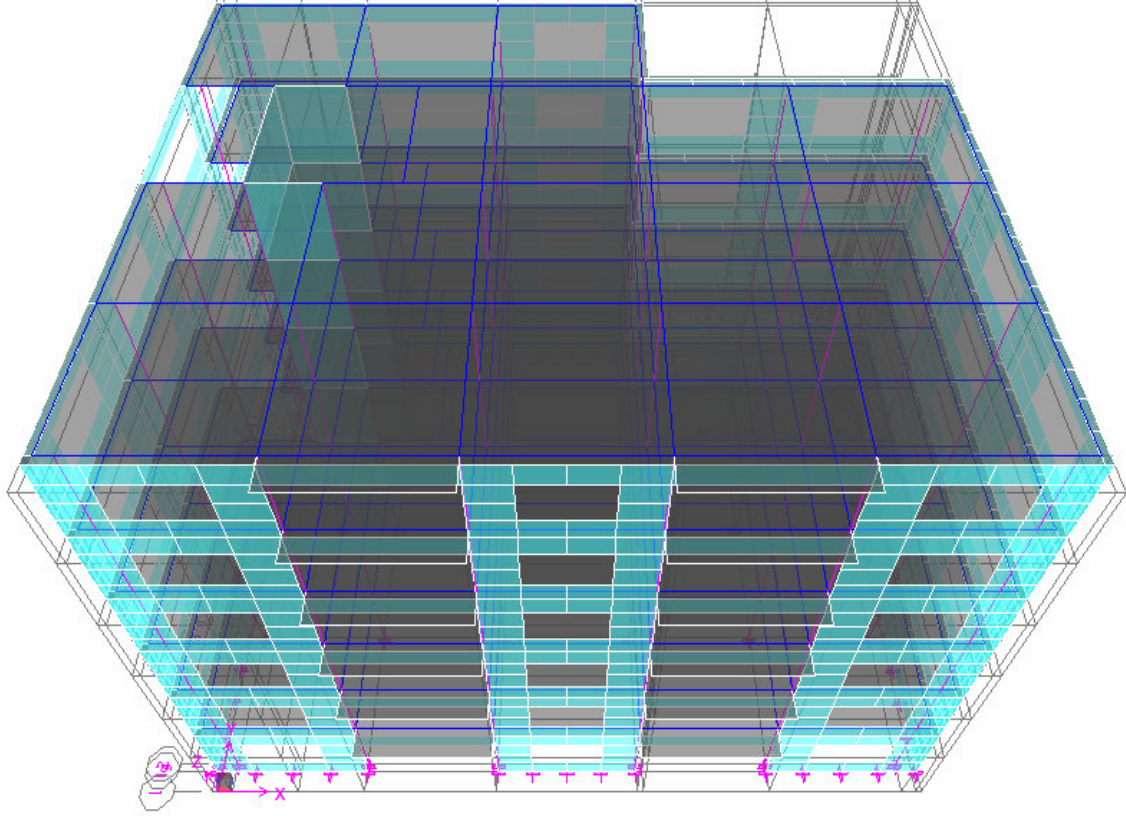
5.2.3. Bina Modal Özellikleri

Tübüler güçlendirme sistemiyle bina modal özellikleri olumlu yönde değişmiştir. Yapının birinci modu burulma modundan eğilme moduna dönüşmüştür. Çizelge 5.2’de Tübüler sistemle güçlendirilmiş binanın modal özellikleri görülmektedir.

Çizelge 5.2. Tübüler Sistemle Güçlendirilmiş Binanın Modal Özellikleri

Mod	Periyot	UX	UY	ΣUX	ΣUY	RX	RY	RZ	ΣRX	ΣRY	ΣRZ
1	0.17	80	0	80	0	0	99.2	0	0	99.21	0
2	0.16	0	79.2	80.42	79.6	99.28	0	0	99.79	99.71	0
3	0.1	0	0	80.45	79.67	0	0	82.57	99.86	99.76	82.67
4	0.06	12.46	0	92.91	79.69	0	0	0	99.86	99.81	82.67
5	0.05	0	13.9	92.92	93.62	0	0	0	99.86	99.81	82.69
6	0.03	0	0	92.92	93.62	0	0	11.47	99.86	99.81	94.17
7	0.03	4.26	0	97.18	93.62	0	0	0	99.86	99.99	94.18
8	0.03	0	3.91	97.18	97.53	0	0	0	99.99	99.99	94.18
9	0.02	1.81	0	98.99	97.53	0	0	0	99.99	99.99	94.21

Şekil 5.4’de tübüler sistemle güçlendirilmiş binanın önden görünüşü görülmektedir.



Şekil 5.4. Tübüler Sistemle Güçlendirilmiş Binanın Plan Görünüşü

5.2.4. Taban Kesme Kuvvetleri

Taban ve kat kesme kuvvetleri hesaplanırken UBC97 şartnamesi kullanılmıştır. Güçlendirme perdelerinden sonra bina ağırlığına bağlı olarak eşdeğer deprem yükü

kuvvetleri artmıştır. Güçlendirilmesi planlanan binaya X ve Y yönlerinde etkiyen taban kesme kuvvetleri çizelge 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Tübüler Güçlendirmeli Binanın Taban Kesme Kuvvetleri

Kat	Yük	Konum	P	VX	VY	T	MX	MY
KAT6	EXUBC	Alt	0	-85	0	866.559	0	-254.53
KAT6	EYUBC	Alt	0	0	-85	-1064.998	254.53	0
KAT5	EXUBC	Alt	0	-175	0	1793.165	0	-777.761
KAT5	EYUBC	Alt	0	0	-175	-2178.324	777.761	0
KAT4	EXUBC	Alt	0	-246.21	0	2534.45	0	-1515.974
KAT4	EYUBC	Alt	0.00	0.00	-246.21	-3068.984	1515.974	0
KAT3	EXUBC	Alt	0.00	-299.93	0.00	3090.413	0	-2415.45
KAT3	EYUBC	Alt	0.00	0.00	-299.93	-3736.979	2415.45	0
KAT2	EXUBC	Alt	0.00	-335.75	0.00	3461.055	0	-3422.471
KAT2	EYUBC	Alt	0.00	0.00	-335.75	-4182.31	3422.471	0
KAT1	EXUBC	Alt	0	-353.65	0	3646.377	0	-4483.318
KAT1	EYUBC	Alt	0	0	-353.65	-4404.975	4483.318	0

5.2.5. Kat Ötelenmeleri

Tübüler güçlendirme perdelerinin yapıya eklenmesiyle katlar arası sürüklenmeler büyük ölçüde azalmıştır. Çizelge 5.4’de X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle 473 numaralı noktada meydana gelen kat ötelenme değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.4. Tübüler Güçlendirmeli Binanın 473 Numaralı Noktada Kat Ötelenmeleri

KAT	DISP-X	DISP-Y	ÖTELENME-X	ÖTELENME-Y
KAT6	0.0223	0.000011	0.000084	0.000004
KAT5	0.0220	0.000001	0.000115	0.000002
KAT4	0.0017	-0.000006	0.000143	0.000002
KAT3	0.0012	-0.000011	0.000160	0.000001
KAT2	0.0008	-0.000013	0.000158	0.000001
KAT1	0.0003	-0.000010	0.000000	0.000000

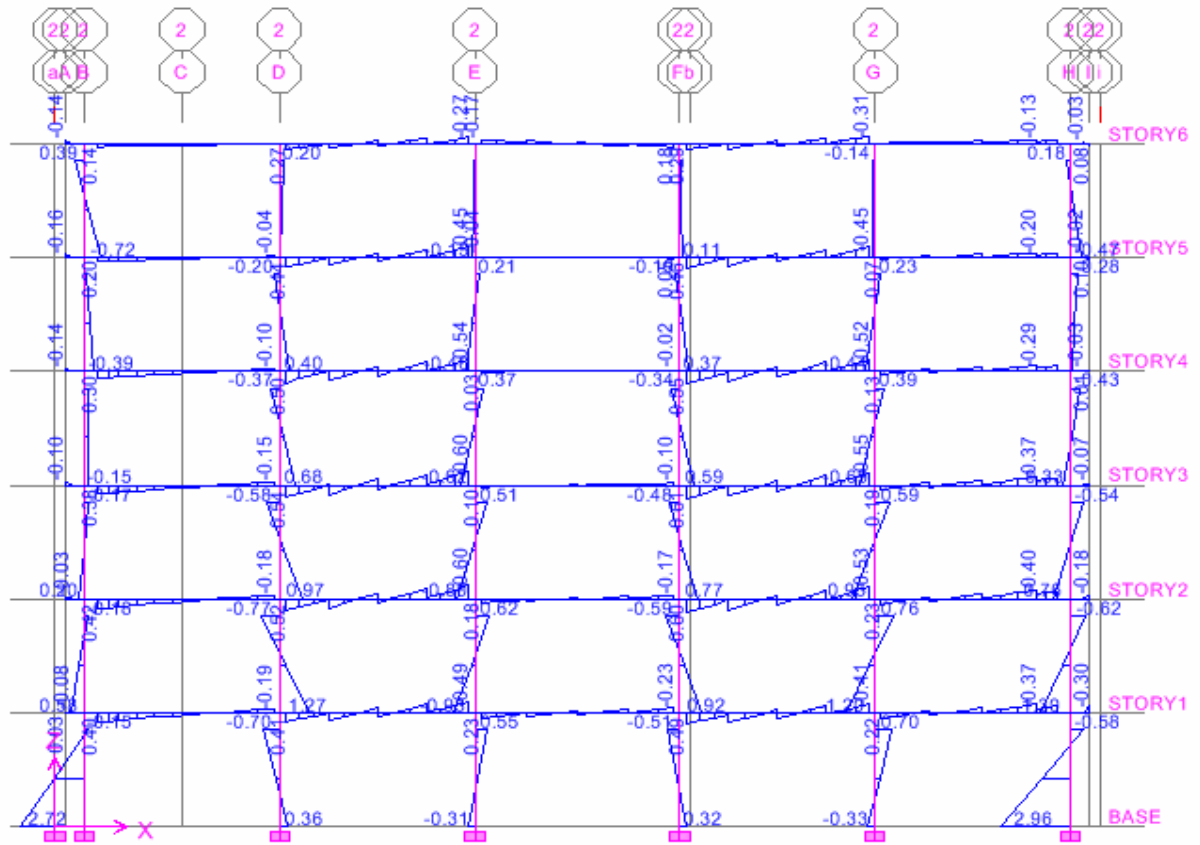
Çizelge 5.5’de X-yönündeki deprem kuvveti sebebiyle kat kütle merkezlerinde meydana gelen kat sürüklenme değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.5. Tübüler Sistemle Güçlendirilmiş Binada Kat Ötelenme

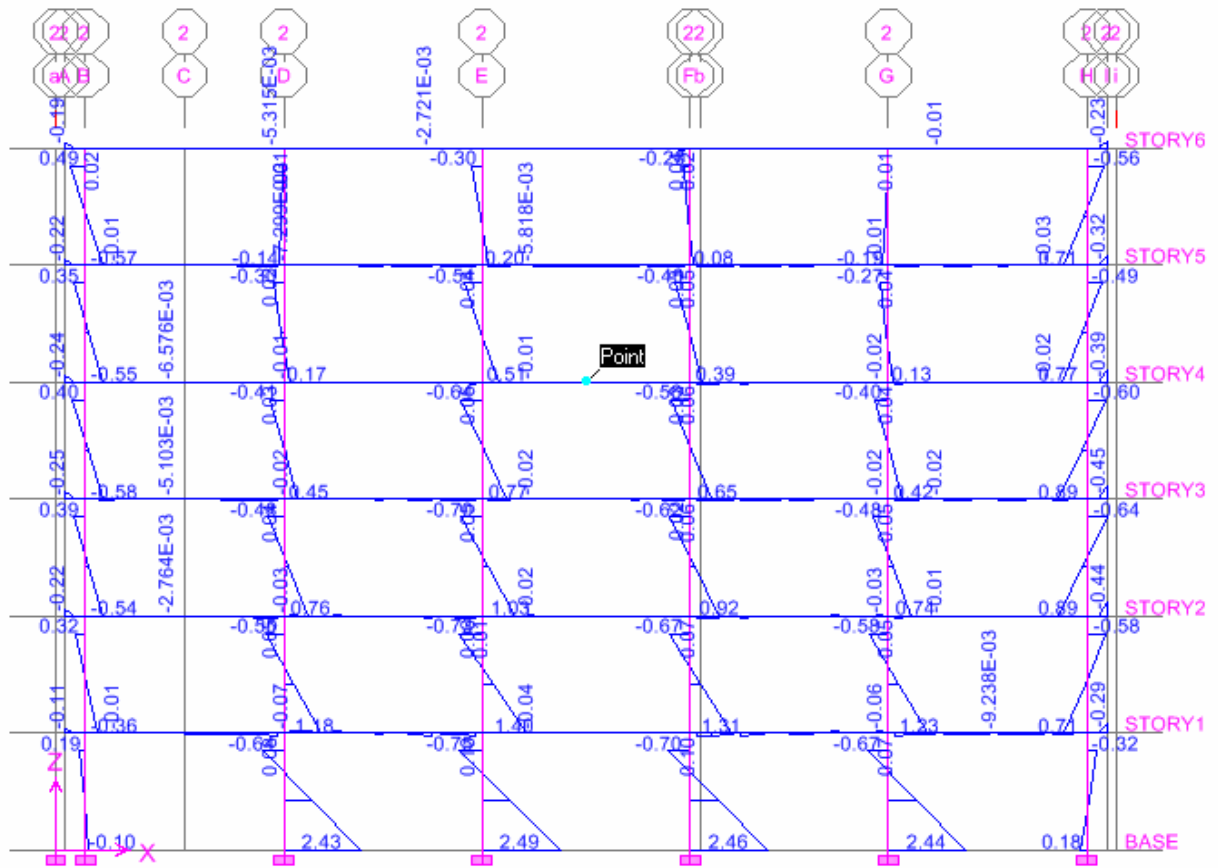
Kat	İncelenen Kriter	Yük	Düğüm Noktası	ÖtelenmeX	ÖtelenmeY
KAT6	Max Ötelenme X	EXUBC	1090-1	0.000121	
KAT6	Max Ötelenme Y	EXUBC	754-3		0.000008
KAT6	Max Ötelenme X	EYUBC	1959-3	0.000007	
KAT6	Max Ötelenme Y	EYUBC	988-1		0.000107
KAT5	Max Ötelenme X	EXUBC	1006-1	0.000147	
KAT5	Max Ötelenme Y	EXUBC	2798-3		0.000005
KAT5	Max Ötelenme X	EYUBC	1959-3	0.000007	
KAT5	Max Ötelenme Y	EYUBC	988-1		0.000123
KAT4	Max Ötelenme X	EXUBC	1002-1	0.000164	
KAT4	Max Ötelenme Y	EXUBC	754-3		0.000006
KAT4	Max Ötelenme X	EYUBC	1698-1	0.000007	
KAT4	Max Ötelenme Y	EYUBC	988-1		0.00013
KAT3	Max Ötelenme X	EXUBC	988-1	0.000165	
KAT3	Max Ötelenme Y	EXUBC	1146-1		0.000007
KAT3	Max Ötelenme X	EYUBC	1698-1	0.000009	
KAT3	Max Ötelenme Y	EYUBC	1917-3		0.000127
KAT2	Max Ötelenme X	EXUBC	1090-3	0.000159	
KAT2	Max Ötelenme Y	EXUBC	754-2		0.000014
KAT2	Max Ötelenme X	EYUBC	1698-1	0.000013	
KAT2	Max Ötelenme Y	EYUBC	1808-2		0.000123
KAT1	Max Ötelenme X	EXUBC	2819	0.000113	
KAT1	Max Ötelenme Y	EXUBC	1717		0.000004
KAT1	Max Ötelenme X	EYUBC	1960	0.000001	
KAT1	Max Ötelenme Y	EYUBC	2759		0.000089

5.2.6. Eğilme Momenti Değerleri

Tübüler güçlendirme perdelerinin kullanımıyla binaya etkiyen eşdeğer deprem yükü kuvvetleri artmıştır ancak deprem etkilerinin büyük bölümünü tübüler dış kabuk üzerine almaktadır. Binanın maruz kaldığı eğilme momentleri azalmıştır. Şekil 5.5 ve şekil 5.6’da X ve Y yönlerinde 2-2 aksında oluşan eğilme momenti değerleri görülmektedir.



Şekil 5.5. X-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri



Şekil 5.6. Y-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri

5.2.7. Taşıyıcı Eleman Kapasite Tahkikleri

UBC 97 yük kombinezonları kullanılarak yapılan tahkike göre, binada mantolama ihtiyacı olan kapasitesi yetersiz herhangi bir eleman bulunmamaktadır.

5.2.8. Tübüler Güçlendirmeli Bina Metrajı

Güçlendirme perdeleri eklendikten sonra binaya toplam 462 ton ek yük gelmiştir. Perdelerle güçlendirilmiş bina için yapı elemanlarının uzunluğu ve ağırlığı çizelge 5.6'da görülmektedir.

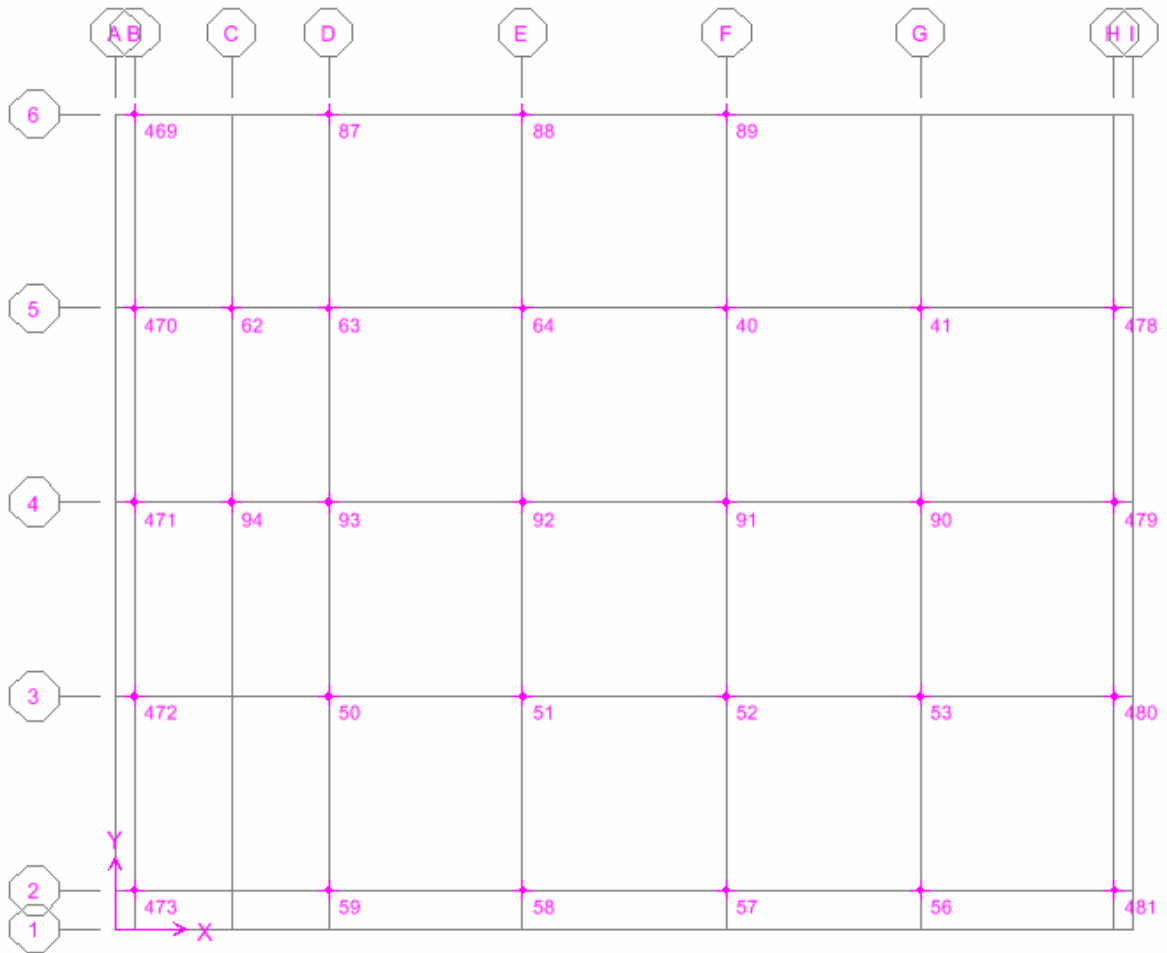
Çizelge 5.6. Tübüler Güçlendirilmiş Binanın Metrajı

Kesit	Eleman Tipi	Parça Sayısı	Toplam Uzunluk	Toplam Ağırlık
KOL30X70	Kolon	146	532.500	236.439
KOL30X90	Kolon	36	108.000	69.984
KOL30X85	Kolon	12	36.000	22.032
KIRIS25X45	Kiriş	330	1.324.500	319.960
SLAB1	Döşeme			810.000
WALL14	Duvar			22.444
WALLMEV25	Duvar			108.000
WALL13	Duvar			82.997
WALL16	Duvar			233.775
WALL23	Duvar			122.259

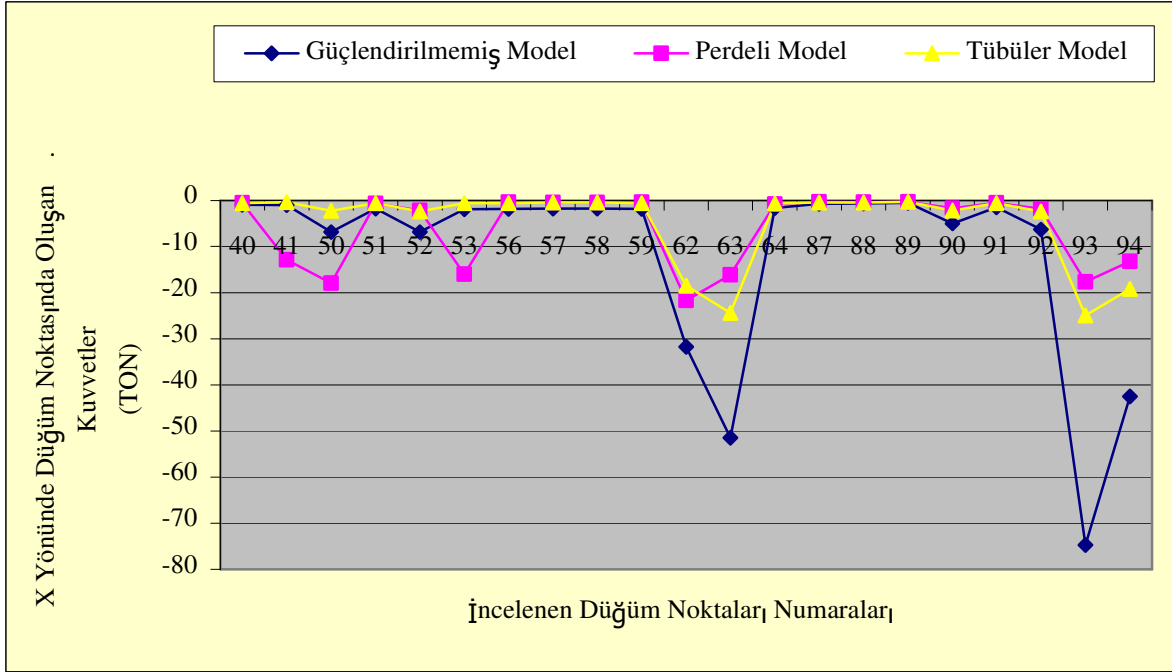
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Linear Analiz Sonuçlarının Grafiksel Olarak Karşılaştırılması

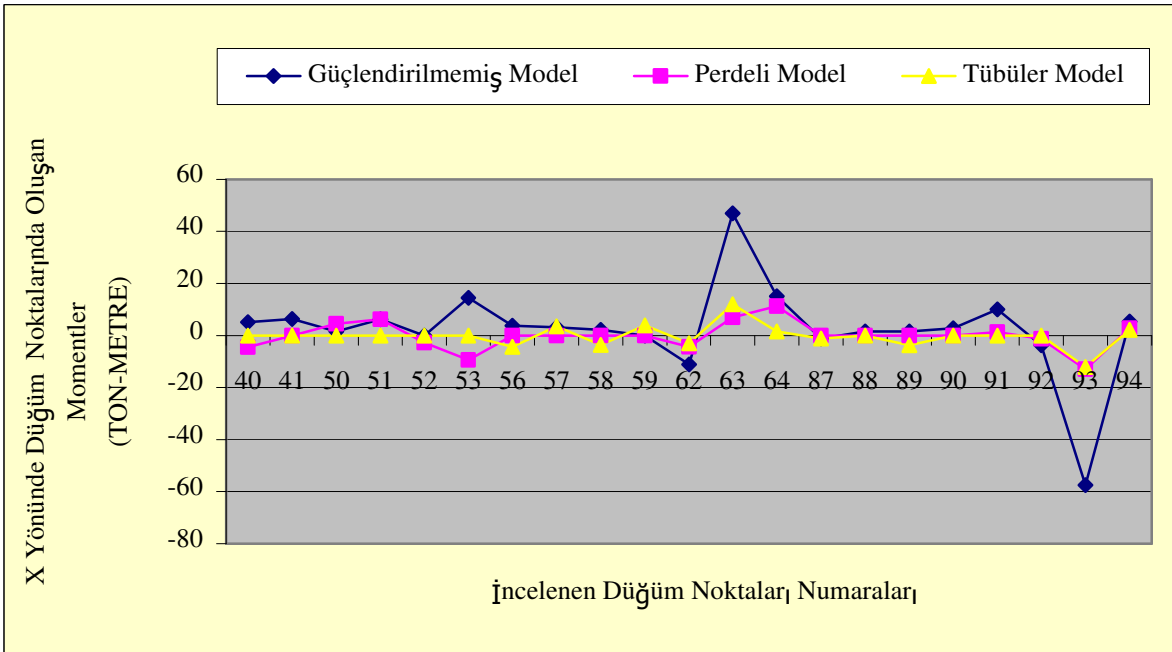
Taban düğüm noktalarına ve taban kolonlarına gelen deprem etkilerinin karşılaştırılması, en iyi güçlendirme modelini bulmamızda büyük önem taşımaktadır. Şekil 6.2, şekil 6.3, şekil 6.4, şekil 6.5 ve şekil 6.6'da taban düğüm noktalarında oluşan kuvvet ve eğilmeler karşılaştırılmaktadır. Şekil 6.7, şekil 6.8, şekil 6.9'de 2-2 aksında bulunan kolonlara etkiyen eğilme ve burulma momentleri, tüm yapı modelleri için aynı grafik üzerinde kıyaslanmıştır. Şekil 6.1'de, incelenen düğüm noktalarının yerleri gösterilmektedir.



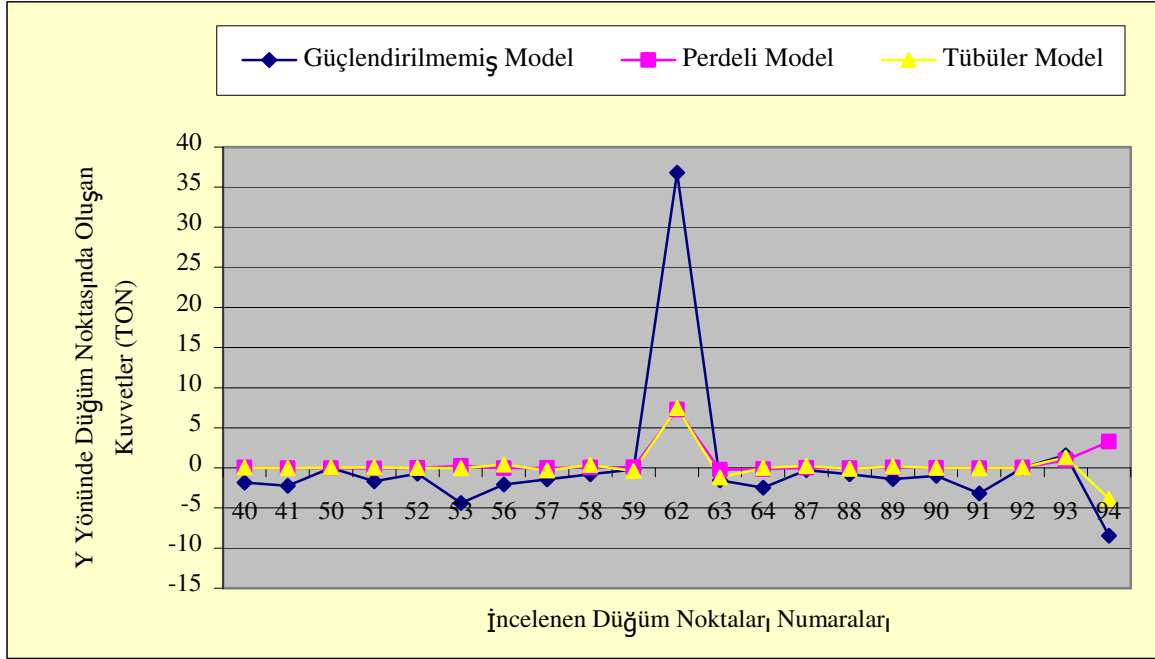
Şekil 6.1. Düğüm Noktaları Planı



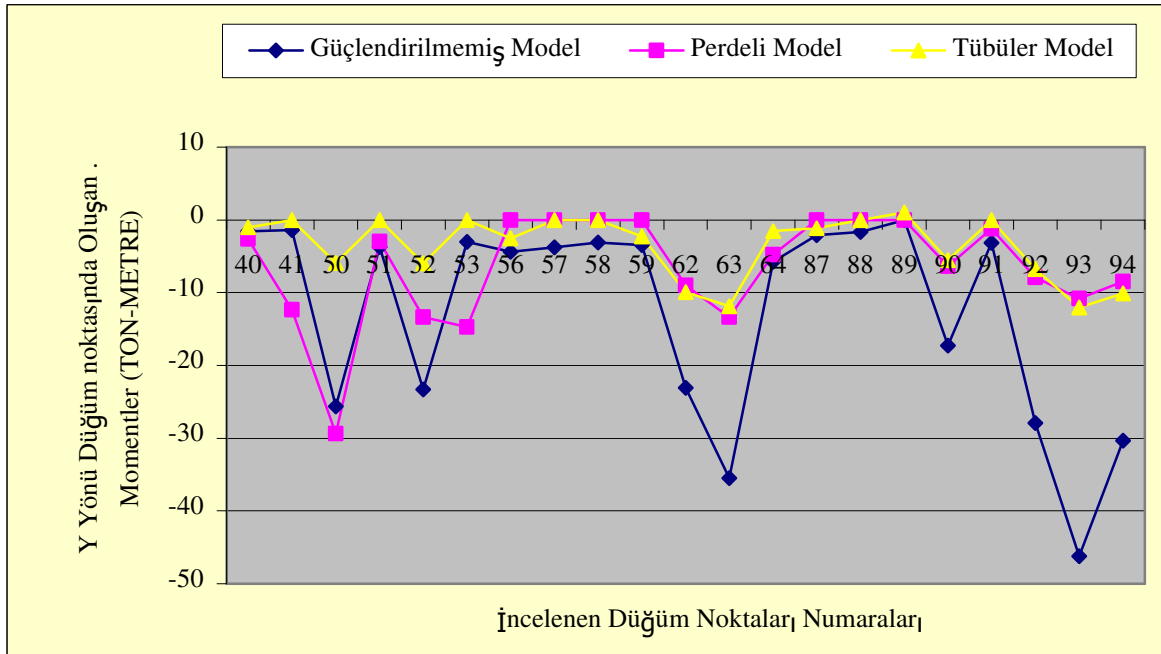
Şekil 6.2. Düzüm Noktalarındaki Fx Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton)



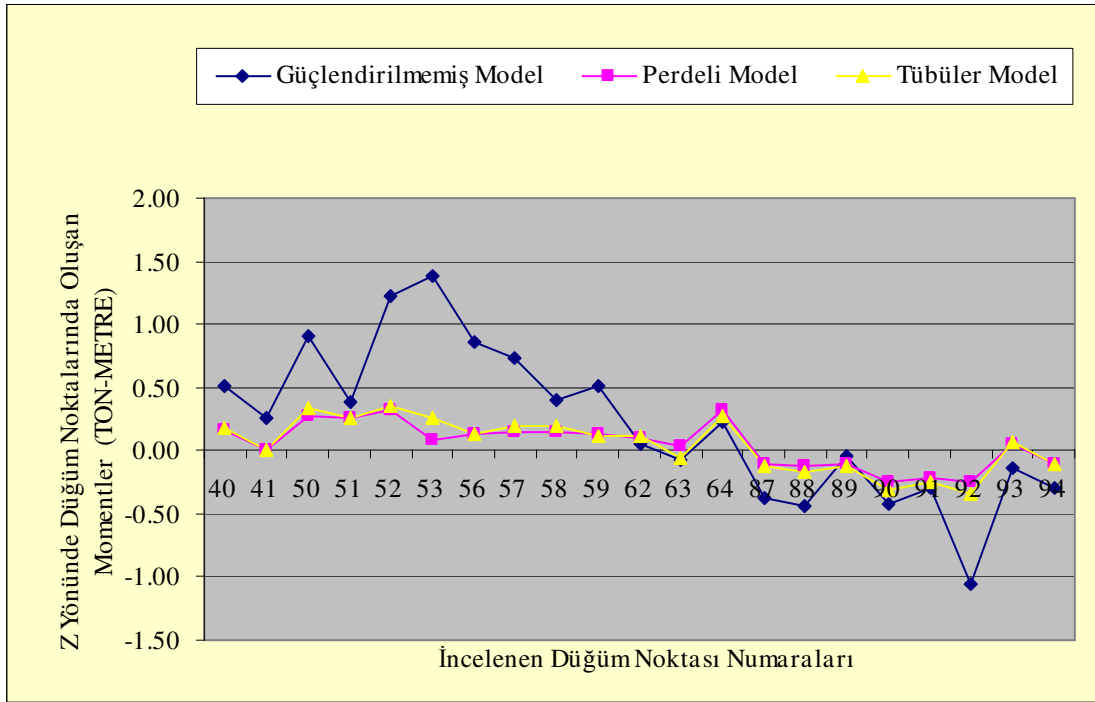
Şekil 6.3. Düzüm Noktalarındaki Mx Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton-Metre)



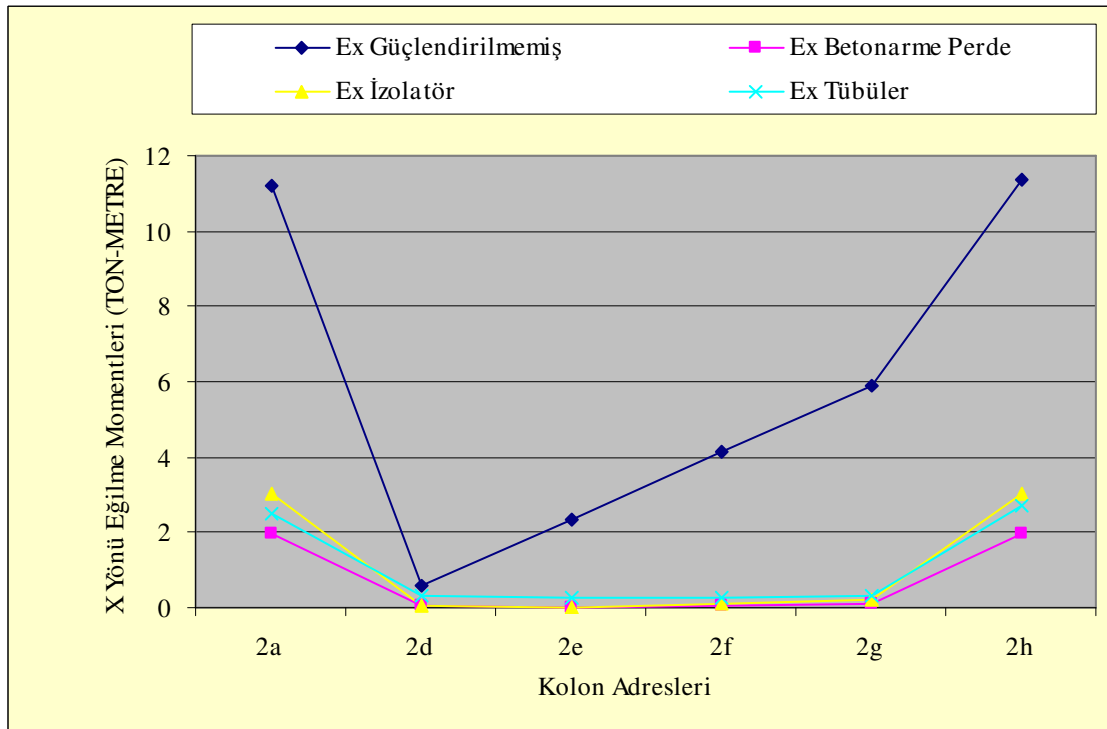
Şekil 6.4. Düğüm Noktalarındaki Fy Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton)



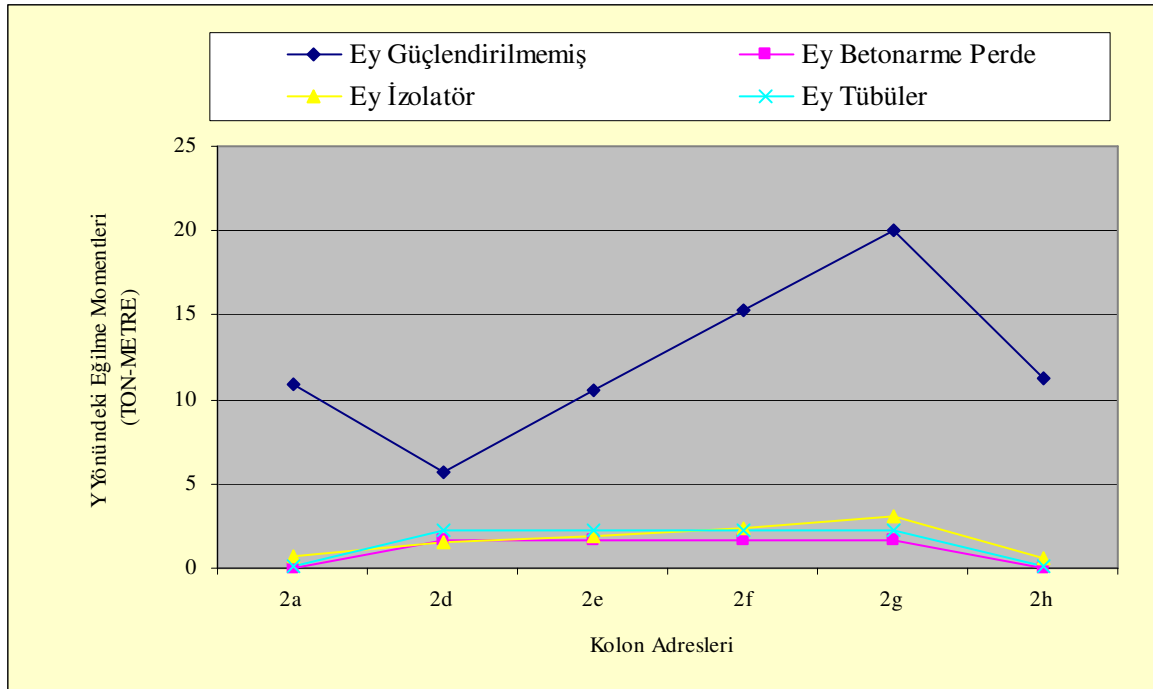
Şekil 6.5. Düğüm Noktalarındaki My Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton-Metre)



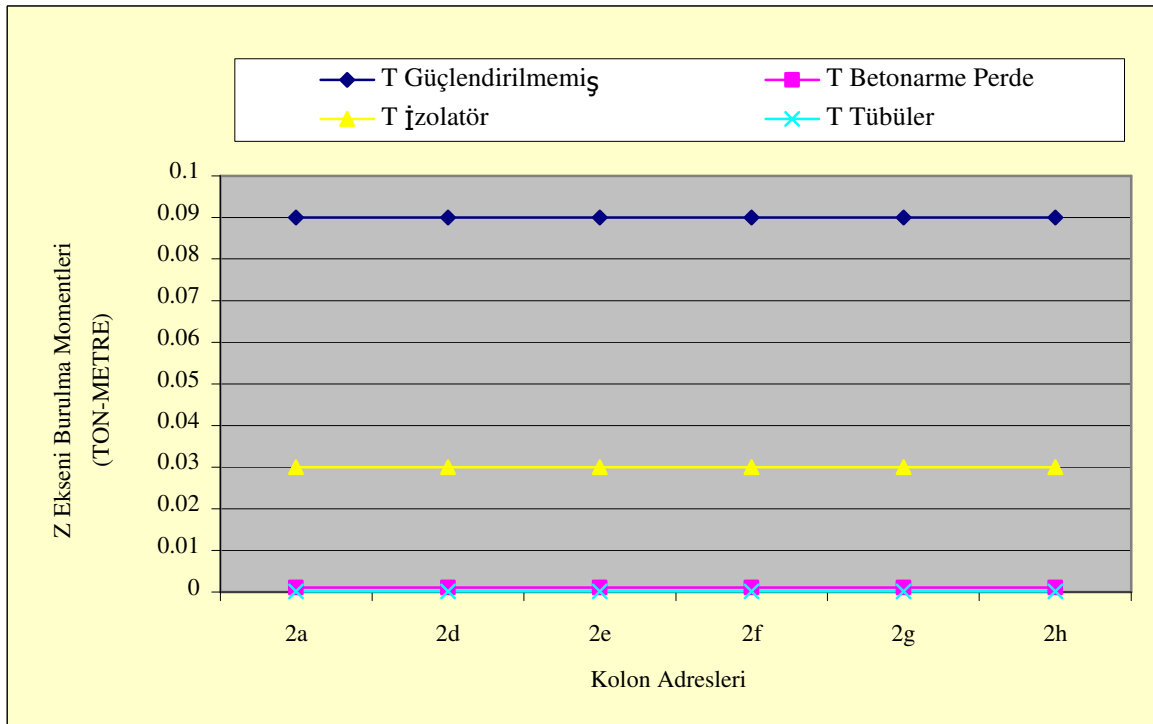
Şekil 6.6. Düzüm Noktalarındaki Mz Değerlerinin Karşılaştırılması (Ton-Metre)



Şekil 6.7. 2-2 Aksı X-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri (Ton-Metre)



Şekil 6.8. 2-2 Aksı Y-Yönündeki Eğilme Momenti Değerleri (Ton-Metre)



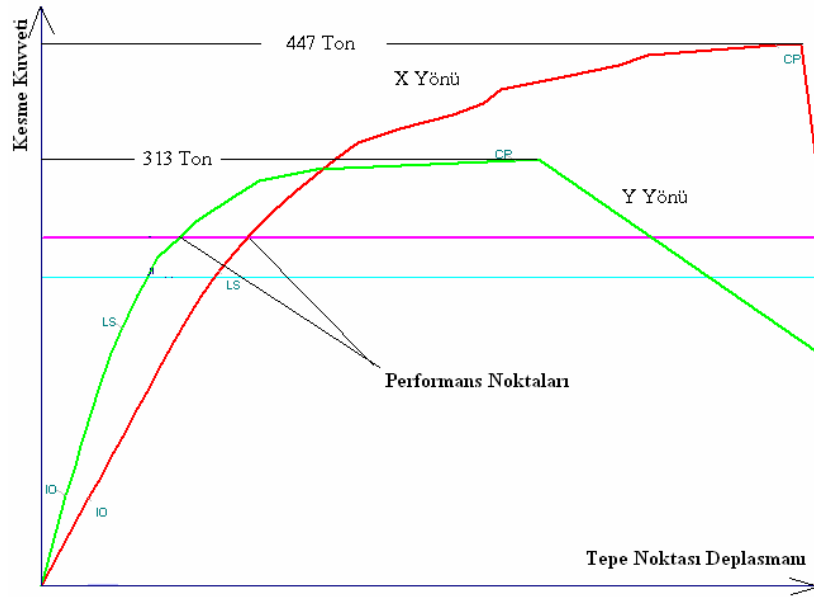
Şekil 6.9. 2-2 Aksı T Burulma Momenti Değerleri (Ton-Metre)

6.2. Push Over Grafiklerinin Yorumlanması

6.2.1. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın İtke Analizinin Yorumlanması

X Yönü: Artan deprem yükü altında kolondaki ilk mafsallaşma 198.156 ton'da meydana gelmiştir. Bu sırada tepe noktası 1.32 cm deplasman yapmıştır. Binada mafsallaşmalar kirişlerden başlamıştır. İlk kolon mafsallaşmasına kadar kirişlerin % 1.8'i mafsallaşmıştır. Yapı performans noktası LS-CP arasında oluşmuştur. Bina deprem etkilerini plastik şekil değiştirmeler ile karşılayabilmiştir. Bina göçme kapasitesi 447.61 tonda meydana gelmiştir. Göçme noktasında kolonların %36'sı kirişlerin ise %77'si mafsallaşmıştır.

Y Yönü: Kolonda ilk mafsallaşma 235 tonda 0.96 cm deplasman ile elde edilmiştir. Mafsallaşmalar kirişte başlamıştır. Performans noktası LS-CP arasında oluşmuştur. Göçme noktası 313 tonda meydana gelmiştir. Göçme noktasında kolonların %37'si kirişlerin ise %90'ı mafsallaşmıştır. Şekil 6.9'da güçlendirilmesi planlanan binanın Push Over grafiği görülmektedir.

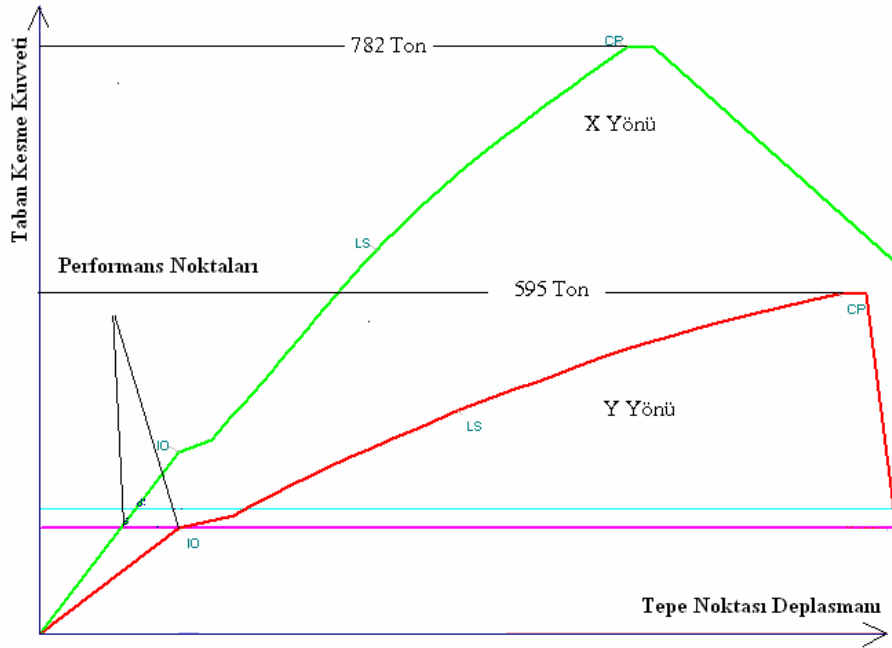


Şekil 6.10. Güçlendirilmesi Planlanan Binanın Push Over Grafiği

6.2.2. Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Binanın İtke Analizinin Yorumlanması

X Yönü: Artan deprem yükü altında kolondaki ilk mafsallaşma 548.763 ton'da meydana gelmiştir. Bu sırada tepe noktası 1.53 cm deplasman yapmıştır. Binada mafsallaşmalar kirişlerden başlamıştır. İlk kolon mafsallaşmasına kadar kirişlerin % 23'ü mafsallaşmıştır. Yapı performans noktası IO-LS arasında oluşmuştur. Bina deprem etkilerini lineer şekil değiştirmeler ile karşılayabilmiştir. Bina göçme noktası 782 ton'da meydana gelmiştir. Göçme noktasında kolonların %43'ü kirişlerin ise %0.2'si mafsallaşmıştır.

Y Yönü: Artan deprem yükü altında kolondaki ilk mafsallaşma 484 ton'da meydana gelmiştir. Bu sırada tepe noktası 0.62 cm deplasman yapmıştır. Binada mafsallaşmalar kolondan başlamıştır. Yapı performans noktası IO'dan önce oluşmuştur. Bina deprem etkilerini lineer şekil değiştirmeler ile karşılayabilmiştir. Bina göçme kapasitesi 595 ton'da meydana gelmiştir. Göçme noktasında kolonların %17'si kirişlerin ise %26'sı mafsallaşmıştır. Şekil 6.10'da betonarme perdelerle güçlendirilmiş binanın Push Over grafiği görülmektedir.

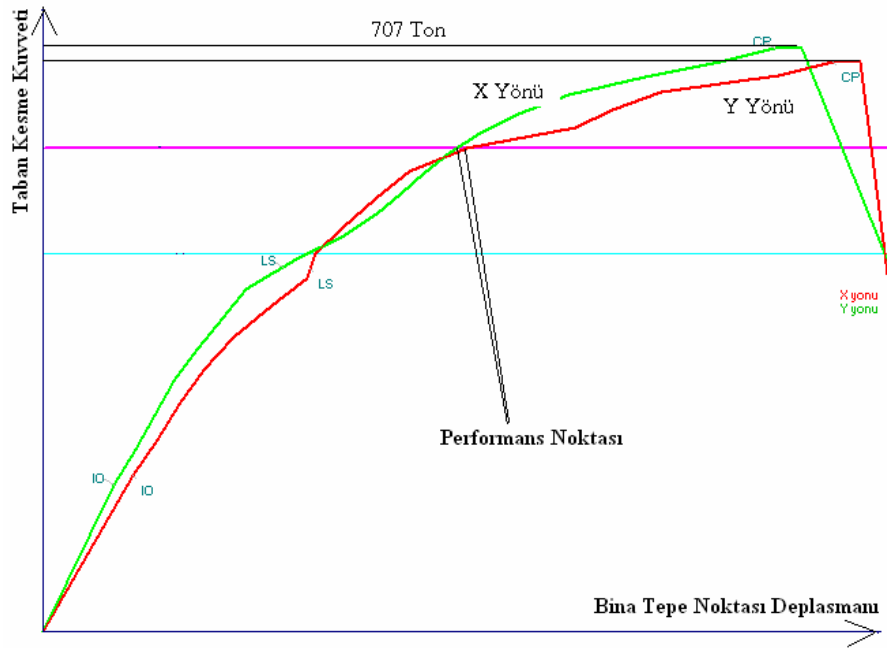


Şekil 6.11. Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmiş Binanın Push Over Grafiği

6.2.3. Tübüler Perdelerle Güçlendirilmiş Binanın İtke Analizinin Yorumlanması

X Yönü: Artan deprem yükü altında kolondaki ilk mafsallaşma 291.968 ton'da meydana gelmiştir. Bu sırada tepe noktası 0.93 cm deplasman yapmıştır. Binada mafsallaşmalar kirişlerden başlamıştır. İlk kolon mafsallaşmasına kadar kirişlerin % 14'ü mafsallaşmıştır. Yapı performans noktası LS-CP arasında oluşmuştur. Bina deprem etkilerini nonlinear şekil değiştirmeler ile karşılayabilmiştir. Bina göçme kapasitesi 707 ton'da meydana gelmiştir. Göçme noktasında, kolonların %20'si kirişlerin ise %48'i mafsallaşmıştır.

Y Yönü: Artan deprem yükü altında kolondaki ilk mafsallaşma 280.897 ton'da meydana gelmiştir. Bu sırada tepe noktası 0.72 cm deplasman yapmıştır. Binada mafsallaşmalar kirişlerden başlamıştır. Yapı performans noktası LS-CP arasında oluşmuştur. Bina deprem etkilerini nonlinear şekil değiştirmeler ile karşılayabilmiştir. Bina göçme kapasitesi 556.52 ton'da meydana gelmiştir. Göçme noktasında kolonların %13'ü kirişlerin ise %36'sı mafsallaşmıştır. Şekil 6.11'de tübüler perdelerle güçlendirilmiş binanın Push Over grafiği görülmektedir.



Şekil 6.12. Tübüler Perdeler ile Güçlendirilmiş Binanın Push Over Grafiği

GPM: Güçlendirilmesi Planlanan Model
 BPGM: Betonarme Perdelerle Güçlendirilmiş Model
 TPGM: Tübüler Perdelerle güçlendirilmiş Model

Çizelge 6.1. İtki Analizi Değerlerinin Tablo Şeklinde Sunumu

	GPM		BPGM		TPGM	
	X	Y	X	Y	X	Y
İlk Kolon Mafsallaşması	198 ton	235 ton	548 ton	484,628	291 ton	280 ton
İlk Kolon Mafsallaşması sırasında tepe deplasmanı	1,3 cm	0,96 cm	1,5 cm	0,62 cm	0,93 cm	0,72 cm
Göçme Kapasitesi	447 ton	313 ton	782 ton	595,56 ton	707 ton	556 ton
Göçme Sırasında Mafsallaşan Kolon (%) si	36	37,7	2	17,4	20	13,9
Göçme Sırasında Mafsallaşan Kiriş (%) si	77	90	43	26,2	48	36,8

Yukarıdaki çizelge 6.1'den de anlaşılacağı gibi BPGM'de yapı lineer zorlanmalardan sonra az miktarda nonlinear çalışarak birden göçmüştür. TPGM'de ise yapı daha çok nonlinear deformasyonu sergilemiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada depreme dayanıklı yapı tasarımı ve onarım-güçlendirme teknikleri incelenmiş, tübüler sistemle bina güçlendirme tekniğinin diğer güçlendirme tekniklerine göre avantajları ve dezavantajları irdelenmeye çalışılmıştır. Tübüler güçlendirme tekniği, inşaat işlerinin azalması, bina modal özelliklerinin kolay düzenlenmesi, iç mimariyi bozmaması gibi üstünlüklere sahiptir. Bunlara karşılık tübüler güçlendirme sistemli yapıda, bina periyodunun düştüğü ve yapının ağırlaşmasıyla daha çok deprem kuvvetine maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tübüler perdeli kabuğun, güçlendirilecek binaya bağlanması, üzerinde itina ile durulması gereken bir husustur. Bu çalışmadaki bilgisayar modellerinde tübüler kabuk ile binanın birlikte çalıştığı kabul edilmiştir.

Tübüler perdeli güçlendirmenin avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Tübüler sistemler ile bina içinde yapılması gereken inşaat işleri önemli ölçüde azalmaktadır. Güçlendirme yapılan binada, bina sakinlerinin taşınmasına gerek kalmamaktadır.
- Binanın mimari kullanımının bozulmasına sebep olmaz.
- Binanın içine yapılan perdeli güçlendirme sistemlerinden daha etkilidir. Kolonlara gelen eğilme momentleri perdeli sistemlere göre daha fazla azalmaktadır. Böylelikle mantolanması gereken kolon sayısı azalır.
- Binanın Kütle ve Rijitlik merkezleri perdeli sistemlere daha kolay çakıştırılabilir. Dolayısıyla binaya etkiyen burulmalar daha fazla azaltılabilir.
- Tübüler taşıyıcı sistem binanın dışında bulunduğu için kütle merkezine perdeli sistemlere göre daha uzaktır. Daha büyük moment kolu oluşacağından bina gelen burulma etkilerine karşı daha etkilidir.
- Tübüler sistem boşluklu olduğu için binanın ışığını kesmez.

Dezavantajlar ise başlıca şu şekilde sıralanabilir.

- Tübüler güçlendirme sistemlerinin işçilik ve malzeme maliyetleri daha yüksektir.
- Tübüler sistemin ana sisteme bağlanması sırasında bu konuda iş tecrübesine sahip kalifiye elemanların çalıştırılması gerekmektedir.
- Tübüler güçlendirme sistemi yapı rijitliği arttırarak bina periyodu düşürmektedir.

Bu sonuçlardan tübüler güçlendirme sisteminin, geleneksel güçlendirme yöntemleri için iyi bir alternatif olabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- ANONİM, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS498, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 30 s.
- ANONİM, 1997a. SAP2000 Tutorials, Computers And Structures, Inc., Berkeley, 41 s.
- ANONİM, 1997b. NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures, Building Seismic Safety Council For The FEMA, Washington, D.C., 359 s.
- ANONİM, 1997c. Uniform Building Code, International Code Council, 545 s.
- ANONİM, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 25, 12. Baskı, İzmir, 85 s.
- ANONİM, 2001a. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS 500, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 75 s.
- ANONİM, 2001b. Computers And Structures, Inc., Berkeley, California, www.csiberkeley.com , (16/08/2005)
- ANONİM, 2002a. Seismic Analysis Modeling To Satisfy Building Code, Computers And Structures, Inc., Berkeley, California, 25 s.
- ANONİM, 2002b. Fast Nonlinear Analysis, Computers And Structures, Inc., Berkeley, California, 45 s.
- ANONİM, 2002c. Static Nonlinear (Pushover) Analysis, Computers And Structures, Inc., Berkeley, California, 3 s.
- ANONİM, 2005a. STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti, www.sta.com.tr
- ANONİM, 2005b. Benko, www.benkold.com.tr, (16/08/2005)
- ANONİM, 2005c. Em-ke İnşaat Ltd., www.emke.com.tr, (16/08/2005)
- AIKEN, I., D., KELLY, J., PALL, S., 1998. Seismic Response Of A Nine Kat Steel Frame With Friction Damped Cross Bracing, Proceedings, Ninth World Conference On Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 115 s.
- AIKEN, I., KELLY, J., 1990. Earthquake Simulator Testing And Analytical Studies Of Two Energy-Absorbing Systems For MultiKat Structures, Report No. UCB/EERC-90/03, EERC, Univ of California at Berkeley.
- ATEŞ, Ş. , DUMANOĞLU, A., 2003. Fifth National Conference on Earthquake Engineering, 26-30 May 2003, Istanbul, Turkey, Bildiri No: AT-048.

- BAYÜLKE, N. Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 15, 322 s.
- CELEP, Z., KUMBASAR, N. 1998. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İkinci Baskı, İstanbul, 888 s.
- CELEP, Z., KUMBASAR, N. 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım, İkinci Baskı, İstanbul, 596 s.
- CELEP, Z., KUMBASAR, N. 2001. Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, Üçüncü Baskı, İstanbul, 418 s.
- CHANDLER, M., LAM, N. 2001. Performance- Based Desing In Earthquake Engineering: A Multi - Disciplinary Review, Elsevier
- CLEMENT, E.D. 2002. Seismic Analysis of Knee Elements for Steel Frames, University of Oxford
- ERSOY, U. 1985. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Cilt 1, Evrim Yayınevi, İstanbul, 640 s.
- ERSOY, U. 1995. Betonarme Döşeme ve Temeller, Cilt 2, Evrim Yayınevi, İstanbul, 245 s.
- HABİBULLAH, A. PYLE, S.E. 1998. Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis, Structure Magazine, 3 s.
- HASGÜR, Z. 1996. Betonarme Çok Katlı Yapılar, Beta Dağıtım, Birinci Baskı, İstanbul, 228 s.
- KELLY, J.M., SKINNER, R.I, HEINE, A.J. 1972. Mechanism of Energy Absorption in Special Devices for Use in Earthquake-Resistant Structures, Bull. N. Z. Nat. Soc. For Earthquake Engineering, 7 s.
- MATSAGAR, A., JANGID, R.S. 2004. Influence of Isolator Characteristics on the Response of Base-Isolated Structures, Engineering Structures, Elsevier
- MURAJI, M., SHIMIZU, T., ESPER, P., TACHIBANA, E.,1999, A New Type of Base Isolator: A Vertical Shock Absorber, 4 s.
- TEZCAN, S., BAL, E. 2004. Güvence Saptaması ve Güçlendirme, 35 s.
- SMITH, S.1998. Evaluation of Fixed Base Vs. Base Isolated Building Systems, 12 s.

ÖZGEÇMİŞ

01/01/1978 tarihinde Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk öğrenimini Kahramanmaraş Fatih İlkokulunda, orta ve lise eğitimini Çukurova Elektrik Anadolu Lisesinde tamamladı. 1996 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde okumaya hak kazandı. 2000 yılında aynı bölümden İnşaat Mühendisi ünvanı alarak mezun oldu. 09/2000-09/2001 tarihleri arasında İstanbul'da bir inşaat firmasında depreme karşı bina onarım ve güçlendirme işleri üzerine çalışmalar yaptı. 30/12/2002 tarihinde Amerika Birleşik Devletlerine giderek yaklaşık iki sene bir çelik yapı firmasında çalıştı. 15/07/2004 tarihinden itibaren K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.