

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI RİJİTLEŞTİRİCİ ELEMANLARA SAHİP SİSMİK YALITIMLI YAPI
SİSTEMLERİNİN DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMALI OLARAK BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Dimitri LAVRENTİEV

**MAYIS 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Dimitri Lavrentiev Tarafından Hazırlanan**

**FARKLI RİJİTLEŞTİRİCİ ELEMANLARA SAHİP SİSMİK YALITIMLI YAPI
SİSTEMLERİNİN DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMALI OLARAK
BELİRLENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 16 / 04 / 2019 gün ve 1800 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Şevket ATEŞ



Üye : Doç. Dr. Yaprak İtir ÖZDEMİR



Üye : Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve farklı rijitleştirici elemanlara sahip olan yapı sistemlerin deprem etkisindeki lineer davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi konusundaki bu çalışmada değerli zamanlarını ayırarak tezimi değerlendiren ve yanlışlarımı düzeltmeye yardım eden yönetici hocama Doç. Dr. Yaprak İtır Özdemir'e teşekkür ederim. Lisans zamanında bana emeği geçen bütün hocalarımı teşekkür bir borç bilirim.

Çalışmam sırasında tezinin içeriği düzeltmeye yardım eden İngilizce kaynakların daha iyi anlamamı sağlayan Uluslararası İlişkiler yüksek lisans mezunu olan Dilnur Ghupura'a özel teşekkürler sunuyorum.

Ayrıca lisans eğitim sırasında bana destek eden ve bütün zor zamanlarda yanımda duran arkadaşlarıma İnş. Müh. Selim Çumak'a, İnş. Müh. Pavel Prokofyev'e ve Rejep Hajygylynch'e teşekkür ederim.

Dimitri Lavrentiev
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Rijitleştirici Elemanlara Sahip Sismik Yalıtımlı Yapı Sistemlerinin Davranışlarının Karşılaştırılmalı Olarak Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç.Dr. Yaprak İtir Özdemir’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili programda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 02/05/2019.

Dimitri LAVRENTİEV

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLOLAR DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Kavramı	1
1.3. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Genel İlkeler	2
1.3.1.Yeterli Dayanım.....	2
1.3.2.Yeterli Rijitlik	3
1.3.3.Yeterli Süneklik	4
1.3.4.Yapıda Düzgünlük Ve Süreklilik	5
1.4. Sismik Taban Yalıtımının Kavramı.....	7
1.5. Yalıtım Sistemlerinin Çeşitleri.....	9
1.6. Çalışmada Kullanılmış Olan Taşıyıcı Sistemler	20
1.6.1.Geleneksel Çerçeve Sistemler	20
1.6.1.Perde Duvarlı Sistemler	21
1.6.2.Eğik Elemanlı Çerçevesi Sistemler	22
1.7. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Konusunda Yapılan Çalışmalar	24
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	28
2.1.1.Zemin İvmesi.....	31
2.1.2.Üst Yapı Tasarımı.....	32
2.1.3.Sismik İzolatörün Ön Tasarımı	32
2.1.4.Maksimum Deplasmanın Belirlenmesi.....	33
2.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün Modellenmesi	33
2.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün SAP2000 Programında Tanımlanması	42
2.3. Yapısal Çözümleme.....	45

3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	46
3.1.	Geleneksel Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:1) Ait Bulgular	46
3.2.	Tek Eğik Elemanlı Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:2) Ait Bulgular	48
3.3.	Tek Eğik Elemanlı Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:3) Ait Bulgular	50
3.4.	Çift Eğik Elemanlı Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:4) Ait Bulgular	51
3.5.	Betonarme Perdeli Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:5) Ait Bulgular.....	52
3.6.	Sismik İzolatör Uygulanmış Çerçeve Sistemine (Çerçeve No 6) Ait Bulgular.	54
3.7.	Sismik İzolatör Uygulanmış Çerçeve Sistemine (Çerçeve No 7) Ait Bulgular.	55
3.8.	Çerçevelerin Karşılaştırılması	57
3.8.1.	Doğal Periyod.....	57
3.8.2.	Taban Kesme Kuvvet	58
3.8.3.	Maksimum Deplasman	58
3.8.4.	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvvet	59
3.8.5.	Maksimum Taban Devrilme Momenti	60
3.8.6.	5 Katlı Çerçevelerde Oluşan İç Kuvvetleri.....	61
3.8.7.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Çerçevelerin Karşılaştırılması.....	66
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
5.	KAYNAKLAR.....	71
6.	EKLER	74

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans

ÖZET

FARKLI RİJİTLEŞTİRİCİ ELEMANLARA SAHİP SİSMİK YALITIMLI YAPI
SİSTEMLERİNİN DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMALI OLARAK
BELİRLENMESİ

Dimitri LAVRENTIEV

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Yaprak İtir Özdemir
2019, 73 Sayfa, 6 Ek Sayfalar

Yapıların depreme karşı dayanıklılık açısından taşıyıcı sistemlerinin seçimi önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle taşıyıcı sistemlerinin seçiminde hassasiyet göstermesi gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında şu anki deprem yönetmeliğinde uyguladığı tasarım yöntemler göz önüne alırsak, şiddetli depremler sırasında daha çok can kaybını önlemek üzerinde durmuştur, yapının ise deprem sonrasında kullanılamaz haline gelmesine izin verilmiştir. Tezimizde incelediğimiz konu ise deprem sırasında mal kaybının yanı sıra yapının ve içindeki mevcut mal varlığının önemli hasar almadan kullanılmaya devam edilmesidir. Çalışmamızda yüksek sönümlü kauçuk izolatör ele alınmış ve geleneksel çerçeveler, perdeli çerçeveler ve diyagonal çubuklarla rijitleştirilmiş çerçeveler yapı sistemleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Tezimizin birinci bölümde, deprem tasarım kavramı ve sismik izolasyon sistemler ilgili bilgi verilmektedir. İkinci bölümde, sismik izolasyon sistemlerinin ön tasarım aşamaları tek tek anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, geleneksel çerçeveler, eğik elemanlarla rijitleştirilmiş çerçeveler, betonarme perde ile rijitleştirilmiş çerçeveler sismik izolasyon uygulanmış çerçeveler Sap2000 programında farklı kat adedi ve açıklıklar ile tanımlanılarak zaman tanım alanında çözüm yapılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında, her çerçeve sistemlerinin karşılaştırmaları sonuçları grafik şeklinde sunulmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada analiz yapılan rijitleştirilmiş çerçeve sistem yapıları ve kauçuk izolatör tanımlanmış çerçeveleri, geleneksel çerçeve sistemine göre, dikkate alınan özellikler bakımından daha iyi davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sismik İzolatör, Betonarme Eğik Elemanlar, İzolatör Tasarımı

Master Thesis

SUMMARY

COMPARATIVE DETERMINATION OF THE BEHAVIOR SEISMIC ISOLATOR
FRAME SYSTEMS WITH FRAME SYSTEMS WHICH INCLUDES DIFFERENT
RIGIDIZED ELEMENTS

Dimitri LAVRENTIEV

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Department
Supervisor: Assoc. Yaprak Itr Özdemir
2019, 73 Pages, 6 Pages Appendix

The selection of frame systems plays an important role in terms of earthquake resistance of buildings. Hence, it is necessary to show sensitivity in selecting the carrier system. Considering the design methods applied in the current earthquake regulation in earthquake resistant structure design, during severe earthquakes, it has presented for prevent loss of life and the structure is allowed to become unavailable after the earthquake. In our thesis, we continue to use the building and its existing assets without significant damage as well as loss of property during the earthquake. In our study, high damped rubber isolator frames were discussed and compared with traditional frames, reinforced shear wall frames and reinforced frames with concrete bracings. In the first chapter of thesis, earthquake design concept and seismic isolation systems concept was explained. In the second chapter, the pre-design stages of seismic isolation systems are described. In the third chapter was shown results for frame with bracing elements, frame with shear wall and with seismic isolator obtained by using SAP2000 software. The results of comparisons for each frame systems are presented graphically.

As a result, the rigidized frame system structures and seismic rubber isolator defined frames, which were analyzed in this study, were found to show better behavior in terms of the characteristics considered in the traditional frame system.

Key Words: Seismic Isolator, Braced concrete elements, Isolator Design

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çerçeve sistem yapılarıdaki mafsallaşma örnekleri.....	3
Şekil 1.2. Görelî kat ötemeler.....	4
Şekil 1.3. Betonarme yapılarında plastik mafsâl.....	5
Şekil 1.4. (a) Kiriş oturana kolonlar ve (b) sürekli düşey taşıyıcılar.....	6
Şekil 1.5. (a) Kiriş sürekliliğinde belirsizlik ve (b) iyi çerçeve düzeni.....	6
Şekil 1.6. (a) Görelî kat ötelemeler büyük olduğundan önemli derecede hasar (b) Sismik izolatör kullanıldığında hasar oluşmuyor.....	8
Şekil 1.7. Yapının doğal periyot etkisi.....	9
Şekil 1.8. Elastik tasarım spektrumu.....	10
Şekil 1.9. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör sistemi.....	11
Şekil 1.10. Katmanlı kauçuk mesnette şekil değişmeler.....	11
Şekil 1.11. Kauçuk izolatörlerinin kolonlarda uygulama yöntemleri.....	12
Şekil 1.12. Temel üstünde, kolon ortasında uygulanmış kauçuk sismik izolatör sistemi.....	13
Şekil 1.13. Bir yapının köşe kolonuna altına uygulanmış kauçuk esaslı sismik izolatör.....	13
Şekil 1.14. Sürtünmeli sarkaç izolatörün enkesiti.....	14
Şekil 1.15. Sürtünmeli sarkaç izolatörün çalışma sistemi.....	15
Şekil 1.16. Kauçuk ve sürtünme esaslı izolatörlerin karma sistemi olarak kullanıldığı bir çelik yapı.....	15
Şekil 1.17. Sürtünmeli sarkaç izolatör.....	16
Şekil 1.18. Atatürk havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı.....	16
Şekil 1.19. Sönümleyici cihaz örneği.....	18
Şekil 1.20. Sönümleyici cihazın yatay yükleri hidrolik sıvı ile absorbe edilmesi.....	19
Şekil 1.21. Sönümleyici cihazlarla bitişik iki yapı arasında oluşabilecek çarpışmaları önlenmesi.....	19
Şekil 1.22. Geleneksel Çerçeve yapı sistemi.....	21

Şekil 1.23. Perdeli Çerçevesel sistem.....	22
Şekil 1.24. Eğik elemanlı Çerçeve sistem.....	23
Şekil 2.1. Geleneksel Çerçeve (Çerçeve No 1)	28
Şekil 2.2. Farklı kat adedi ve açıklıklarla düzenlenmiş eğik elemanlar (Çerçeve No 2).....	29
Şekil 2.3. Farklı kat adedi ve açıklıklarla düzenlenmiş eğik elemanlar (Çerçeve No 3).....	29
Şekil 2.4. Farklı kat adedi ve açıklıklarla düzenlenmiş eğik elemanlar (Çerçeve No 4).....	29
Şekil 2.5. Betonarme perde ile rijitleştirilmiş Çerçeveler (Çerçeve No 5).....	30
Şekil 2.6. Sismik taban izolatör uygulanmış çerçeve sistemler (Çerçeve No 6)	30
Şekil 2.7. Sismik taban izolatör uygulanmış çerçeve sistemler (Çerçeve No 7)	30
Şekil 2.8. Sönüm azaltma katsayısı.....	36
Şekil 2.9. Kauçuk esaslı izolatörün SAP2000 programında tanımlanması.....	43
Şekil 2.10. U1 yönünde düşey rijitliğin tanımlanması.....	44
Şekil 2.11. U2 doğrultusunda izolatör karakteristiklerin tanımlanması.....	44
Şekil 2.12. Mart 1992 Erzincan depremin doğu-batı doğrultusunda hareketi.....	45
Şekil 3.1. Çerçeve No:1'e ait etkin görelî kat ötelenmeler.....	48
Şekil 3.2. Çerçeve No:2'e ait etkin görelî kat ötelenmeler.....	49
Şekil 3.3. Çerçeve No:3'e ait etkin görelî kat ötelenmeler.....	51
Şekil 3.4. Çerçeve No:4'e ait etkin görelî kat ötelenmeler.....	52
Şekil 3.5. Çerçeve No:5'e ait etkin görelî kat ötelenmeler.....	53
Şekil 3.6. Çerçeve No:6'e ait etkin görelî kat ötelenmeler.....	55
Şekil 3.7. Çerçeve No:7'e ait etkin görelî kat ötelenmeler.....	56
Şekil 3.8. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait doğal periyotları.....	57
Şekil 3.9. Çalışmada kullanılmış olan çerçevelere ait taban kesme kuvvetleri.....	58
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait birinci katta oluşan maksimum deplasman sonuçları.....	59
Şekil 3.11. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvetleri	60
Şekil 3.12. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait maksimum taban devrilme momentleri ..	61
Şekil 3.13. Kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvet.....	62
Şekil 3.14. Kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvvet.....	62
Şekil 3.15. Kolonlarda oluşan maksimum eğilme momenti.....	63
Şekil 3.16. Kolonlarda oluşan maksimum normal kuvveti.....	64
Şekil 3.17. Kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvveti.....	65
Şekil 3.18. Kolonlarda oluşan maksimum eğilme momenti.....	65

Şekil 3.19. Kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvetleri.....	66
Şekil 3.20. Taban devrilme momenti.....	67
Şekil 3.21. Taban kesme kuvveti.....	68
Şekil E.1. Sönüm azaltma katsayısı.....	74
Şekil E.2. Sönüm azaltma katsayısı.....	78



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Aktif fay yakınlık faktörü N_a	41
Tablo 2.2. Aktif fay yakınlık faktörü N_a	41
Tablo 2.3. Sismik katsayısı C_{ad}	41
Tablo 2.4. Sismik katsayısı C_{vd}	41
Tablo 2.5. Sismik Katsayısı C_{am}	42
Tablo 2.6. Sismik Katsayısı C_{vm}	42
Tablo 2.7. Ankastre çözülmüş çerçevelerde kolonlarda oluşacak maksimum normal kuvvetleri ve yapı doğal periyotları.....	42
Tablo 2.8. Kurşun çekirdekli kauçuk esaslı sismik izolatörün mesnet özellikleri.....	46
Tablo 3.1. Çerçeve no:1'e Ait bulgular.....	51
Tablo 3.2. Çerçeve no:2'e Ait bulgular.....	53
Tablo 3.3. Çerçeve no:3'e Ait bulgular.....	54
Tablo 3.4. Çerçeve no:4'e Ait bulgular.....	56
Tablo 3.5. Çerçeve no:5'e Ait bulgular.....	57
Tablo 3.6. Çerçeve no:6'e Ait bulgular.....	59
Tablo 3.7. Çerçeve no:7'e Ait bulgular.....	60

SEMBOLLER DİZİNİ

A: Söзде ivme

A_{Kurşun}: Kurşun çekirdeğın alanı

B_d: Sönüm azaltma katsayısı

C_a: Sismik katsayısı

C_v: Sismik katsayısı

C_{ad}: Sismik katsayısı

d_d: İzolatörün yatay yönünde tasarım yer değıştirme

d_m: İzolatörün yatay yönünde maksimum yer değıştirme

d_y: Akma yer değıştirmesi

K_H: Efektif yatay rijitliğın belirlenmesi

K_{Kurşun}: Kurşun çekirdeğın izolatöre sağladığı rijitlik

K_{kauçuk}: Kauçuk kısmının izolatöre sağladığı rijitlik

K_U: Başlangıç rijitlik

K_V: İzolatörün düşey rijitliğının belirlenmesi

N_a: Aktif fay yakınlık faktörü

Q_D: Karakteristik dayanım

T_n: Doğal titreşim periyodu

W_D: Her çevrimde sönümlenen enerji miktarı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Deprem ve beraberinde oluşan can ve mal kayıpları insanları bu doğa felaketi üzerinde düşünmeye ve bu felaketin azaltmak için çalışmaya sevk etmiştir. Depremi önceden belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar henüz daha depremin olacağı anın bilmesine imkân tanımamakla birlikte, fakat yapı mühendisliğindeki gelişmeler bu felaketin etkilerini azaltacak yapı tasarımları yapmaya imkân tanımaktadır. Böylece mühendisler depreme dayanıklı yapı tasarlamaya başlamışlar ve bu konuda önemli gelişmeler sağlamışlardır.

Bu çalışmanın amacı; farklı kat adedi ve açıklıktan oluşan yüksek sönümlü kauçuk izolotörlü çerçeve, geleneksel çerçeve sistem, farklı olarak düzenlenen eğik elemanlarla güçlendirilmiş çerçeve sistem ve betonarme perdelerle rijitleştirilmiş çerçeve sistem yapıların depreme karşı lineer davranışlarının karşılaştırılması olarak incelemesi olduğundan bu bölümde, depreme dayanıklı yapı kavramı ve sismik izolasyon sistemler ile ilgili bilgi verilmiştir.

1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Kavramı

Şiddetli depremlerin seyrek olması ve de betonarme yapıların enerji tüketme kapasitelerinin (sünekliklerinin) istenilen biçimde düzenlenebileceği yaklaşımdan yola çıkarak depreme dayanıklı yapı kavramı geliştirilmiştir. Depremler, yapıda zamana bağlı olarak değişen iç kuvvetler oluşturur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç, sözü edilen bu iç kuvvetlerin etkisinde ortaya çıkması olası hasarın sınırlandırılmasıdır.

Ülkemizde ve daha birçok ülkenin deprem yönetmenliği, şiddetli depremler altında yapının elastik kalamayacağı varsayımına göre hazırlanmıştır. Yönetmenliklerin bu konudaki temel felsefesi aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

- Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi.
- Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması.
- Şiddetli depremlerde can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi. (TDY 2018)

1.3. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Genel İlkeler

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel ilkeler bu tezde kısaca açıklanmıştır, genellikle yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli süneklik olarak belirtilmektedir. Bunlara ilave olarak, betonarme yapıların davranışlarıyla ilgili olarak kullanılan yeterli kararlılık (duraylılık, stabilite), yeterli sönüm ve yeterli uyum (adaptasyon) ilkeleri de dikkate alınmalıdır.

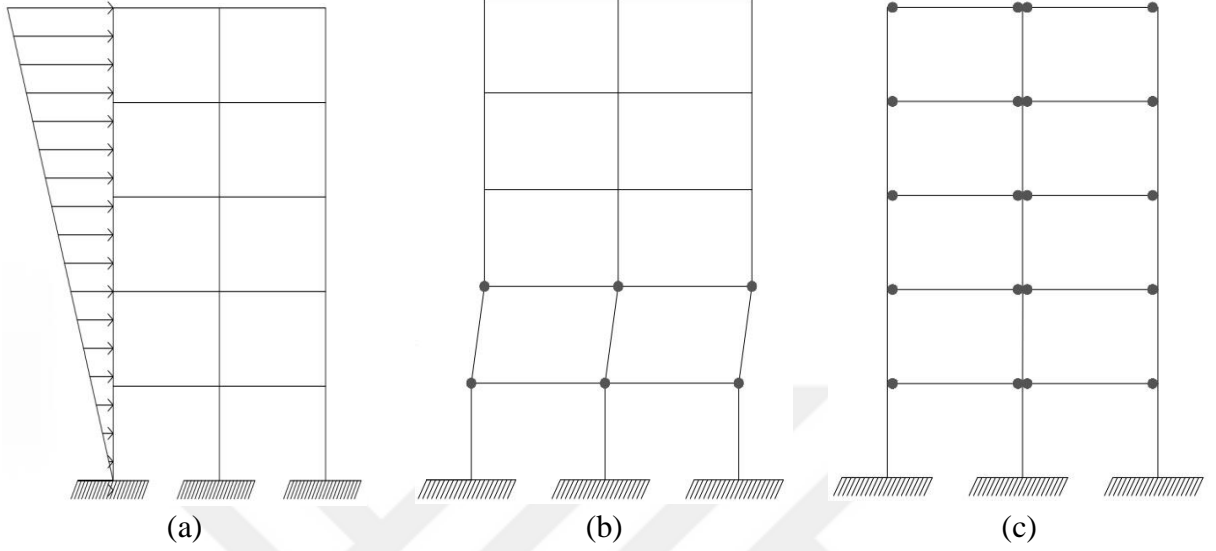
Yapı dış yüklerin ya da rötre, sünme ve mesnet çökmesi gibi yük etkilerinin etkisinde kaldığı zaman, bunlardan herhangi biri davranışı belirleyen en önemli parametre olabilmektedir. Dolayısıyla bu etkilerden birinin karşılanmasında sorun çıkarsa, diğerleri karşılanırsa bile, yapı hasar görmekten ya da yıkılmaktan kurtulamayacaktır (Doğangün, 2013).

1.3.1. Yeterli Dayanım

Yeterli dayanımın amacı, öncelikle taşıyıcı sistem elemanlarının, kendilerine etkiyen yük ya da yük etkileri nedeniyle oluşan kesit etkilerini kırılmadan (taşımaya gücü aşılmadan) taşıyabilmektir.

Taşıyıcı sistem elemanlarının, yükler etkisinde kesme kırılması ve eksenel yük altında ezilme gibi gevrek bir şekilde kırılmasını önlemek ve taşıma kapasitelerine sünek bir davranışla ulaşmalarını sağlamak amacıyla kapasite tasarım ilkesi benimsenmiştir. Bu ilke doğrultusunda Deprem Yönetmeliğinde getirilen koşullardan biri, kısaca kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuluudur. Kirişlerdeki normal kuvvetin, kolonlardaki normal kuvvete göre çok daha küçük olması nedeniyle, kirişler daha sünek davranış göstermektedir. Durum böyle olunca, kolonları kirişlerden daha güçlü yaparak plastik mafsalların kolonlar

yerine (Şekil 1.1b), kirişlerde (Şekil 1.1c) oluşmasını sağlamak gerekmektedir. (Doğangün, 2013)

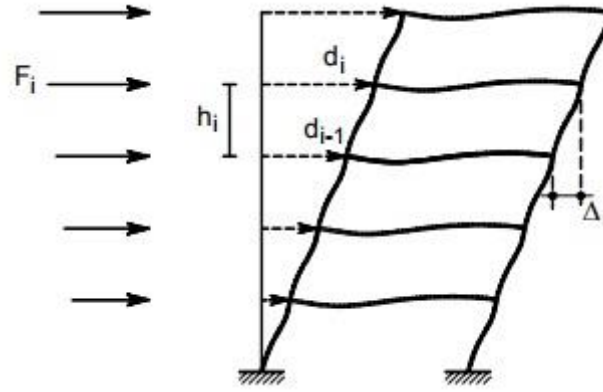


Şekil 1.1. Çerçeve sistem yapılarındaki mafsallaşma örnekleri

1.3.2. Yeterli Rijitlik

Yapı için yeterli rijitlik, ikinci mertebeli momentlerini mümkün olduğunca küçültmek, sıkça oluşan depremlerde yani kullanılabilirlik sınır durumuna karşı gelen depremlerde yapısal olmayan hasarları azaltmak, aletlerin çalışmalarına engel olacak ve insanları rahatsız edecek deformasyonları önlemek için gereklidir.

Yatay yükler etkisinde yapı rijitliğinin en önemli ölçütü, bir katın alt kata göre yapmış olduğu görece ötelenme (Şekil 1.2) miktarıdır. Deprem yönetmeliğinde yapı rijitliği için, iki farklı koşul getirilmektedir, birincisi, iki kat arasındaki yer değiştirme farkı için getirilmektedir, İkinci koşul ise sadece bir kat için değil, komşu iki katın ortalama görece kat ötelenmelerinin oranı için getirilmektedir (Özdemir, Işık ve Ülker, 2016).



Şekil 1.2. Görelî kat ötemeler

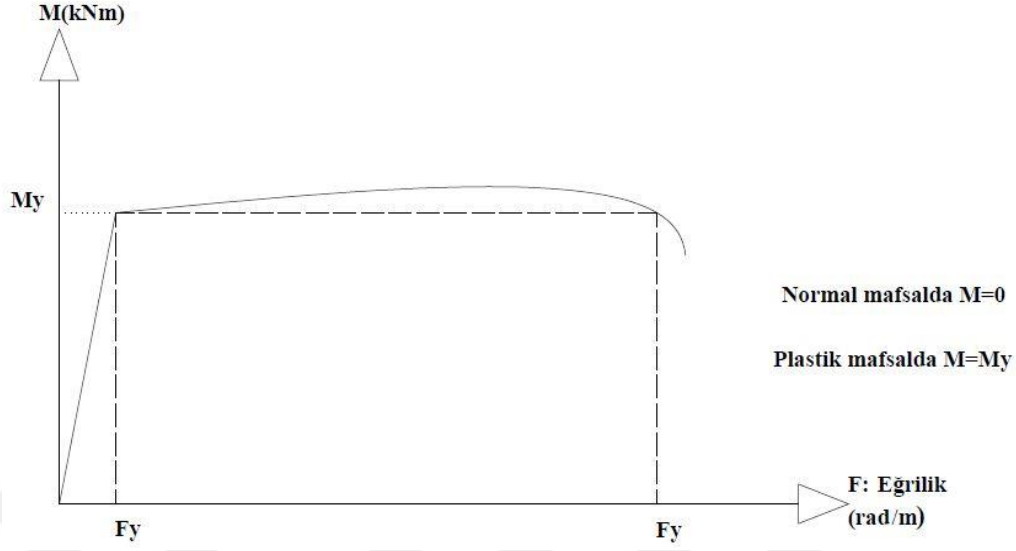
1.3.3. Yeterli Süneklik

Büyük depremlerde yapıda çatlak bile oluşması istenmiyorsa, yapının elastik yük taşıma gücü büyük olmalıdır. Diğer bir deyişle, enerjinin tamamı plastik aşamaya geçmeden, elastik aşamada tüketilmelidir. Ancak bu durum gerçekleştirilmesi için kesitlerin aşırı büyük seçilmesi gerekmektedir. Bu durumda ise maliyet artacaktır. Yapım maliyetinin azaltmak ve enerjinin bir kısmının plastik aşamada tüketmek amaçlanırsa, yapının sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanması gerekmektedir (Canbay, 2008).

Süneklik bir eleman herhangi bir dış yük etkisinde, yer değiştirebilme yeteneğidir. Ancak bu yer değiştirme öyle bir yapmalıdır ki, eleman ya da sistemin yük taşıma kabiliyeti de yok olmamalıdır. Aksi takdirde sistem ya da eleman büyük hasar görür göçme moduna gelir.

Enerjinin çoğunu yapıda oluşacak plastik mafsallarda tüketilmektedir. Plastik mafsallarda kesitte yük artmadığı halde Şekil değiştirmelerin devam etmesi olarak tanımlanabilir (Şekil 1.3.). Kırılmayı ortaya çıkacak olan bu önemli kesit deformasyonları sırasında enerji o kadar fazla başka amaca çevirilerek kullanılmış olur ki, kesit tam kırılma konumuna varmadan enerjinin tümüne yakını tüketilmiş olmaktadır. Böylece bir durumda yapının depremi yıkılmadan atlatma olasılığı artmaktadır (Doğangün, 2013).

Süneklik sayesinde yüklemenin aşırı artmasından dolayı akmaya ulaşan kesitlerde plastik Şekil değiştirmelerle enerji tüketirken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlerle dağılması sağlanmaktadır. Ayrıca süneklik izin verilen hasarla orantılı olduğundan dolayı iyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi, kontrollü hasarlarla, göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olacaktır (Celep ve Kumbasar, 2000).



Şekil 1.3. Betonarme yapılarda plastik mafsalsal

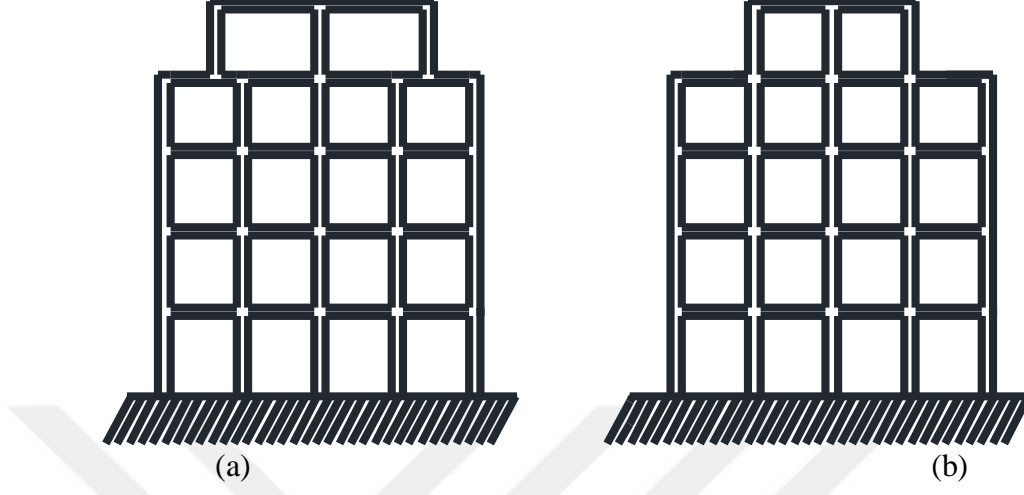
1.3.4. Yapıda Düzgünlük ve Süreklilik

Taşıyıcı sistemde plan ve düşey doğrultuda bulunan elemanların düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi önemli olmakta, kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önlenmektedir. Düşey taşıyıcı elemanların temelden yapı üst kotonu kadar sürekli olmasına özen gösterilmeli ve olabildiğince dış merkez mesnetlerden kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistemde sürekliliğin sağlanması ile elemanların birbirine yardım etmesi sağlanırken, elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitesi artırılmış olmaktadır. Ayrıca ortaya çıkacak plastik mafsalların sayısı yapının enerji yutma kapasitesini artırmış olacaktır (Şekil 1.4 ve 1.5) (Celep ve Kumbasar, 2000).

Düşey yönde düzenli bir çerçeve sistemin ilk koşulu bütün düşey taşıyıcıların yapı yüksekliği boyunca sürekli olmasıdır. Alt ve üst katlardaki kolonların enkesit boyutlarından kısa ve uzun olanların aynı doğrultuda olmamaları da katlar arasında dışmerkez etkiler ve burulma oluşturabilmektedir (Bayülke, 1998).

UYGUN DEĞİL

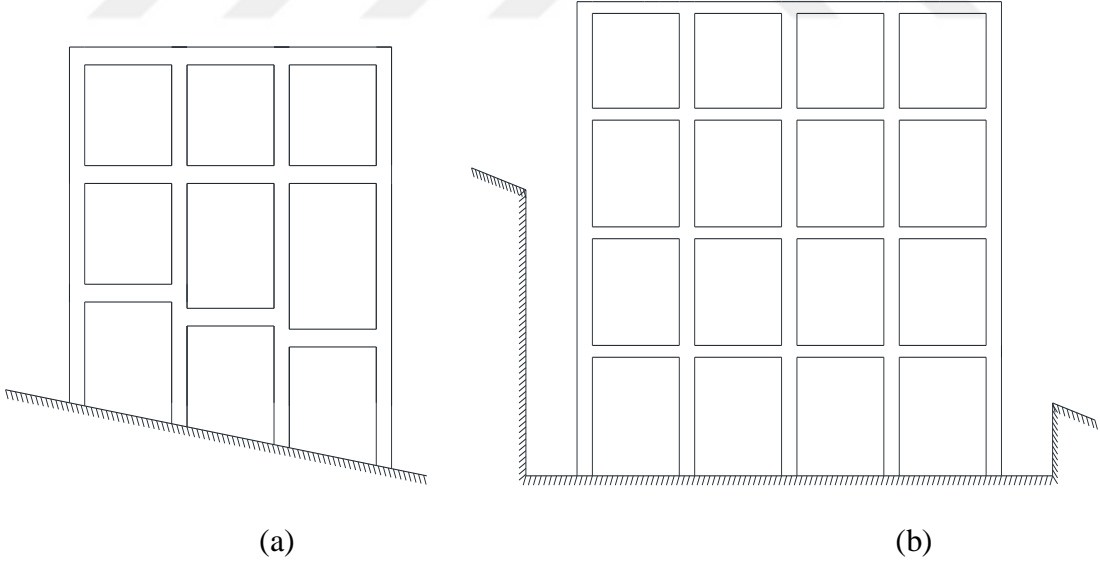
UYGUN



Şekil 1.4. (a) Kirişe oturan kolonlar ve (b) sürekli düşey taşıyıcılar

UYGUN DEĞİL

UYGUN



Şekil 1.5. (a) Kiriş sürekliliğinde belirsizlik ve (b) iyi çerçeve düzeni

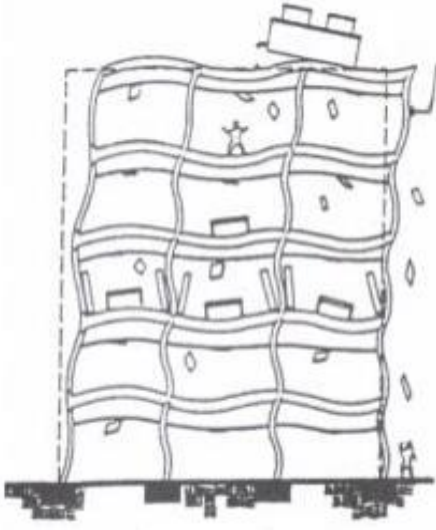
1.4. Sismik Taban Yalıtımının Kavramı

Son yıllarda meydana gelen depremlerin öğrettiği şeylerden biri de düşünülmesi gereken tek konunun can kayıplarının engellenmesi olmayışıdır. Geleneksel tasarım yöntemi, hasarlı binaların onarımı düşünüldüğünde çok maliyetli sonuçlar doğurabilmektedir. Deprem sonrasında fonksiyonelliğini devam ettirmesi gereken hayatı önemli yapılar ile, tehlike arz edecek veya maddi, manevi, tarihi değeri büyük yapıların da korunması çok önemlidir. Deprem sonrası yaşanan sosyal ve psikolojik travmalar da düşünüldüğünde yeni ve alternatif bir depreme dayanıklı tasarım anlayışına ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmaktadır (Komodromos, 2000).

Sismik İzolasyonun uygulandığı binalarda, bina, büyük depremlerde rijit bir kutu gibi hareket edeceğinden (Şekil 1.6 b) binadaki kullanıcılar ve eşyalar güvende kalır, binadaki faaliyetler deprem esnasında ve deprem sonrasında kesinti olmadan devam eder. Aynı zamanda sismik izolasyonun binaya sağladığı rijitlikten dolayı katlardaki kolon ve kiriş boyutları küçülür, betonarme perdelerin gerekliliği önemli derecede azalır. Bahsedilen bu özelliklerden ötürü sismik izolasyon sistemlerini uygulamak, mühendisin düşük maliyetli yapı sistemleri kullanarak orta ve büyük şiddetli depremlerde hem binanın taşıyıcı sisteminde hem de bina içindeki eşyalarda meydana gelebilecek hasarları ve yukarıda da açıklandığı üzere sosyal, psikolojik, ekonomik vb. sorunların sınırlandırılmasını sağlar (Türker, 2005).

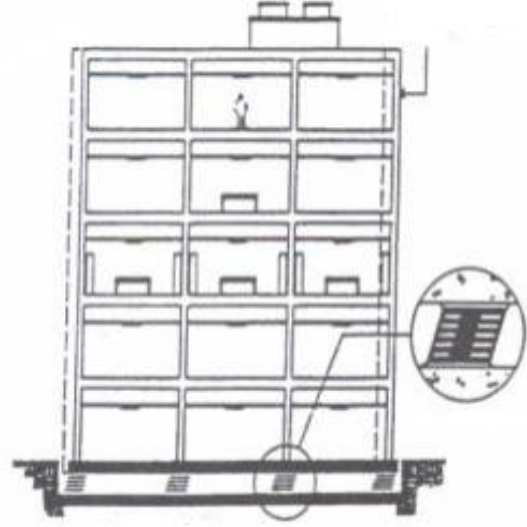
Aşağıdaki Şekilde (Şekil 1.6) açık bir şekilde ankastre mesnetle bağlı bir yapı ile taban izolasyonlu yapı arasındaki hasar farkı görülmektedir.

Zemin ankastre mesnetli



(a)

Taban izolasyonlu



(b)

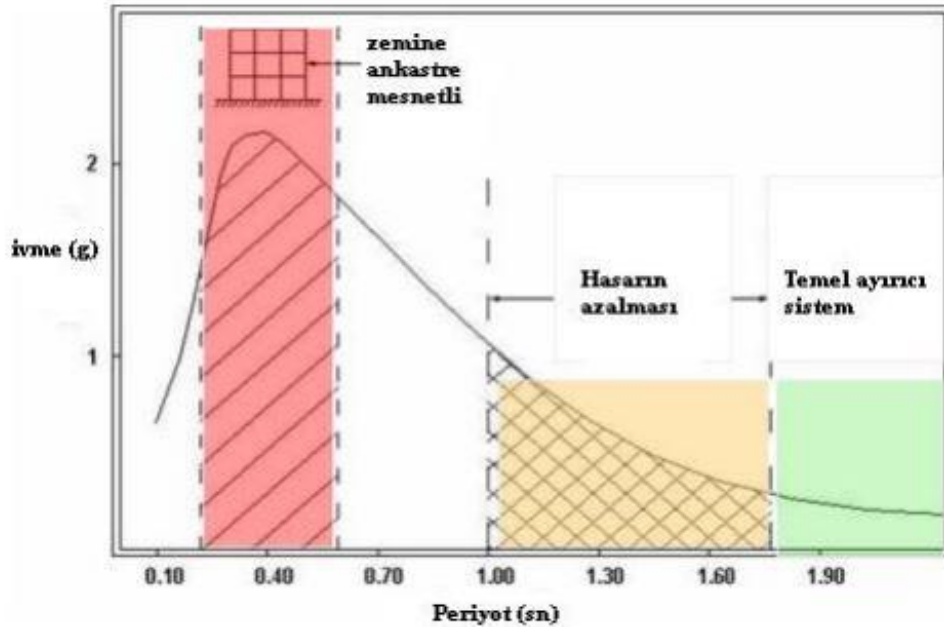
Şekil 1.6. (a) Göreli kat ötelemeler büyük olduğundan önemli derecede hasar
(b) Sismik izolatör kullanıldığında hasar oluşmuyor

Depremi hasar yaratabilecek etkilerinden binayı korumak amacıyla onu zemin hareketlerinden yalıtılabilecek bir tür mesnet kullanmak ilgi çekici bir kavramdır ve bu alanda çeşitli düzenekler önerilmiştir. İlk öneriler yaklaşık 100 yıl kadar önce gündeme getirilmiş olsa da sismik taban yalıtımının depreme dayanıklı tasarım kapsamında uygulanabilir bir seçenek haline gelmesi ancak yakın dönemde gerçekleşebilmiştir. Bu bölümde, sismik taban yalıtımı üzerine oturulmuş binaların dinamiği kısıtlı bir kapsamda ele alınacak, taban yalıtımının neden ve hangi koşullarda binalarda deprem nedeniyle oluşan iç kuvvetleri azalttığı üzerinde yoğunlaşacaktır. Sismik taban yalıtımı günümüzde üzerinde çalışmakta ve halen genişleyen bir konu olmakla birlikte, yalıtım sistemlerindeki donanımların mekaniği ve deneysel incelemeleri, doğrusal dışı dinamik çözümleme, sarsma masası deneyleri, tasarım projeleri, saha uygulamaları ve saha performansı gibi çeşitli yönleri hakkında önemli sayıda kaynak mevcuttur.

Gelişen teknoloji ile birlikte yapıyı zemin etkilerinden izole etmek amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerden özellikle son yıllarda gelişen sismik izolasyon yöntemi ön plana çıkmaktadır. Sismik izolasyon yönteminin amacı; bütün deplasmanların temel ile üst yapı arasında meydana gelmesini ve soğurucu elemanın mümkün olduğu kadar deprem enerjisini soğurmasını sağlamaktır. Bu şekilde yapının dinamik özellikleri

değiştirilerek depremde yapıya gelecek yatay yükün azaltılması sağlanmaya çalışılır. Deprem sırasında yapının frekansının ile zeminin frekansının birbirine yakın olması durumunda yapı rezonansa geleceğinden deprem hasarı beklenenden çok daha büyük olmaktadır. Genel olarak “uzun periyotlu yapıların kısa periyotlu zeminler üzerine, kısa periyotlu yapıların da uzun periyotlu zeminler üzerine yapılması” depreme dayanıklı yapı yapmanın önemli bir aşamasını oluşturur (Kan vd., 2017).

Aşağıdaki grafikte sismik izolasyon sistemi uygulayarak periyot değerindeki artışın etkisi verilmektedir. Görüldüğü üzere periyot arttıkça ivme ve dolayısıyla hasar da azalmaktadır.



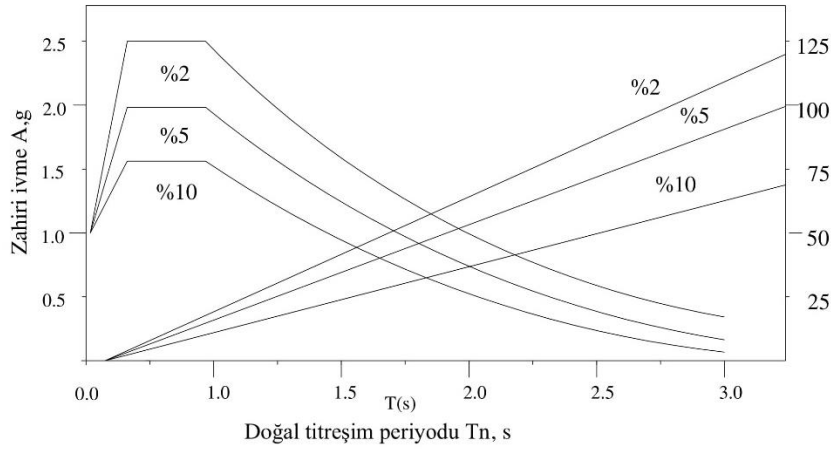
Şekil 1.7. Yapının doğal periyot etkisi (Hoşbaş, 2016)

1.5. Yalıtım Sistemlerinin Çeşitleri

Ayrıntılarda oldukça farklı olsalar bile sismik taban yalıtım teknikleri genelde birtakım ortak noktaları bulunur ve iki esas yaklaşıma dayanır. Bunlardan birincisinde, yalıtım sistemi, üst yapı ile temel arasında düşük rijitlikli bir katman yerleştirir. Bu yalıtım katmanı ile birlikte yapının doğal periyodu uzar ve zemine mesnetlenmiş yapınkinden oldukça büyük hale gelir. Şekil 1.8’de görülen elastik tasarım spektrumundan anlaşılacağı gibi, periyottaki bu uzama, yapıda oluşacak zahiri-ivmede ve dolayısıyla da iç kuvvetlerde

azalmaya yol açabilir, ancak birleşik sistemdeki Şekildeğişimi artır; öte yandan bu Şekildeğişimi yalıtım sisteminde yoğunlaşır ve yapının kendisinde küçük kalır. Bu tür bir yalıtım sistemi, doğrusal ve sönümsüz yapılar için bile etkilidir. Bununla birlikte sönüm, yapıdaki iç kuvvetleri ve yalıtım sistemdeki şekildeğişimini daha da azaltmakta yarar sağlayacaktır.

Tezimizde, dünyada en çok uygulama örnekleri mevcut olan Kurşun çekirdekli kauçuk izolator ve sürtünmeli sarkaç izolator sistemlerden bahsedilecek. Analiz aşamasında ise Kurşun çekirdekli kauçuk izolator kullanılacaktır.

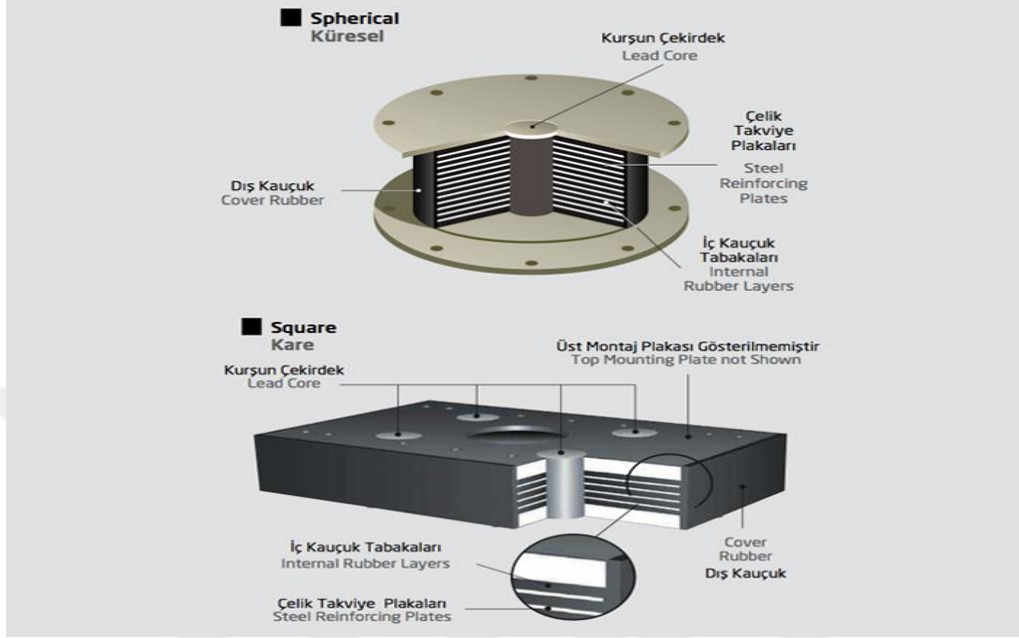


Şekil 1.8. Elastik tasarım spektrumu

1.5.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolator Sistemi

Kurşun çekirdekli kauçuk izolator 1975 yılında Yeni Zelanda'da icat edilmiştir ve yaygın olarak Yeni Zelanda'da, Japonya'da ve Amerika Birleşik Devletler 'de kullanılmaya başlamıştır. Son zamanlarda Türkiye'de birçok kez uygulanan bir sistemdir. Kauçuk izolator ince kauçuk katmanlardan oluşuyor, bu katmanların düşey yükler altında yanal şişirmesini engellenmek ve üst yapının ağırlığının taşınması için düşey rijitliğini artırmak gerekir, bunun için her katmanın arasında çelik levhalar konulur. Düşey yüklere karşı etkili bu çelik plaklar yatay hareketine neredeyse hiç etkisi yoktur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerde normal kauçuk izolatorlere göre tek farkı bir ya da birkaç kurşun çekirdek mevcut olmasıdır. Kauçuk yastıkların yatay rijitliğini artırmak ve yanal yüklere karşı kayma deformasyonu sınırlamak amacıyla yapılmış bir uygulama. Kauçuk yastığın ortasında Kurşun malzemedan bir

çekirdek ilavesi yapılır. Bunlara da “Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler” denir (Şekil 1.9).
Şekil 1.10 izolatörün deprem sırasında yer değiştirmesini gösteriliyor.



Şekil 1.9. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör sistemi

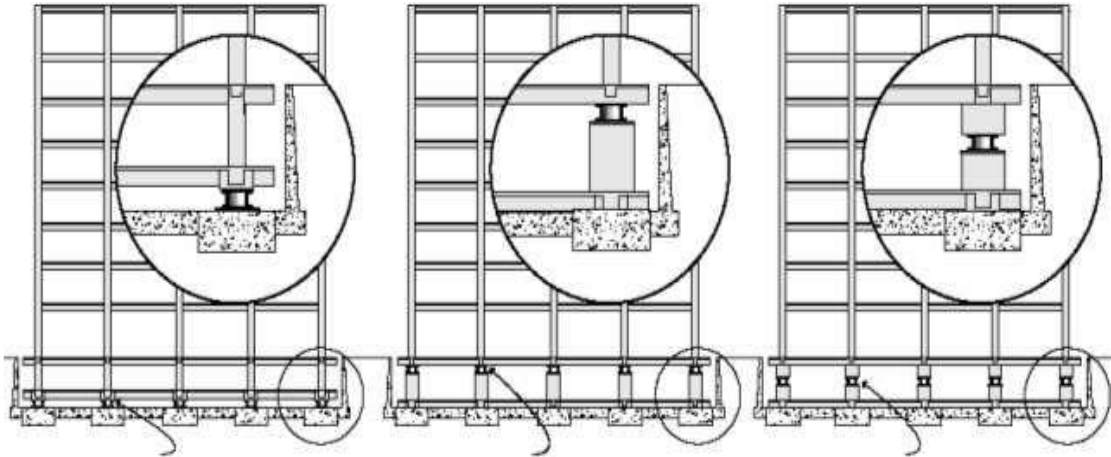


Şekil 1.10. Katmanlı kauçuk mesnette şekil değişimleri

1.5.1.1. Kauçuk İzolatörlerin Uygulanması

Kauçuk izolatörün çalışma prensibi, deprem kuvvetlerini emerek yapının salınım periyodunu uzatmasına dayanmaktadır. Bir yapının doğal periyodu 0.1 ile 1 saniye arasında ise kauçuk izolatörle bu periyod 2-3 saniye kadar uzatılabilmektedir. Periyotta bu uzama Şekil 1.8 de önce de açıklandığı gibi yapıya gelen deprem ivmesini azaltmaktadır ve bundan dolayı da yapıda oluşacak hasar azaltılmış oluyor. Kauçuk esaslı sismik izolatörler üç çeşit yerleştirme yöntemi bulunmaktadır, bunlar sırasıyla Şekil 1.11’de gösterilmiştir. Şekil 1.12’de ve Şekil 1.13’te gerçek yapılarda kauçuk esaslı sismik izolatörün uygulama örnekleri görülmektedir.

- Kolon tabanına
- Kat altında
- Kolon ortasında



(a) Kolon tabanında

(b) Kat altında

(c) Kolon ortasında

Şekil 1.11. Kauçuk izolatörlerinin kolonlarda uygulama yöntemleri



Şekil 1.12. Temel üstünde, kolon ortasında uygulanmış kauçuk sismik izolatör sistemi

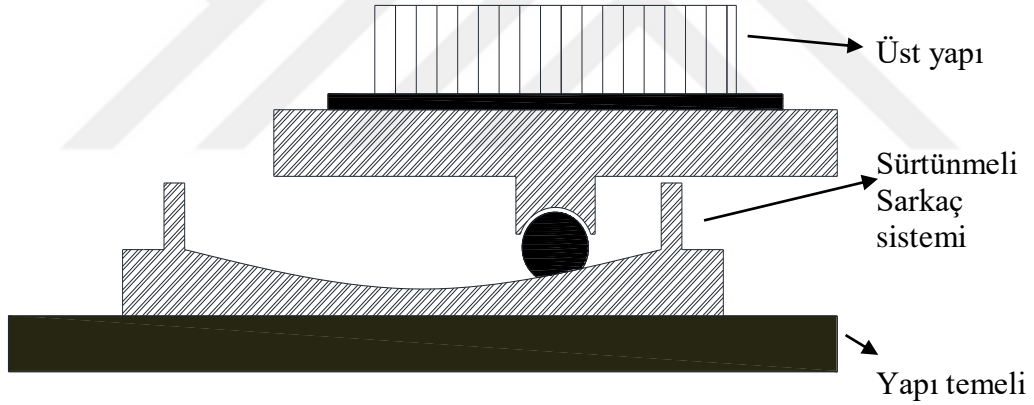


Şekil 1.13. Bir yapının köşe kolonun altına uygulanmış kauçuk esaslı sismik izolatör

1.5.2. Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Sistemi

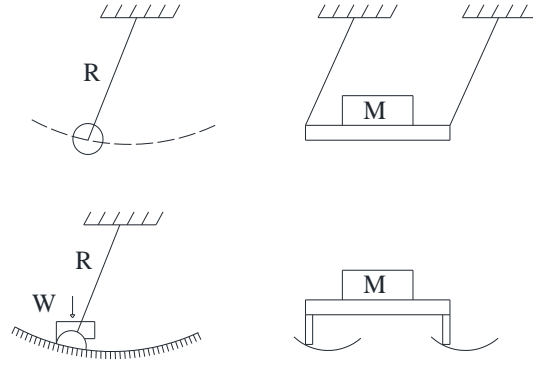
Bu sistem yeni uygulamakta olan bir sistem olup diğer sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. Şekil 1.14'te şematik olarak bu sistemin çalışma prensibi görülmektedir. Görüldüğü gibi Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler yapının taşıyıcı sistemleri arasında yerleştirilerek ve yapının doğal periyodu uzatılarak deprem kuvvetlerinden minimum seviyede etkilenmesini hedeflenmektedir. İzolatöre depremden gelen yatay kuvvetler statik sürtünme kuvvetini aştığı an plakalar arasında yer alan çelik küre konkav şekilde üretilmiş olan alt plakanın üzerinde kaymaya başlar.

Sistemde, yapının taşıdığı yüklerle orantılı olan kayıcı mafsallı ve temas ettiği eğrisel çelik yüzey sistemi oluşturan başlıca elemanlardır. Eğrisel yüzeyle, mafsallı kayıcının arasındaki sürtünme izolatörün sönümünü oluşturur. Bu yöntemde izolatörün rijitliği ve yapının titreşim periyodu sürtünen eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilir.



Şekil 1.14. Sürtünmeli sarkaç izolatörün enkesiti

Özel metaller kullanılarak iç bükey küresel yüzey üzerinde kayabilen mesnet elamanı, bu yatay hareket sırasında binayı yükselten bir özelliği olduğundan gelen enerjiyi sönümler. Böylece deprem etkisi %80 oranında azalır.



Şekil 1.15. Sürtünmeli sarkaç izolatörün çalışma sistemi

1.5.2.1. Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlerin Uygulanması

Deprem yükü etkisi altındaki sürtünme esaslı izolatörlü yapılarda, belirli bir Şekilde yükseltmeler gerçekleşecektir. Yükü çok büyük olan yapı sistemlerinde sarkaç altında olan plakanın yırtılma tehlikesi olacağından, kauçuk izolatör sistemleri tercihi düşünülebilir. Şekil 1.16'da bir çelik yapının yükün daha çok olduğu dış kolonlarının altında kauçuk izolatör kullanılmış fakela yükün daha az olan iç kolonlarda sürtünmeli esaslı izolatörlerin kullanıldığını görüyoruz.



Şekil 1.16. Kauçuk ve sürtünme esaslı izolatörlerin karma sistemi olarak kullanıldığı bir çelik yapı

Şekil 1.17'de Amerika Birleşik Devletlerde San Fransisko eyaletinde bir sürtünmeli sarkaç uygulaması görülmektedir, beklenen 8 şiddetli depreme karşı olarak boyutlandırılmıştır. 267 sürtünmeli sarkaç kullanarak binayı şiddetli yer hareketinden koruyarak, taban kesme kuvveti %70 oranında azaltılmıştır.



Şekil 1.17. Sürtünmeli sarkaç izolatör

Türkiye'de sismik izolasyon sistemlerinin başlangıcı olarak sayılabilir sürtünmeli sarkaç, Atatürk hava alanı dış hatlarda çelik çatıda uygulanması Şekil 1.18'de görülmektedir. Toplam 130 sürtünmeli sarkaç 7 metro kolonlar ile çatı arasında koyulmuştur. Mesnetler olabilecek 8 deprem büyüklüğü olan depremlere karşı güvenli olarak boyutlandırılmıştır.



Şekil 1.18. Atatürk havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı

1.5.3. Sönümleyici Cihazlar

Deprem, sert rüzgârlar, makinelerin, trafiğin ve benzeri nedenlerin binalarda oluşturacağı olumsuz etkilerin kontrolünü sağlamak amacıyla geliştirilmiş sistemdir. Sismik yalıtım sistemlerinde enerji sönümlendirme özelliğinin artırılması amacıyla kullanılan cihazlar, çeliğin plastik deformasyonu sırasında dinamik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürür. (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2011)

Ayrıca sönümlendirici cihazları aktif, yarı aktif ve pasif olarak üç ayrı gruba ayrılmaktadır.

Aktif sönümleme cihazları, yapısal sistemlerin titreşimlerini kontrol edebilen küçük cihazlar olarak ortaya çıkarılmıştır. Aktif sönümleme cihazları aktif kütle sürücülerini, aktif değişken sertlik sistemlerini, aktif tendon kontrol sistemlerini ve aktif darbe kontrol sistemini içerirler. Bu cihazlar, yapıyı kontrol etmek için ortaya çıkan dinamik eylemlere karşı harici kuvvet uygularlar. Yapının ivmelenmesi önemli ölçüde kontrol edilir ve büyük miktarda enerji emilir. Aktif cihazlar pasif cihazlardan daha verimlidir. Böylece Japonya ve Çin gibi yüksek sismik riskli bölgelerde tercih edilir. Örnek olarak Kyoba Shiselwa ve Sendagaya INES binalarında aktif sönümleme cihazları kullanıldı. Bununla birlikte, aktif amortisörler ile ilgili işletme ve bakım maliyeti çok yüksektir.

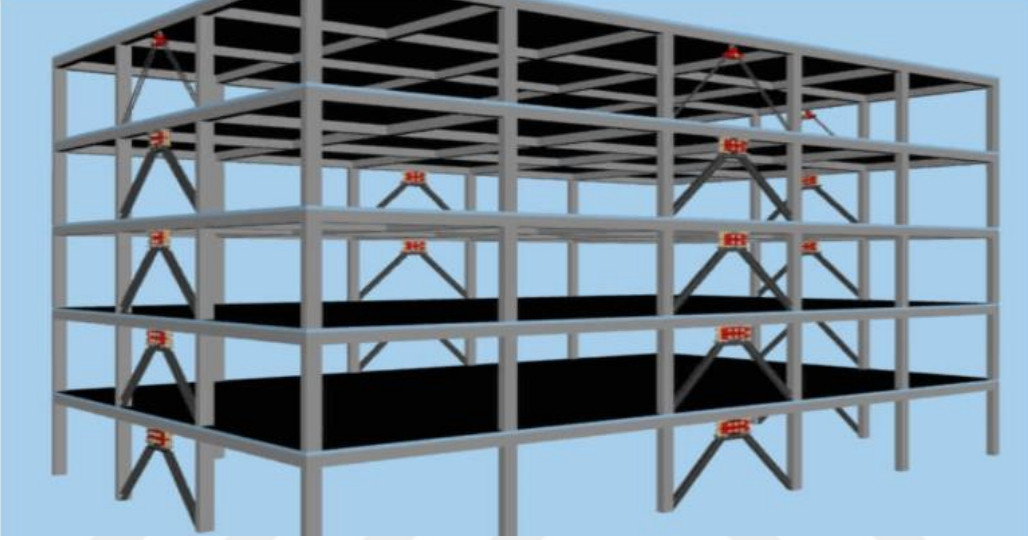
Yarı aktif cihazlar, pasif ve aktif kontrol sistemlerinin en iyi özelliklerini birleştirir. Bunlar, ekonomik olmasından dolayı aktif sönümleme sistemlerinden daha çok tercih edilir. Bu cihazların operasyonel alanları, aktif sistemlerinki ile aynıdır. Elektriksel veya manyetik alana maruz kaldığında, yarı aktif cihazlar akışkanların karakteristiklerini viskoz akışkanlardan yarı katı durumu dönüştürmeyi içerir.

Pasif sönümleme cihazları 1990'ların ortasında geliştirilmeye başlandı. Bunlar yapıların çerçeve sistemindeki sismik enerji sönümleme talebini azaltmak için kullanılır. Bu nedenle, çerçeve sistemin elemanların aldığı hasar azalır. Pasif sönümleme cihazları enerji dönüşüm prensibi ile çalışır. Pasif sönümleme cihazları histerik ve viskoelastik olmak üzere ikiye ayrılır. Histeretik sistemlerde, cihazlar sürtünme kayması ve metal akması yoluyla sönümleme sağlar. Viskoelastik enerji sönümleme sistemleri viskoelastik katı içerir ve viskoelastik akışkanların deformasyonu ile dağılma sağlar. Pasif amortisör cihazları sürtünme damperleri ve viskoz akışkan damperleri olarak iki en yaygın türleridir.

Bu sistemlerin sağladığı avantajları şu şekilde sıralayabiliriz;

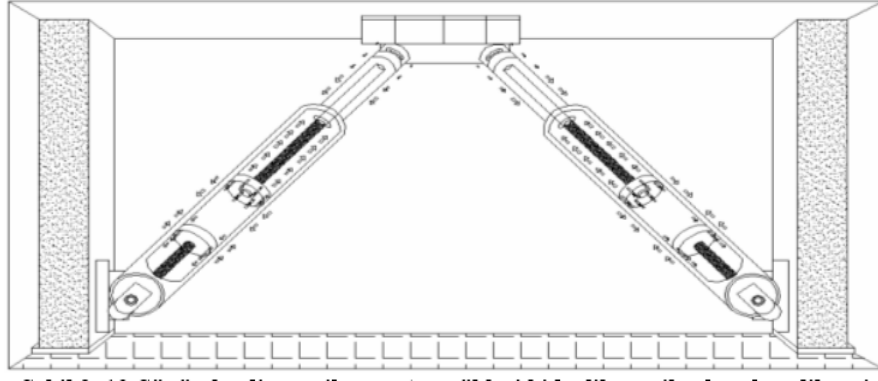
- Yapıların deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerin karşı korunması,

- Yapının sönümlendirme özelliğinin artırılması,
- Sismik yalıtım cihazları ile kullanılarak bu cihazların özelliklerinin geliştirilmesi
- Kolay ve çabuk montaj
- Kurulu olduğu yerde kontrol edilebilme ve yeniden ayarlanabilme imkânı
- Yapılardaki büyük yer değiştirmeleri idare edebilme kapasitesi

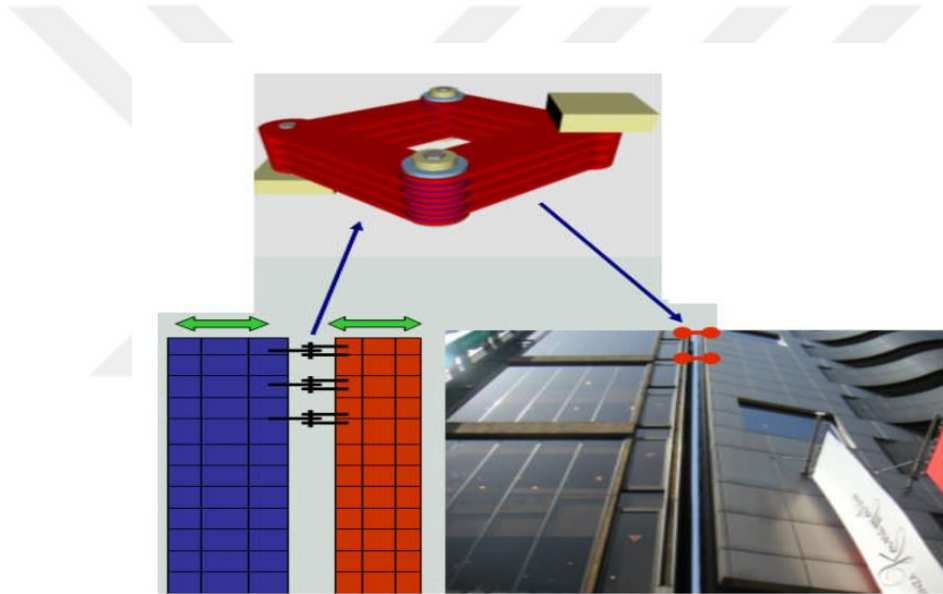


Şekil 1.19. Sönümlenici cihaz örneği

Yapıdaki yatay hareketleri minimuma indirmek ve yatay deprem enerjisini sönümlendirmek amaçlı kullanılan bu sistem, yatay rijitlik sağlaması beklenen akslara (kiriş ortalarına) yerleştirilir (Şekil 1.21). Hidrolik esaslı sıvıların sıkışması prensibine dayanarak çalışan cihazlar yatay yükleri sönümlediklerinden, rijit bağlantılardan daha kullanışlı ve elverişlidir. Şekil 1.22'de oluşabilecek çarpışmaları önlenmesi için iki bina arasında konulmuş sönümlendirici cihaz görülmektedir.



Şekil 1.20. Sönümleyici cihazın yatay yükleri hidrolik sıvı ile absorbe edilmesi



Şekil 1.21. Sönümleyici cihazlarla bitişik iki yapı arasında oluşabilecek çarpışmaları önlenmesi

1.5.4. Sismik İzolatörün Uygulanabilmesi için Yapıda Dikkat Edilmesi Gereken Koşullar

Yapıda bazı sağlanması gereken koşullar bulunmaktadır. Aşağıda en önemli olanlar açıklanmıştır.

- Bilindiği gibi sismik izolatörün maksimum yer değiştirme kapasitesi bulunmaktadır, bu yüzden etrafta bulunan yapılar ile yapılan yapı arasında izolatörün yer değiştirme

kapasitesi kadar boşluk bulunması gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse deprem derzi olmayan bitişik yapılarda, sismik izolatörün kullanması mümkün değildir.

- Yukarda bahsettiğimiz boşluğun üzerini insanlara ve başka her türlü canlılara zarar verilmemesi için kesinlikle kapatılmalıdır.
- Yapının tesisat düğümlenmeleri ayarlanmalıdır. Deprem etkisi sırasında yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan kablolar ve borular örnek elektrik, telefon kabloların ve içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz tarzı boruların düğümlenmelerin parçalanmamaları gerekmektedir. Bu yüzden bunların izolatörün tasarım deplasman kadar esneme özelliğe sahip olmaları gerek.
- Sismik izolatörü, etkin periyodu depremin baskın periyod içerisinde kalan orta yükseklikteki (8-12) katlı yapılar için uyumludur.
- Yapıların yumuşak zemin üzerinde inşa edilmesi yapıların periyodun uzatılması neden olmaktadır bu da yapılar için kötü yönden etkilemektedir. Zemin hareketinin uzun olan yerlerde, yapıların periyotlarının uzatılmasına neden olmaktadır, bu durumda sismik izolatörü kullanarak yapıya gelebilecek deprem yükün artmasına yol açmaktadır.

1.6. Çalışmada Kullanılmış Olan Taşıyıcı Sistemler

1.6.1. Geleneksel Çerçeve Sistemler

Kolonlar, kirişler ve/veya döşemelerin bir döküm olarak inşa edilmesiyle çerçeve adı verilen taşıyıcı sistem ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.23’de çerçeveli sistem bir yapı örneği görülmektedir. Bu sisteme sahip az katlı yapıların maliyetlerinin düşük olmasından ülkemizde en yaygın uygulanan çerçeve sistem olmuştur. Ancak bu sisteme sahip betonarme yapılar özellikle son büyük depremlerde en fazla hasar gören ya da yıkılan sistem şekli olmuştur.

Çerçeve sistem yapılar, deprem etkisinde kaldıkları zaman, yatay yükleri düğüm noktalarındaki elemanların rijitlikleri ile karşılamaktadır. Çerçeve sistem yapılar kolon ve kirişten oluşan sistemler gibi düşünülmesine rağmen, döşemenin bir kısmı kiriş ile birlikte çalışmakta, kolon ve kirişler arasında genellikle bölme duvarlar bulunmaktadır. Bölme duvarlar her ne kadar da taşıyıcı eleman olarak dikkate alınmayıp hesaplarda bunların yatay yük taşıma kapasiteleri ihmal edilse de yapının yatay ötelenmelerinin azaltılması konusunda,

çerçevesi sisteme yardımcı olmaktadır. Diğer taraftan kütle sine ve rijitliğine bağı olarak da yapı periyodunu değıştirmektedir. Dolayısıyla, yapıya depremden dolayı etkiyecek olan yükün büyüklüğünü de değıştirmektedir.

Bu sisteme sahip yapıların depremlerde enerji tüketme güçleri, diğer sistemlere göre azdır. Deprem Yönetmenliğinde bu sistemlerin enerji tüketme güçlerini artırabilmek için kolon ve kiriş boyutlarına, donatılarına ve etkisinde kaldıkları yük etkilerine birçok sınırlama getirilmiştir. Her ne kadar bu koşullara da uyulsa, çerçevesi sistem yapıların deprem bölgelerinde çok katlı olarak inşa edilmemeleri doğrultusundaki görüş, bu konularda çalışan mühendis ve akademisyenler tarafından vurgulanmaktadır. (A. Doğangün)



Şekil 1.22. Geleneksel Çerçeve yapı sistemi

1.6.1. Perde Duvarlı Sistemler

Perde duvarlar (betonarme duvarlar), düşey taşıyıcı elemanlar olup görevleri döşemelerden ve kirişlerden aldıkları yatay ve düşey yükleri zemine aktarmak ve özellikle deprem etkisinde kalan yapıların yatay ötelenmesini sınırlandırmaktır. Perde duvarlı yapıların depremde elastik enerji güçleri, çerçevesi yapıların elastik enerji tüketme güçlerine göre önemli miktarda yüksektir. Plastik enerji tüketme güçleri ise aynı düzeyde yüksek değildir.

Perde duvarlı yapılar, içinde hassas cihazların çalıştığı hastane, telefon santrali ve laboratuvar binası gibi yapılarda, halk ve çevre sağlığı açısından tehlikeli maddelerin

bulunduğu nükleer santral gibi yapılarda, içinde değerli eŐyaların bulunduğu müzelerde ve insanların yoğun olarak bulunduğu okul ve yurt gibi binalarda tercih edilmektedir. Perdeli ereveli taşıyıcı sistem Şekil 2.8’de gösterilmiştir

Perde duvarlarda yatay ötelenmeler yükseklikle artmaktadır. Diğer bir deyişle bu elemanların, düşey konsol kiriŐin elastik eğriyiyle benzer elastik eğriye sahip olduğu söylenebilir. Yükseklikle artsa da ötelenmeler ereve sistemli yapılara göre genellikle de küçük değerlerde kalmaktadır. Perde duvarların, çerçeveli sisteme göre zayıf tarafları ise az katlı yapılarda ilk yapım maliyetinin yüksek olması ve daha az sünekliliğe sahip olmasıdır.



Şekil 1.23. Perdeli ereveli sistem

1.6.2. Eğik Elemanlı ereveli Sistemler

Geleneksel ereveli sisteme eğik elemanlar ilave edildiği zaman, bu sistem eğik elemanlı ereve sistem olarak adlandırılabilir. Bu sistemlere iliŐkin bilgiler literatürümüzde oldukça az olmasına rağmen, ülkemizin hemen her bölgesinin deprem bölgesi olmasından dolayı, bu tür sistemlerden ilerde daha fazla söz edileceği söylenebilir. ereve sistemlerin en zayıf yönü olan ve bu yapıların yıkılmalarına sebep olan rölatif kat ötelenmeleri, çekme ve basınç etkisinde kalan çok farklı düzenlemelerdeki eğik elemanlar sayesinde sınırlandırmaktadır. YerleŐtirilen eğik elemanlar genellikle bileŐik eğilme etkisinde kalmaktadırlar. Ancak, eğilme momentleri merkezi y k yanında küçük kaldığından pratik ihtiyaçlar için bu elemanların merkezi basınç ya da merkezi çekmeye göre boyutlandırılmaları problem yaratmamaktadır.

Rijit ya da mafsallı çerçeve yapılarda yatay yükler eğik elemanlar tarafından karşılanır. Bunlar kolonlarla beraber kafes kiriş gibi davranmaktadır. Binaya gelen yatay yükler (basınç ve çekme) yatay bileşenler tarafından karşılandığı için, eğik elemanlı sistemler, yatay yük altında yüksek dayanım gösterebilmektedir. Betonarme eğik elemanlarda tek diyagonallerin uygulanabildiği gibi çift diyagonaller de uygulanabilmektedir. Bu durumda bu diyagonaller kesme kuvvetlerine karşı basınç elemanları gibi davranmaktadırlar

Eğik elemanlı çerçevesi sistemlerin tasarımına ve yapım detaylarına bağlı olmakla birlikte, perde duvarlı sistemlere göre daha düşük dayanıma sahip olduğu söylenebilir. Ancak, bu sistemler süneklik bakımından perde duvarlı sistemlerden daha üstündür. Şekil 2.9'da inşa edilmiş eğik elemanlara sahip betonarme bir yapı görülmektedir.



Şekil 1.24. Eğik elemanlı Çerçeve sistem

1.7. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Adeli, Hung (1989), yıkıcı depremlerden elde edilen bilgilerin yararlarını en üst düzeye çıkarmak amacıyla, uzman sistem yaklaşımı kullanarak depremde hasar gören

yapıların davranışını ve performansını değerlendirilmesini sunmak için gerçekçi bir yaklaşım önermişlerdir.

Roesset (1997), depreme dayanıklı tasarımın bazı temel prensiplerini gözden geçirdikten sonra genel karakteristiklerini ve dinamik doğalarını irdelemiş ve farklı tür yapıların davranışlarını görmek için gerekli analitik modeller ile lineer ve lineer olmayan çözüm için mevcut analiz yöntemleri dikkate alınmıştır.

Uang ve Bertero (1988), yapıların deprem etkisindeki davranışı için enerji denkleminin belirlenmesini gözden geçirerek fiziksel olarak daha anlamlı olan alternatif bir tanımla karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında bir yapı elemanının enerji yutma kapasitelerinin tekliğini değerlendirmişler ve çelik kirişler, betonarme perdeler, kompozit kirişlerden oluşan üç tür yapı elemanının test sonuçlarını incelemişler ve bu inceleme sonucunda enerji yutma kapasitesinin tek olmadığını ancak yüksek oranda yüklemeye ve yer değiştirme şekline bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kelly (1998), zemin hâkim titreşim frekansları yapı doğal frekansın aralığına düşünce, yapıda ki deprem kuvvetleri oldukça büyük haline ulaşıyorlar, bu durumun olmaması için yapılar daha esnek yapılmalı, fakat geçmiş depremlerde esnek yapılarda yapısal olmayan elemanlarda hasar görülebiliyor. Yapısal olmayan elemanlarda ivmelenmeyi düşüren en etkin yöntem sismik izolasyon olduğunu belirtip Amerika'da çok yaygın olarak kullanılmaya yol açmıştır.

Moroni ve arkadaşları (1998), Şili, Şantiyago şehrinde 1992 yılında bir Kurşun çekirdekli yüksek sönümlü kauçuk izolatörlü 4 katlı yapı ve bir aynı yapı olup ancak ancak ankastre bağlı olarak inşa etmişlerdir. Her iki yapıya ivme ölçen cihazları yerleştirilmiştir ve gözetim sırasında en az 24 deprem kaydı kaydedilmiştir. Elde edilen bilgiye göre Kurşun çekirdekli yüksek sönümlü kauçuk izolatörlü yapıda çatı seviyesinde normal ankastre bağlı yapıya göre oluşan ivme 1 ile 3,5 kat az olduğunu belirtilmiştir.

Chung ve arkadaşları (1999), çalışmasında, çeşitli sismik deprem girişlerine maruz kalan sismik izolasyonlu yapıların sismik performansının değerlendirilmesi için bir dizi sarsma tablosu ve pseudo dinamik testler yapılmıştır. Bu çalışmanın ana hedefleri şunlardır, şiddetli sismik yüklere karşı düşük katlı yapılar için taban izolasyon sistemlerinin etkililiğinin sallanma tablosu testleri ile değerlendirilmesi, sarsma tablası test sonuçları pseudo dinamik test sonuçlarının karşılaştırılması ve temel izolasyon sistemlerinin deprem yanıtlarını tahmin etmek için bir analitik yöntemin geliştirilmesi. Sarsma tabla testinde, lamine kauçuk yataklar ile taban izolasyonlu $\frac{1}{4}$ ölçeğinde üç katlı bir yapı test edilmiştir.

Sarsma tablası test sonuçları ile kıyaslama, alt yapı pseudo dinamik test yönteminin baz izolasyonlu yapının dinamik tepkilerini belirlemede çok etkili olduğunu göstermektedir. Baz izolatör için bilineer histeretik modele sahip analitik yöntemin, temel izolasyon sistemlerinin deprem tepkilerini tahmin etmek için uygun bulunmuştur.

İslam ve arkadaşları (2013), çalışmasında, rüzgârın etkisi deprem etkisine göre daha etkin olmayan optimum yükseklik bulmak amacıyla araştırma yapılmıştır. Onların belirttiklerine göre rüzgârın depreme göre daha kritik olduğu yapılarda sismik izolatörlerin kullanımının avantajları ortadan kayboluyor. Dahası araştırmalarına göre izolatör uygulamadan doğal periyodu uzun olan yapılar için, sismik izolatör uygulaması genel olarak deprem sırasında yapının davranışına çok büyük fark katmamaktadır. Araştırma sırasında ele alınmış farklı konfigürasyonlu 108 hesap modeller sonuçlarına göre 30 – 40 m yüksekliklere kadar sismik izolatör depreme karşı orta riskli bölgelerde yapılması önerilmiştir. Ayrıcı sismik izolatörlerin etkisi ağır yapılarda ve izolatörsüz periyodu 2 sn.den küçük yapılarda çok daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Dimos (2012), çalışmasında sismik izolatörler farklı seviyelerde yerleşmenin etkisi araştırmıştır. Araştırma sonucuna göre sismik izolatörün sadece temel seviyede yerleştirmek bazen yeterli olmayabiliyor. Aynı çalışma Phocas ve Pamboris (2009) tarafından da yapılmıştır.

B. Ordobaev (2013), depremlerin yıkıcılığı azaltmak için dünyada tavsiye edilen yöntemleri ve deprem bölgelerde binaların yeni standartlara uygun prensipler hakkında araştırma yapmıştır.

Xuan BaoNguyen (2018), Bu çalışmada, deprem sırasında yapılarda aşırı titreşimleri azaltmak için bir manyetolojik elastomer (MRE) bazlı izolatör incelenmiştir. Bu araştırmanın temel amacı, MRE'nin viskoelastik davranışlarını ifade eden ve çeşitli teknik uygulamalar için izolatör sistemlerinin gelecekteki tasarımı için MRE bazlı izolatörün için sayısal bir model önermektir. Geleneksel modeller ile kıyasla parametre tanımındaki kolaylığa rağmen, önerilen model geniş bir frekans ve genlik aralığında verimli çalışmaktadır. Model şu bileşenlerden oluşur: MRE'nin viskoelastisitesi, manyetik alan kaynaklı özellik, nominal viskozite ve standart lineer katı model (Zener modeli) ile benzer şekilde modellenen düşük uyarma frekansında yüksek sertlik, sertlik değişken yayı, ve pürüzsüz bir Coulomb sürtünmesi. Ayrıca, yapısal titreşimleri bastırırken izolatörün performansını artırmak için yarı aktif bir kontrol cihazı tasarlanmıştır. Uygulanan akımı belirlemek için kontrol stratejisi oluşturulmuştur. Kontrolör, izolatörün doğrusal olmayan

özelliğini taşımak için tamamen yeterlidir ve bina yapısından bağımsız olarak çalışır. MRE bazlı izolatörün verimliliği, ölçeklendirilmiş yer hareketi ile binanın sismik altındaki tepkileri değerlendirildi. Sayısal ve deneysel sonuçlar, bulanık denetleyiciyle birlikte izolatörün pasif açık ve pasif kapalı durumlarla kıyasla görelî yer değıştirmesini ve mutlak ivmesini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Sağıroğlu (2018), İzolasyonun amacı, aktif ve / veya pasif izolasyon sistemleri kullanılarak yapıdan geçen sismik kuvvetlerin azaltılmasıdır. Pasif izolasyon sistemi olan ve yapı temeli ile yapı arasına yerleştirilen sismik izolatörler bu çalışma boyunca ele alınmıştır. İzolatörler, yatay esnekliğe sahip kauçuk tabakalardan, sertliği artıran çelik tabakalardan ve dikey sertliği artıran Kurşun veya bilyalı çekirdekten oluşur. Sismik izolatörlerin montajı ve bakımı, deprem sırasında yapının tasarımında öngörülen yer değıştirme / kesit kuvvetlerini aşmamak için büyük özen gerektirir. Çalışma boyunca Erzurum Sağlık Kampüsü'nde (hastane) kullanılan sürtünme sarkaç tipi izolatörlerin montaj ve bakım esasları sunulmuştur. Genel uygulamada sismik izolatörler doğrudan betona tutturulurken, soğuk hava koşulları nedeniyle bu uygulamada S355J2 tipi iki çelik plaka arasına yerleştirilirler. Bu durumu değerlendirmek için, çelik levhalı ve levhasız modelleri incelendi ve birbirleriyle karşılaştırıldı. Sonuçlar, çelik plakalı modelin, yüzey boyunca homojen gerilmeyi meydana getirdiğini ve betonarme içerisinde kesitin kontrol deformasyonunu koruduğunu gösterdi.

Barbieri (2018), Sismik dalga kontrolü hem inşaat hem de makine mühendisliği için çok önemlidir. Bir binayı veya bir cihazı izole etmek için yaygın pasif yöntemler arasında taban izolatörleri ve ayarlı kütle sönümleyiciler mevcuttur. Kontrol cihazı şu şekilde çalışır: Sismik hareket etkin olduğunda, hareketli kütlelerin hızı referans hızı olarak izlenir. Böyle bir referans hızı pozitif olduğunda, sertlik azaltılır, negatif olduğunda sertliği artar. Sayısal araştırmalar, kontrolörün, kontrol edilen sistemin doğal frekansına yakın sismik uyarılmayı filtreleyebildiğini ve toplam sismik enerji transferini 5 kata kadar azaltabildiğini göstermektedir. Yerçekiminin aktif titreşim filtrelemede oynadığı rol, yerçekimsiz simülasyonlarda hiçbir filtreleme etkisinin gözlemlenemediğini göstererek belirtilir.

Habieb (2019), Bu çalışmada, küçük bir tarihi duvar kilisesinin sismik performansının, bağlanmış (BFREI) ve bağlanmamış (UFREI) uygulamalarında fiber takviyeli elastomerik izolatörler kullanılarak geliştirilmesi olasılığı araştırılmıştır. İki tip FREI'nin davranışını karakterize etmek için detaylı üç boyutlu (3B) sonlu elemanlar (FE) modelleri kullanılır. FREI'lerin karmaşık izole edilmiş yapıların büyük ölçekli sismik analizleri için 3D davranışını simüle etmek için bir Abaqus Kullanıcı Elemanı (UEL) geliştirilmiştir. Döngüsel

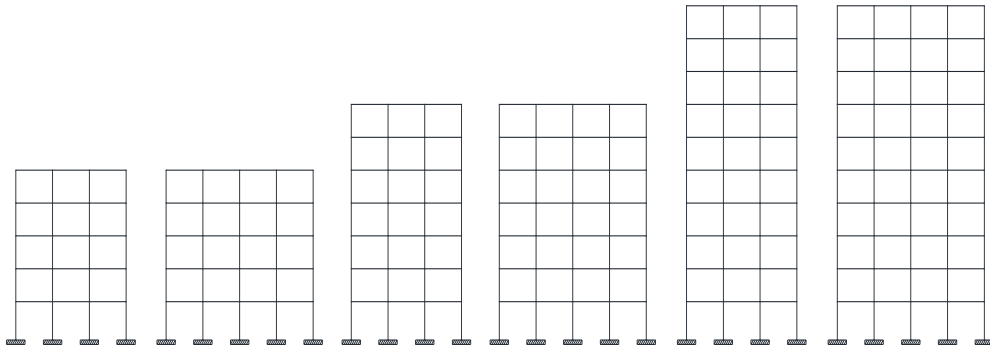
kayma analizlerinin sonuçları, önerilen UEL modelinin detaylı 3D FE modelleri ile elde edilen FREI davranışını doğru bir şekilde tahmin edebileceğini göstermektedir. Hem BFREI'leri hem de UFREI'leri kullanan orijinal ve tabandan izole edilmiş yapılandırmalarda küçük bir tarihi duvar kilisesinin sismik tepkisini araştırmak için bir dizi doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilir. Sayısal sonuçlar, kilisenin sabit temelli modelinin şiddetli ve yaygın hasar gördüğünü gösterirken, UFREI'lerin orta ila yüksek sismik eylemlere maruz kaldıklarında kilisenin hasar seviyesini önemli ölçüde azaltmada etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, her iki izolatör tipinin literatürde bildirilen maksimum yanıl deplasman gereksinimlerini karşıladığı gözlemlenebilir

Pekgökgöz (2017), Dünyanın birçok farklı bölgesinde şiddetli rüzgârlar ve depremler nedeniyle minareler yıkılmakta, buna bağlı olarak can ve mal kayıpları oluşmaktadır. Bu çalışmada yüksek betonarme bir minare ile bu minarenin ayarlı kütle sönümleyicisi (AKS) yerleştirilmiş halinin, Rita kasırgasından elde edilen rüzgâr kuvvetleri, harmonik hareket ve seçilen deprem hareketleri etkisi altında dinamik davranışları araştırılmıştır. Seçilen minare ve ayarlı kütle yerleştirilmiş eşleniği için zaman tanım alanında analizler yapılarak, Rita kasırgası için AKS yerleştirilmiş minaredeki yapısal sönüm artışı, harmonik ve deprem hareketleri için yatay tepe yer değiştirmeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar yüksek minarelere ayarlı kütle sönümleyicisi yerleştirilmesinin Rita kasırgasının oluşturduğu rasgele titreşimlerde minarenin sönümünü yaklaşık olarak 2,4 kat artırarak tepkiyi büyük ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Sonuçlar ayrıca, ayarlı kütle sönümleyicilerin minarelerin hâkim frekansına yakın frekanslardaki harmonik ve harmonik harekete yakın yer hareketlerinde oluşan en büyük genliği azaltmada da çok etkili olduklarını ve bu etkilerinin rezonans frekansından uzaklaştıkça azaldığını göstermiştir.

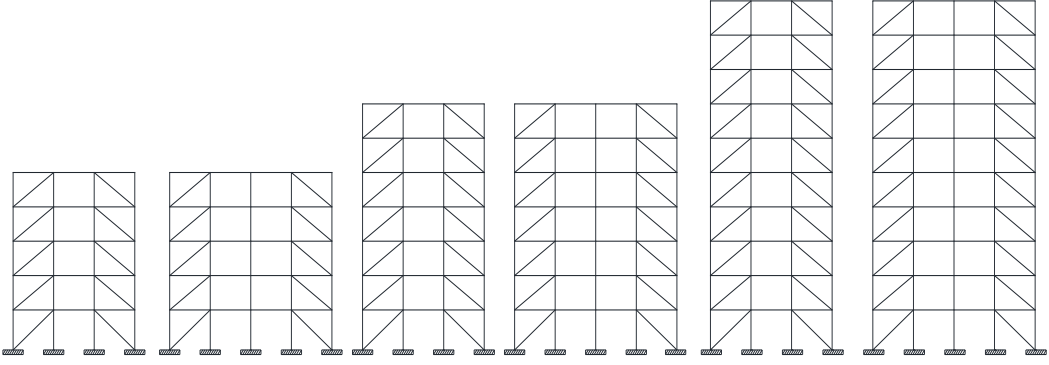
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmanın amacı farklı olarak düzenlenen eğik elemanlar ile rijitleştirilmiş çerçeveler, betonarme perdelerle rijitleştirilmiş çerçeveler ve geleneksel çerçeveler, sismik taban izolasyon uygulanmış çerçevelerle karşılaştırmalı olarak incelenmesidir.

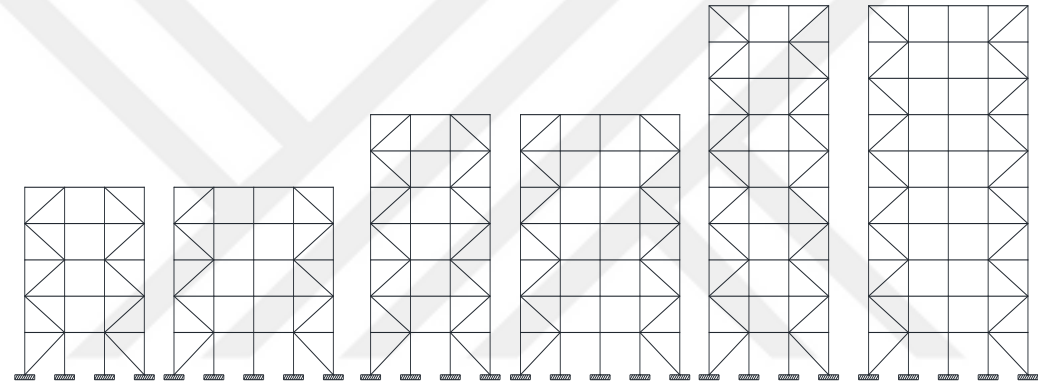
Bu çalışmada, biri geleneksel çerçeve sistem (Şekil 2.1), biri farklı şekilde düzenlenen rijitleştirici eğik elemanlı çerçeve sistemler (Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4), biri betonarme perde duvarların kullanılmasıyla oluşturulmuş çerçeve sistemler (Şekil 2.5) Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör sistemi uygulanmış çerçeve sistemler (Şekil 2.6) ve (Şekil 2.7) olmak üzere toplam yedi farklı çerçeve sistemin ve bu sistemlerin 4 ve 3 açıklıklısı, 5, 7 ve 10 katlısı kullanılmıştır. Tüm bu çerçevelerdeki kolon, kiriş ve eğik elemanların enkesit boyutları sırasıyla 400 mm * 900 mm, 250 mm * 500 mm ve 300*300 mm olarak kullanılmıştır, perdeli çerçeve sistemde ise perde kalınlığı 25 cm olarak kullanılmıştır, ebatlar ise her çerçevenin zemin kat yüksekliği 3,5 m olmak üzere geri kalan katlar yüksekli 3 m'dir, açıklıklar ise hepsi 4 şer metredir. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör modellenmesi ise bir sonraki alt bölümlerde açıklanmıştır.



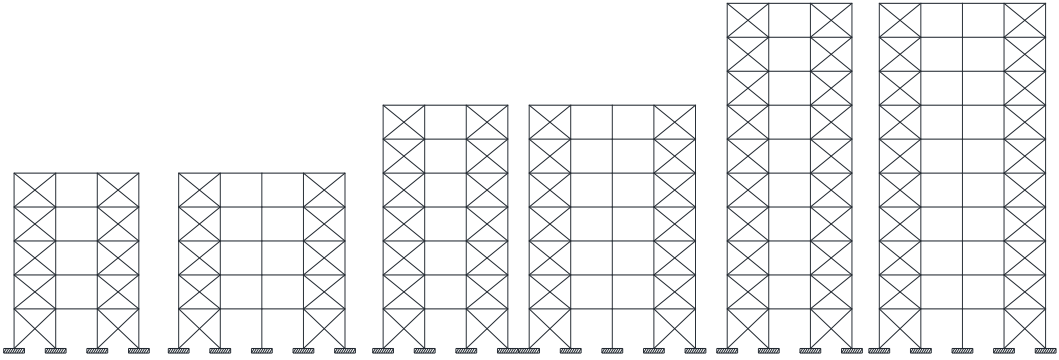
Şekil 2.1. Geleneksel Çerçeve (Çerçeve No 1)



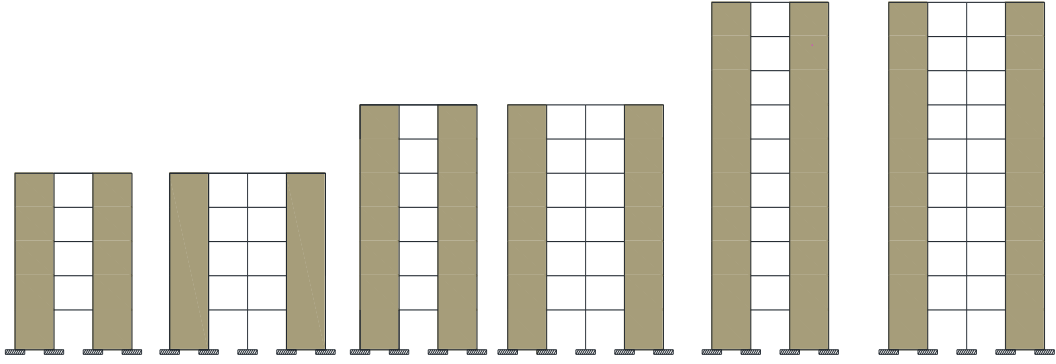
Şekil 2.2. Farklı kat adedi ve açıklıklarla düzenlenmiş eğik elemanlar (Çerçeve No 2)



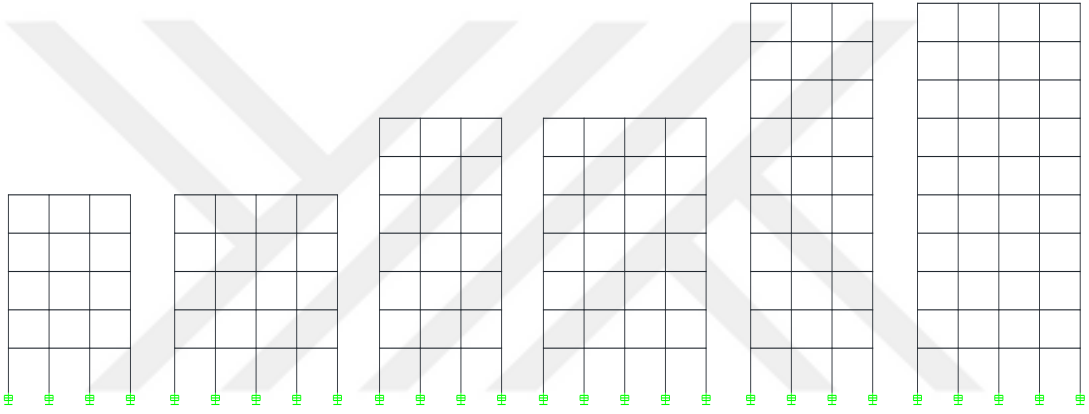
Şekil 2.3. Farklı kat adedi ve açıklıklarla düzenlenmiş eğik elemanlar (Çerçeve No 3)



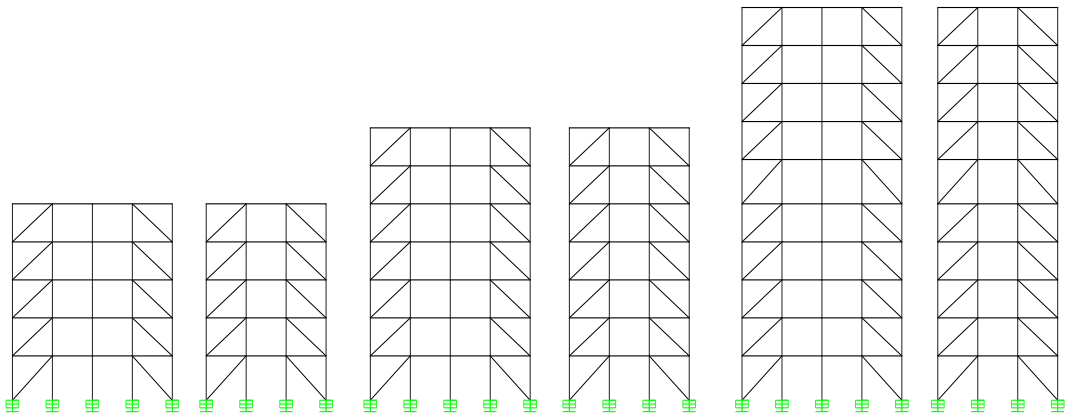
Şekil 2.4. Farklı kat adedi ve açıklıklarla düzenlenmiş eğik elemanlar (Çerçeve No 4)



Şekil 2.5. Betonarme perde ile rijitleştirilmiş Çerçeveler (Çerçeve No 5)



Şekil 2.6. Sismik taban izolatör uygulanmış çerçeve sistemler (Çerçeve No 6)



Şekil 2.7. Sismik taban izolatör uygulanmış çerçeve sistemler (Çerçeve No 7)

2.1. Sismik İzolatörlerin Ön Tasarım Aşamaları

İzolatör tasarımının aşamaların anlatım amacı birçok birbirine bağlı olan parametrelerin tasarım aşamasında rehber olmaktır. Önemli parametreler arasında izolasyon sistemin akma kuvveti (F_y), izolasyon seviyesinde izin verilen maksimum rölatif deplasman (d_m), izolatörlerin yeri ve boyutları, (K_d / K_u) nonlineerlik oranı.

Sismik izolatörün yapı için ne kadar etkili olacağı için fizibilite çalışması yapmak gerekmektedir. Yüksek tehlikesi olan deprem bölgelerde yapının içinde bulunan elemanların korunması ve yapının deprem sonrası ve deprem sırasında kullanımın sınırlanmaması gerektiği durumlarda sismik izolatörlerin kullanmak en uygun ve ekonomik yöntemdir. Fakat sismik izolatörlerin her tür yapı için kullanmak uygun değildir ve etki derecesi üstyapının karakteristiklerine bağlıdır. Sismik izolatörler küçük ve orta yükseklikteki binalar, köprüler ve nükleer reaktör gibi rijit yapılar için uygun iken, fazla yüksek ve esnek yapılar için uygun değildir. Zemin karakteristikleri deprem etkisinin frekansı yaklaşık şekilde verir ve sismik izolasyon uygulamanın ne kadar efektif olacağı tahmin edilebilir. Zemin ne kadar sertse, sismik izolasyon o kadar etkili olur. Deprem sırasında 10 ile 30 cm arasındaki yer değiştirmeler olacağını tahmin edildiğinde komşu yapıların uzaklığı dikkat almak unutulmamalıdır.

2.1.1. Zemin İvmesi

Deprem yükün ne kadar büyüklükte olacağı çok önemlidir. Sismik girdi iki farklı türde olabilir. İlki, yapının kullanım boyunca tek veya iki defa karşılaşılabileceği tasarım depremi, ikincisi ise geçmiş kayıtları baz alınarak olması beklenen en şiddetli depremdir. Tasarım deprem yükleri için yapının hasar görmeden tamamen elastik şekilde davranmalıdır. Maksimum yapı ömrü boyunca oluşabilecek deprem için ise, sınırlı elastik olmayan deformasyona izin verilmiştir. Deprem yükleri, bölgenin sismisitesine, yapının önemine ve zemin koşullarına göre belirlenir.

Ön tasarım aşamasında ilk olarak zeminin maksimum ivmesi belirlemek ve sismik izolasyon seviyesinde beklenen maksimum yer değiştirmesinden yola çıkarak lineer tasarım spektrumu kullanmak uygundur. Zeminin maksimum ivmesi ve merkez üssüne olan uzaklık belirlemek için bölgede geçmişte oluşan deprem kayıtları kullanarak yapılabilir. Ayrıca

yönetmenliklerimizde belirtilen yöntemleri de kullanarak maksimum zemin ivmesini belirlenebilir.

2.1.2. Üst Yapı Tasarımı

Üst yapı izolasyon sisteminden bağımsız bir şekilde tasarlanmalıdır. Üst yapının rijit olması önemlidir, ne kadar fazla rijit olursa o kadar sismik izolatörün etkisi büyük olur. Sisteme verilen esneklik sayesinde yapının periyodunda uzama meydana gelir. Bu sebepten dolayı yapının rijit hareketinden üst yapıdaki deformasyonlar azalır. Kütlelerin ivmeleri sisteme verilen esneklik sayesinde azalır ve rezonans oluşumu önlenir. Bu etkileri göz önüne alındığında mimarı ve ekonomik sınırlar içinde olabildiğince rijit olarak tasarlanmalıdır.

Üst yapıdaki düşey elemanların nereye denk geldiğini geldiğini izolatörlerin nereye nereye yerleştirilebileceğinin potansiyel göstergesidir. Burulma etkisinin engellemek için rijitlik merkezi ile ağırlık merkezleri çakıştırarak engellenmelidir. Bu etkinin tamamen engellemek mümkün değil, bu sebepten etkinin minimize etmek için sismik izolatörleri mümkünce yapının dış taraflara koyarak rijitlik merkezinden uzak kalmayı sağlanmalıdır. Sismik izolatör üzerinde rijit diyafram teşkil edilmelidir, böylece yatay yükler izolatörlere uniform bir şekilde dağılacaktır. Plan üzerindeki sismik izolatörlerin boyutları düşey yükler ile belirlenmelidir. İzolatörlerin yerleri dışarıdan gözlenebilecek ve gerektiğinde değiştirebilecek yerler seçilmelidir.

2.1.3. Sismik İzolatörün Ön Tasarımı

Ön tasarım sırasında yapı tek serbestlik dereceli sistem olarak düşünülebilir. Bu durumda üst yapı sistemin kütlelerini, sismik izolatörün rijitliği ise sistemin rijitliğini ifade etmektedir. Unutmamak gerekir ki, aynı yapı ve izolasyon sistemi için farklı deprem etkileri altında nonlinear dinamik analiz sonuçları farklı çıkabilir. Bu yüzden, sismik yükleme ve sismik izolasyonlu yapı tepkisi belirsizliklerinden dolayı eşdeğer lineer elastik viskoz sönümlü bir model kullanmak yeterli olacaktır. İzolasyon sisteminin dizaynı, yapıya sağlanan izolasyon derecesi ile izolasyon seviyesinde izin verilen maksimum rölatif yer değiştirmenin mutabakatını sağlayacak biçimde yapılmalıdır. Üst yapı Yapı ne derecede izole edilirse o derecede esnek olur, sismik kuvvetler, katlar arası rölatif deplasman ve kat

ivmeleri o derece azalacaktır. Fakat aksi taraftan, rüzgâr gibi ikincil yüklerden dolayı yer değiştirme yükseleceği için yapıda oturanlar için bu tip etkiler sırasında rahatsızlık olacaktır. Dolayısıyla izolasyon seviyesindeki deplasmanı azaltmak için viskoz enerji sönümleyiciler kullanılabilir.

2.1.4. Maksimum Deplasmanın Belirlenmesi

Ön tasarım sırasında izin verilen maksimum deplasman yaklaşık olarak belirlenir. Bu belirleme aşamasında, yapının inşa edilme yeri yapı içerisinde bulunan asansörler, borular, kablolar gibi elemanların durumu değerlendirmelidir. Maksimum deplasmanın azaltılabilmesi sayesinde finansal kazançlar sağlanabilir. Gerekli boşluk azaltması ile dış ekipmanlar ile esnek bağlantılar azalacaktır. Maksimum kayma deformasyonu tedarikçi tarafından veya laboratuvar deneylerle belirlenebilir ve izolatörün seçilen boyutlar için kontrol edilmelidir. Köprüler için izolatörlerde maksimum oluşabilecek kayma deformasyonu, göçme anında deformasyonun %20'si kadardır. Ancak köprülerde kullanılan izolatörler sürekli olarak servis yüklerine maruz kalmaktadırlar. Bunun tersi olarak ise, bir bina türü yapıda ele alınan yükler yapının ömrü boyunca bir veya iki kere karşılaşılabileceği ekstrem sismik olaylardır. Bu sebepten dolayı, deprem yüklemeleri için, izin verilen maksimum kayma deformasyonları, alışılmış yüklemelerde izin verilen deformasyondan daha büyük olmalıdır.

2.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün Modellenmesi

İzolatör modellenmesinde UBC 97'de verilen formüller kullanılmıştır.

Maksimum Deprem İvmesi: $A_0=0.4$ (UBC 97 $Z=0.4$)

Yerel Zemin Sınıfı: ZA (UBC 97'e göre S_a)

Yakın fay etkisi yok olarak kabul edilmiştir (Tablo 2.1 ve 2.2). $N_a=1$, $N_v=1$

Deprem Katsayıların Hesaplanması:

Sismik katsayısı (Tablo 2.3) (C_a)..... $C_a=0.4*N_a$ → $C_a=0.4$

Sismik katsayısı (Tablo 2.4) (C_v)..... $C_v=0.4*N_v$ → $C_v=0.4$

Beklenen Maksimum Depremde Davranış Katsayısı (M_m) $Z*N_v=0.4$ → $M_m=1.25$

$a = M_m * Z * N_a$	0.5
$a' = M_m * Z * N_v$	0.5
Sismik katsayısı (Tablo 2.5) (C_{am}).....	$1.0 * M_m * Z * N_a \rightarrow C_{am} = 0.5$
Sismik katsayısı (Tablo 2.6) (C_{vm}).....	$1.0 * M_m * Z * N_v \rightarrow C_{av} = 0.5$

Tablo 2.1. Aktif fay yakınlık faktörü N_a

Sismik Kaynak Tipi	N_a		
	$\leq 2\text{km}$	5km	$\geq 10\text{km}$
A	1.5	1.2	1
B	1.3	1	1
C	1	1	1

Tablo 2.2. Aktif fay yakınlık faktörü N_v

Sismik Kaynak Tipi	N_v			
	$\leq 2\text{km}$	5km	10km	≥ 15
A	2	1.6	1.2	1
B	1.6	1.2	1	1
C	1	1	1	1

Tablo 2.3. Sismik katsayısı C_{ad}

Zemin Cinsi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	Z=0.0075	Z=0.15	Z=0.20	Z=0.30	Z=0.40
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32 * N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.32 * N_v$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.32 * N_v$
S_D	0.12	0.2	0.28	0.36	$0.32 * N_v$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.32 * N_v$
S_F	Geoteknik araştırmalar gerekmektedir				

Tablo 2.4. Sismik katsayısı C_{vd}

Zemin Cinsi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	Z=0.0075	Z=0.15	Z=0.20	Z=0.30	Z=0.40
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32 \cdot N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.32 \cdot N_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.32 \cdot N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.32 \cdot N_v$
S_F	Geoteknik araştırmalar gerekmektedir				

Tablo 2.5. Sismik Katsayısı C_{am}

Zemi n Cinsi	Sarsıntı Şiddeti $M_m \cdot Z \cdot N_a$				
	$M_m \cdot Z \cdot N_a = 0.00$ 75	$M_m \cdot Z \cdot N_a = 0.$ 15	$M_m \cdot Z \cdot N_a = 0.$ 2	$M_m \cdot Z \cdot N_a =$ 0.3	$M_m \cdot Z \cdot N_a \geq$ 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.8^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$1^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_C	0.9	0.18	0.24	0.33	$1^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$1.1^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.9^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_F	Geoteknik araştırmalar gerekmektedir				

Tablo 2.6. Sismik Katsayısı C_{vm}

Zemi n Cinsi	Sarsıntı Şiddeti $M_m \cdot Z \cdot N_v$				
	$M_m \cdot Z \cdot N_v = 0.00$ 75	$M_m \cdot Z \cdot N_v = 0.$ 15	$M_m \cdot Z \cdot N_v = 0$.2	$M_m \cdot Z \cdot N_v = 0.$ 30	$M_m \cdot Z \cdot N_v \geq$ 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.8^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$1^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$1.4^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$1.6^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$2.4^* M_m \cdot Z \cdot N_a$
S_F	Geoteknik araştırmalar gerekmektedir				

Tablo 2.7. Ankastre çözülmüş çerçevelerde kolonlarda oluşacak maksimum normal kuvvetleri ve yapı doğal periyotları

Ankastre Bağlı Çerçeve	Maksimum Kolon Normal Kuvveti (kN)	Ankastre Bağlı Yapı Doğal Periyodu (sn)
5 katlı, 3 açıklıklı	321.65	0.51
5 katlı, 4 açıklıklı	318.52	0.50
7 katlı, 3 açıklıklı	694.76	0.75
7 katlı, 4 açıklıklı	684.48	0.74
10 katlı, 3 açıklıklı	883.76	1.12
10 katlı, 4 açıklıklı	856.70	1.10

5 katlı, 3 açıklıklı ve 4 açıklıklı çerçeveler için Kurşun çekirdekli kauçuk esaslı sismik izolatörün modellenmesi:

Maksimum kolon normal kuvveti – 321.65 kN

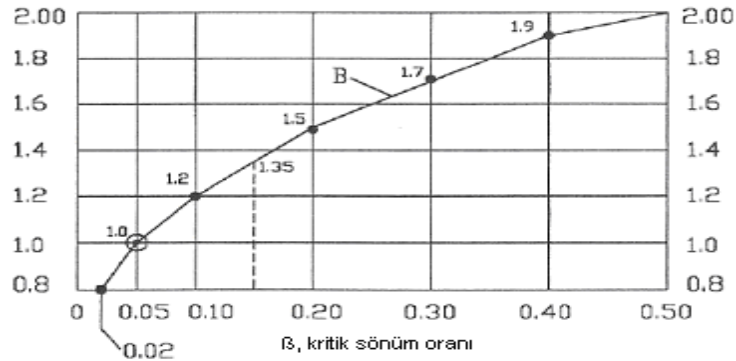
Hedef periyodun belirlenmesi:

$$T_D \geq 3 * T_{\text{ankastre}} = 0.51 * 3 = 1.55 \text{ sn}$$

$T_D = 2$ saniye seçildi

$T_M = 2.5$ saniye seçildi

Sönüm azaltma katsayısı: Kurşun çekirdek sayesinde izolatörde yeterince sönüm mevcuttur, bu durumda sönüm oranı %15 olarak seçildi buna karşılık gelen sönüm azaltma katsayısı B_d ve B_m , 1,35 değerini almaktadır.



Şekil 2.8. Sönüm azaltma katsayısı

İzolatörün yatay yönünde tasarım yer değiştirme:

$$d_d = \frac{g \cdot C_{vd} \cdot T_D}{B_D \cdot 4\pi^4} \quad (1)$$

$$d_d = \frac{9.81 \cdot 0.4 \cdot 2}{1.35 \cdot 4\pi^4} = 0.147 \text{ m}$$

İzolatörün yatay yönünde maksimum yer değiştirme:

$$d_m = \frac{g \cdot C_{vd} \cdot T_M}{B_M \cdot 4\pi^4} \quad (2)$$

$$d_m = \frac{9.81 \cdot 0.4 \cdot 2.5}{1.35 \cdot 4\pi^4} = 0.184 \text{ m}$$

Efektif yatay rijitliğin belirlenmesi:

$$K_H = K_{\text{eff}} = \frac{W}{g} \cdot \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \quad (3)$$

$$K_H = K_{\text{eff}} = \frac{321}{9.81} \cdot \left(\frac{2\pi}{2} \right)^2 = 322.95 \text{ kN/m}$$

Her çevrimde sönmölenen enerji miktarı:

$$W_D = 2\pi \cdot K_{\text{eff}} \cdot d_d^2 \cdot B_{\text{eff}} \quad (4)$$

$$W_D = 2\pi \cdot 322.95 \cdot 0.147^2 \cdot 0.15 = 1.04 \text{ kNm}$$

Karakteristik dayanımın belirlenmesi:

$$Q_d = \frac{W_D}{4 \cdot d_d} \quad (5)$$

$$Q_d = \frac{1.04}{4 \cdot 0.147} = 1.768 \text{ kN}$$

Akma yer değiştirmesinin hesaplanması:

$$K_d = K_{ef} \cdot \frac{Q_d}{d_d} \quad (6)$$

$$K_d = 322.95 \cdot \frac{1.768}{0.147} = 310.92 \text{ kN/m}$$

$$d_y = \frac{Q_d}{9 \cdot K_d} \quad (7)$$

$$d_y = \frac{Q_d}{9 \cdot K_d} = \frac{1.768}{9 \cdot 310.92} = 0.00063 \text{ m}$$

Kurşun çekirdeğin alanı:

$$A_{\text{Kurşun}} = \frac{Q_d}{f_y} \quad (8)$$

$$A_{\text{Kurşun}} = \frac{Q_d}{f_y} = \frac{1768}{11} = 160.72 \text{ mm}^2$$

İzolatörün çapı 32 cm ve Kurşun çekirdek çapı ise 30 mm seçilirse Kurşun çekirdek kesit alanı 314 mm^2 . ($314 \text{ mm}^2 \geq 160.72 \text{ mm}^2$)

Kurşun çekirdeğin alanı değiştiğinde izolatör karakteristik dayanımı tekrar hesaplanmalı:

$$Q_d = A_{pb} \cdot f_y \quad (9)$$

$$Q_d = A_{pb} \cdot f_y = 314 \cdot 11 = 3454 \text{ N} = 3.45 \text{ kN}$$

Kurşun çekirdeğin izolatöre sağladığı rijitlik:

$$K_{\text{kurşun}} = \frac{Q_d}{d_d} \quad (10)$$

$$K_{\text{kurşun}} = \frac{3.45}{0.147} = 23.47 \text{ kN/m}$$

Kauçuk kısmının izolatöre sağladığı rijitlik:

$$K_{\text{kauçuk}}=K_d=K_H-K_{\text{kurşun}} \quad (11)$$

$$K_{\text{kauçuk}}=322.95-23.47=300 \text{ kN/m}$$

Başlangıç rijitlik

$$K_U=10*K_d \quad (12)$$

$$K_U=10*300=3000 \text{ kN/m}$$

Akma yer değiştirmesinin tekrar hesaplanması:

$$d_y = \frac{Q_d}{9*K_d} = \frac{3.45}{9*300} = 0.0012 \text{ m} \quad (13)$$

Kauçuk kapladığı alanın belirlenmesi:

$$A_{\text{kauçuk}} = \frac{\pi*320^2}{4} * 314 = 79717.91 \text{ mm}^2$$

Kauçuğun gerekli kalınlığının belirlenmesi:

G – Kauçuğun kayma modülü

$$t_r = \frac{G*A_{\text{kauçuk}}}{K_{\text{kauçuk}}} \quad (14)$$

$$t_r = \frac{0.5*79717.91}{300} = 133 \text{ mm}$$

Şekil faktörünün belirlenmesi:

Tek kauçuğun kalınlığı 5 mm seçildi

$$S = \frac{\phi}{4*t} \quad (15)$$

$$S = \frac{0.32}{4 \cdot 0.005} = 16$$

İzolatörün düşey rejitliğinin belirlenmesi:

$$K_V = \frac{E_c \cdot A_s}{t_r} = \frac{6GS^2 \cdot A_s}{t_r} \quad (16)$$

$$K_V = \frac{6 \cdot 0.5 \cdot 16^2 \cdot 79717.91}{133} = 460326 \text{ kN/m}$$

Akma dayanımının hesaplanması:

$$F_y = Q_D + K_D \cdot d_y \quad (17)$$

$$F_y = 3.45 + 300 \cdot 0.0013 = 3.84 \text{ kN/m}$$

İzolatörün toplam yüksekliğinin hesaplanması:

Kauçuğun gerekli kalınlığı 133 mm olarak daha önceden hesaplanmıştır, tek kauçuğun kalınlığı ise 5 mm olarak seçildi. Bunu sağlamak için toplam 27 adet kauçuk katman gereklidir, kauçuklar arasında ise 26 adet 2 mm'lik çelik levha yerleştirilecek. Buna ilave olarak üstte ve altta daha 20 mm'lik çelik levha kullanılacak üzere kabulü yapılmıştır.

$$h_{\text{top}} = 27 \cdot 5 + 26 \cdot 2 + 20 \cdot 2 = 227 \text{ mm}$$

Kayma Şekil değiştirmelerinin hesaplanması:

Yatayda:

$$\gamma_h = \frac{K_d \cdot d_D}{A \cdot G} \quad (18)$$

$$\gamma_h = \frac{300000 \cdot 0.147}{\frac{\pi \cdot 0.32^2}{4} \cdot 0.5 \cdot 10^6} = 1.1 \text{ kN/m}$$

Düşeyde:

$$\Delta_t = \frac{W}{K_V} \quad (19)$$

$$\Delta_t = \frac{W}{K_v} = \frac{321}{460326} = 0.0006 \text{ m}$$

$$E_z = \frac{\Delta_t}{h_{top}} \quad (20)$$

$$E_z = \frac{0.6}{227} = 0.0026$$

$$\gamma_v = 6 * S * E_z \quad (21)$$

$$\gamma_v = 6 * 16 * 0.0026 = 0.25 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{maks} = \gamma_v + \gamma_h \quad (22)$$

$$\gamma_{maks} = 0.25 + 1.1 = 1.327 \text{ kN/m}$$

Burkulma tahkiki:

$$I = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D}{2}\right)^4 \quad (23)$$

$$I = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{0.32}{2}\right)^4 = 0.0005 \text{ m}^4$$

$$P_{kritik} = \sqrt{\frac{A * G * \pi^2 * E_c * I}{3 * t^2}} \quad (24)$$

$$P_{kritik} = \sqrt{\frac{0.0804 * 0.5 * 10^3 * \pi^2 * 1200 * 10^3 * 0.0005}{3 * 0.227^2}} = 1240 \text{ kN}$$

$P_{kritik} = 1240 \text{ kN} > 321 \text{ kN}$ Olduğundan burkulma durumu oluşmamaktadır.

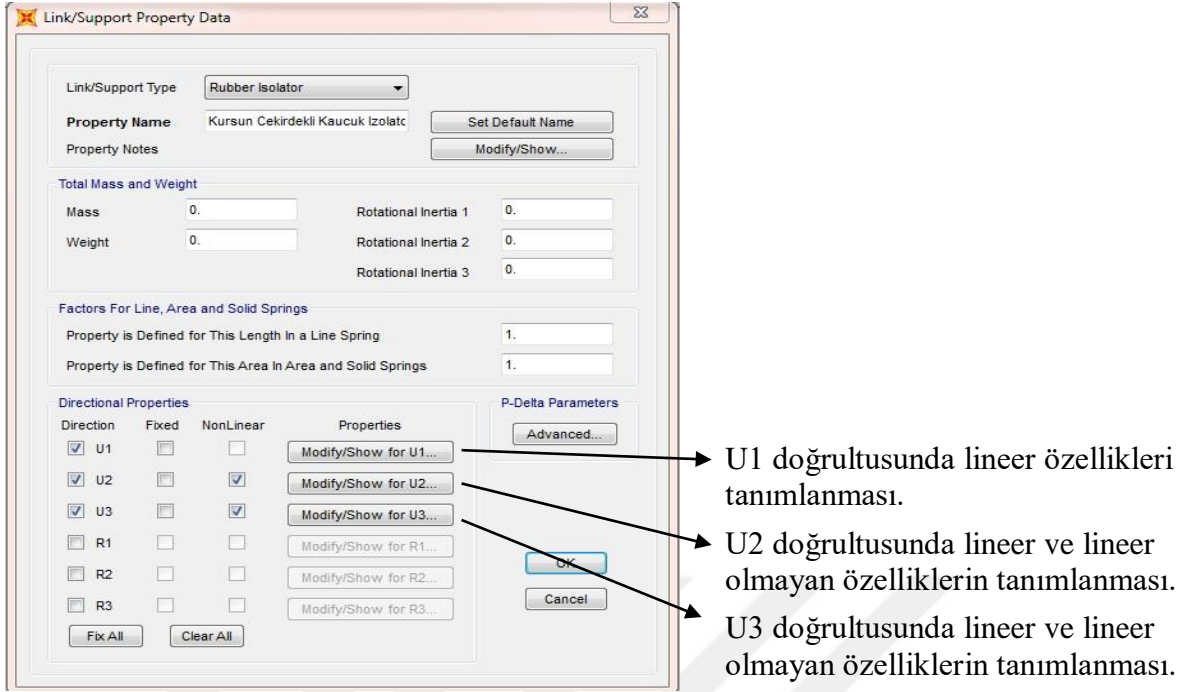
Benzer Şekilde 7 katlı, 3 açıklıklı maksimum kolon kuvveti 694.76 kN ve 10 katlı, 3 açıklıklı maksimum kolon kuvveti 883.76 kN olan çerçeveler için izolatör modellenmesi yapılmıştır ve EK 1'de sunulmuştur.

Tablo 2.8 Kurşun çekirdekli kauçuk esaslı sismik izolatörün mesnet özellikleri

Maksimum kolon kuvveti (kN)	321.65	694.76	883.76
Düşey yönünde lineer rijitlik ' K_V ' (kN/m)	460326	792017	497353
Başlangıç rijitlik ' K_U '	3000	3300	2072
Yatay yönünde lineer rijitlik ' K_H ' (kN/m)	322.95	447.35	290.33
Akma dayanımı ' F_Y '	3.84	23.9	24
Akma sonrası rijitliğin akma Öncesi rijitliğe oranı ' K_D/K_U '	0.1	0.1	0.1
Mesnet çapı (mm)	320	400	400
Mesnet yüksekliği (mm)	227	304	458
Kurşun çekirdek çapı (mm)	32	50	50

2.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün SAP2000 Programında Tanımlanması

Define / Section Properties / Link / Section Properties açılmış penceresinden (Şekil 2.11) link / Support kısmında çeşitli sönümleyici cihazları veya izolatörler seçebiliriz. Bunların arasında Ruber İzolatör (Kauçuk İzolatör) seçmemiz gerekiyor. Daha sonra U1(Z), U2(X) ve U3(Y) doğrultularda, seçtiğimiz izolatörün mekanik özellikleri tanımlayacağız. U1(Z) doğrultusunda ancak lineer özellikleri tanımlıyoruz, U2(X) ve U3(Y) doğrultularda ise hem lineer hem de lineer olmayan özellikleri tanımlamamız gerek. U2(X) ve U3(Y) doğrultularda tanımlayacağımız değerler her iki doğrultu için aynıdır.



Şekil 2.9. Kauçuk esaslı izolatörün SAP2000 programında tanımlanması

En son açılan pencerede U1(Z) doğrultusunda “Properties” (özellikler) düğmeye basınca açılan pencerede (Şekil 2.12) “Effective Stiffness” (Etkif Rijitlik) kısmında düşey yönünde lineer rijitlik ' K_V ' değeri yazılacaktır. Şekiller 'de kullanılan bütün değerler, maksimum normal kuvveti 321.65 kN olan izolatör tasarımında bulduğumuz değerler olacaktır. Örneğe göre ' K_V ' değeri 460326 kN/m. Daha sonra benzer işlemler U2 ve U3 doğrultuları için yapılır, U2 doğrultusunda Properties (özellikler) düğmeye basınca açılan pencerede (Şekil 2.13), “Effektif Stiffness” (Etkif Rijitlik) kısmında (Yatay yönünde lineer rijitlik ' $K_H=322.95$ kN/m') değeri yazılacaktır, altında stiffness (rijitlik) kısmında ise (Başlangıç rijitlik ' $K_U= 3000$ kN/m') değeri yazılacaktır. “Yield Strength” (Akma dayanımı) kısmında (' $F_Y = 3.84$ kN') değeri yazılacaktır ve en son Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör için SAP2000'de tanımlaması gereken değer “Post Yield Stiffness Ratio” (Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ' $K_D/K_U=0.1$). Böylece kurşun çekirdekli kauçuk izolatör SAP2000'de tanımlanmış olur.

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box for property LIN1. The 'Identification' section includes: Property Name (LIN1), Direction (U1), Type (Rubber Isolator), and NonLinear (No). The 'Properties Used For All Analysis Cases' section includes: Effective Stiffness (460326.) and Effective Damping (0.). There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Identification	
Property Name	LIN1
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Properties Used For All Analysis Cases	
Effective Stiffness	460326.
Effective Damping	0.

Şekil 2.10. U1 yönünde düşey rijitliğin tanımlanması

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box for property U2. The 'Identification' section includes: Property Name (Kursun Cekirdekli Kaucuk), Direction (U2), Type (Rubber Isolator), and NonLinear (Yes). The 'Properties Used For Linear Analysis Cases' section includes: Effective Stiffness (322.95) and Effective Damping (0.). The 'Shear Deformation Location' section includes: Distance from End-J (0.). The 'Properties Used For Nonlinear Analysis Cases' section includes: Stiffness (3000.), Yield Strength (3.84), and Post Yield Stiffness Ratio (0.1). There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Identification	
Property Name	Kursun Cekirdekli Kaucuk
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	322.95
Effective Damping	0.

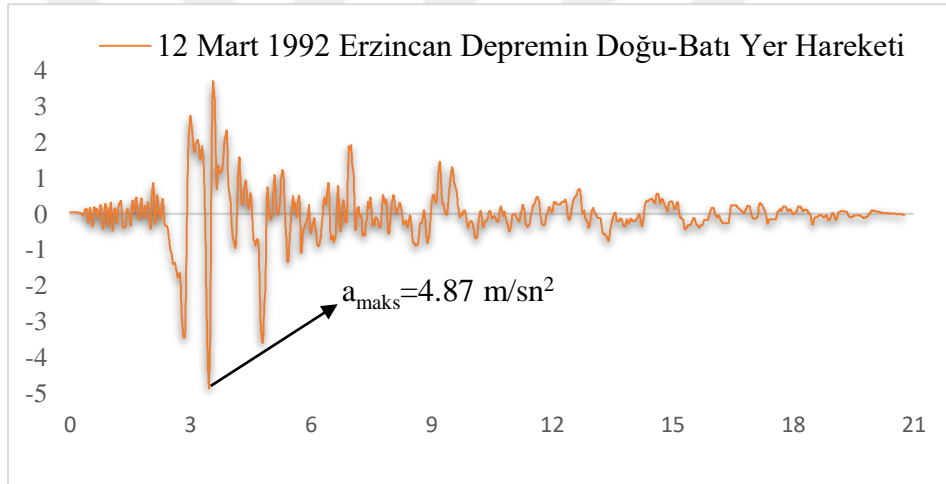
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	3000.
Yield Strength	3.84
Post Yield Stiffness Ratio	0.1

Şekil 2.11. U2 doğrultusunda izolatör karakteristiklerin tanımlanması

2.4. Yapısal Çözümleme

Bu çalışmada dikkat alınan tüm çerçevelerin yapısal çözümlemesinde deprem yükü olarak 13 Mart 1992 Erzincan depremin Doğu-Batı doğrultusundaki hareketi (Şekil 2.12) göz önüne alınmıştır. SAP2000 v19 programında yardımıyla bütün çerçeveler tasarlanmıştır ve zaman tanım alanında çözüm yapılmıştır. Bütün çerçevelerde kırış kolon birleşim bölgesi tamamen rijit kabul edilmiş. Çalışmada kullanılan çerçevelerde kolon enkesit boyutlarından büyüğünün eğilme doğrultusunda olduğu dikkate alınmıştır. Malzemenin elastisite modülü $(E)=2.7 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$ olarak kullanılmış, betonarmenin birim hacim ağırlığı (γ_{beton}) ile poison oranı (ν) sırasıyla 25 kN/m^3 ve 0.2 alınmıştır. Kolonların ve kirişlerin kütleleri enkesit boyutlarına bağlı olarak belirlenmiş.



Şekil 2.12. Mart 1992 Erzincan depreminin doğu-batı doğrultusunda hareketi

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Belirtildiği gibi bu çalışmanın amaca farklı olarak düzenlenen eğik elemanlar ile rijitleştirilmiş çerçeveler, betonarme perdelerle rijitleştirilmiş çerçeveler ve geleneksel çerçeveler, sismik taban izolasyon uygulanmış çerçevelerle depreme karşı gösterdiği tepkinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Bu inceleme, aynı tür çerçeve sistemler kat adedi ile açıklık sayısına bağlı olarak kendi aralarında ve diğer çerçeve sistemlerle karşılaştırmalı olarak yapılmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda bu bölümde, her bir çerçeve sistemden elde edilen maksimum yer değiştirme, maksimum taban devrilme momenti, maksimum taban kesme kuvveti, yapı doğal periyodu ve görel kat ötelemeler kaydedilip tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Bütün değer okumalar her kattaki kolonlarda oluşan maksimum değerler dikkate alınmıştır.

3.1. Geleneksel Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:1) Ait Bulgular

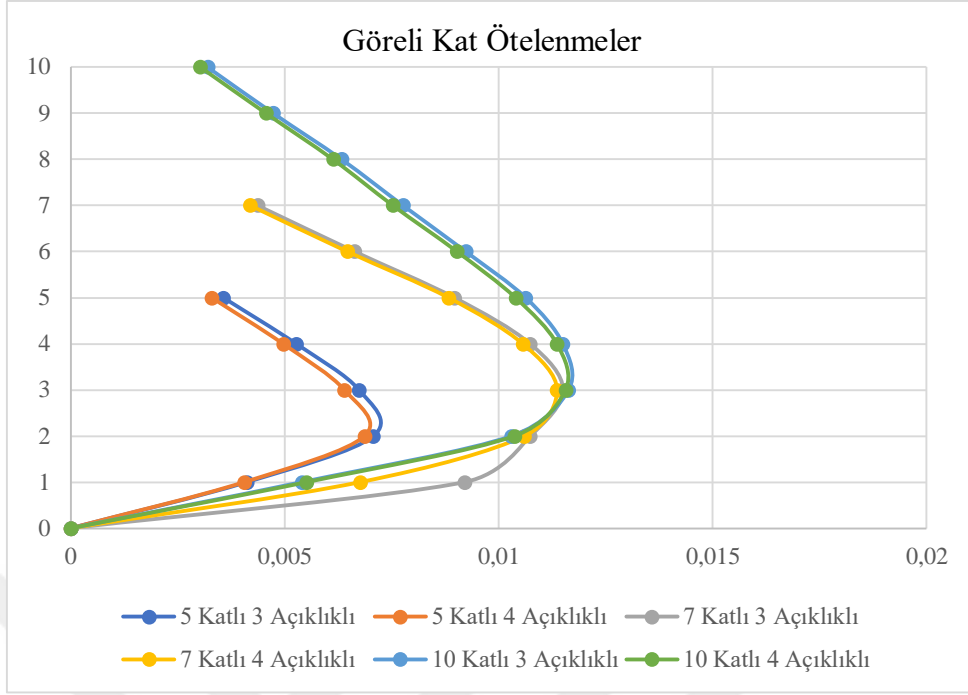
Aşağıda geleneksel çerçeveye ait bulgular, 5, 7 ve 10 katlı çerçeveler için, ayrıca 3 ve 4 açıklıklara bölünüp değişimler Tablo 3.1’de sunulmuştur. Bu tablodan görüldüğü gibi, kat yükseldikçe doğal olarak yapı ağırlığı da artıyor, deprem kuvveti ise yapı ağırlığa doğru orantılı olduğundan neredeyse bütün iç kuvvetleri de bununla birlikte artırılıyor. Fakat yapı yüksekliği arttıkça yapının doğal periyodu da uzuyor, Şekil 1.7’de gösterildiği gibi doğal periyod uzayınca yapıya etkileyecek deprem ivmesi azalıyor, bunun güzel göstergesi Çerçeve no:1’e ait 7 katlı 3 açıklıklı ve 7 katlı 4 açıklıklı çerçevelerin, 10 katlı 3 açıklıklı ve 10 katlı 4 açıklıklı olan çerçevelerin tabana gelen maksimum taban kesme kuvvetinde azalmasıdır, 7 katlı 3 açıklıklı, doğal periyodu 0.75 sn’lik yapıya gelen maksimum taban kesme kuvveti 718 kN iken, 10 katlı 3 açıklıklı, doğal periyodu 1.12 sn’lik yapıya ise gelen maksimum taban kesme kuvveti 636 kN ’dur, benzer gözetmeler çalışmada alınan başka çerçevelerde de kaydedilmiştir. Tablo 3.1’den görebildiğimiz gibi kolonlarda olduğu maksimum normal kuvveti 859.68 kN 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede, maksimum devrilme

momenti 16615 kN 10 katlı 4 açıklıklı çerçevede, maksimum deplasman ise 22,4 cm 10 katlı 4 açıklıklı çerçevede oluşmuş.

Tablo 3.2. Çerçeve No:1'e Ait bulgular

Geleneksel Çerçeveye ait Bulgular (Çerçeve No 1)						
Kat Adedi	Açıklık Sayısı	Doğal Periyodu (sn.)	Maksimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Devrilme Momenti (kNm)	Maksimum Deplasman (cm)	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvveti (kN)
5	3	0.63	558	5665	8.18	321.62
5	4	0.64	705	7146	7.85	307.20
7	3	0.75	718	10808	17.8	694.75
7	4	0.74	930	14042	17.5	684.14
10	3	1.12	636	12721	22.8	873.57
10	4	1.1	858	16615	22.4	859.68

Şekil 3.1' Geleneksel çerçeveye ait görelî kat yer değiştirmeler grafik şeklinde sunulmuştur. Her bir deprem doğrultusu için binanın herhangi bir i'nci katındaki kolon veya perdelerde, hesaplanan etkin görelî kat ötelemelerin kat içindeki en büyük değeri $\left(\frac{\Delta_{i(maks)}}{h_i} \leq 0.02/R\right)$ koşullu sağlanmalıdır, geleneksel çerçeve için süneklik düzeyi yüksek olarak kabul edersek maksimum etkin görelî kat ötelenmesi şu şeklinde hesaplanır $\left(\frac{\Delta_{i(maks)}}{h_i} \leq 0.02/8=0.0025\right)$, grafikten görebildiğimiz gibi bu koşul hiçbir geleneksel çerçevede sağlanmıyor.



Şekil 3.1. Çerçeve No:1'e ait etkin görelî kat ötelemeleri

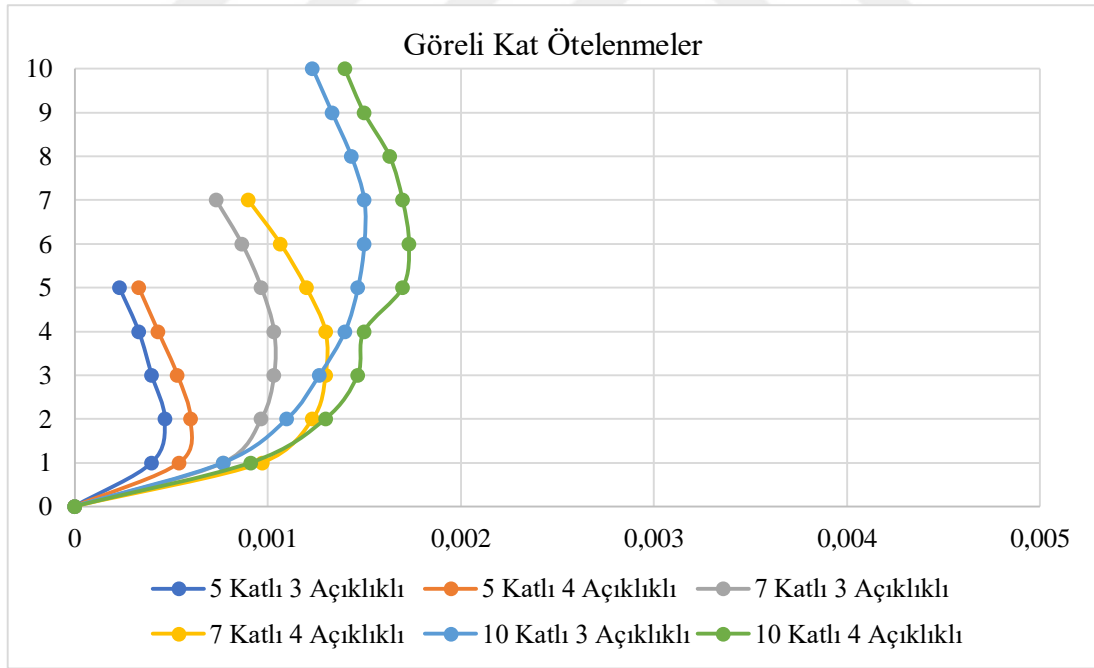
3.2. Tek Eğik Elemanlı Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:2) Ait Bulgular

Aşağıda tek eğik elemanlı çerçeveye ait bulgular, 5, 7 ve 10 katlı çerçeveler için, ayrıca 3 ve 4 açıklıklara bölünüp değişimler Tablo 3.2'de sunulmuştur. Maksimum taban kesme kuvvetin 10 katlı çerçevelerde 7 katlı olanlara göre %10 daha az. Fakat maksimum taban devrilme momentleri ve kolonlarda oluşan normal kuvvetleri çerçevelerin yükseklikleri ve açıklıkları artıkça yükselmeler kaydedilmiştir. Kolonlarda oluşan normal kuvvetlerin artması kat artması ile doğru orantılıdır aynı şekilde maksimum taban devrilme momenti de. Buna göre kolonlarda oluşacak olan maksimum normal kuvveti 2317.53 kN ve maksimum devrilme momenti 22895 kN 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede, maksimum deplasman 4,52 cm 10 katlı 4 açıklıklı çerçevede oluşmuştur.

Tablo 3.2. Çerçeve No:2'e Ait bulgular

Eğik Elemanlı Çerçeveye ait Bulgular (Çerçeve No 2)						
Kat Adedi	Açıklık Sayısı	Doğal Periyodu (sn.)	Maksimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Devrilme Momenti (kNm)	Maksimum Deplasman (cm)	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvveti (kN)
5	3	0.15	594	5628	0.59	640.55
5	4	0.16	777	7448	0.76	773.50
7	3	0.21	991	14031	1.95	1533.87
7	4	0.25	1280	17946	2.40	1946.61
10	3	0.38	953	19418	3.95	1968.50
10	4	0.40	1128	22895	4.52	2317.53

Şekil 3.1' Tek eğik elemanlı çerçeveye ait etkin görel kat yer değiştirmeler grafik şeklinde sunulmuştur. ($\frac{\Delta_{i(maks)}}{h_i} \leq 0.02/6=0.0033$), grafikten görebildiğimiz gibi bu koşul bütün tek eğik elemanlı çerçevelerde sağlıyor.



Şekil 3.2. Çerçeve No:2'e ait etkin görel kat ötelemeleri

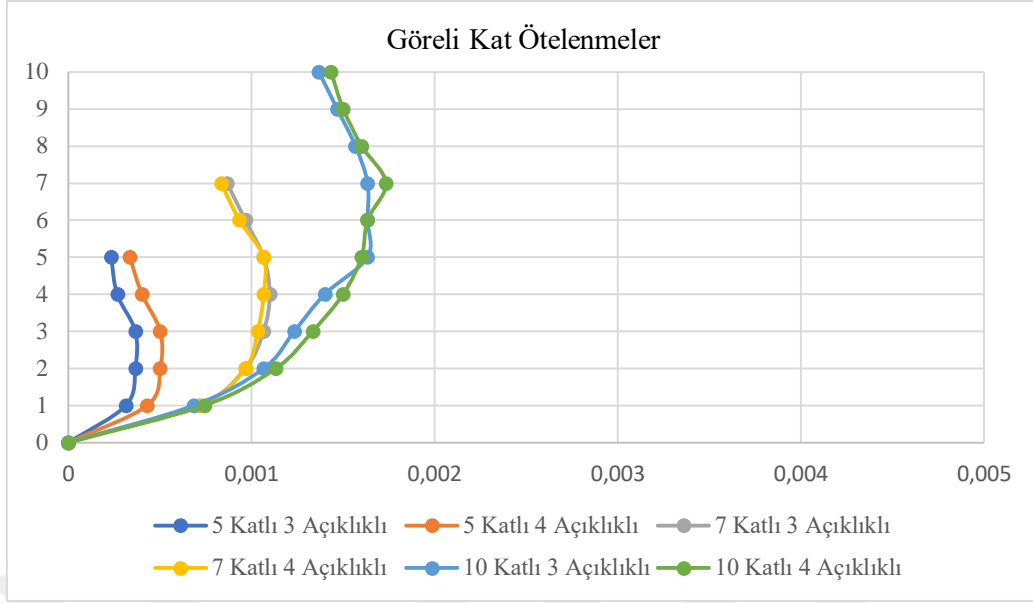
3.3. Tek Eğik Elemanlı Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:3) Ait Bulgular

Aşağıda tek eğik elemanlı çerçeveye ait bulgular, 5, 7 ve 10 katlı çerçeveler için, ayrıca 3 ve 4 açıklıklara bölünüp değişimler Tablo 3.3’de sunulmuştur. Maksimum taban kesme kuvveti 1173 kN 7 katlı 4 açıklıklı çerçevede, maksimum taban devrilme momenti 22916 kNm, kolonlarda oluşacak maksimum normal kuvveti ve maksimum deplasman 4,26 cm, 10 katlı 4 açıklıklı çerçevede oluşmuştur.

Tablo 3.3. Çerçeve No:3’e Ait bulgular

Eğik Elemanlı Çerçeveye ait Bulgular (Çerçeve No 3)						
Kat Adedi	Açıklık Sayısı	Doğal Periyodu (sn.)	Maksimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Taban Devrilme Momenti (kNm)	Maksimum Deplasman (cm)	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvveti (kN)
5	3	0.14	558	5243	0.48	600.32
5	4	0.15	773	7412	0.66	832.85
7	3	0.22	1164	16603	2.1	1831.14
7	4	0.24	1173	16519	2.0	1806.74
10	3	0.37	1086	22354	4.26	2297.20
10	4	0.40	1119	22916	4.26	2339.55

Şekil 3.3’ Tek eğik elemanlı çerçeveye (Çerçeve no:3) ait etkin görelî kat yer değiştirmeler grafik şeklinde sunulmuştur. ($\frac{\Delta_i(\text{maks})}{h_i} \leq 0.02/6=0.0033$), grafikten görebildiğimiz gibi bu koşul her bir tek eğik elemanlı çerçevede sağlıyor.



Şekil 3.3. Çerçeve No:3'e ait etkin görelî kat ötelemeleri

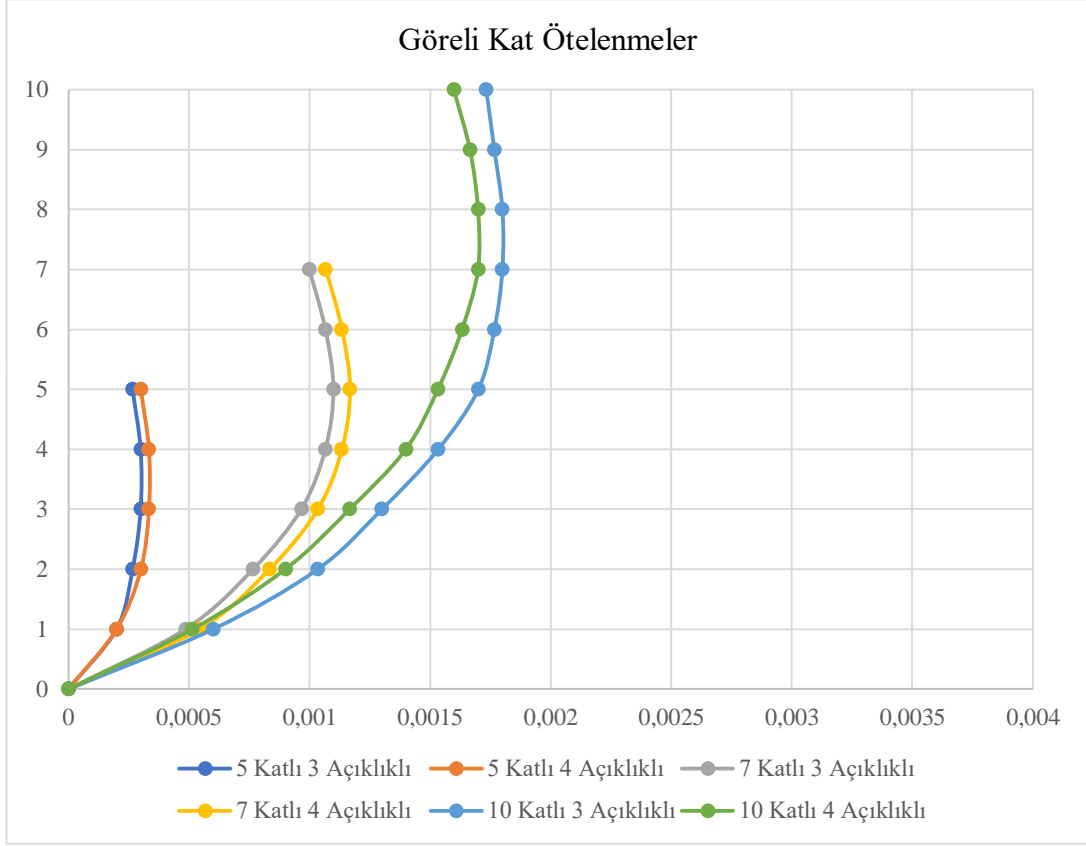
3.4. Çift Eğik Elemanlı Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:4) Ait Bulgular

Aşağıda çift eğik elemanlı çerçeveye ait bulgular, 5, 7 ve 10 katlı çerçeveler için, ayrıca 3 ve 4 açıklıklara bölünüp değişimler Tablo 3.4'de sunulmuştur. Maksimum taban kesme kuvveti 1360 kN, maksimum taban devrilme momenti 27624 kNm, kolonlarda oluşacak maksimum normal kuvveti 2953 kN ve maksimum deplasman 4,55 cm, 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede oluşmuştur.

Tablo 3.4. Çerçeve No:4'e Ait bulgular

Eğik Elemanlı Çerçeveye ait Bulgular (Çerçeve No 4)						
Kat Adedi	Açıklık Sayısı	Doğal Periyodu (sn.)	Maksimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maksimum Devrilme Momenti (kNm)	Maksimum Deplasman (cm)	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvveti (kN)
5	3	0.12	565	6018	0.40	617.38
5	4	0.13	659	6998	0.46	708.51
7	3	0.21	1256	19209	1.96	1908.29
7	4	0.23	1358	20854	2.1	2176.46
10	3	0.36	1360	27624	4.55	2953.03
10	4	0.39	1154	25075	4.17	2649.14

Şekil 3.4' Tek eğik elemanlı çerçeveye ait etkin görelî kat yer değiştirmeler grafik şeklinde sunulmuştur. ($\frac{\Delta_i(\text{maks})}{h_i} \leq 0.02/6=0.0033$), grafikten görebildiğimiz gibi bu koşul her bir tek eğik elemanlı çerçevede sağlıyor.



Şekil 3.4. Çerçeve No:4'e ait etkin etkin görelî kat ötelemeleri

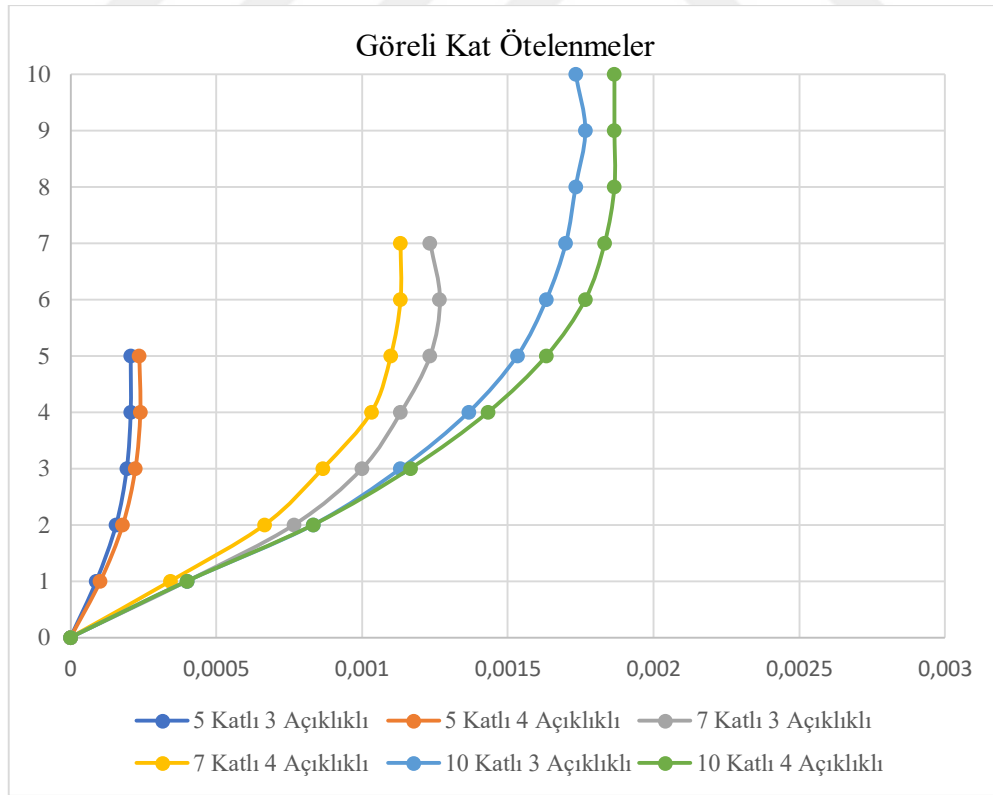
3.5. Betonarme Perdeli Çerçeve Sistemine (Çerçeve No:5) Ait Bulgular

Aşağıda betonarme perdeli çerçeveye ait bulgular, 5, 7 ve 10 katlı çerçeveler için, ayrıca 3 ve 4 açıklıklara bölünüp değişimler Tablo 3.5'de sunulmuştur. Maksimum taban kesme kuvveti 2129 kN, maksimum taban devrilme momenti 47348 kNm, kolonlarda oluşacak maksimum normal kuvveti 5060.78 kN ve maksimum deplasman 5,10 cm, 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede oluşmuştur.

Tablo 3.5. Çerçeve No:5'e Ait bulgular

Perde ile Rijitleştirilmiş Yapı Sistemi (Çerçeve No 5)						
Kat Adedi	Açıklık Sayısı	Doğal Periyodu (sn.)	Maksimum Taban Kuvveti (kN)	Maksimum Devrilme Momenti (kNm)	Maksimum Deplasman (cm)	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvveti (kN)
5	3	0.10	656	7464	0.26	815.26
5	4	0.11	760	8572	0.30	929.63
7	3	0.18	1538	24195	1.45	2630.66
7	4	0.19	2020	31692	1.89	3401.56
10	3	0.34	2129	47348	5.10	5060.78
10	4	0.36	2017	41520	4.41	4379.90

Şekil 3.5' Betonarme perdeli çerçeveye ait görel kat yer değiştirmeler grafik şeklinde sunulmuştur. ($\frac{\Delta_i(\text{maks})}{h_i} \leq 0.02/6=0.0033$), grafikten görebildiğimiz gibi bu koşul her bir tek eğik elemanlı çerçevede sağlıyor.



Şekil 3.5. Çerçeve No:5'e ait etkin görel kat ötelemeleri

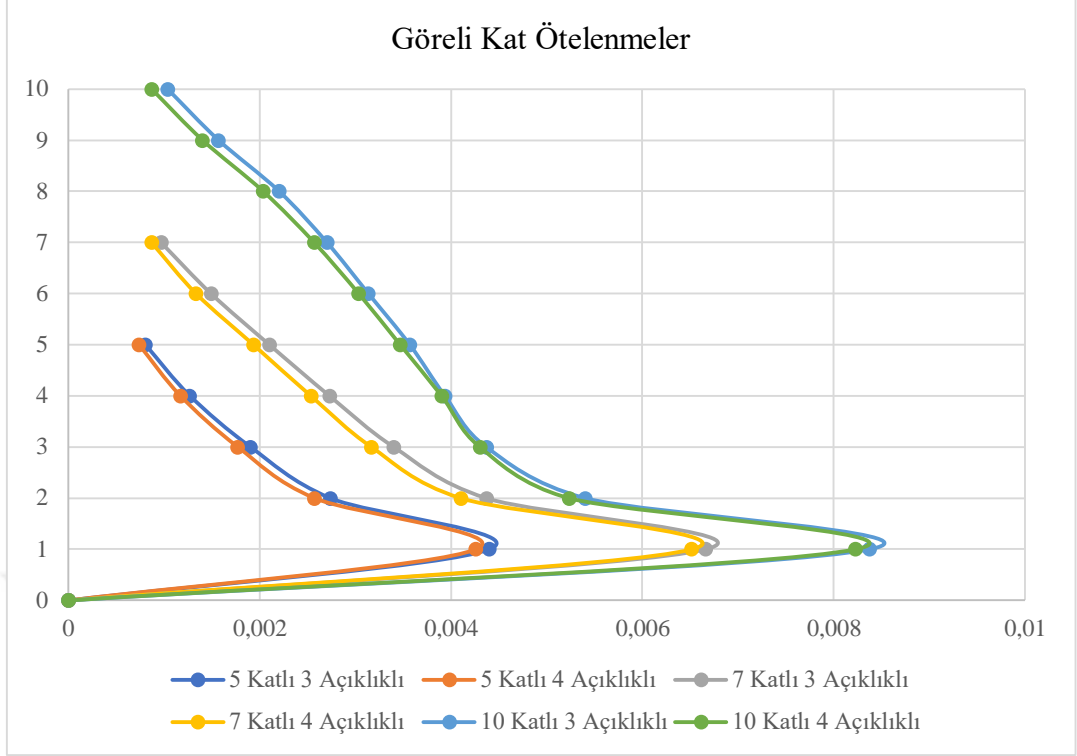
3.6. Sismik İzolatör Uygulanmış Çerçeve Sistemine (Çerçeve No 6) Ait Bulgular

Aşağıda sismik izolatör uygulanmış çerçeveye ait bulgular, 5, 7 ve 10 katlı çerçeveler için, ayrıca 3 ve 4 açıklıklara bölünüp değişimler Tablo 3.6'de sunulmuştur. Maksimum taban kesme kuvveti 326 kN, maksimum taban devrilme momenti 6184 kNm ve maksimum deplasman 10 katlı 4 açıklıklı çerçevede oluşmuştur, kolonlarda maksimum normal kuvveti ise 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede oluşmuştur.

Tablo 3.6. Çerçeve No:6'ya Ait bulgular

Sismik İzolatörlü Yapı Çerçevesi (Çerçeve No 6)						
Kat Adedi	Açıklık Sayısı	Doğal Periyodu (sn.)	Maksimum Taban Kuvveti (kN)	Maksimum Devrilme Momenti (kNm)	Maksimum Deplasman (cm)	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvveti (kN)
5	3	1.67	151	1475	14.70	122.65
5	4	1.68	193	1878	14.66	117.06
7	3	1.80	212	2549	16.79	225.15
7	4	1.80	275	3472	16.70	224.35
10	3	2.62	259	4997	28.65	410.22
10	4	2.62	326	6184	29.03	377.53

Şekil 3.6' Sismik izolatörlü çerçeveye ait görel kat yer değiştirmeler grafik şeklinde sunulmuştur. ($\frac{\Delta_i(\text{maks})}{h_i} \leq 0.02/2=0.01$), grafikten görebildiğimiz gibi bu koşul her bir tek eğişik elemanlı çerçevede sağlıyor.



Şekil 3.6. Çerçeve No:6'e ait etkin görelî kat ötelemeleri

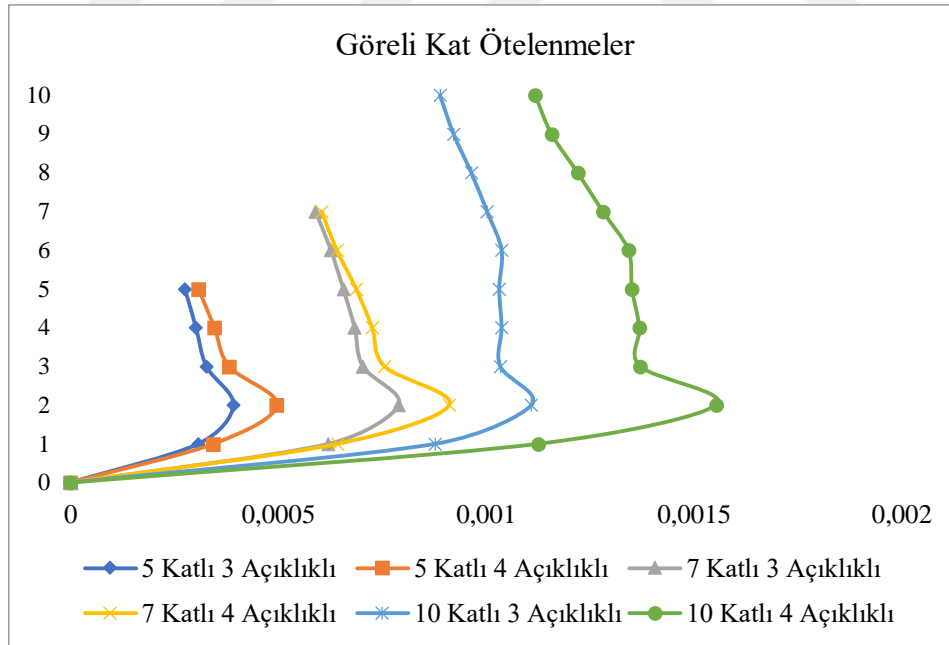
3.7. Sismik İzolatör Uygulanmış Çerçeve Sistemine (Çerçeve No 7) Ait Bulgular

Aşağıda eğik elemanlı çerçeveye uygulanmış sismik izolatör çerçeveye ait bulgular, 5, 7 ve 10 katlı çerçeveler için, ayrıca 3 ve 4 açıklıklara bölünüp değişimler Tablo 3.6'de sunulmuştur. Maksimum taban kesme kuvveti 326 kN, maksimum taban devrilme momenti 6184 kNm ve maksimum deplasman 10 katlı 4 açıklıklı çerçevede oluşmuştur, kolonlarda maksimum normal kuvveti ise 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede oluşmuştur.

Tablo 3.7. Çerçeve no:7'e Ait bulgular

Sismik İzolatörlü Yapı Çerçevesi (Çerçeve No 7)						
Kat Adedi	Açıklık Sayısı	Doğal Periyodu (sn.)	Maksimum Taban Kuvveti (kN)	Maksimum Devrilme Momenti (kNm)	Maksimum Deplasman (cm)	Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvveti (kN)
5	3	1,65	260	2242	21	179
5	4	1,51	324	2798	18	240
7	3	1,96	337	5174	37	428
7	4	1,79	440	5978	29	488
10	3	2,35	418	8528	45	716
10	4	2,16	569	12365	44	978

Şekil 3.7' Sismik izolatörlü eğik elemanlı çerçeveye ait görelî kat yer değiştirmeler grafik şeklinde sunulmuştur. ($\frac{\Delta_{i(maks)}}{h_i} \leq 0.02/2=0.01$), grafikten görebildiğimiz gibi bu koşul her bir tek eğik elemanlı çerçevede sağlıyor.



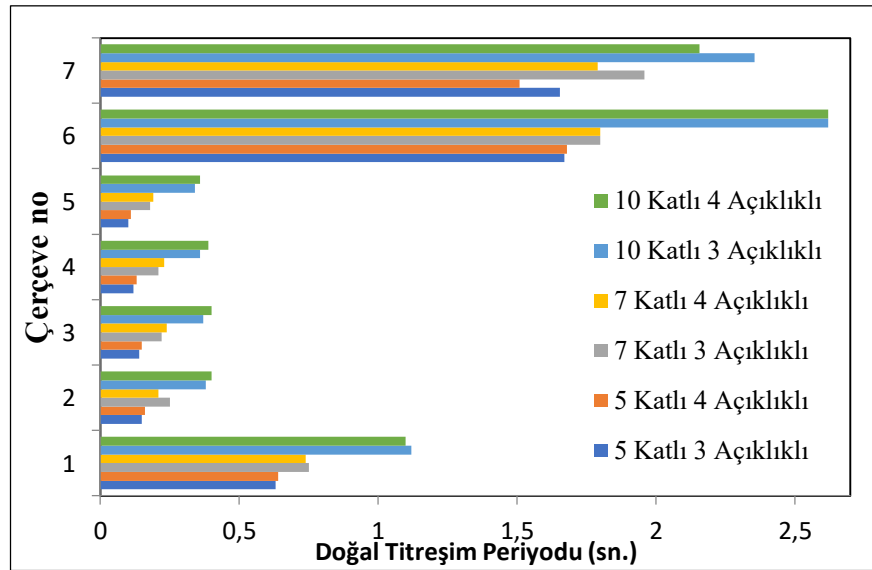
Şekil 3.7. Çerçeve No:7'e ait etkin görelî kat ötelemeleri

3.8. Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çerçevelerin karşılaştırmasında başta taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, maksimum deplasman, kolonlarda oluşacak maksimum normal kuvveti ve doğal periyod değerleri olarak yapılmıştır, daha sonra geleneksel çerçeveye göre rijitleştirici elemanların ve sismik izolatör sistemin kat yüksekliklere ve açıklıklara göre değişimlerin karşılaştırması yapılmıştır.

3.8.1. Doğal Periyod

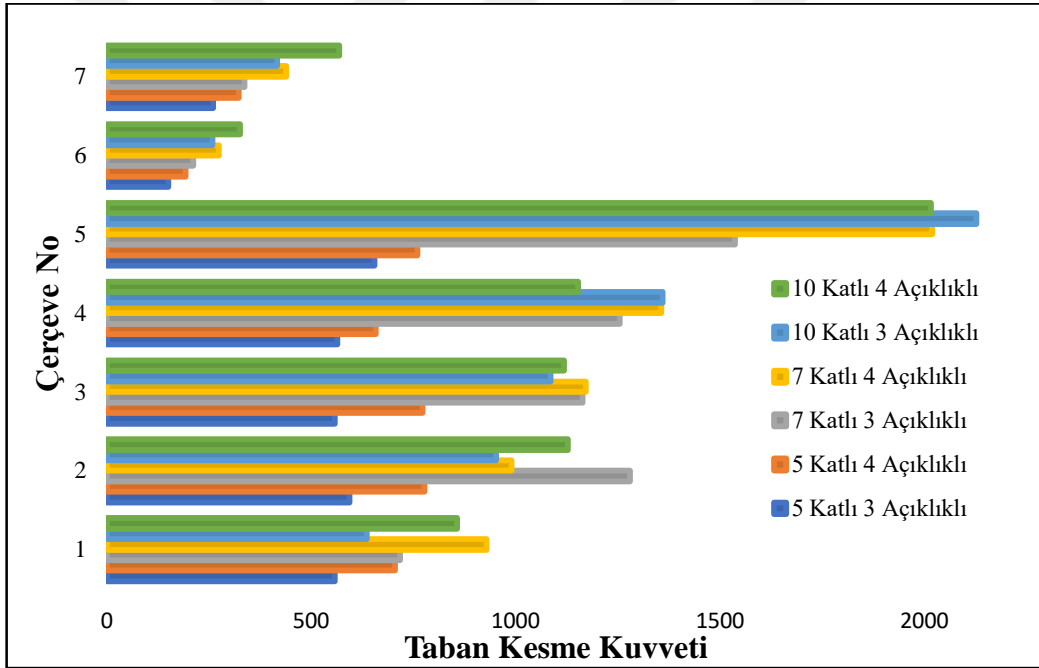
Şekil 3.8’de analizinde kullanılmış çerçevelere ait yapı doğal periyotları görülmektedir. Geleneksel çerçeve sistemleri için elde edilen sonuçlarına göre, kat seviyesine ve açıklıklara bağlı olarak, Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçevelerde %235-%265 arasında yapı doğal periyodunda yükselmeler kaydedilmiştir. Periyottaki bu artış yapıda depremden doğan yüklerin etkili bir şekilde azalmasına yol açmaktadır. Sismik izolatör uygulanmış çerçevelerin doğal periyodu, rijitleştirici elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin doğal periyodundan farkı daha da belirgindir, fakat rijitleştirici elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin çalışma prensibin periyoda bağlı olmadığından bu periyottaki farkı çok önemli göstergesi değildir.



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait doğal periyotları

3.8.2. Taban Kesme Kuvveti

Şekil 3.9’da görebildiğimiz gibi Kurşun çekirdekli kauçuk izolator uygulanmış çerçevelerde (çerçeve no:6) oluşan taban kesme kuvvetleri diğer bütün çerçeveler ile kıyasla oldukça düşük değerler almaktadır. Geleneksel çerçeveler (çerçeve no:1) ile kıyasla Kurşun çekirdekli kauçuk izolator uygulanmış çerçevelerde kat sayısına ve açıklıklara bağlı olarak, taban kesme kuvvetinde %70-%63 arasında azalma görülmektedir. Bu azalma oranı kat artıka azalıyor. Diğer çerçevelere bakıldığında en yüksek taban kesme kuvveti betonarme perdeli 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede (çerçeve no:5) oluşmuştur. Genel olarak bütün rijitleştirici elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerde oluşan maksimum taban kesme kuvveti geleneksel çerçevelere göre daha büyüktür.

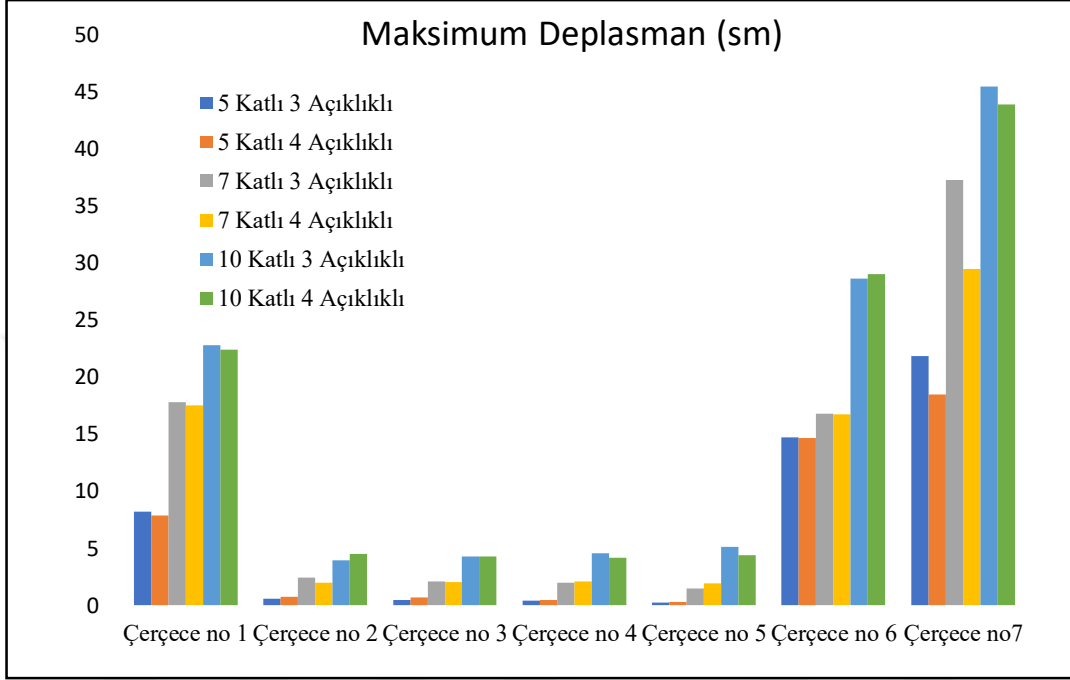


Şekil 3.9. Çalışmada kullanılmış olan çerçevelere ait taban kesme kuvvetleri

3.8.3. Maksimum Deplasman

Şekil 3.10’de analizinde kullanılmış çerçevelere ait oluşan maksimum deplasmanları görülmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçevelerde (çerçeve no:6) büyük deplasmanların sebebi izolatörün birinci katta oluşan büyük yer değiştirmelerden kaynaklanıyor üst yapı ise hemen hemen rijit kalıyor. Böylece maksimum deplasman Kurşun

çekirdekli kauçuk izolatörlü 10 katlı 4 açıklıklı olan çerçevede (çerçeve no:6) oluşmuştur 29 cm, minimum deplasman ise 0,24 cm betonarme perdeli 5 katlı 3 açıklıklı çerçevede (çerçeve no:5) oluşmuştur.

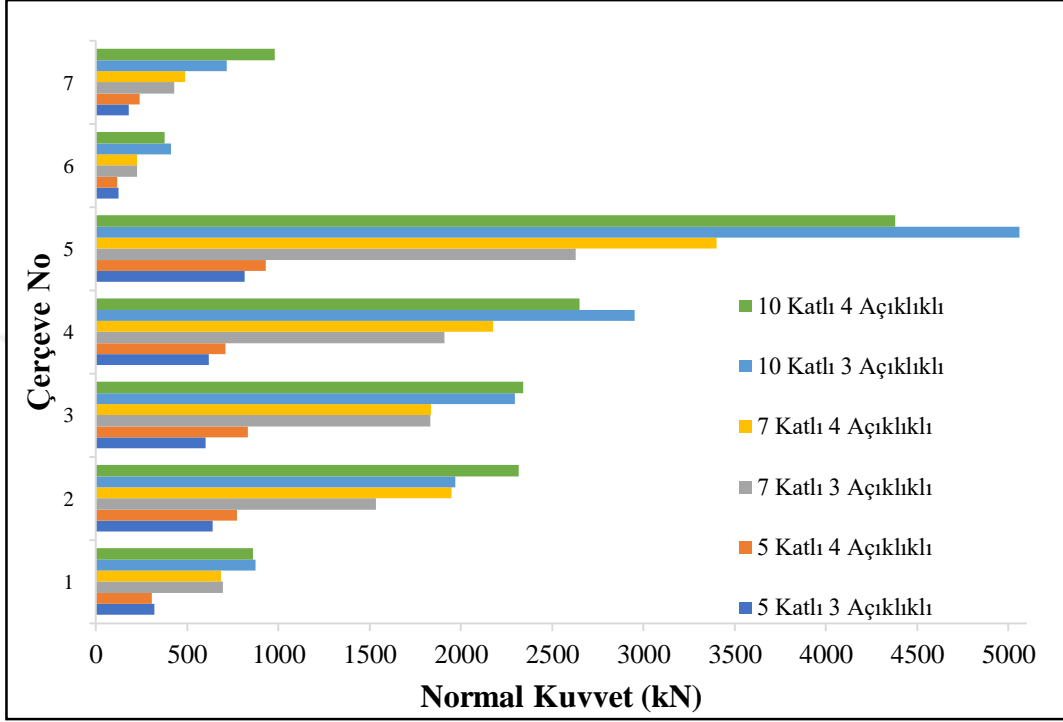


Şekil 3.10. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait birinci katta oluşan maksimum deplasman sonuçları

3.8.4. Kolonlarda Oluşan Maksimum Normal Kuvvet

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçevelerdeki oluşan maksimum normal kuvveti diğer çerçevelere göre oldukça küçüktür (Şekil 3.11). Kolonların boyutlarının tasarımında, Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün sayesinde, diğer çerçevelere göre küçük boyutlar kullanılabilmesine imkanları tanıyor. En büyük normal kuvvet 5060.78 kN, 10 katlı 3 açıklıklı betonarme perdeli çerçevede (çerçeve no 5) oluşmuştur, en küçük normal kuvvet ise 117 kN, 5 katlı 3 açıklıklı Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçevede (çerçeve no 6) oluşmuştur. Şekil 3.11'de tek eğik elemanlı çerçevelerin (çerçeve no 2 ve çerçeve no 3) kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvetleri eğik elemanların düzenine bağlı olmadığını görülebilmektedir. Ayrıca çift eğik elemanlı çerçevelerde (çerçeve no 4) tek eğik elemanlılara göre kolonlarda oluşan normal kuvvet ancak kat yüksekliği 10'a ulaşınca büyük farklılıklar görebiliyoruz, 5 ve 7 katlı çerçevelerde ise fark oldukça küçüktür. Kurşun

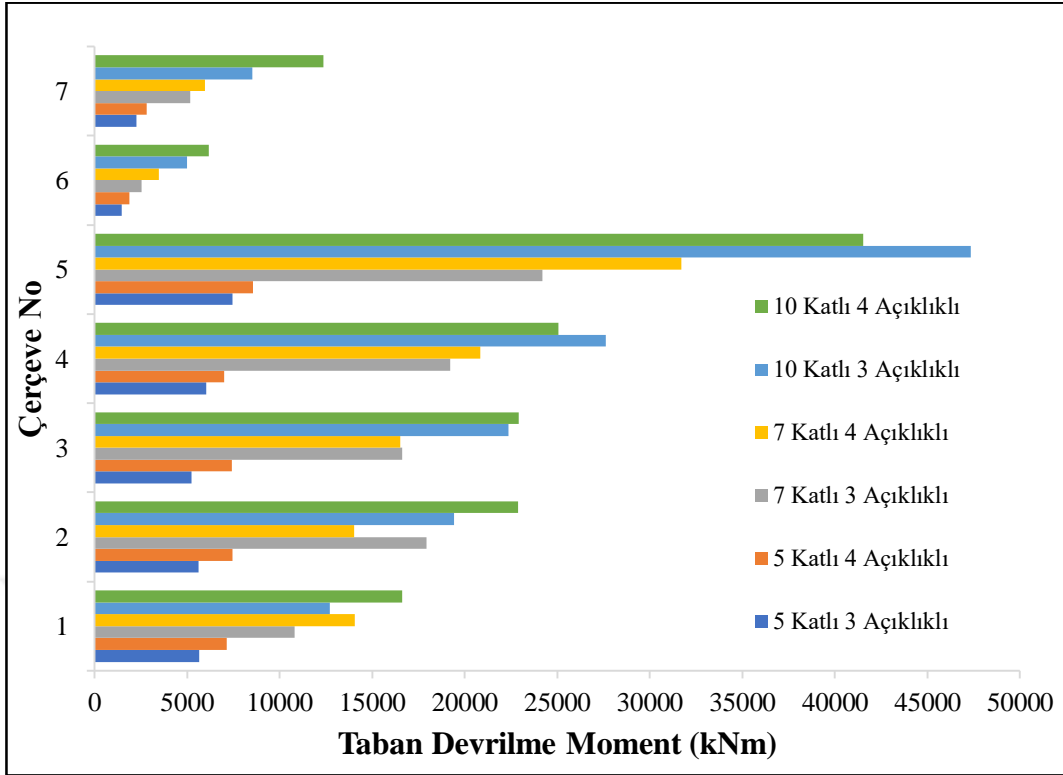
çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçevelerdeki oluşan maksimum normal kuvveti geleneksel çerçeveye göre %70-%55 oranında daha az çıkmaktadır. En büyük azalma 7 katlı 3 açıklıklı çerçeveler arasında görülüyor, en küçük ise 10 katlı 3 açıklıklı çerçeveler arasındadır.



Şekil 3.11. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvetleri

3.8.5. Maksimum Taban Devrilme Momenti

Şekil 3.11'de görülebildiği gibi, maksimum taban devrilme momentlerin Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçevelerde diğer tüm çerçevelere göre, oldukça küçük değerler almaktadır. En büyük değer 47348 kNm, betonarme perdeli 10 katlı 3 açıklıklı çerçevede (çerçeve no 5) oluşmuştur, en küçük ise 1475 kNm, Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü 5 katlı 3 açıklıklı çerçevede (çerçeve no 6) oluşmuştur. Genel olarak kat arttıkça devrilme momenti de artırdığını Şekil 3.12'de görülebilmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçevelerde geleneksel çerçeveye göre maksimum taban devrilme momentinde azalma oranı %74-%63 arasında değişmektedir. En büyük azalma oran 7 katlı 3 açıklıklı çerçeveler arasında olduğunu görülüyor, en küçük ise 10 katlı 3 açıklıklı çerçeveler arasındadır.

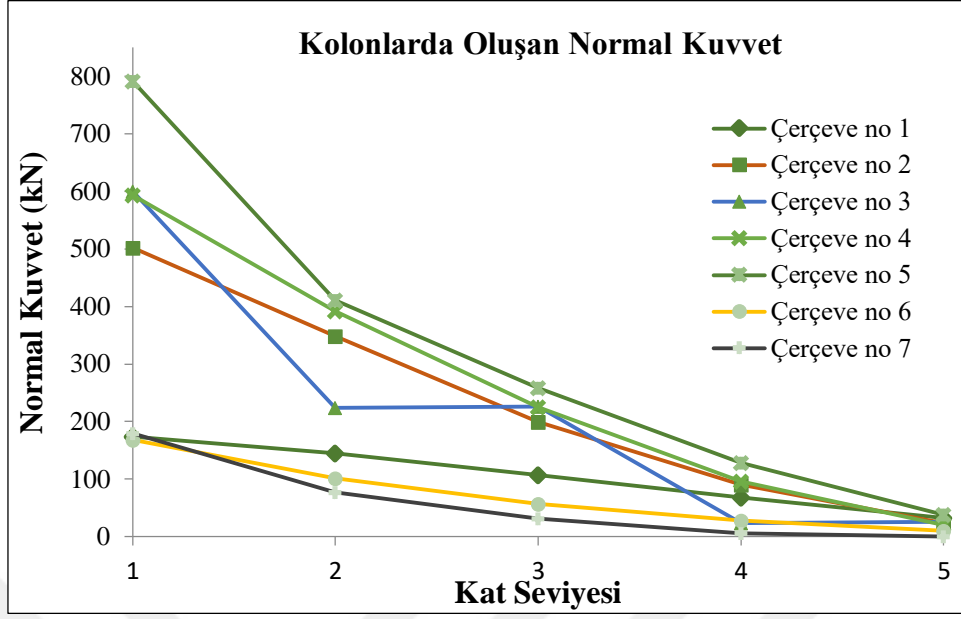


Şekil 3.12. Çalışmada kullanılmış çerçevelere ait maksimum taban devrilme momentleri

3.8.6. 5 Katlı Çerçevelerde Oluşan İç Kuvvetleri

- 5 katlı 3 Açıklıklı çerçevenin kolonlarda oluşan normal kuvveti

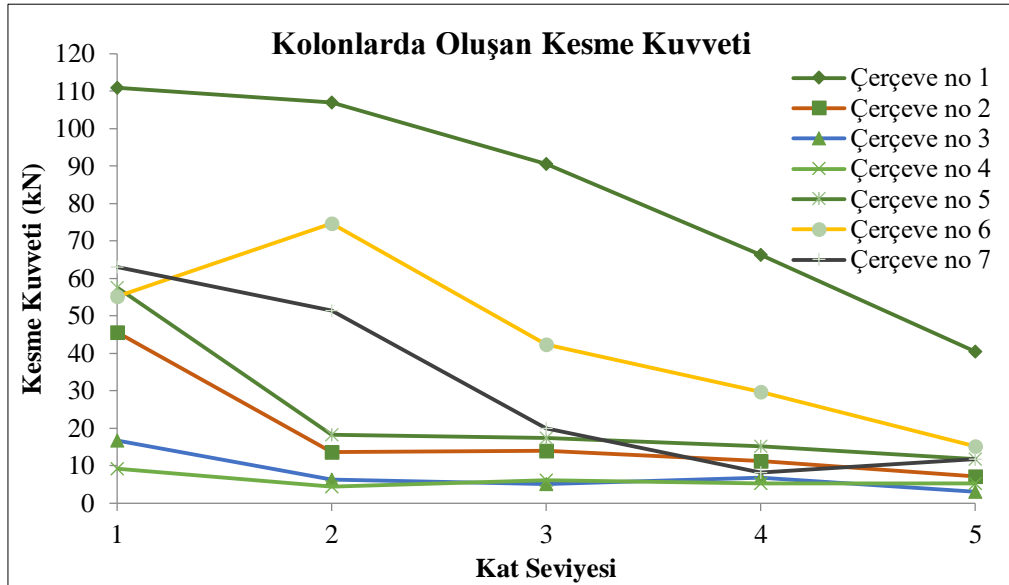
Aşağıdaki şekil 3.9’de görüldüğü gibi en düşük normal iç kuvveti geleneksel çerçeveye Kurşun çekirdekli kauçuk izolator ilave edilmiş çerçevede (çerçeve no 6) oluşuyor. Beklediği gibi en yüksek normal yük betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevede (çerçeve no 5) oluşmaktadır. Eğik elemanlı sismik izolatorlu çerçevede (çerçeve no 7) birinci katta oluşan normal yükü, geleneksel çerçeveye Kurşun çekirdekli kauçuk izolator ilave edilmiş çerçeveye (çerçeve no 6) göre daha fazla olsa bile kat artıka eğik elemanlar sayesinde normal yükü %30 olarak azalmaktadır.



Şekil 3.13. Kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvet

- 5 katlı 3 Açıklıklı çerçevenin kolonlarda oluşan kesme kuvveti

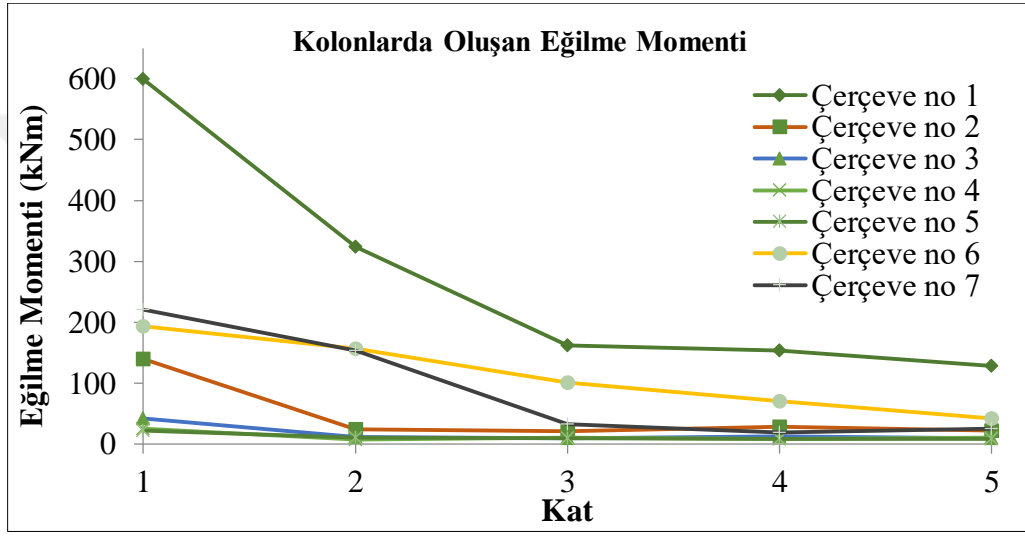
Beklendiği gibi en büyük kesme kuvveti (Şekil 3.11) geleneksel çerçevede (çerçeve no 1) oluşmuştur. Geleneksel çerçeveye şişmiş izolatorün ilave edilmesi sonucunda kolonlarda oluşan kesme kuvveti %50 civarında azaltılmaktadır.



Şekil 3.14. Kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvvet

- 5 katlı 3 Açıklıklı çerçevenin kolonlarda oluşan eğilme momenti

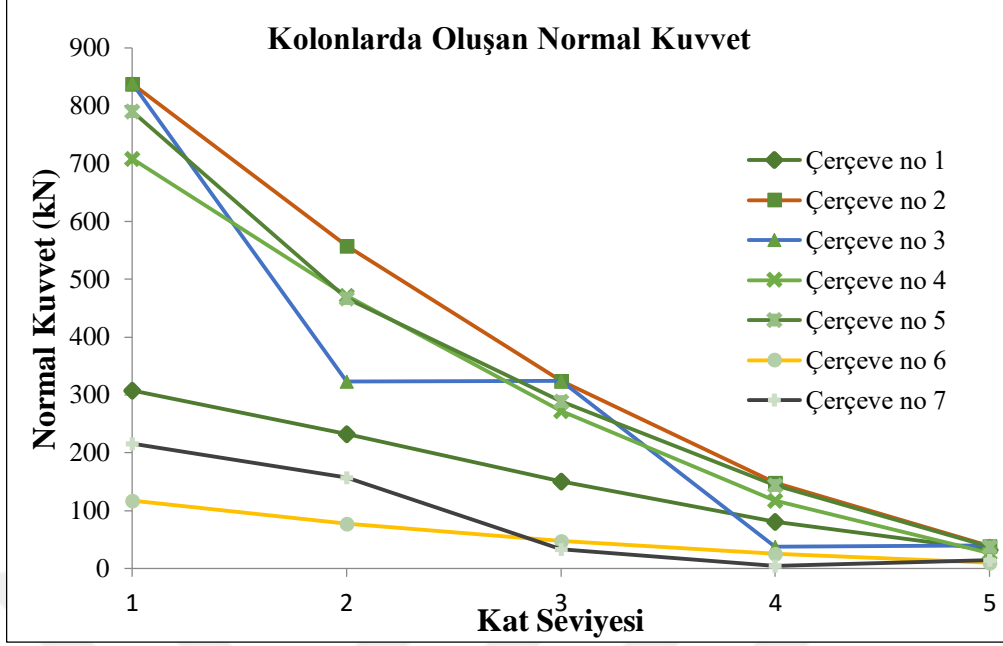
Kolonlarda oluşan eğilme momenti en çok geleneksel çerçevede oluşmuştur. Sismik izolatör geleneksel çerçeveye göre oluşan eğilme momenti %70 civarında azaltmaktadır. Eğik elemanlı çerçeveler diyagonaller sayesinde kolonlarda oluşan eğilme momentleri önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 3.15. Kolonlarda oluşan maksimum eğilme momenti

- 5 katlı 4 Açıklıklı çerçevenin kolonlarda oluşan normal kuvveti

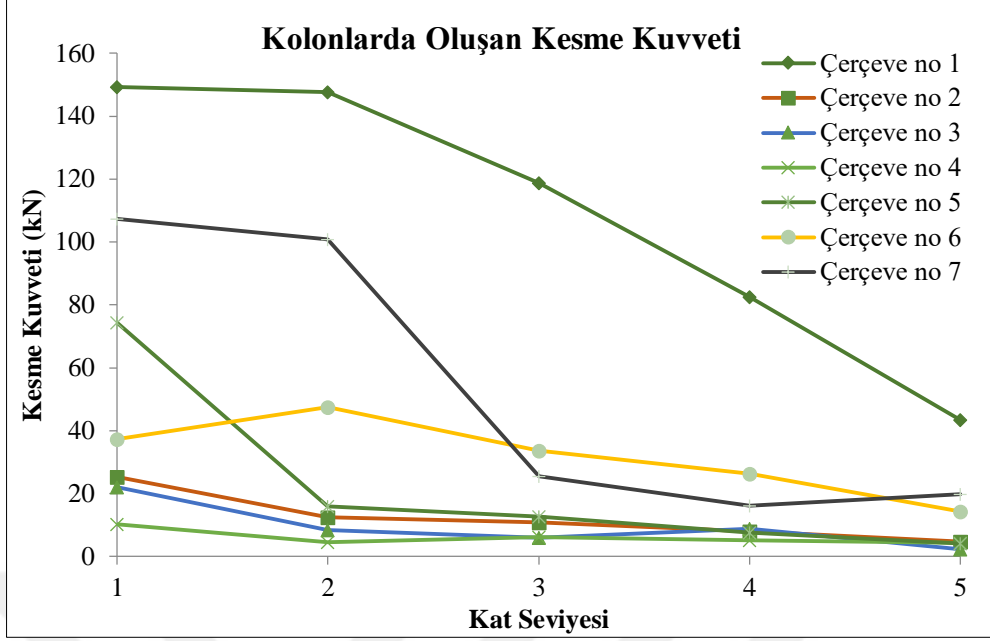
Aşağıdaki şekil 3.13’de 5 katlı 3 açıklıklı çerçevelerdeki gibi en düşük normal iç kuvveti geleneksel çerçeveye Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ilave edilmiş çerçevede (çerçeve no 6) oluşuyor. Genel olarak en yüksek normal iç kuvveti geleneksel (çerçeve no 1) ve betonarme perde ile güçlendirilmiş çerçevelerde oluşmaktadır.



Şekil 3.16. Kolonlarda oluşan maksimum normal kuvveti

- 5 katlı 4 Açıklıklı çerçevenin kolonlarda oluşan kesme kuvveti

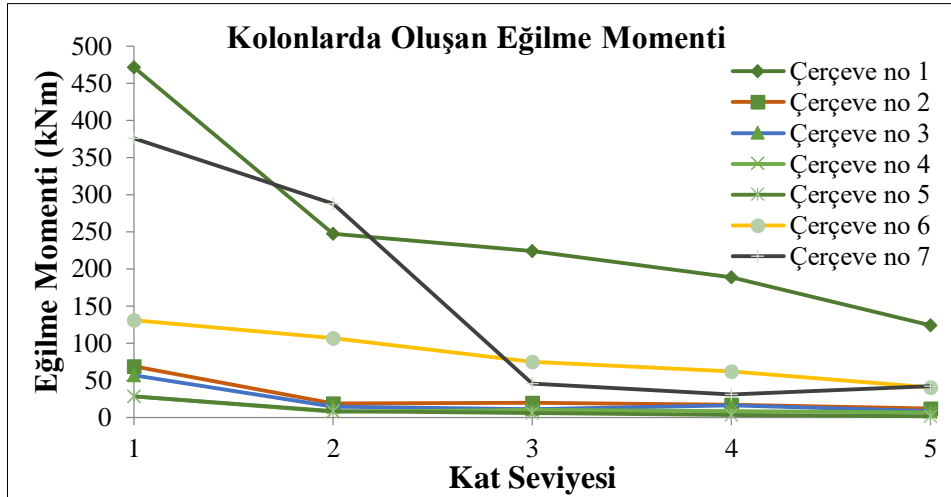
Şekil 3.14'te 5 Katlı 4 açıklıklı çerçevelerdeki kolonlarda oluşan kesme kuvvetleri gösterilmektedir. En yüksek kesme kuvveti geleneksel çerçevede (çerçeve no1) oluşmaktadır. Geleneksel çerçeveye göre sismik izolatör ilave edilmiş çerçevede (çerçeve no 6) oluşan kesme kuvvetleri yaklaşık olarak %70 civarında azalmaktadır. Eğik elemanlı çerçevelerde kesme kuvvetleri diğer çerçevelere kıyasla önemli derecede düşük çıkmaktadır.



Şekil 3.17. Kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvveti

- 5 katlı 4 Açıklıklı çerçevenin kolonlarda oluşan eğilme momenti

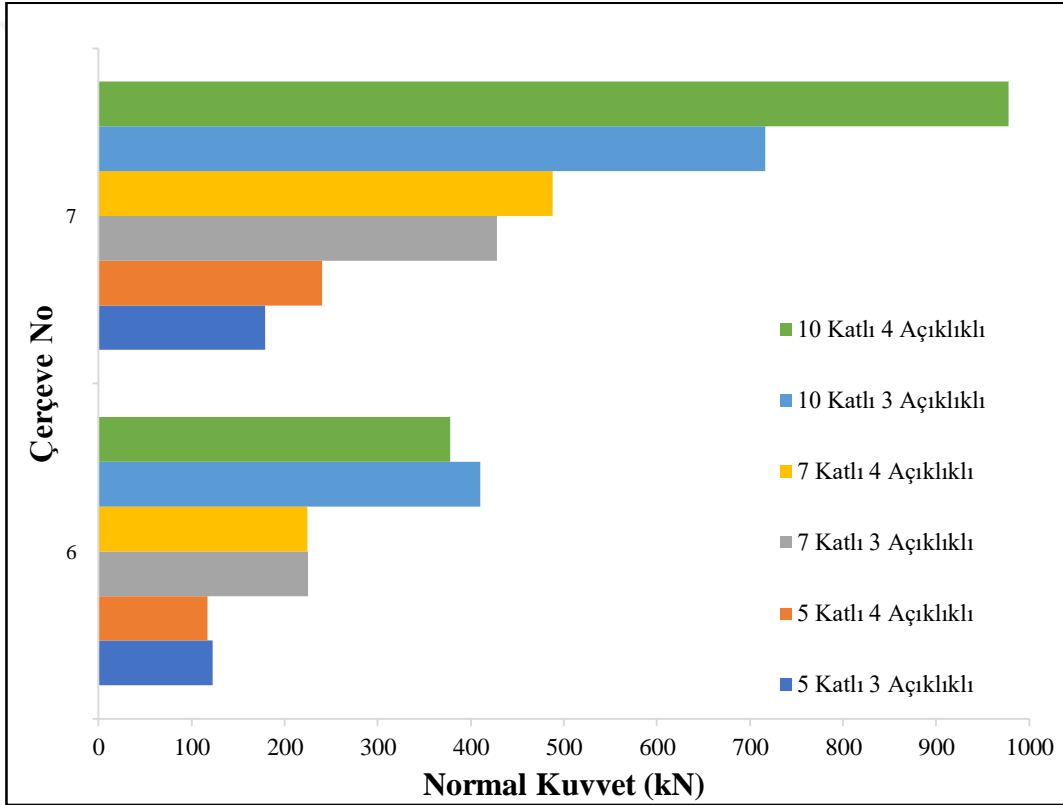
Şekil 3.15'de kolonlarda oluşan maksimum eğilme momentleri göstermektedir. En büyük eğilme momenti geleneksel çerçevede (çerçeve no 1) oluşmaktadır. Sismik izolatör ilavesi ile geleneksel çerçevede oluşan eğilme momenti %70 olarak azalmaktadır.



Şekil 3.18. Kolonlarda oluşan maksimum eğilme momenti

3.8.7. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörü Çerçevelerin Karşılaştırılması

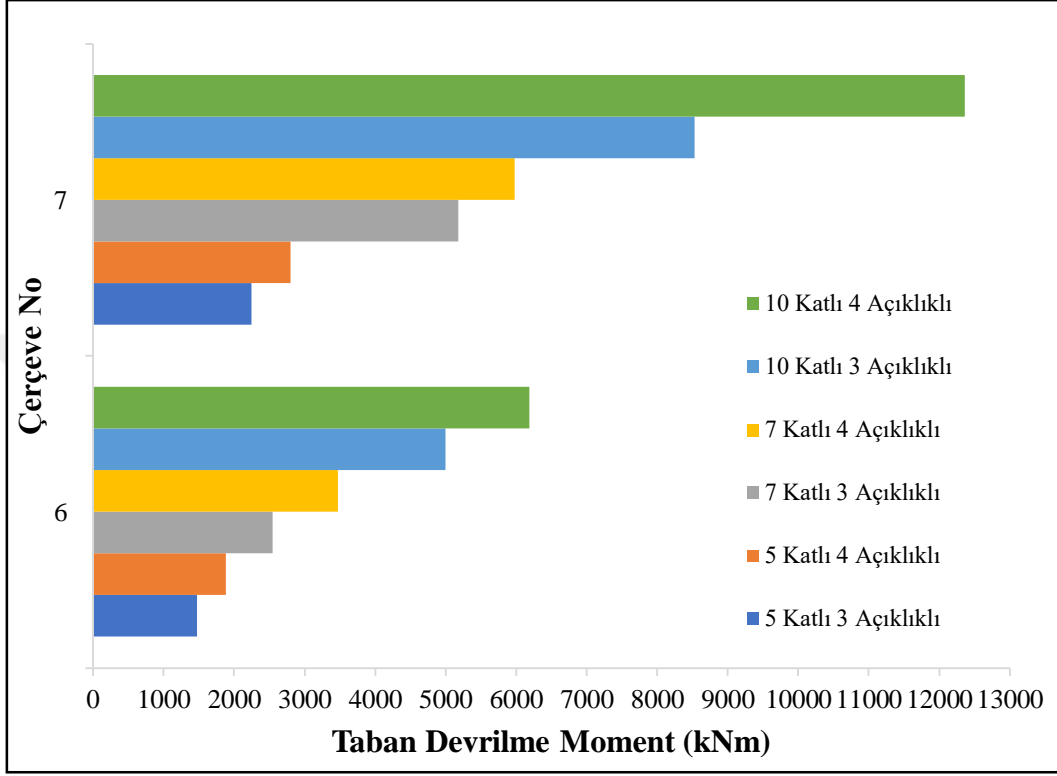
Hem betonarme eğik elemanlara sahip hem de kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü olan çerçeve’de (Çerçeve No 7) betonarme eğik elemanları içermeyen çerçeveye (Çerçeve No 6) göre kolonlarda oluşan normal kuvvetleri açısından Şekil 3.19’den görülebildiği gibi daha kötü sonuçlar vermektedir. Kat arttıkça, eğik elemanlı çerçevelerde eğik elemansız çerçevelere göre normal kuvvetin farkı da artmaktadır. 5 Katlı olan eğik elemanlı çerçevelerde normal kuvvet %45 daha fazla çıkmaktadır, 10 katlılarda ise bu değer %159’a ulaşmaktadır.



Şekil 3.19. Kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvetleri

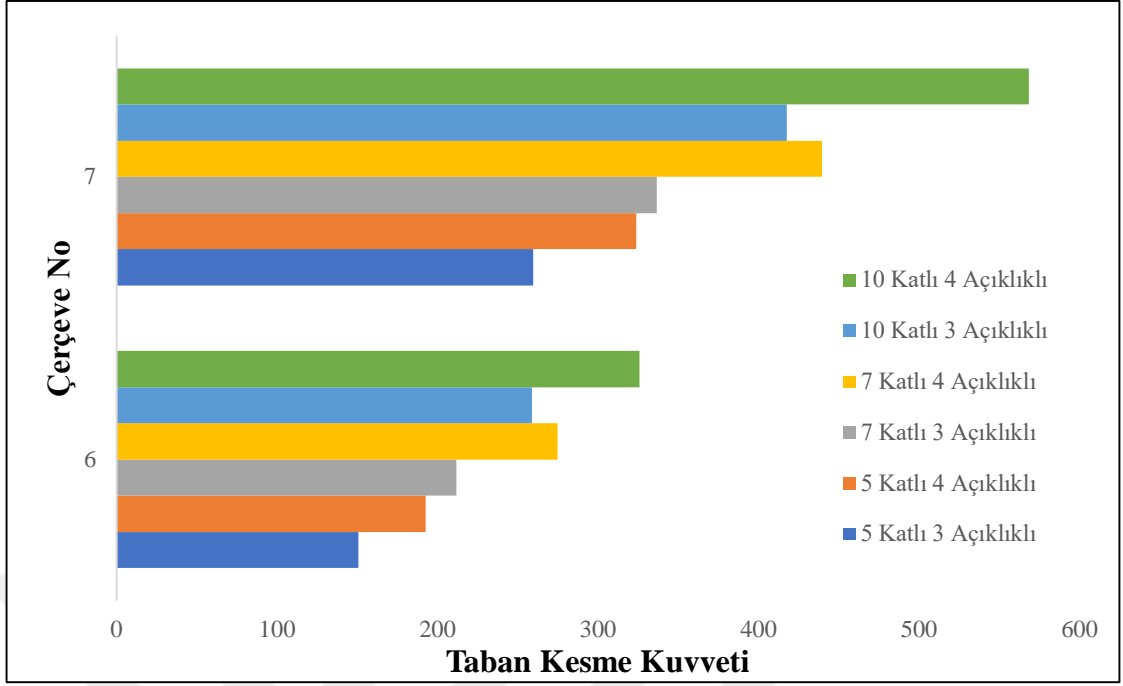
Tabanda oluşan maksimum devrilme momenti hem eğik elemanlara sahip hem de kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü olan çerçeve’de (Çerçeve No 7) betonarme eğik elemanları içermeyen çerçeve’ye (Çerçeve No 6) göre Şekil 3.20’de görülebildiği gibi daha fazla çıkmamaktadır. Bir önceki karşılaştırılmasındaki gibi burada’da aynı durum gözlenmektedir, kat arttıkça eğik elemanların sismik izolatörle birlikte kullanılması daha da

kotu sonuçlar göstermektedir. 5 Katlı olan eğik elemanlı ve sismik izolatörlü olan çerçevelerdeki eğik elemansız olan çerçevelere göre çıkan taban devrilme momenti %52 daha fazladır, 10 katlı olanlarda ise bu değer %100'e ulaşmaktadır.



Şekil 3.20. Taban devrilme momenti

Tabanda oluşan maksimum taban kesme momenti hem eğik elemanlara sahip hem de kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü olan çerçeve’de (Çerçeve No 7) betonarme eğik elemanları içermeyen çerçeve’ye (Çerçeve No 6) göre Şekil 3.21’de görülebildiği gibi daha fazla çıkmamaktadır. 5 Katlı olan eğik elemanlı ve sismik izolatörlü olan çerçevelerdeki eğik elemansız olan çerçevelere göre çıkan taban kesme momenti %269 daha fazladır, 10 katlı olanlarda ise bu değer %169’za düşmektedir.



Şekil 3.21. Taban kesme kuvveti

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı farklı kat adedi ve açıklıktan oluşan yüksek sönümlü Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü olan çerçeveler, geleneksel çerçeve sistemler, farklı olarak düzenlenen eğik elemanlarla çerçeve sistemler ve betonarme perdelerle rijitleştirilmiş çerçeve sistemlerin depreme karşı lineer davranışlarının karşılaştırılması olarak incelenmesinden ibaretti. Bu amaç doğrultusunda SAP2000 programı kullanılarak modelleme yapılmış ve her bir çerçeve sistem için doğal periyodu, maksimum taban kesme kuvveti, maksimum devrilme momenti, maksimum deplasman ve kolonlarda oluşan maksimum normal kuvvet yönünden bulgular elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulardan aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir

1. Göreli kat ötelemeleri ilgili deprem yönetmelikte verilen koşullardan hiçbiri, geleneksel çerçeve sistemlerinde elde edilen sonuçlarına göre sağlanmamaktadır
2. Geleneksel çerçeve sistemlerine göre, eğik elemanlı çerçeve sistemlerinin ve betonarme perdeli çerçeve sistemlerinin doğal titreşim periyotları yaklaşık olarak %50 azalmaktadır.
3. Geleneksel çerçeve sistemlerine göre Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ilave edilmiş çerçevelerdeki doğal titreşim periyot yaklaşık olarak %250 artmaktadır.
4. 2.'nci Ve 3.'cü Sonuçların ışığında denilebilir ki, yapı hasarı için çok etkili olan rezonans durumu oluşmaması için, hâkim periyodu düşük olan zeminlerde hasar azaltmak amacıyla Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılması uygun görülmektedir, fakat hâkim periyodu yüksek olan zeminlerde eğik elemanlar ile veya betonarme perdeler ile güçlendirme yöntemlerinin kullanılması uygun görülmektedir.
5. Deplasman bakımından, genel olarak, betonarme ve eğik elemanlı çerçeve sistemlerinin performansı diğer çerçeve sistemlerine göre daha iyidir.
6. Geleneksel çerçeve sistemindeki oluşan maksimum taban devrilme momenti diğer çerçeve sistemlerine göre daha büyüktür.
7. Eğik elemanlı çerçeve sistemler arasındaki maksimum eğilme momenti, 2 nolu çerçeve sisteminde en düşük, 4 nolu sisteminde ise en büyük olmaktadır

8. Eğik elemanlı çerçeve sistemler arasındaki maksimum normal kuvvet en büyük değerini, 4 nolu çerçeve sistemlerinde almaktadır. En küçük değeri ise 2 nolu çerçeve sistemlerinde oluşmaktadır.
9. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü çerçeve sistemlerinde oluşan maksimum taban kesme kuvveti diğer çerçeve sistemlerde oluşanlardan çok daha küçüktür.
10. Eğik elemanlı çerçeve sistemler arasındaki maksimum oluşan taban kesme kuvveti 5 ve 10 katlı çerçeveler arasındaki en küçük değerler çerçeve no 3'te oluşmaktadır, 7 katlı çerçevelerin arasındaki ise en küçük değerler çerçeve no 4'te.
11. Sismik izolatörlü ve eğik elemanlar ilave edilmiş çerçeve (Çerçeve No 7), sadece sismik izolatörlü olan çerçeveye (Çerçeve No 6) göre çok daha kötü sonuçlar vermektedir. Çalışma sonucunda bu iki depreme karşı güçlendirme sistemlerin birlikte kullanılması önerilmemektedir.

5. KAYNAKLAR

- Basshofi, A., 2019. Base Seismic Isolation of a Historical Masonry Church Using Fiber Reinforced Elastomeric Isolators, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 120, 127-145.
- Sodha, A., Sandip, V. ve Devesh, S., 2018. Probabilistic Evaluation of Seismically Isolated Building Using Quintuple Friction Pendulum Isolator, First Edition, Springer, Singapore.
- Canbay, E., 2008. Binalar İçin Deprem Mühendisliği, Birinci Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayınları, Ankara.
- Chopra, A.K., 2015. Yapı Dinamiği Teori ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları, Birinci Baskı, Palme Yayıncılık, İstanbul.
- URL-1, www.docs.csiamerica.com/manuals/etabs/Analysis%20Reference.pdf CSi Analysis Reference Manual. 17 June 2016.
- Doğangün, A., 2013. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım, Onuncu Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Chuan, V., Politopoulos, İ. ve Diop, S., 2016. Relaxation Base Seismic Isolator, John Wiley & Sons, Ltd., 45, 2027-2037.
- Brunesi, S., Peloso, S. ve Pinho, R., ve Nascimbene R., 2017. Cyclic Testing Of A Full-Scale Two-Storey Reinforced Precast Concrete Wall-Slab-Wall Structure, Bulletin of Earthquake Engineering.
- Hisayoshi, H., 1996. Building Vibration Isolation System With Spring, Elsevier Science Ltd., 1445.
- Hoşbaş, A.B., 2006. Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kamrava, A., 2014. Seismic Isolators And Their Types, Department of Environment and Cvil Engineering, 10, 27-32.
- Karaduman, A. ve Döndüren, M., S., (2004). Çok Katlı Betonarme Yapıların Dinamik Analizi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 432, 55-62.
- Kelly, J.M., 1993. Earthquake-Resistant Design with Rubber, Springer, London.

- Kelly, J.M., 1993. Base Isolation Design Guideline, Springer, London.
- Komodromos, P., 1993. Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures, UK: WIT Press, Southampton.
- Kırçıl, M.S. ve HANCIOĞLU, B., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Genel İlkeler, www.yildiz.edu.tr/~bhanci/belgeler/ddytgi.pdf. 11 Ocak 2005.
- Barbieri, M., Ilanko, S. ve Pellicano, F., 2018. Active Vibration Control of Seismic Excitation, Nonlinear Dynamics, 93, 41–52.
- Sağiroğlu, M., Maali, M. ve Aydın, C., 2018. Installation and Maintenance Principles of Seismic Isolators, The Open Civil Engineering Journal, 12(1), 83-95.
- Özdemir, M., Işık, E. ve Ülker, M., 2016. Farklı Kat Adetlerine Sahip Betonarme Binaların Performans Değerlendirilmesi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 5(2), 183-190.
- Takahiro, M. ve Nobuo, M., 2017. Simulation of Ultimate Characteristics of Large Scale Seismic Isolator Based on Large Deformation Finite Element Analysis, Nippon Kenchiku Gakkai Kozokei Ronbunshu, 76(661), 571-580.
- Muneo, H., 2018. Introduction to Computational Earthquake Engineering, Third Edition, World Scientific Publishing Europe Ltd., London.
- Naeim, F. ve Kelly, J.M., 1999. Design of Seismic Isolated Structures, First Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Kan, Ö., Kaymaz, K., Zengin, B. ve Özcan, M., 2017. Türkiye'deki Depreme Dayanıklı Yapıların Sismik İzolasyon, Bilim ve Gençlik Dergisi, 5, 83-100.
- Özpalanlar, C.G., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon Ve Enerji Sönümleyici Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2004).
- Pekgökgöz, R.K. ve Taş, G., 2017. Ayarlı Kütle Sönümleyicili Yüksek Minarelerin Dinamik Analizi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32, 266-282,
- Hong, S.C. ve Hur, D.J., 2018, Dynamic Behavior of a Simple Rolling Seismic Isolator with a Position Restoring Device, MDPI and ACS Style, 8(10), 1-15.
- Roncen, T., Sinou, J.J. ve Lambelina, P., 2019. Experiments and Nonlinear Simulations of a Rubber Isolator Subjected to Harmonic and Random Vibrations, ScienceDirect, 451, 71-83.
- Türker, H., Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılış Tipleri Örnek Bir Maliyet Analizi, Kocaeli Deprem Sempozyumu, Mart 2005, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 538-545.

- Witarto, W., Mo, Y.L., Tang, Y., Chang, K.C. ve Ruis, M., 2018. Periodic Material-Based Seismic Base Isolators for Small Modular Reactors, University of Houston.
- Nguyen, X.B., Komatsuzaki, T., Iwata, Y. Ve Asanuma, H., 2018. Modeling and Semi-Active Fuzzy Control Of Magnetorheological Elastomer-Based İsolator For Seismic Response Reduction, Mechanical Systems and Signal Processing, 101, 449-466.
- Li, Y., Li, J., Li, W. ve Samali, B., 2013. Development and Characterization of a Magnetorheological Elastomer Based Adaptive Seismic Isolator, Smart Materials and Structures, 22 (3).
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım, Üçüncü Baskı, Beta Yayıncılık, İstanbul.



6. EKLER

EK-1

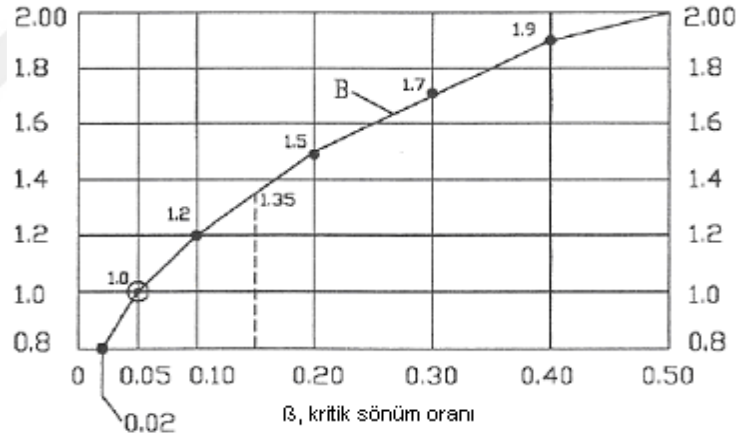
Kolon kuvveti 694.76 kN için Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün modellenmesi
Hedef periyodun belirlenmesi:

$$T_D \geq 3 * T_{\text{ankastre}} = 0.75 * 3 = 2.25 \text{ sn.}$$

$$T_D = 2.5 \text{ saniye seçildi}$$

$$T_M = 3 \text{ saniye seçildi}$$

Sönüm azaltma katsayısı: Kurşun çekirdek sayesinde izolatörde yeterince sönüm mevcuttur, bu sönüm %15 olarak seçildi buna karşılık gelen sönüm azaltma katsayısı B_d ve B_m 1,35 değerini almaktadır



Şekil E.1. Sönüm azaltma katsayısı

İzolatörün yatay yönünde tasarım yer değiştirme:

$$d_d = \frac{g * C_{vd} * T_D}{B_D * 4\pi^4} = \frac{9.81 * 0.4 * 2.5}{1.35 * 4\pi^4} = 0.184 \text{ m}$$

İzolatörün yatay yonun maksimum yer değiştirme:

$$d_m = \frac{g * C_{vd} * T_M}{B_M * 4\pi^4} = \frac{9.81 * 0.4 * 3}{1.35 * 4\pi^4} = 0.22 \text{ m}$$

Efektif yatay rijitliğin belirlenmesi:

$$K_H = K_{\text{eff}} = \frac{W}{g} * \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 = \frac{694.76}{9.81} * \left(\frac{2\pi}{2.5} \right)^2 = 447.35 \text{ kN/m}$$

Her çevrimde sönümlenen enerji miktarı:

$$W_D = 2\pi * K_{\text{eff}} * d_d^2 * B_{\text{eff}} = 2\pi * 447.35 * 0.184^2 * 0.15 = 14.27 \text{ kNm}$$

Karakteristik dayanımın belirlenmesi: $Q_d = \frac{W_D}{4 * d_d} = \frac{14.27}{4 * 0.184} = 19.39 \text{ kN}$ Akma yer

değiştirmesinin hesaplanması

$$K_d = K_{\text{ef}} - \frac{Q_d}{d_d} = 447.35 - \frac{19.39}{0.184} = 341.97 \text{ kN}$$

$$d_y = \frac{Q_d}{9 * K_d} = \frac{19.39}{9 * 341.97} = 0.0063 \text{ m}$$

Kurşun çekirdeğin alanı

$$A_{\text{Kurşun}} = \frac{Q_d}{f_y} = \frac{19390}{11} = 1762.73 \text{ mm}^2$$

İzolatörün çapı 40 cm ve Kurşun çekirdek çapı ise 50 mm seçilirse Kurşun çekirdek kesit alanı 1963.5 mm^2 . ($1963.5 \text{ mm}^2 \geq 1762.73 \text{ mm}^2$)

Kurşun çekirdeğin alanı değiştiğinde izolatör karakteristik dayanımı tekrar hesaplanmalı

$$Q_d = A_{\text{pb}} * f_y = 1963.5 * 11 = 21598.5 \text{ N} = 21.600 \text{ kN}$$

Kurşun çekirdeğin izolatöre sağladığı rijitlik

$$K_{\text{Kurşun}} = \frac{Q_d}{d_d} = \frac{21.600}{0.184} = 117.33 \text{ kN/m}$$

Kauçuk kısmının izolatöre sağladığı rijitlik

$$K_{\text{kauçuk}} = K_d = K_H - K_{\text{Kurşun}} = 447.35 - 117.33 = 330 \text{ kN/m}$$

Akma yer değiştirmesinin tekrar hesaplanması

$$d_y = \frac{Q_d}{9 \cdot K_d} = \frac{21.600}{9 \cdot 330} = 0.007 \text{ m}$$

Kauçuk kapladığı alanın belirlenmesi

$$A_{\text{kaucuk}} = \frac{\pi \cdot 400^2}{4} - 1963.5 = 123700 \text{ mm}^2$$

Kauçuğun gerekli kalınlığının belirlenmesi

G – kauçuğun kayma modülü

$$t_r = \frac{G \cdot A_{\text{kaucuk}}}{K_{\text{kaucuk}}} = \frac{0.5 \cdot 123700}{330} = 187.42 \text{ mm}$$

Şekil faktörünün belirlenmesi:

Tek kauçuğun kalınlığını 5 mm seçildi

$$S = \frac{\phi}{4 \cdot t} = \frac{0.4}{4 \cdot 0.005} = 20$$

İzolatörün düşey rijitliğinin belirlenmesi:

$$K_v = \frac{E_c \cdot A_s}{t_r} = \frac{6GS^2 \cdot A_s}{t_r} = \frac{6 \cdot 0.5 \cdot 20^2 \cdot 123700}{187.42} = 792017 \text{ kN/m}$$

Akma dayanımının hesaplanması:

$$F_y = Q_D + K_D \cdot d_y = 21.600 + 330 \cdot 0.007 = 23.9 \text{ kN/m}$$

İzolatörün toplam yüksekliğinin hesaplanması:

Kauçuğun gerekli kalınlığı 187.42 mm olarak daha önceden hesaplanmıştır, tek kauçuğun kalınlığı ise 5 mm olarak seçildi. Bunu sağlamak için toplam 38 adet kauçuk katman gereklidir, kauçuklar arasında ise 37 adet 2 ml'lik çelik levha yerleştirilecek. Buna ilave olarak üstte ve altta daha 20 ml'lik çelik levha kullanılacak diye kabulü yapılmıştır.

$$h_{\text{top}} = 38 \cdot 5 + 37 \cdot 2 + 20 \cdot 2 = 304 \text{ mm}$$

Kayma Şekil değiştirmelerinin hesaplanması:

Yatayda:

$$\gamma_h = \frac{K_d * d_D}{A * G} = \frac{330000 * 0.184}{\frac{\pi * 0.4^2}{4} * 0.5 * 10^6} = 4.57 \text{ kN/m}$$

Düşeyde:

$$\Delta_t = \frac{W}{K_V} = \frac{694.76}{468000} = 0.0015 \text{ m}$$

$$E_z = \frac{\Delta_t}{h_{top}} = \frac{1.5}{486} = 0.0031$$

$$\gamma_v = 6 * S * E_z = 6 * 20 * 0.0031 = 0.37 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{maks} = \gamma_v + \gamma_h = 0.37 + 4.57 = 4.94 \text{ kN/m}$$

Burkulma tehlikesinin denetlenmesi:

$$I = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{0.4}{2}\right)^4 = 0.00125 \text{ m}^4$$

$$P_{kritik} = \sqrt{\frac{A * G * \pi^2 * E_c * I}{3 * t^2}} = \sqrt{\frac{0.126 * 0.5 * 10^3 * \pi^2 * 1200 * 10^3 * 0.00125}{3 * 0.486^2}} = 1142 \text{ kN}$$

$P_{kritik} = 1142 \text{ kN} > 321 \text{ kN}$ Olduğundan burkulma tehlikesi bulunmamaktadır.

EK-2

Kolon kuvveti 883.76 kN için Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün modellenmesi

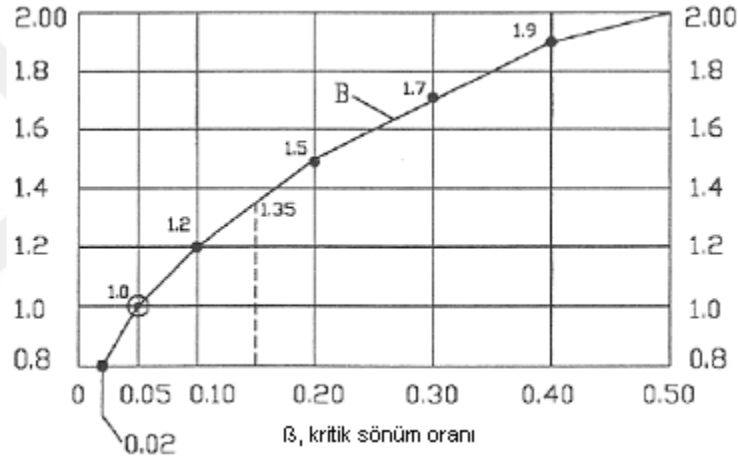
Hedef periyodun belirlenmesi:

$$T_D \geq 3 * T_{\text{ankastre}} = 1.1 * 3 = 3.3 \text{ sn.}$$

$$T_D = 3.5 \text{ saniye seçildi}$$

$$T_M = 4 \text{ saniye seçildi}$$

Sönüm azaltma katsayısı: Kurşun çekirdek sayesinde izolatörde yeterince sönüm mevcuttur, bu sönüm % 15 olarak seçildi buna karşılık gelen sönüm azaltma katsayısı B_D ve B_M 1,35 değerini almaktadır



Şekil E.2. Sönüm azaltma katsayısı

İzolatörün yatay yönünde tasarım yer değiştirme:

$$d_d = \frac{g * C_{vd} * T_D}{B_D * 4\pi^4} = \frac{9.81 * 0.4 * 3.5}{1.35 * 4\pi^4} = 0.26 \text{ m}$$

İzolatörün yatay yönün maksimum yer değiştirme:

$$d_m = \frac{g * C_{vd} * T_M}{B_M * 4\pi^4} = \frac{9.81 * 0.4 * 3}{1.35 * 4\pi^4} = 0.3 \text{ m}$$

Efektif yatay rijitliğin belirlenmesi:

$$K_H = K_{\text{eff}} = \frac{W}{g} * \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 = \frac{883.76}{9.81} * \left(\frac{2\pi}{3.5} \right)^2 = 290.33 \text{ kN/m}$$

Her çevrimde sönümlenen enerji miktarı:

$$W_D = 2\pi * K_{\text{eff}} * d_d^2 * B_{\text{eff}} = 2\pi * 290.33 * 0.26^2 * 0.15 = 18.5 \text{ kNm}$$

Karakteristik dayanımın belirlenmesi:

$$Q_d = \frac{W_D}{4 * d_d} = \frac{18.5}{4 * 0.26} = 17.79 \text{ kN}$$

Akma yer değiştirmesinin hesaplanması

$$K_d = K_{\text{ef}} - \frac{Q_d}{d_d} = 290.33 - \frac{17.79}{0.26} = 221.58 \text{ kN}$$

$$d_y = \frac{Q_d}{9 * K_d} = \frac{17.79}{9 * 221.58} = 0.009 \text{ m}$$

Kurşun çekirdeğin alanı

$$A_{\text{Kurşun}} = \frac{Q_d}{f_y} = \frac{17790}{11} = 1617.27 \text{ mm}^2$$

İzolatörün çapı 40 cm ve Kurşun çekirdek çapı ise 50 mm seçilirse Kurşun çekirdek kesit alanı 1963.5 mm^2 . ($1963.5 \text{ mm}^2 \geq 1617.27 \text{ mm}^2$)

Kurşun çekirdeğin alanı değiştiğinde izolatör karakteristik dayanımı tekrar hesaplanmalı

$$Q_d = A_{\text{pb}} * f_y = 1963.5 * 11 = 21598.5 \text{ N} = 21.600 \text{ kN}$$

Kurşun çekirdeğin izolatöre sağladığı rijitlik

$$K_{\text{Kurşun}} = \frac{Q_d}{d_d} = \frac{21.600}{0.26} = 83.1 \text{ kN/m}$$

Kauçuk kısmının izolatöre sağladığı rijitlik

$$K_{\text{kaucuk}}=K_d=K_H-K_{\text{Kurşun}}=290.33-83.1=207.23 \text{ kN/m}$$

Akma yer değiştirmesinin tekrar hesaplanması

$$d_y = \frac{Q_d}{9 \cdot K_d} = \frac{21.600}{9 \cdot 207.23} = 0.012 \text{ m}$$

Kauçuk kapladığı alanın belirlenmesi

$$A_{\text{kaucuk}} = \frac{\pi \cdot 400^2}{4} - 1963.5 = 123700 \text{ mm}^2$$

Kauçuk Kauçuğun gerekli kalınlığının belirlenmesi

G – kauçuğun kayma modülü

$$t_r = \frac{G \cdot A_{\text{kaucuk}}}{K_{\text{kaucuk}}} = \frac{0.5 \cdot 123700}{207.23} = 298.46 \text{ mm}$$

Şekil faktörünün belirlenmesi:

Tek kauçuğun kalınlığı 5 mm seçildi

$$S = \frac{\phi}{4 \cdot t} = \frac{0.4}{4 \cdot 0.005} = 20$$

İzolatörün düşey rijitliğinin belirlenmesi:

$$K_V = \frac{E_c \cdot A_s}{t_r} = \frac{6GS^2 \cdot A_s}{t_r} = \frac{6 \cdot 0.5 \cdot 20^2 \cdot 123700}{298.46} = 497353 \text{ kN/m}$$

Akma dayanımının hesaplanması:

$$F_y = Q_D + K_D \cdot d_y = 21.600 + 207.23 \cdot 0.012 = 24 \text{ kN/m}$$

İzolatörün toplam yüksekliğinin hesaplanması:

Kauçuğun gerekli kalınlığı 298.46 mm olarak daha önceden hesaplanmıştır, tek kauçuğun kalınlığı ise 5 mm olarak seçildi. Bunu sağlamak için toplam 60 adet kauçuk katman gereklidir, kauçuklar arasında ise 59 adet 2 ml'lik çelik levha yerleştirilecek. Buna ilave olarak üstte ve altta daha 20 ml'lik çelik levha kullanılacak diye kabulü yapılmıştır.

$$h_{\text{top}} = 60 \cdot 5 + 59 \cdot 2 + 20 \cdot 2 = 458 \text{ mm}$$

Kayma Şekil değiştirmelerinin hesaplanması:

Yatayda:

$$\gamma_h = \frac{K_d * d_D}{A * G} = \frac{207230 * 0.26}{\frac{\pi * 0.4^2}{4} * 0.5 * 10^6} = 0.857 \text{ kN/m}$$

Düşeyde:

$$\Delta_t = \frac{W}{K_V} = \frac{883.76}{497353} = 0.0017 \text{ m}$$

$$E_z = \frac{\Delta_t}{h_{\text{top}}} = \frac{1.7}{458} = 0.0037$$

$$\gamma_v = 6 * S * E_z = 6 * 20 * 0.0037 = 0.44 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{\text{maks}} = \gamma_v + \gamma_h = 0.44 + 0.857 = 1.297 \text{ kN/m}$$

Burkulma tehlikesinin denetlenmesi:

$$I = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{0.4}{2}\right)^4 = 0.00125 \text{ m}^4$$

$$P_{\text{kritik}} = \sqrt{\frac{A * G * \pi^2 * E_c * I}{3 * t^2}} = \sqrt{\frac{0.126 * 0.5 * 10^3 * \pi^2 * 1200 * 10^3 * 0.00125}{3 * 0.458^2}} = 1217 \text{ kN}$$

$P_{\text{kritik}} = 1217 \text{ kN} > 321 \text{ kN}$ Olduğundan burkulma tehlikesi bulunmamaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

Dimitri Lavrentiev 1992 yılında Kobuleti Gürcistan'da doğdu. Lise Batum'da bitirdi 2011 yılında bitirdi. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde lisans eğitime başladı ve 2016 da bitirdi. Aynı yıl Yüksek Lisans Öğrenimine başladı. Rusça, Gürcüce ve İngilizce dilleri bilmekte.

