

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETONARME BİR BİNADA SİSMİK İZOLASYONLU VE İZOLASYONSUZ
ÇÖZÜMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Selcan BAKİ

**HAZİRAN 2015
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**

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

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Betonarme Bir Binada Sismik İzolasyonlu ve İzolasyonsuz Çözümlerin Karşılaştırılması” konusunu kapsayan Yüksek Lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tezi çalışmamda yardımlarını hiçbir zaman benden esirgemeyen, çalışma konusunu bana öneren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ümit UZMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca değerli zamanlarını ayırarak tezimi değerlendiren Sayın Prof. Dr. Ragıp ERDÖL ve Sayın Prof. Dr. Ahmet BİRİNCİ hocalarıma da teşekkürlerimi arz ederim.

Bugüne kadar süregelen öğrenim hayatımda ilk öğretmenim Aliye ALPTEKİN’den başlayarak yüksek lisans tezi hocam Prof. Dr. Ümit UZMAN’a kadar üzerimde emekleri olan ve yardımlarını hiçbir zaman benden esirgemeyen tüm hocalarım ile hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan ve her türlü desteği veren sevgili aileme de minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca benimle bu süreçte birlikte yürüyen acı ve sevinçleri paylaşan tüm öğrenci arkadaşlarıma teşekkür eder, gelecek hayatlarında sonsuz başarılar dilerim.

Selcan BAKİ

Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Betonarme Bir Binada Sismik İzolasyonlu ve İzolasyonsuz Çözümlerin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ümit Uzman‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, 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.
13/07/2015

Selcan BAKİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.3. Literatür Taraması.....	3
1.4. Taban Yalıtım Sistemleri.....	6
1.4.1. Kurşun Çekirdekli İzolatör	6
1.4.2. Çapraz Doğrusal Hareket Sistemi.....	7
1.4.3. Kayıcı Tabakalı Kauçuk İzolatör	8
1.4.4. Çelik Bilyalı İzolatör	8
1.5. Sismik İzolasyonun Amacı	9
1.6. Sismik Yalıtımın Sağladığı Avantajlar	10
1.6.1. Sismik Yalıtımın Sağladığı Teknik Avantajlar.....	11
1.7. Sismik İzolatörlerin Kullanım Alanları	12
1.8. İzolasyon Sisteminin Gelişim Aşamaları.....	13
1.8.1 Dünya'daki Gelişmeler.....	13
1.8.2 Türkiye'deki Gelişmeler	15

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1.	Deprem Etkisinde Taban Yalıtımı	16
2.2.	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	17
2.3.	Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması	18
2.3.1.	Spektral İvme Katsayısı	18
2.3.2.	Etkin Yer İvmesi Katsayısı	18
2.3.3.	Bina Önem Katsayısı	19
2.3.4.	Spektrum Katsayısı	19
2.3.5.	Özel Tasarım İvme Spektrumları.....	20
2.3.6.	Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması.....	21
2.3.7.	Deprem Yükü Azaltma Katsayısı	21
2.4.	Hesap Yönteminin Seçilmesi.....	22
2.4.1.	Hesap Yöntemleri	22
2.4.2.	Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulama Sınırları.....	22
2.5.	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi.....	23
2.5.1.	Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi	23
2.5.2.	Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi.....	23
2.6.	Mod Birleştirme Yöntemi	24
2.6.1.	Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri.....	24
2.6.2.	Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı	24
2.6.3.	Mod Katkılarının Birleştirilmesi.....	25
2.7.	Örnek Üç Katlı Bina	25
2.7.1.	Ölçüler, Ağırlıklar, Zemin ve Malzeme Bilgileri	25
2.7.2.	Seçilen Binanın Ağırlık ve Kütlesinin Hesabı.....	26
2.7.3.	Seçilen Binanın Kat Rijitliklerinin hesabı	27
2.8.	Seçilen İzolatör	29
2.8.1.	Zemin ile Bina Temeli Arasına İzolatör Konulması Durumunda Rijitliğinin Hesabı.....	30
2.8.2.	Temel Üzerine Yerleştirilen Kolon Üzerine İzolatör Konulması Durumunda Rijitliğinin Hesabı	32
3.	BULGULAR VE İRDELEME	33
3.1.	İzolasyonlu ve İzolasyonsuz Modellerde Periyot ve Frekans Hesapları	33
3.1.1.	İzolasyonsuz Modelde Denklemlerin Matris Formunda Elde Edilmesi.....	33
3.1.2.	İzolasyonsuz Modelde Sistemin Periyot ve Frekansının Hesabı	34

3.1.3.	Sismik İzolasyonlu Modelde Denklemin Matris Formunda Elde Edilmesi	36
3.1.4.	Zemin ile Bina Temeli Arasına İzolatör Konularak İzolasyon Yapılması Durumunda.....	37
3.1.5.	Temel Üzerine Yerleştirilen Kolon Üzerine İzolatör Konularak İzolasyon Yapılması Durumunda.....	40
3.2.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Yapılan Hesaplar	43
3.2.1.	İzolasyonsuz Modelde Yapılan Hesaplar	43
3.2.2.	Kat Kesme Kuvvetlerinin ve Katlar Arası Rölatif Yer Değiş-tirmelerinin Hesabı.....	43
3.2.3.	İzolasyonlu Modelde Yapılan Çözümler	45
3.2.4.	Zemin ile Bina Temeli Arasına İzolatör Konulması Durumunda Kat Kesme Kuvvetleri ve Katlar Arası Rölatif Yer Değiş-tirmelerinin Hesabı.....	45
3.2.5.	Temel Üzerine Yerleştirilen Bir Kolon Üzerine İzolatör Konulması Durumunda Kat Kesme Kuvvetlerinin ve Katlar Arası Rölatif Yer Değiş-tirmelerinin Hesabı	47
3.3.	Mod Birleştirme Yöntemine Göre Yapılan Çözümler.....	49
3.3.1.	İzolasyonsuz Modelde Yapılan Çözümler	49
3.3.2.	Yatay Deprem Kuvvetinin Hesabı	52
3.3.3.	Kat Kesme Kuvvetlerinin Hesabı	53
3.3.4.	İzolasyonlu Modelde Yapılan Çözümler	54
3.3.5.	Bina ile Zemin Arasına İzolatör Konulması Durumunda Yapılan Çözümler.....	54
3.3.6.	Yatay Deprem Kuvvetinin Hesabı	58
3.3.7.	Kat Kesme Kuvvetlerinin Hesabı	60
3.4.	Çözümlerin Karşılaştırılması	60
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
5.	KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

BETONARME BİR BİNADA SİSMİK İZOLASYONLU VE İZOLASYONSUZ
ÇÖZÜMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Selcan BAKİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ümit UZMAN
2015, 67 Sayfa

Sismik izolasyon yönteminde amaç; zemin ile yapının tabanı arasına esnek enerji sönmüleyici elemanlar yerleştirilerek zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Bu çalışmanın amacı yapıların sismik taban izolasyonu tekniği ile tasarlanarak, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesidir. Sismik izolasyonun yapı davranışını göstermek amacıyla 3 katlı bir betonarme bir bina önce ankastre temelli olarak, daha sonra sismik izolasyonlu olarak analiz edilmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılarak çözümler yapılmıştır. Sonuç olarak sismik izolasyon yapılması durumunda kat kesme kuvvetlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sismik izolatörler, Sürtünmeli sarkaç mesneti, Deprem analizi

Master Thesis

SUMMARY

COMPARISON OF SEISMIC BASE ISOLATED AND UNISOLATED RC
BUILDINGS

Selcan BAKİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ümit UZMAN
2015, 67 Pages

The aim of seismic base isolation method is to decrease the earthquake forces transmitted from ground to the building by placing flexible energy-absorbing elements into the ground and the building foundations. The aim of this study is to construct earthquake resistant buildings using the seismic base isolation technique. To this aim, a three storey RC building was modelled and analyzed using equivalent earthquake force and mode superposition methods. The response of RC building considering base isolation was compared that of RC building not considering base isolation. As a result, it was determined that shear forces at each storey decrease in case of seismic isolation.

Key Words: Seismic isolation, Friction pendulum bearings, Earthquake resistant structure

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Taban izolasyonlu yapı ile normal yapının deprem sırasındaki hareketi	3
Şekil 1.2. Kurşun çekirdekli izolatör	7
Şekil 1.3. Çapraz doğrusal hareket sistemi (CLB).....	7
Şekil 1.4. Kayıcı tabakalı kauçuk izolatör	8
Şekil 1.5. Çelik bilyalı izolatör	9
Şekil 1.6. (a) Tipik ivme spektrumu (b) Tipik yer değiştirme spektrumu	9
Şekil 1.7. Normal yapıda farklı deplasman dolayısıyla kolon kiriş davranışı	11
Şekil 1.8. Sismik yalıtımlı yapıda farklı deplasman dolayısıyla kolon kiriş davranışı.....	11
Şekil 1.9. Sismik yalıtımın yapıldığı bir binada, sismik yalıtılmış kattan sonraki katlarda farklı deplasmanlar oluşmaz.	12
Şekil 1.10. Bolu viyadüğünde izolatör uygulaması	13
Şekil 1.11. 1969 yılında yapılan dünyanın ilk kauçuk sismik izolasyonlu binası	14
Şekil 2.1. Yönetmelikte verilen spektrum eğrisi.....	20
Şekil 2.2. Seçilen bina modeli.....	25
Şekil 2.3. Rijit döşeme üzerindeki bir kolonun davranışı	27
Şekil 2.4. Benzer hareketi yapan konsol kiriş	28
Şekil 2.5. Seçilen izolatör	29
Şekil 2.6. a) Zemin ile bina temelinin arasına izolatör konulması, b) Temel üzerine yükseltelen bir kolon üzerine izolatör konulması.....	30
Şekil 3.1. İzolasyonsuz modelde seçilen bina modeli.....	33
Şekil 3.2. Sismik izolasyonlu bina modeli.....	36
Şekil 3.3. Temel üzerine yerleştirilen bir kolon üzerine izolatör konularak izolasyon yapılması	40
Şekil 3.4. Hesaplanan kat kesme kuvvetleri	62
Şekil 3.5. Hesaplanan katlar arası rölatif yer değiştirmeler	62

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Etkin ivme katsayısı.....	18
Tablo 2.2. Bina önem katsayısı	19
Tablo 2.3. Spektrumların karakteristik periyotları (T_A , T_B).....	20
Tablo 2.4. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	21
Tablo 2.5. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar.....	22
Tablo 3.1. İzolasyonsuz modelde hesaplanan kat kesme kuvvetleri.....	44
Tablo 3.2. Sismik izolasyonsuz modelde hesaplanan katlar arası rölâtif yer değiştirmeler	44
Tablo 3.3. Kolon ile bina arasına izolatör konulması durumunda hesaplanan kat kesme kuvvetleri	46
Tablo 3.4. Zemin ile bina temeli arasına izolatör konularak izolasyon yapılması durumunda elde edilen katlar arası rölâtif yer değiştirmeler.....	46
Tablo 3.5. Temel üzerine yerleştirilen bir kolon üzerine izolatör konulması durumunda hesaplanan kat kesme kuvvetleri.....	48
Tablo 3.6. Temel üzerine yerleştirilen bir kolon üzerine izolatör konulması durumunda hesaplanan katlar arası rölâtif yer değiştirmeler	48
Tablo 3.7. İzolasyonsuz modelde bütün modların katkılarıyla oluşan yer değiştirmeler	52
Tablo 3.8. İzolasyonlu modelde bütün modların katkılarıyla oluşan yer değiştirmeler.....	58
Tablo 3.9. Kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	61
Tablo 3.10. Katlar arası rölâtif yer değiştirmelerinin karşılaştırılması	61

SEMBOLLER DİZİNİ

- $A(T)$: Spektral ivme katsayısı
 A_0 : Etkin ivme katsayısı
 b : Kolonun genişliği
 D : Depremden dolayı mesnette oluşan yatay yer değiştirme
 E : Elastisite modülü
 f : Sürtünme katsayısı
 F_i : i 'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
 g : Binanın bir katındaki sabit yük
 h : Binanın kat yüksekliği
 H : Binanın temel üstünden ölçülen toplam yüksekliği
 I : Bina önem katsayısı
 I_x : Atalet momenti
 k : kat rijitliği
 k_1 : İzolatörün rijitliği
 k_2 : İzolatör altına konulan kolonun rijitliği
 $k_{eş}$: Eşdeğer rijitlik
 l : Kolonun açıklığı
 m : Kat kütlesi
 n : Hareketli yük azaltma katsayısı
 N : Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı
 q : Hareketli yük
 R_a : Deprem yükü azaltma katsayısı
 R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
 $S(T)$: Yapı periyoduna bağlı ivme spektrum katsayısı
 T_A, T_B : Spektrum karakteristik periyotları
 T : Binanın doğal titreşim periyodu

- u : Kat yer değiştirmesi
 u_0 : Yer hareketinden dolayı yer değiştirme
 V_i : Deprem doğrultusunda binanın i 'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
 V_T : Deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem y¼k¼
 Z_1 : Yerel zemin sınıfı
 W : Bir katın ağırlığı
 W_T : Binanın toplam ağırlığı
 w : Serbest titreşim frekansı (doğal frekans).
 ΔF_N : Binanın N .katına etkiyen toplam eşdeğer deprem y¼k¼

1.1. Giriş

Depremiñ doğası ve yapılar üzerine etki eden kuvvetlerin büyüklüğü hakkında daha çok bilgiler edindikçe, güvenliğı arttırmak amacıyla dayanıklı binalar yapılmaktadır. Deprem esnasında yapının periyodu ile zeminin periyodunun birbirine yakın olduğı durumlarda yapının rezonansa girmesinden dolayı deprem hasarı beklenenin çok üzerinde olmaktadır. Genel olarak "uzun periyotlu yapıların kısa periyotlu zeminler üzerine, kısa periyotlu yapılarında uzun periyotlu zeminler üzerine yapılması" depreme dayanıklı yapı yapmanın önemli bir aşamasını oluşturur (Yavuz, 2008).

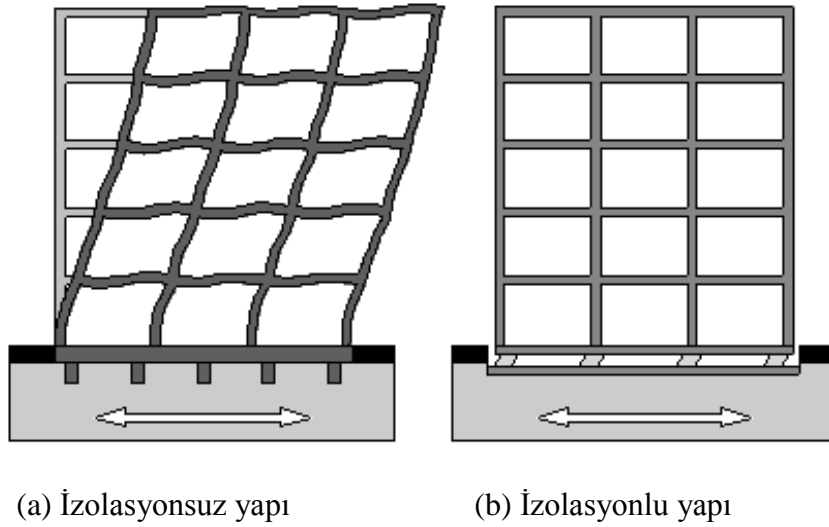
Depreme dayanıklı geleneksel tasarım yöntemlerinde yapıların şiddetli deprem hareketlerine karşı direnci, ya yüksek süneklik ya da yüksek dayanım ve rijitlik ile sağlanır. Bu yöntemlere alternatif olarak geliştirilen "sismik izolasyon" yönteminde ise, ana felsefe yapının tabanına esnek ve enerji sönümleyici elemanlar yerleştirilerek yapının periyodunu arttırıp zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır (Yavuz, 2008).

Sismik izolasyon yöntemi, zemin ile yapı arasındaki etkileşimi azaltmakta ve yapının tabanında, düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçülerde deplasman yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinden ayırma işlemidir (Erdik, 2007).

Deprem nedeniyle yapıya etkiyen enerji ya ısıya dönüşüp kaybolur ya da yutulan enerji olarak kinetik ve potansiyel enerji olmak üzere iki çeşit enerjiye dönüşür. Sismik taban izolasyon sistemleri gibi yapıya ilave edilen bazı araçlar ile yapı sistemine giren enerjinin bir kısmı yutularak yapının sismik performansı arttırılmaktadır. Bu yöntem ile yapıya etkiyen enerji miktarının taban izolatörleri tarafından küçültülerek yapıya aktarılması sağlandığından yapının maruz kaldığı deprem enerjisi küçülmekte ve yapının depreme karşı dayanımı artmaktadır (Yücesoy,2005).

Sismik izolasyon; yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Sistemin amacı, bir yapıya etkiyen deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Sismik yalıtım yapının depreme dayanma kapasitesini artırmak yerine, binaya gelen sismik enerjiyi binaların periyodunu uzatarak azaltma esasına dayanan depreme dayanıklı bir düzenleme yaklaşımıdır. Sismik yalıtılmış yapı yaklaşımında; yapının depremde oluşacak yatay yüke göre 5-6 kez daha düşük bir yükü taşıyabilmesi esas alınır. Şiddetli depremde ise yapının depreme karşı koyması ve yıkılmaması sağlanır (Yücesoy,2005).

Sismik izolasyon yöntemi, görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini aynı anda azaltmanın pratik yollarından biridir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, sismik izolasyonlu bir yapı hem büyük yer değiştirmelerin odaklandığı izolasyon sistemiyle kat ivmelerinin azaltılması için gereken esnekliğe sahiptir; hem de deprem hareketinin hemen hemen rijit bir şekilde hareket eden üst yapıyla görelî kat ötelemelerinin azaltılması için gereken rijitliğe sahiptir. Eğer sismik izolasyonlu bir yapının doğal frekansı, eşleniğı olan ankastre temelli yapının frekansına ve zemin hareketinin baskın frekansına kıyasla çok daha küçük olursa, yapının davranışı üst yapının hemen hemen rijit kaldığı ve sadece izolasyon sisteminin deformatsyona uğradığı birinci dinamik modu tarafından belirlenir. Üst yapıda deformatsyona neden olan daha yüksek modlar harekete katılamayacakları için bu yüksek modların içerdiği yüksek enerji de üst yapıya aktarılamayacaktır. Çoğu zaman depremlerin yatay bileşeni düşey bileşenine göre daha şiddetlidir. Bundan dolayıdır ki, yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılan sismik izolatörler genellikle yüksek düşey rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanır. Bu şekilde yalıtılmış bir yapı yatay yönde tek serbestlik dereceli sarkaç gibi davranır. Tek serbestlik dereceli sistemlerdeki kütle-rijitlik-frekans ilişkisi göz önünde bulundurularak, dikkatli bir tasarımla, belirli kütleyle sahip temel izolasyonlu bir yapı, zemin hareketlerinin baskın frekanslarından yeterince uzak bir doğal frekansa sahip olacak şekilde tasarlanabilir (Yücesoy, 2005).



Şekil 1.1. Taban izolasyonlu yapı ile izolasyonsuz yapının deprem sırasındaki hareketi

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, deprem etkisinde sismik izolasyonlu ve izolasyonsuz durumda 3 katlı betonarme bir binada oluşan deprem yükünü hesaplamak ve bundan faydalanarak kat kesme kuvvetlerini belirlemektir. Hesaplanan kat kesme kuvvetlerini izolasyonlu ve izolasyonsuz durum için karşılaştırmaktır. Bu karşılaştırmalar sonucunda izolasyon yapılması halinde toplam deprem yükünün ve her bir katta oluşan kat kesme kuvvetlerinin azaldığını ortaya koymaktır.

1.3. Literatür Taraması

Constantinou (1991) köprüler için çeşitli izolasyon sistemlerini sarsma tablası ile test etmiştir ve ayrıca sismik izolasyonlu köprülerin tasarımı ve sismik izolasyon sistemlerinin analizlerde kullanılan parametreler hakkında çalışmıştır.

Nagarajaiah (1991) 3 boyutlu taban izolasyonlu yapıların lineer olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca bu amaçla 3D- BASIS isimli bir bilgisayar programı da üretmiştir.

Tsopelas ve Constantinou (1994) dairesel çubuk şeklindeki çelik sönümleyiciler ve yağlanmış düz kayıcı mesnetlerden oluşan izolasyonlu sistemleri kullanarak köprülerle ilgili deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Jangid ve Datta, (1994) iki doğrultuda yer hareketine maruz kalan izolasyonlu yapıların davranışlarını incelemişlerdir. Kauçuk mesnetler kullanarak üç serbestlik dereceli bir sistemin davranışını değerlendirmişlerdir.

Tsopelas (1996) izolasyonlu ve izolasyonsuz bir köprünün sarsma tablasında dinamik tepkilerini deneysel olarak elde etmiş ve ayrıca köprü izolasyonunda sönümleyici sınırları, merkezlenmeyi sağlayan kauçukları ve düz kayıcı mesnetleri kullanarak çeşitli deneyler gerçekleştirmiştir.

Ateş ve Dumanoğlu (1999) tarafından yapılan çalışmada, kauçuk mesnetli binaların dinamik analizleri incelenmiştir. Zemin ile yapı arasında var olan etkileşimi kısmen birbirinden ayırmak amacıyla yapılan izolasyon tekniği ile güçlü depremin etkilerinin binalar üzerinde meydana getirebileceği etkiler azaltılabilmektedir. Bu düşünceyle çeşitli izolasyon teknikleri geliştirilmiştir. Uygulama amacıyla kauçuk mesnetler ile izolasyonu yapılan 5 katlı bir binanın dinamik analizleri yapılmıştır. 18 Mayıs 1949 EI- Centro depreminin kuzey-güney bileşeni yer hareketi olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı binanın ankastre olması durumu ile karşılaştırılmıştır.

Türker (2005) tarafından yapılan çalışmada, sismik izolasyon sistemlerinin kullanılış amacı ve izolatör tipleri tarif edilmiştir. Söz konusu sistemlerin etkinliğini ortaya açık bir şekilde koymak üzere eş kullanım alanına sahip iki adet hastane tipi yapıdan biri perdeli ankastre olarak, diğeri ise kurşun çekirdekli kauçuk izolatör eklenerek sismik izolasyonlu hale getirilerek çerçeve tipi taşıyıcı sisteme sahip olacak şekilde modellenmiştir. Bu amaçla İzmit ve Düzce depremlerine ait deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Yapılan dinamik analiz neticesinde yapılarda meydana gelen kat deplasmanları ve taban kesme kuvveti değerleri belirtilerek bir karşılaştırma ortaya konulmuştur. Sonuçta sismik izolasyonlu yapılarda, taşıyıcı eleman kesitlerini değiştirerek bina ağırlığını azaltmanın ve böylelikle kesit etkilerini düşürmenin mümkün olabileceği gözler önüne serilmiştir. Bunun yanı sıra söz konusu iki binanın kaba inşaat kalemleri için yapılan metraj analizi sonucunda hangi inşaat kalemlerinin ne kadar değişim gösterdiği belirlenmiş, kaba ve ince inşaat birlikte düşünülerek hesaplanan toplam inşaat maliyeti karşılaştırıldığında sismik izolasyonlu binanın az da olsa daha ucuz bir çözüm olduğu ortaya konulmuştur.

Ercan ve Nuhoğlu (2005) tarafından yapılan çalışmada, pasif enerji sönümleyicileri ve taban izolatörlerinin yer aldığı taşıyıcı yapıların deprem tesirindeki davranışları incelenmiştir. Farklı yüksekliklerde ve farklı izolasyon sistemleri ile modellenen çerçeve sistemlerin değişik zemin koşullarında zaman tanım alanı prosedürüne göre ayrı ayrı dinamik analizleri yapılmıştır. Böylece elde edilen görelî kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri, yapı periyotları ve kat ivmeleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Türkiye'de sismik izolatörle tasarlanacak yapılarla ilgili mevcut yönetmelik olmaması nedeniyle, tasarımda ve analizlerde Amerikan Bina Yönetmeliği UBC-97 esas alınmıştır. Sayısal analizler SAP 2000 paket programı ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda pasif enerji sönümleyicileri ve taban izolatörleri ile donatılmış yapıların projelendirilmesinde dikkate alınabilecek hususlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

Ateş, Bayraktar ve Dumanoğlu (2005) tarafından yapılan çalışmada sürtünmeli sarkaç mesnet modeli ile taban izolasyonu yapılan köprülerin deprem davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Sayısal uygulama için üç açıklıklı bir köprü modeli seçilmiştir. Yer hareketi olarak 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Yarımca istasyonundan ölçülen kayıtları kullanılmıştır. Köprü eksenî doğrultusunda bu yer hareketinin doğu-batı bileşeni, köprü yanal doğrultusunda kuzey-güney bileşeni dikkate alınmıştır. İzolasyonlu ve izolasyonsuz köprü modellerinin deprem analizlerinden elde edilen periyotlar, yer değiştirmeler, ivmeler ve kesit tesirleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Pekgöz, Gürel, Kömür ve ılı (2007) tarafından yapılan çalışmada, 1. derecede deprem bölgesinde olduğu kabul edilen 6 katlı örnek bir betonarme konut binası ele alınarak, bu binanın sabit tabanlı ya da sismik taban yalıtımlı olması durumları için toplam yapım maliyeti hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Bunu yapmak için İDECAD Statik ve ETABS bilgisayar programları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu tür binalara sismik taban yalıtım sisteminin uygulanmasının, ülkemiz ve günümüz şartlarında % 40 - 45 civarında bir ilave maliyet getirdiğini göstermiştir.

şengel, Erol ve Yavuz (2009) tarafından yapılan çalışmada, yapıların sismik taban izolasyonu tekniği ile tasarlanarak, depreme dayanıklı hale getirilmesi incelenmiştir. Sismik izolasyonun yapı davranışını göstermek amacı ile 5 katlı bir yapı olan Erzurum Devlet Hastanesi önce ankastre temelli olarak, daha sonra sismik izolasyonlu olarak analiz edilmiş ve zaman tanım alanında deprem kayıtları altında analizleri yapılmıştır. Sismik

taban izolasyonunun avantajları ve dezavantajları, yanal ötelenmeler, eğilme momentleri, taban kesme kuvvetleri ve yapı doğal periyodunun aldığı değerler karşılaştırılmıştır.

1.4. Taban Yalıtım Sistemleri

Sismik taban izolasyon sistemleri temel ile üst yapı arasına monte edilen ve üst taşıyıcı sistemin zemine göre büyük yatay deplasmanlar yapmasına izin veren izolatörlerden oluşur. Bu elemanlar, zeminden gelen düşük periyotlu ve yüksek frekanslı titreşimleri, yaptığı büyük yanal yer değiştirmelerle düşük frekanslı ve yüksek periyotlu titreşimlere dönüştürür. Deprem enerjisi bu büyük yer değiştirmeyele sönmülmüş olunur ve yapı daha bütün bir davranış sergileyerek katlar arası rölatif ötelemeler minimize edilir. Bunun sonucunda da yapıda hissedilen titreşim ivmesi zemin titreşim ivmesinden daha küçük değerde kalır (Türker, 2005).

Sismik yalıtım sisteminin elemanı olarak kullanılan başlıca sismik izolatör tipleri; kurşun çekirdekli izolatörler, çapraz doğrusal hareket sistemi, kayıcı tabakalı kauçuk izolatörler ve çelik bilyalı izolatörlerdir (Türker, 2005). Bu izolatör tiplerine ait açıklamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1.4.1. Kurşun Çekirdekli İzolatör

Kurşun çekirdekli izolatör, tabakalar halinde bulunan yuvarlak şekildeki kauçuk ve çelik plakalardan imal edilmiş izolatörlerdir. İnce kauçuk tabakalar ile çelik plakların bir sıcak preslemeden sonra yapıştırılması sureti ile imal edilmektedirler. Bu izolatörlerin ortasına, ayrıca bir enerji sönmüleme kapasitesi sağlamak üzere, kurşun çekirdek yerleştirilmektedir (Şekil 1.2) (Türker, 2005).



Şekil 1.2. Kurşun çekirdekli izolatör

1.4.2. Çapraz Doğrusal Hareket Sistemi

Çapraz doğrusal hareket sistemi (CLB), birbirine dik olarak konumlandırılmış iki adet doğrusal raya monte edilen yine iki adet düşük sürtünmeli doğrusal hareket eden bloktan oluşmaktadır (Şekil 1.3) . CLB ünitesi üzerinde yer alan tampon bloklar çok düşük bir sürtünme katsayısına sahip olup, çok az kesme kuvveti karşılamaktadır. CLB 'lerin bir başka avantajlı özelliği de; basınç kuvvetlerinin yanı sıra çekme kuvvetlerine karşı da çalışabilmesidir. CLB tipi izolatörler, kurşun izolatörler ve diğer sönümleyicilerle birlikte kullanılabilir (Türker, 2005).



Şekil 1.3. Çapraz doğrusal hareket sistemi (CLB)

1.4.3. Kayıcı Tabakalı Kauçuk İzolatör

Kayıcı tabakalı kauçuk izolatörler (Şekil 1.4) diğer izolatörlerle birlikte kullanılır. Küçük genlikli yatay sarsıntılarda kayıcı tabakalı kauçuk izolatörler, kauçuk tabakalarının şekil değiştirmesi ile uygulandığı sisteme sönüm kapasitesi sağlar. Daha büyük sarsıntılarda ise, plakanın kayması ile üzerindeki yapıda meydana gelen salınım hareketi kontrol altına alınır (Türker, 2005).



Şekil 1.4. Kayıcı tabakalı kauçuk izolatör

1.4.4. Çelik Bilyalı İzolatör

Çelik bilyalı izolatör, düşük sürtünme katsayısı vermek üzere iki adet çelik levha arasında sıkıştırılmış çok sayıdaki bilyalardan oluşur (şekil 1.5). Bilyaların sayısı, binanın düşey yüklerini karşılayacak şekilde, sismik izolasyon sisteminin tasarımı esnasında kolayca ayarlanmaktadır. Bu izolatörler genellikle kurşun çekirdekli izolatörlerle ve diğer sönümleyicilerle birlikte kullanılabilir (Türker, 2005).

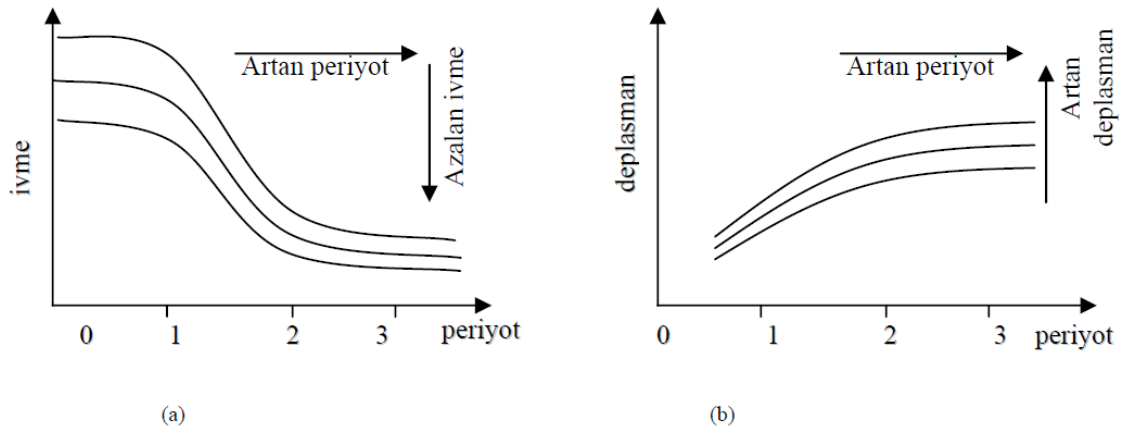


Şekil 1.5. Çelik bilyalı izolatör

1.5. Sismik İzolasyonun Amacı

Sismik izolasyonun amacı yapı ile tabanı arasında yatayda esnek düşeyde rijit izolatör yerleştirilerek yapı periyodunun arttırılmasıdır.

Şekil 1.6' (a) da görüldüğü gibi yapının periyodunun artmasıyla beraber yapıya etki eden ivme değerleri azalır. İvme değerlerinin azalması da yapı içindeki tüm iç kuvvetlerin azalması anlamına gelir. Diğer yandan şekil 1.6 (b) 'de görüldüğü gibi periyodun artmasıyla beraber yapı tabanında yatay yer değiştirmeler artar. Dolayısıyla deprem esnasında yapının maksimum deplasmanı izolatör sayesinde olur ve görece kat ötelemeleri oldukça azalır. Bundan dolayı izolatörlü yapı "rijit kütle" hareketi yapar. Böylece deprem ivmelerinin yapıya etki etmesi izolasyon sayesinde önlenmiş ve yıkıcı etkilerin uzaklaştırılması sağlanmış olur (Keskin, 2007).



Şekil 1.6. (a) Tipik ivme spektrumu

(b) Tipik yer değiştirme spektrumu

Orta yükseklikteki bir yapının etkin rezonans periyodu genellikle 0.1-1 sn aralığındadır. Bu periyot aynı zamanda pek çok şiddetli depremin baskın periyot aralığını kapsar. Çok kaba bir ifadeyle bu baskın periyot aralığı 1 ile 10 katlı binaların periyotlarına tekabül etmektedir. Özellikle ülkemizde inşa edilen yapıların büyük bir bölümünün periyot aralığı baskın periyot aralığındadır. Dolayısıyla mevcut yapılar depremden oldukça fazla etkilenir. Yapı tabanına yerleştirilen izolatör deprem ivmelerine karşı filtre görevi yaparak ivmelerin yapıya etkin bir şekilde ulaşmasını engeller ve böylece yapı içindeki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların depremden olumsuz şekilde etkilenmesi engellenmiş olur (Keskin, 2007).

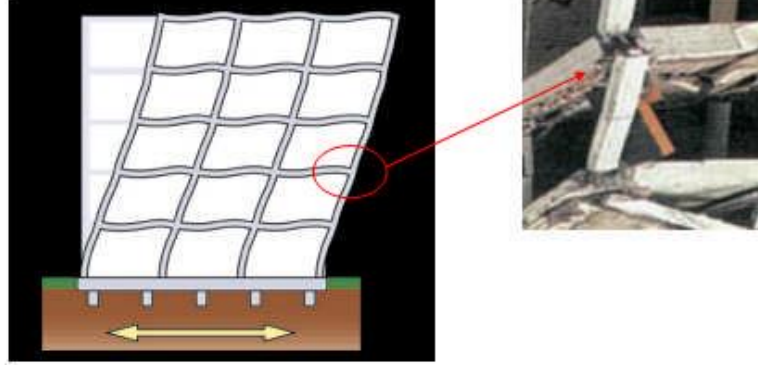
Sismik izolasyonlu yapının periyodu kullanılan izolatöre ve yapı cinsine bağlı olmak kaydıyla genellikle 2-4 sn arasındadır. Periyodun artmasıyla beraber yapı tabanında oluşan kesme kuvveti değeri ankastre mesnetli yapının yaklaşık %35 'i kadar olur (Keskin, 2007).

1.6. Sismik Yalıtımın Sağladığı Avantajlar

- 1 - Yüksek can güvenliği,
- 2 - Yapının taşıyıcı sistemi ve mimari elemanlarında minimum deprem hasarı,
- 3 -Şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım,
- 4 - Hemen kullanım sayesinde iş kaybının önlenmesi ve pazar payının korunması,
- 5 -Ulaşım yapılarında süreklilik,
- 6 - Köprü ve viyadüklerin hasar görmeden kullanılmasının devamı,
- 7 -Yıkılma ve hasar olmayacağından yeniden inşaat ve onarım maliyetlerine gerek kalmaması,
- 8 - Minimum bakım gereksinimi,
- 9 - Araştırma ve geliştirme projelerinin korunması,
- 10 -Tarihi bina ve değerlerin korunması (Erdik, 2007).

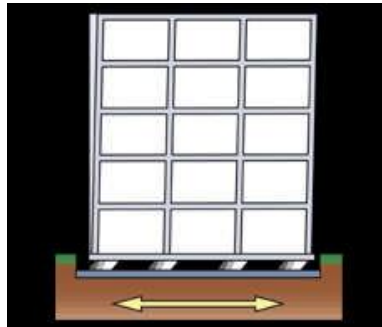
1.6.1. Sismik Yalıtımın Sağladığı Teknik Avantajlar

Normal bir yapıda deprem sırasında katlar arası farklı deplasmanlardan dolayı, kolon kiriş birleşim bölgelerinde hasarlar meydana gelir (Şekil 1.7).



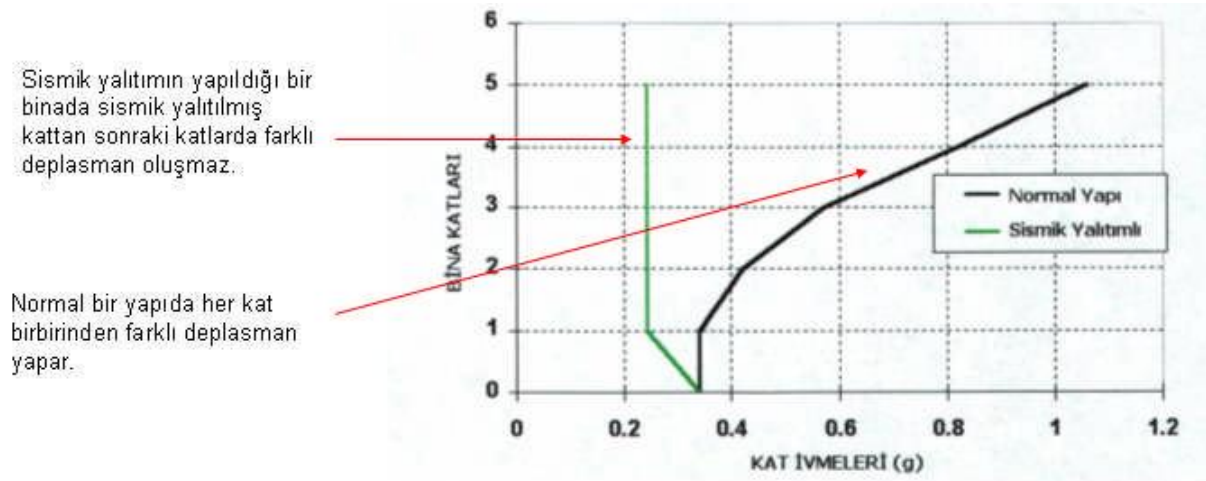
Şekil 1.7. Normal yapıda farklı deplasman dolayısıyla kolon kiriş davranışı

Oysa sismik yalıtım yapılmış bir yapıda katlar arası farklı deplasmanlar oluşmayacağı için kolon ve kirişlerde zorlanmalar minimum olacaktır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Sismik yalıtımlı yapıda farklı deplasman dolayısıyla kolon kiriş davranışı

Sismik yalıtım ile yapıda oluşan katlar arası farklı yer değiştirmeler etkili biçimde azaltılabilir. Katlar arası hareket farklılıklarının küçülmesi, yapının daha yavaş ve kontrollü salınım yapmasını sağlar. Böylece yapının kendisinin ve içindeki canlıların depremden korunması sağlanmış olur (Erdik, 2007).



Şekil 1.9. Sismik yalıtımın yapıldığı bir binada, sismik yalıtılmış kattan sonraki katlarda farklı deplasmanlar oluşmaz.

Sonuç olarak sismik yalıtılmış yapıda şu özellikler elde edilir;

- 1 - Elastik davranış,
- 2 - Yapıya gelen kuvvetler azalır.
- 3 - Kat ivmeleri küçülür.
- 4- Katlar arası deplasmanlar küçülür, hemen hemen bütün katlar yaklaşık aynı deplasmanı yapar (Erdik, 2007).

1.7. Sismik İzolatörlerin Kullanım Alanları

Sismik izolatörler gelişen teknolojiyle beraber dünyada aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle depremden sonra acil kullanılması gereken hastanelerde, acil yardım merkezlerinde, enerji dağıtım merkezlerinde, haberleşme merkezlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca izolatörler nükleer santraller ve gaz depolama merkezleri gibi oluşacak hasarların büyük felaketlere sebep olacağı yapılarda kullanılmaktadır. Diğer

yandan araştırma merkezleri müzeler, tarihi yapılar gibi manevi değere sahip yapılar ile mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır (Alku, 2009).

İzolatörlerin diğer bir kullanım alanı ise köprü ve viyadüklerdir. Özellikle ayak yüksekliklerinin fazla olduğu bu tür yapılarda yatay yükler yüksekliğe bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle bu tür yapılarda sismik izolasyon türleri tercih edilmektedir. Türkiye'de inşa edilen TAG otoyolu viyadüğü ve Bolu viyadüğünde sismik izolatörler kullanılmıştır. Şekil 1.10 'da görüldüğü gibi izolatörler kolon ve kiriş arasına yerleştirilmiştir (Alku, 2009).



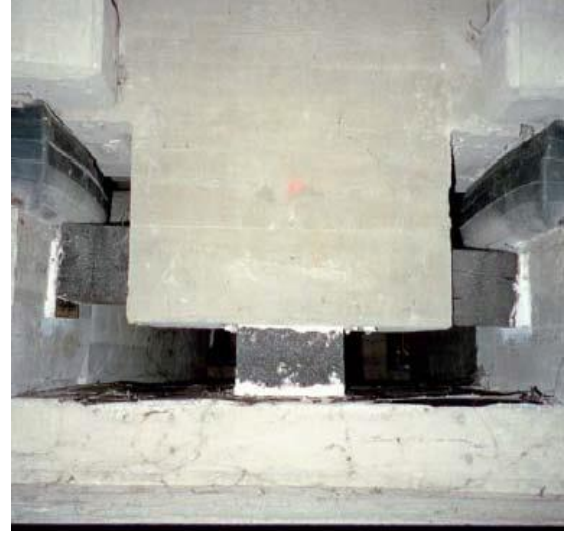
Şekil 1.10. Bolu viyadüğünde izolatör uygulaması

1.8. İzolasyon Sisteminin Gelişim Aşamaları

1.8.1. Dünya'daki Gelişmeler

Sismik izolasyon kavramı ilk olarak 1876 yılında Tokyo Üniversitesi maden mühendisliği profesörlerinden John Milne tarafından ortaya atılmıştır. Milne 1876-1895 yılları arasında yapı tabanına yerleştirilen bilyalar üzerinde çeşitli deneyler yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sismik izolasyonun deprem ve rüzgâr yüklerine karşı etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Daha sonra izolatör kavramı 1905 yılında ABD'de, 1908 yılında da Avrupa'da tartışılmaya başlanmış ve bu tarihlerde çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Alku, 2009).

Pratikteki ilk uygulama 1969 yılında İsviçreli mühendisler tarafından Makedonya'nın Skopje şehrinde bir ilkokul binasında yapılmıştır(Şekil 1.11). Kullanılan izolatörler saf kauçuktan yapılmış ve içine sönüm ve rijitliği arttıran veya azaltan başka bir malzeme konulmamıştır. Dolayısıyla yatay ve düşey yüklere karşı aynı tepkiyi vermektedir (Alku,2009).



Şekil 1.11. 1969 yılında yapılan dünyanın ilk kauçuk sismik izolasyonlu binası

1970 yılında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler geliştirilmiş ve 1981 yılında Yeni Zelanda 'da ilk uygulaması yapılmıştır (William Clayton binası). 1976 yılında Kalifornia Üniversitesi (Berkeley) deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi kurularak izolatörlerle ilgili daha detaylı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 1982 yılında bir İngiliz Kurumu olan Malaysian Rubber Producers Research Association tarafından yüksek sönümlü kauçuk izolatörler geliştirilmiştir. Bu tarihten sonra özellikle gelişmiş ülkelerde sismik izolasyon kavramıyla ilgili daha detaylı çalışmalar yapılmıştır. Deneysel ve teorik bilgiler ışığında sismik izolasyon sistemleri daha da geliştirilerek bir çok yapıda kullanılmıştır (Alku, 2009).

1.8.2. Türkiye'deki Gelişmeler

Türkiye'de izolasyon kavramı özellikle Marmara depremi sonrasında önem kazanmıştır. Türkiye'de az sayıda üniversite bu konu ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Gerekli ekipman ve donanım eksiklikleri izolasyon kavramının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmaların büyük bir bölümü yüksek lisans ve doktora tezleridir.

Türkiye'de deprem izolasyonu ile ilgili yönetmelik ve şartnameler bulunmamaktadır. 2006 yılında kurulan Deprem İzolasyon Derneği çeşitli üniversitelerin öğretim üyelerinden meydana gelen bir kurul oluşturularak bu konuda çalışmalar başlamıştır. Bu olumsuzluklara rağmen Türkiye'de az sayıda da olsa sismik izolasyon bakımından dünyada önemli sayılabilecek yapılar inşa edilmiştir. Bunlar;

Tarsus-Adana- Gaziantep Otoyolu viyadükleri,

Gümüşova-Gerede otoyolu viyadüğü (Bolu viyadüğü),

İstanbul Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Binası,

Aliğa'daki Sıvılaştırılmış Gaz Depolama Terminali,

Kocaeli Üniversite Araştırma Hastanesi,

Antalya Havalimanı Uluslararası Dış Hatlar Terminali,

Trabya Oteli,

Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi,

Türk Ekonomi Bankası(TEB) Genel Müdürlüğü binasıdır (Alku, 2009).

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deprem Etkisinde Taban Yalıtımı

Binalarda deprem etkisinde kullanılan koruyucu yöntemlerden birisi taban yalıtımı yapılmasıdır. Taban yalıtımı kavramının kullanılması oldukça basittir. Deprem sırasında yeryüzünde bir hareket meydana gelir. Bu olay bir dalga şeklinde her doğrultuda yayılır ve hareket yapıya eriştiğinde temelleri sallar. Temeller de kendilerine bağlı olan taşıyıcı sistemleri sallar ve sistem elemanlarının kesitlerinde atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etkiler meydana gelir. Yapının temelini taşıyıcı sistemden ayrılarak titreşimin yapıya erişmesinin önlenmesi, depremde taban yalıtımının ana fikrini oluşturur. Depreme karşı yalıtım, temel ile yapı arasında bazı özel düzeneklerin veya yapı elemanlarının yerleştirilmesi ile yapılır (Celep ve Kumbasar, 2010).

Esas olarak iki yalıtım sistemi vardır. Bunlardan birincisi doğal kauçuk veya neopran malzemelerden yapılan elastomer mesnetlerdir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve yatay rijitliği düşük olan bu malzeme ile yapının yatay deprem hareketinden etkilenmesi azaltılır. Kullanılan bu malzeme ile tüm yapı daha esnek olurken birinci serbest titreşim periyodu büyüyerek, deprem hareketinin büyük etkilerinin oluşmasına sebep olduğu etkili periyotlardan yapının uzakta kalmasını sağlar. Yalıtımla oluşan yeni sistemde ilk titreşim modunda, üst yapıda rijit cisim hareketi etkin olur. Bunun sonucu şekil değiştirmelerin önemli bir bölümü yalıtımı yapan sistemde veya malzemede meydana gelir. Yalıtılmış sistemin diğer modları taşıyıcı sistemde elastik şekil değiştirmeler çıkaracak türden olmalarına rağmen, bunların etkileri küçük olduğu için, depremde yalıtılmış sistemin titreşiminde rijit hareket etkili olur. Bunun sonucu olarak, yalıtılmış sistemde büyük rijit yer değiştirmeler meydana gelirken, önemli deprem enerjisi tüketilmez. Bu açıklama yalıtımın tamamen doğrusal elastik davranmasına ve üst yapıda sönüm bulunmamasına karşılık gelir. Ancak, yalıtımın doğrusal olmayan davranışı ile hem yalıtımda hem de üst yapıda değişik türden sönümler davranışın daha da olumlu bir biçimde ortaya çıkmasına sebep olur (Celep ve Kumbasar, 2010).

Taban yalıtımında ikinci ve daha az yaygın olarak uygulanan depreme karşı yalıtım sistemi temel ile üst yapı arasında oluşan yatay hareketin olabildiğince serbest bırakılması şeklindedir. Yapının özel hazırlanmış bir kum tabakası üzerinde bulunması veya ara yüzeyinin kurşun-bronz bir plaktan oluşturulması bu türe örnektir. Bunun yanı sıra üst yapı mesnetlerinin sürtünmeli bir silindirik veya küresel yüzey üzerinde sınırlı hareketine izin verilmesi de, diğer türden bir yalıtım türüdür. Oldukça yaygın olarak kullanılan bu sistem kütlelerin yukarıda mesnedin altta olması sebebiyle, sürtünmeli ters sarkaç sistemi olarak bilinir (Celep ve Kumbasar, 2010).

2.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Yapıya etkileyen deprem dinamik bir etkidir ve yapı önemli bir yatay kuvvet ile zorlanır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının şiddetli depremler karşısında elastik sınırlar içinde kalamayacağı, çeşitli deformasyonların gözlenebileceği öngörülmektedir. Ancak can güvenliğinin sağlanması için yapının kısmen veya tamamen göçmemesi yaklaşımı benimsenmektedir. O halde depremlerde yapı hasar görecektir. Bu sayede yapı enerji tüketebilecektir. Enerji tüketimini sağlayacak hasar ise istenen seviyelerde kalmalıdır. Yani enerji tüketim sürecinde yapıda göçme olmamalıdır. Düşük veya orta şiddetteki yer hareketleri daha sık meydana gelmektedir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hasar yaratmamalı ya da oluşacak hasar hafif ve onarılabılır olmalıdır. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel felsefesi bu şekilde özetlenebilir (Atımtay, 2008).

Deprem Yönetmeliği 2007 'ye göre;

"Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabılır düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir." (Doğan, 2012).

Bir yapı, Deprem Yönetmeliği'nde verilmiş koşullara uyularak tasarlanmış ve inşa edilmiş ise ve depremler etkisinde yukarıda açıklanan depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesine uygun bir performans gösteriyorsa, tasarım amacına ulaşmış demektir (Doğan, 2012).

Depreme dayanıklı bir yapının, yeterli dayanım (kapasite), yeterli rijitlik ve yeterli sünekliliğe sahip olması gerekir. Esasen, depreme dayanıklı yapı tasarımıyla yapılan da (yapılacak olan da), yapıya bu özelliklerin kazandırılmasıdır. Sözü edilen şiddetli deprem, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremidir. Yani, konut ve işyeri gibi binaların tasarımında kullanılacak olan depremdir. Deprem bölgeleri haritası, beklenen yer ivmesi değerlerine göre hazırlanmıştır. Halkın yoğun olarak bulunduğu sinema, tiyatro, okul, spor tesisleri gibi binalar ile depremden hemen sonra kullanılması gereken binalarda (hastaneler, itfaiye, sağlık ocakları, ulaşım istasyonları, enerji tesisleri vb.) ise bina önem katsayısı kullanılmak suretiyle, söz konusu tasarım depremi büyütülerek kullanılır (Doğan, 2012).

2.3. Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması

2.3.1. Spektral İvme Katsayısı

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, Denk.(2.1) ile verilmiştir (Atımtay, 2008).

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (2.1)$$

2.3.2. Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Denk.(2.1)'de yer alan Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0 , Tablo 2.1'de tanımlanmıştır.

Tablo 2.1. A_0 Etkin ivme katsayısı

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

2.3.3. Bina Önem Katsayısı

Denk.(2.1)'de yer alan Bina Önem Katsayısı, I, Tablo 2.2'de tanımlanmıştır (Atımtay, 2008).

Tablo 2.2. Bina Önem Katsayısı

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Bina önem katsayısı (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb) için $I=1$ alınır.

2.3.4. Spektrum Katsayısı

Spektrum Katsayısı $S(T)$ Yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye (sn) bağlı olarak yönetmelikte verilen spektrum eğrisine göre şu şekilde hesaplanır (Atımtay, 2008).

$$S(T) = 1 + 1.5 T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2.50 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.2)$$

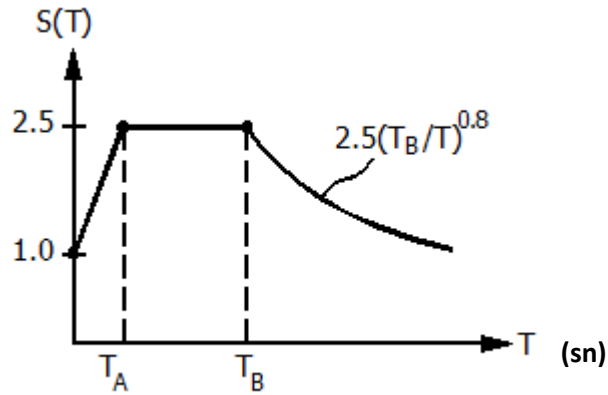
$$S(T) = 2.5 \cdot (T_B/T)^{0.8} \quad (T > T_B)$$

Tablo 2.3. Spektrumların karakteristik periyotları (T_A , T_B)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90

2.3.5. Özel Tasarım İvme Spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Tablo 2.3'deki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak Denk. (2.1)'den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.



Şekil 2.1. Yönetmelikte verilen spektrum eğrisi

Burada T_A ve T_B spektrumların zemin sınıfına bağlı olarak karakteristik değerlerini, T ise binanın periyodunu göstermektedir.

2.3.6. Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması

2.3.7. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, Denk. 2.2’de verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısına bölünecektir. Deprem yükü azaltma katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Tablo 2.4’te tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R ’ye ve doğal titreşim periyodu, T ’ye bağlı olarak Denk.(2.3) ile belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1,5 + (R - 1,5) \frac{T}{T_A} \quad 0 < T < T_A$$

$$R_a(T) = R \quad T > T_A \quad (2.3)$$

Tablo 2.4. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)

<i>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</i>	<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</i>
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar....	4	7

2.4. Hesap Yönteminin Seçilmesi

2.4.1. Hesap Yöntemleri

2007 Deprem Yönetmeliği'nde esas olarak iki hesap yöntemi tanımlanmıştır. Bunlar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemidir. Bunların dışında çok daha seyrek olarak, özel durumlarda ve özellikle taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışını göz önüne almak üzere kullanılan Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi de yönetmelikte yer almaktadır. Bu çalışmadaki çözümlerde Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılacaktır.

2.4.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulama Sınırları

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönetimi'nin uygulanabileceği binalar Tablo 2.5'de özetlenmiştir.

Tablo 2.5. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>Bina Türü</i>	<i>Toplam Yükseklik Sınırı</i>
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

2.5. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

2.5.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğüünün Belirlenmesi

Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılacak olan ve göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü V_T (yapının taban kesme kuvveti);

$$V_T = \frac{W_T \times A_0 \times S \times I}{R_A} > 0,10 A_0 I W_T \quad (2.4)$$

olarak hesaplanır.

Burada W_T : Binanın toplam ağırlığı, A_0 : Etkin ivme katsayısını, S : Spektrum katsayısını, I : Bina önem katsayısını ve R_a Deprem yüğü azaltma katsayısını göstermektedir.

2.5.2. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Belirlenmesi

(2.4) ile hesaplanan toplam eşdeğer deprem yüğü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüğülerinin toplamı olarak (2.5) denklemi ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_T = \Delta F_N + \sum_1^N F_i \quad (2.5)$$

Burada V_T : Toplam eşdeğer deprem yüğüünü , ΔF_N : binanın N. Katına etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğüünü ve N: kat adedini göstermektedir.

Binanın N'inci katına etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü ΔF_N değeri (2.6) denklemi ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_T \quad (2.6)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N. Kat dahil olmak üzere binanın katlarına (2.7) denklemi ile dağıtılır.

$$F_i = (V_T - \Delta F_N) \frac{W_i x h_i}{\sum W_i x h_i} \quad (2.7)$$

Burada h_i kat yüksekliğini göstermektedir.

2.6. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir.

2.6.1. Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır.

2.6.2. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

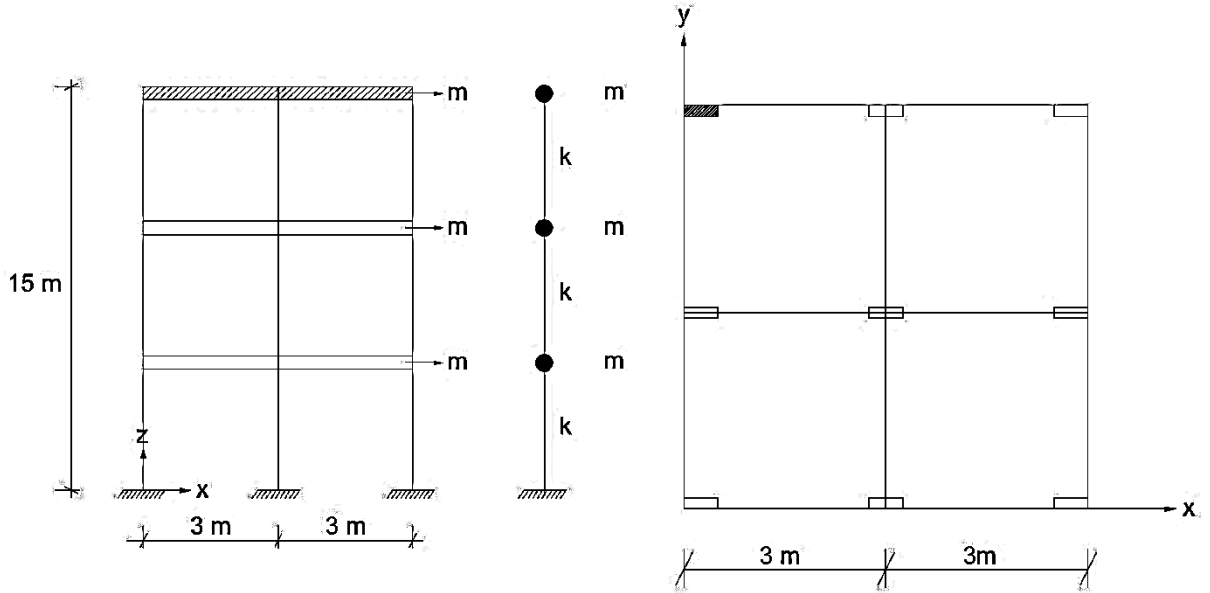
Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir.

2.6.3. Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eş zamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı uygulanabilir.

2.7. Örnek Üç Katlı Bina

2.7.1. Ölçüler, Ağırlıklar, Zemin ve Malzeme Bilgileri



Şekil 2.2. Seçilen bina modeli

Sistem olarak iki açıklı üç katlı betonarme bir bina seçilmiştir. Bu binada kolonların boyutları 25 x 50 cm olarak seçilmiştir. Kullanılan malzeme C20/S420'dir. Binanın kat yüksekliği her bir kat için 5 m ve her bir açıklığı da 3 m olarak seçilmiştir. Binanın 2. Derece deprem bölgesinde olduğu ve Z1 zemin sınıfında bulunduğu kabul edilmiştir. Binanın sünekliğinin normal seviyede olduğu kabul edilmiştir. Deprem etkisinde yapılan çözümler yönetmelikte verilen spektrum eğrisine göre yapılmıştır. Çözümler eşdeğer deprem yükü yöntemi ve modların birleştirilmesi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Rijit döşeme kabulü yapılmıştır. Burulma titreşimleri göz önüne alınmamıştır. Bir yönde

ötelenme titreşimleri incelenmiştir. Üç serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Çözümlerde sönüm etkisi dikkate alınmamıştır.

Binada bütün kirişler üzerinde 5 kN/m^2 olan duvar bulunmaktadır. Bütün katlarda duvar dışındaki sabit yük 8 kN/m^2 , hareketli yük ise $3,5 \text{ kN/m}^2$ olduğu kabul edilmiştir. Döşeme yüklerinin doğrudan çerçeve kirişlerine düzgün yayılı yük olarak iletildiği kabul edilecektir. Hareketli yük azaltma katsayısı $n = 0,3$ olarak seçilmiştir. Yerçekimi ivmesi $9,81 \text{ m/sn}^2$ alınmıştır. Betonun elastisite modülü $E = 28 \times 10^3 \text{ MPa}$ olarak alınmıştır.

2.7.2. Seçilen Binanın Ağırlık ve Kütlesinin Hesabı

Binanın kiriş yükleri sabit yük için ;

$$g = 3 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^2 = 24 \text{ kN/m} \quad (2.9)$$

ve duvar yükleri katılarak kat kiriş yükleri;

$$g = 24 \text{ kN/m} + 5 \text{ m} \times 3 \text{ kN/m}^2 = 39 \text{ kN/m} \quad (2.10)$$

Hareketli yük;

$$q = 3 \text{ m} \times 3,5 \text{ kN/m}^2 = 17,5 \text{ kN/m} \quad (2.11)$$

Her katta x ekseni yönünde üç adet kiriş bulunmaktadır.

$n = 0,3$ hareketli yük azaltma katsayısı ile bir kirişin bir kattaki ağırlığı;

$$w = 39 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 6 \text{ m} + 0,3 \times 17,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 6 \text{ m} = 398,25 \text{ kN} \quad (2.12)$$

Bir kat ağırlığı;

$$W = 3 w = 1194,75 \text{ kN} \quad (2.13)$$

$$\text{Her bir katın kütlesi} \quad W = m \times g \text{ formülünden} \quad (2.14)$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = \frac{1194750 N}{9,81} = 121788 \text{ kg} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (2.15)$$

Binanın temeline bir kat zemin döşemesi ilave edilmesi durumunda zemin kat döşemesi ve duvar yükleri de eklenerek zemin kat ağırlığı da aynı şekilde hesaplanır.

Üç katın toplam toplam ağırlığı;

$$W_T = 3W = 3584,25 \text{ kN} \quad (2.16)$$

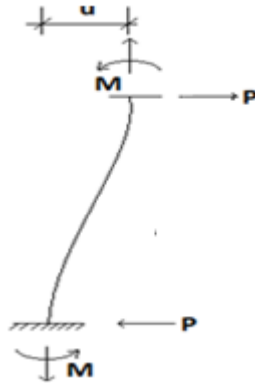
Zemin kat döşemesi ilave edildiğinde binanın toplam ağırlığı;

$$W_T = 4W = 4779 \text{ kN} \quad (2.17)$$

olarak hesaplanır.

2.7.3. Seçilen Binanın Kat Rijitliklerinin Hesabı

Binanın rijitliğinin hesabı için konsol kirişten faydalanılır. Rijit döşeme üzerindeki bir kolonun davranışı şekil 2.3'deki gibidir. Benzer hareketi yapan kiriş şekil 2.4'de gösterilmiştir. Bu kiriş için rijitlik hesabı aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.3. Rijit döşeme üzerindeki bir kolonun davranışı



Şekil 2.4. Benzer hareketi yapan konsol kiriş

Konsol kirişin üzerine etkiyen P kuvvetinden dolayı yer değiştirmesi $\frac{P L^3}{3 E I}$
dönmesi ise $\frac{P L^2}{2 E I}$ ve üzerine etkiyen momentten dolayı yer değiştirmesi $\frac{M L^2}{2 E I}$
dönmesi ise $\frac{M L}{E I}$ şeklindedir.

Konsol kirişin toplam dönme miktarı sıfır olduğundan;

$$\frac{P L^2}{2 E I} - \frac{M L}{E I} = 0 \text{ denkleminde;} \quad (2.18)$$

$$M = \frac{P L}{2} \text{ olarak bulunur.} \quad (2.19)$$

Konsol kirişin toplam yer değiştirme miktarı;

$$u = \frac{P L^3}{3 E I} - \frac{M L^2}{2 E I} = \frac{P L^3}{3 E I} - \frac{P L^3}{4 E I} \text{ olarak bulunur.} \quad (2.20)$$

Ortak çarpan parantezine alınırsa;

$$u = \frac{P L^3}{E I} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4} \right) = \frac{P L^3}{12 E I} \text{ bulunur.} \quad (2.21)$$

$$P = k x u \text{ eşitliğinde yerine konulduğunda;} \quad (2.22)$$

$$k = \frac{12 E I}{L^3} \text{ bulunur.} \quad (2.23)$$

Burada k değeri bir kolonun rijitlik değerini göstermektedir.

Binanın her bir katında 9 adet kolon bulunmaktadır.

$$k_x = 9k = 9 \frac{12 E I_x}{L^3} \quad (2.24)$$

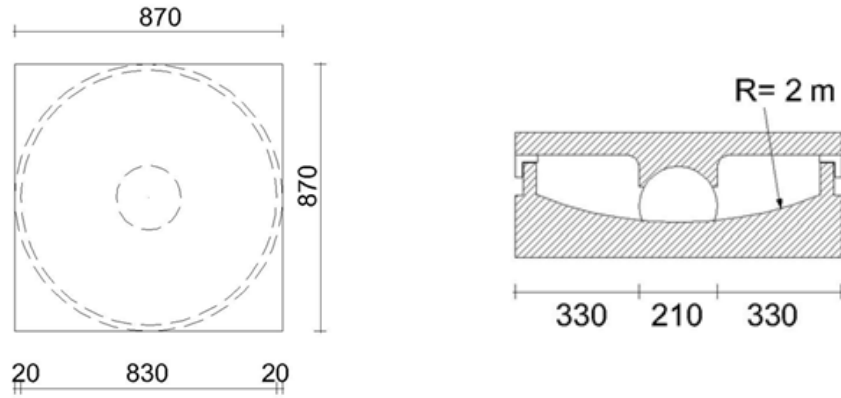
$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} 0,25 \times 0,5^3 = 0,0026 \text{ m}^4 \quad (2.25)$$

$$k_x = 9 \frac{12 \cdot 0,0026 \times 28 \times 10^9}{5^3} = 62899200 \text{ N/m} \quad (2.26)$$

olarak elde edilir.

2.8. Seçilen İzolatör

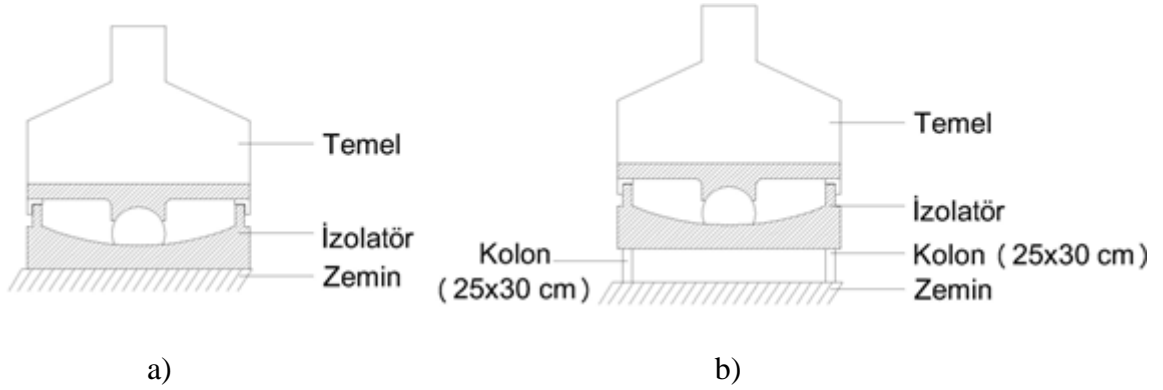
Sistemde temel yalıtımı için boyutları şekil 2.5'de gösterilen sürtünmeli sarkaç mesneti seçilmiştir.



Şekil 2.5. Seçilen izolatör

Yalıtımlı durumda ise temel üstü seviyesinde bir zemin kat döşemesinin yapıldığı ve bunun yalıtımın bulunduğu seviyeden 0.5 m yukarıda olduğu kabul edilmiştir.

Yalıtım iki farklı şekilde yapılmıştır:



Şekil 2.6. a) Zemin ile bina temelinin arasına izolatör konulması
b) Temel üzerine yükseltelen bir kolon üzerine izolatör konulması

2.8.1. Zemin ile Bina Temeli Arasına İzolatör Konulması Durumunda Rijitliğinin Hesabı

Bu durumda etkili rijitlik ve periyot aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Etkili rijitlik ise } k_1 = \frac{f x W}{D} + \frac{W}{R} \quad (2.27)$$

formülünden hesaplanır.

Burada R mesnetteki eğrilik yarıçapını, f sürtünme katsayısını ve D depremden dolayı mesnetteki yatay yer değiştirmeyi göstermektedir. Bu ise bir iterasyon sonucunda belirlenmektedir. D için ilk önce tahmini değer seçilerek (2.27) denkleminde k_1 hesaplanır. Bu değer kullanılarak etkili periyot;

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{f x g}{D} + \frac{g}{R}}} \quad (2.28)$$

formülünden hesaplanır.

Bu periyot değeri kullanılarak D yer değiştirmesi;

$$D = \frac{S \times A_0 \times g \times T^2}{4\pi^2} \quad (2.29)$$

formülünden hesaplanır. Bu değer ilk tahmin değeri ile karşılaştırılır ve yakın çıkana kadar işlemler tekrarlanır.

Tasarım depreminde yalıtım kapasitesinin incelenmesinde, bu depremde oluşabilecek yer değiştirmenin bulunması ardışık yaklaşımla yapılacaktır. Yapılan ardışık yaklaşımlar sonucu $D = 110$ mm değerinde en yakın değer elde edilmiştir.

Seçilen $D = 110$ mm değerine karşılık gelen periyot;

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{0,06 \times 9,81}{110} + \frac{9,81}{2}}} = 1,96 \text{ sn} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (2.30)$$

$$S \cdot A_0 = 2,5 \times \left(\frac{0,30}{1,96}\right)^{0,8} \times 0,3 = 0,114 \quad (2.31)$$

$$D = \frac{S \times A_0 \times g \times T^2}{4\pi^2} = \frac{0,114 \times 9,81 \times 1,96^2}{4\pi^2} = 108 \text{ mm} \quad (2.32)$$

Bu değer $D = 110$ mm'ye yakın çıktığı için $D = 110$ mm olarak seçilmiştir.

Seçilen D değerine karşılık gelen rijitlik ;

$$k_1 = \frac{f \times W}{D} + \frac{W}{R} = \frac{0,06 \times 1194750}{0,11} + \frac{1194750}{2} = 1249057 \text{ N/m} \quad (2.33)$$

olarak hesaplanır.

Bu rijitlik 1 adet kolon için elde edilen rijitliktir. Binanın zemininde 9 adet kolon olduğu için izolatörün rijitliği için $9 k_1$ değeri kullanılır.

$$9 k_1 = 9 \times 1249057 = 11241511 \text{ N/m} \quad (2.34)$$

olarak hesaplanır.

2.8.2. Temel Üzerine Yerleştirilen Kolon Üzerine İzolatör Konulması Durumunda Rijitliğinin Hesabı

Bu durumda izolatörün altına 25 x 30 cm boyutlarında kolon konulmuş ve durumdaki rijitlik hesaplanmıştır. Bu durumda izolatörün rijitliği $9 k_1$, kolonun rijitliği $9 k_2$ olarak seçilmiştir. Bu durumda yalıtımlı kısmın rijitliği;

$$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{9k_1} + \frac{1}{9k_2} \quad \text{formülünden hesaplanır.} \quad (2.35)$$

$$1 \text{ adet kolonun rijitliği } k_2 = \frac{3EI}{L^3} \quad \text{formülünden hesaplanır.} \quad (2.36)$$

İzolatörlerin altına 9 adet kolon konulacağı için;

$$9 k_2 = 9 \times \frac{3EI}{L^3} = \frac{27EI}{L^3} \quad \text{olarak bulunur.} \quad (2.37)$$

$$9 k_2 = \frac{27 \times 0,000562 \times 28.10^9}{5^3} = 3402000 \text{ N/m} \quad (2.38)$$

Yalıtımlı kısmın rijitliği;

$$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{11241511} + \frac{1}{3402000} \quad (2.39)$$

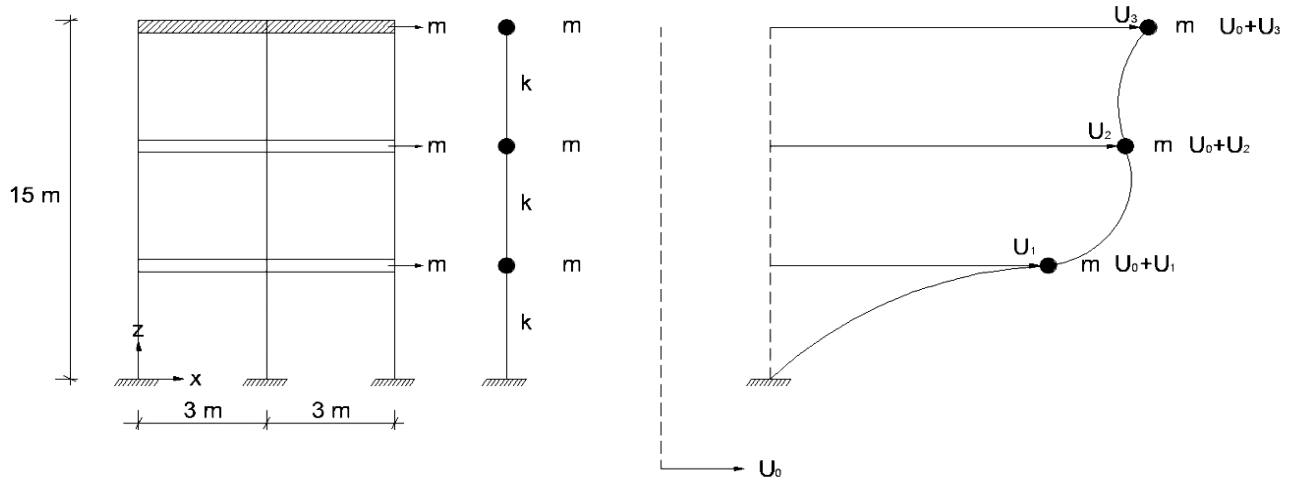
$$k_{eş} = 2611643 \text{ N/m} \quad (2.40)$$

olarak hesaplanır.

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. İzolasyonlu ve İzolasyonsuz Modellerde Periyot ve Frekans Hesapları

3.1.1. İzolasyonsuz Modelde Denklemlerin Matris Formunda Elde Edilmesi



Şekil 3.1. İzolasyonsuz modelde seçilen bina modeli

$$m (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_1) = -k u_1 + k (u_2 - u_1) \quad (3.1)$$

$$m (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_2) = -k (u_2 - u_1) + k (u_3 - u_2) \quad (3.2)$$

$$m (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_3) = -k (u_3 - u_2) \quad (3.3)$$

elde edilen denklemler düzenlenirse;

$$m \ddot{u}_1 + 2k u_1 - k u_2 = -m \ddot{u}_0 \quad (3.4)$$

$$m \ddot{u}_2 - k u_1 + 2k u_2 - k u_3 = -m \ddot{u}_0 \quad (3.5)$$

$$m \ddot{u}_3 - k u_2 + k u_3 = -m \ddot{u}_0 \quad (3.6)$$

elde edilen denklemler matris formuna getirilirse;

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2k & -k & 0 \\ -k & 2k & -k \\ 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = -m \begin{Bmatrix} \ddot{u}_0 \\ \ddot{u}_0 \\ \ddot{u}_0 \end{Bmatrix} \quad (3.7)$$

matrisi elde edilir.

(3.7) denklemi çok serbestlik dereceli sistemin deprem etkisinde zorlanmış titreşim denklemdir. Bu denklemin homojen kısmı (sağ taraf) sıfır olması durumu çok serbestlik dereceli sistemin serbest titreşim (3.8) denklemdir. Bu denklem yardımıyla sistemin periyot ve frekans değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

3.1.2. İzolasyonsuz Modelde Sistemin Periyot ve Frekansının Hesabı,

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2k & -k & 0 \\ -k & 2k & -k \\ 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} \text{ olarak seçilirse;} \quad (3.9)$$

$$\begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{Bmatrix} = \alpha^2 \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} \quad (3.10)$$

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix} \alpha^2 \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} + \begin{bmatrix} 2k & -k & 0 \\ -k & 2k & -k \\ 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.11)$$

x doğrultusu için bulunan değerler yukarıdaki denklemlerde yerine konulup düzenlenirse;

$$121788 \alpha^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 125798400 & -62899200 & 0 \\ -62899200 & 125798400 & -62899200 \\ 0 & -62899200 & 62899200 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.12)$$

denkleminin çözümü için [k] matrisinin özdeğer ve özvektörlerinin bulunması gerekir.

[k] matrisinin özvektörleri;

$$\phi = \begin{bmatrix} -0,32799 & 0,73698 & -0,59101 \\ -0,59101 & 0,32799 & 0,73698 \\ -0,73699 & -0,59101 & -0,32799 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

[k] matrisinin özdeğerleri;

$$\begin{bmatrix} 1,2458 \times 10^7 & 0 & 0 \\ 0 & 9,781 \times 10^7 & 0 \\ 0 & 0 & 2,043 \times 10^8 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

olarak bulunur.

$$-121788 \alpha^2 = \begin{bmatrix} 1,2458 \times 10^7 & 0 & 0 \\ 0 & 9,781 \times 10^7 & 0 \\ 0 & 0 & 2,043 \times 10^8 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$\alpha^2 = \begin{bmatrix} -102,29 & 0 & 0 \\ 0 & -803,16 & 0 \\ 0 & 0 & -1677,50 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

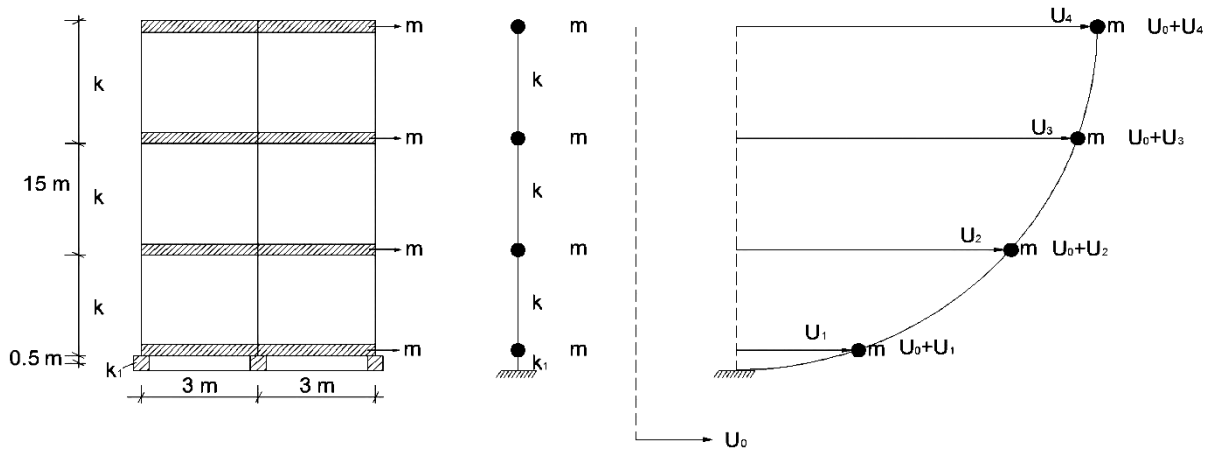
$$w = \begin{bmatrix} 10,11 & 0 & 0 \\ 0 & 28,33 & 0 \\ 0 & 0 & 40,95 \end{bmatrix} \text{ olarak elde edilir.} \quad (3.17)$$

$$\text{Binanın frekansları} \quad \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 10,11 \\ 28,33 \\ 40,95 \end{Bmatrix} \text{ rad/sn olarak bulunur.} \quad (3.18)$$

Binanın periyotları ise $T = \frac{2\pi}{\omega}$ formülünden hesaplanır. (3.19)

Binanın serbest titreşim periyotları $\begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,621 \text{ sn} \\ 0,222 \text{ sn} \\ 0,153 \text{ sn} \end{Bmatrix}$ olarak elde edilir. (3.20)

3.1.3. Sismik İzolasyonlu Modelde Denklemin Matris Formunda Elde Edilmesi



Şekil 3.2. Sismik izolasyonlu bina modeli

$$m_k (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_1) = -k_k u_1 + k (u_2 - u_1) \quad (3.21)$$

$$m (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_2) = -k (u_2 - u_1) + k (u_3 - u_2) \quad (3.22)$$

$$m (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_3) = -k (u_3 - u_2) + k (u_4 - u_3) \quad (3.23)$$

$$m (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_4) = -k (u_4 - u_3) \quad (3.24)$$

elde edilen denklemler düzenlenirse;

$$m_k \ddot{u}_1 + (k + k_k) u_1 - k u_2 = -m_k \ddot{u}_0 \quad (3.25)$$

$$m \ddot{u}_2 - k u_1 + 2k u_2 - k u_3 = -m \ddot{u}_0 \quad (3.26)$$

$$m \ddot{u}_3 - k u_2 + 2k u_3 - k u_4 = -m \ddot{u}_0 \quad (3.27)$$

$$m \ddot{u}_4 - k u_3 + k u_4 = -m \ddot{u}_0 \quad (3.28)$$

elde edilen denklemler matris formuna getirilirse;

$$\begin{bmatrix} m_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \ddot{u}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_k + k & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k & -k \\ 0 & 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m_k \\ m \\ m \\ m \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_0 \\ \ddot{u}_0 \\ \ddot{u}_0 \\ \ddot{u}_0 \end{Bmatrix} \quad (3.29)$$

matrisi elde edilir.

(3.29) denklemi çok serbestlik dereceli sistemin deprem etkisinde zorlanmış titreşim denklemdir. Bu denklemin homojen kısmı (sağ taraf) sıfır olması durumu çok serbestlik dereceli sistemin serbest titreşim (3.30) denklemdir. Bu denklem yardımıyla sistemin periyot ve frekans değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

3.1.4. Zemin ile Bina Temeli Arasına İzolatör Konularak İzolasyon Yapılması Durumunda

$m_z = 121788$ kg ve $9k_1 = 11241511$ N/m olarak alınırsa;

$$\begin{bmatrix} m_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \ddot{u}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_k + k & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k & -k \\ 0 & 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.30)$$

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{at} \quad (3.31)$$

$$\begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \ddot{u}_4 \end{Bmatrix} = \alpha^2 \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{at} \quad (3.32)$$

$$\begin{bmatrix} m_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m \end{bmatrix} \alpha^2 \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{at} + \begin{bmatrix} k_k+k & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k & -k \\ 0 & 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{at} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.33)$$

x doğrultusu için elde edilen değerler denklemde yerine konulup düzenlenirse;

$$121788 \alpha^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 74148257 & -62899200 & 0 & 0 \\ -62899200 & 125798400 & -62899200 & 0 \\ 0 & -62899200 & 125798400 & -62899200 \\ 0 & 0 & -62899200 & 62899200 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.34)$$

denkleminde elde edilir. Bu denkleminin çözümü için [k] matrisinin özdeğer ve özvektörlerinin bulunması gerekir.

[k] matrisinin özvektörleri;

$$\emptyset = \begin{bmatrix} -0,49317 & -0,65606 & 0,50373 & -0,27277 \\ -0,49873 & -0,27919 & -0,49624 & 0,65350 \\ -0,50365 & 0,26360 & -0,50125 & -0,65238 \\ -0,50612 & 0,64973 & 0,49875 & 0,270006 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

[k] matrisinin özdeğerleri;

$$\begin{bmatrix} 9,013 \times 10^7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,4471 \times 10^8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2,1719 \times 10^8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,611 \times 10^8 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

olarak elde edilir.

$$-121788 \alpha^2 = \begin{bmatrix} 2,98 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,4471 \times 10^7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2,1719 \times 10^7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,2611 \times 10^7 \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

$$\alpha^2 = \begin{bmatrix} -24,47 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -118,82 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -178,34 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -288,32 \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$w = \begin{bmatrix} 4,95 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10,90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13,35 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 16,98 \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

olarak elde edilir.

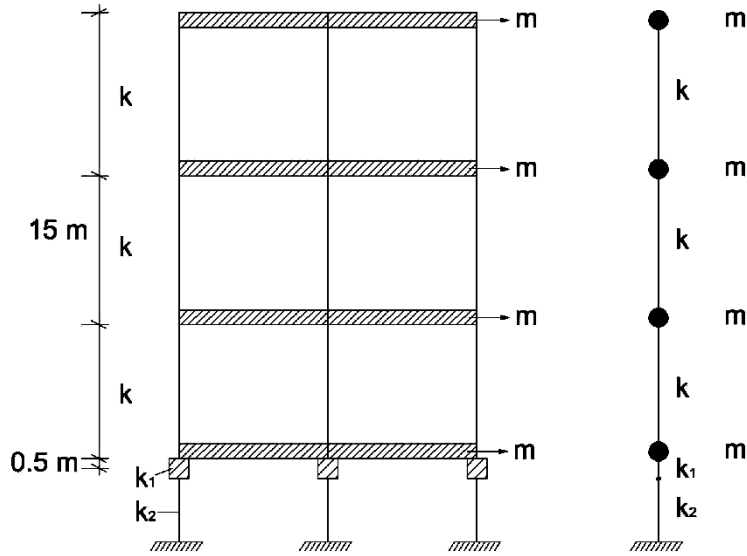
$$\text{Binanın frekansları } \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,95 \\ 10,90 \\ 13,35 \\ 16,98 \end{Bmatrix} \text{ rad/s olarak bulunur.} \quad (3.40)$$

$$\text{Binanın periyotları ise } T = \frac{2\pi}{w} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.41)$$

$$\text{Binanın serbest titreşim periyotları } \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,271 \text{ sn} \\ 0,576 \text{ sn} \\ 0,470 \text{ sn} \\ 0,370 \text{ sn} \end{Bmatrix} \quad (3.42)$$

olarak elde edilir.

3.1.5. Temel Üzerine Yerleştirilen Kolon Üzerine İzolatör Konularak İzolasyon Yapılması Durumunda



Şekil 3.3. Temel üzerine yerleştirilen bir kolon üzerine izolatör konularak izolasyon yapılması

$m_z = 121788 \text{ kg}$ ve $k_{e\dot{s}} = 2611643 \text{ N/m}$ olarak alınırsa;

$$\begin{bmatrix} m_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \ddot{u}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_k + k & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k & -k \\ 0 & 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.43)$$

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} \quad (3.44)$$

$$\begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \ddot{u}_4 \end{Bmatrix} = \alpha^2 \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} \quad (3.45)$$

$$\begin{bmatrix} m_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m \end{bmatrix} \alpha^2 \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} + \begin{bmatrix} k_k+k & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k & -k \\ 0 & 0 & -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} e^{\alpha t} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.46)$$

x doğrultusu için elde edilen değerler denklemde yerine konulursa;

$$121788 \alpha^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 62924090 & -62899200 & 0 & 0 \\ -62899200 & 125798400 & -62899200 & 0 \\ 0 & -62899200 & 125798400 & -62899200 \\ 0 & 0 & -62899200 & 62899200 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.47)$$

denklemini elde edilir. Bu denkleminin çözümü için [k] matrisinin özdeğer ve özvektörlerinin bulunması gerekir.

[k] matrisinin özvektörleri;

$$\emptyset = \begin{bmatrix} -0,49998 & -0,65329 & 0,50001 & 0,27060 \\ -0,50000 & -0,27062 & -0,49999 & 0,65328 \\ -0,50001 & 0,27058 & -0,50000 & -0,65328 \\ -0,50001 & -0,65327 & -0,50000 & -0,27060 \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

[k] matrisinin özdeğerleri;

$$\begin{bmatrix} 2,390 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6,705 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2,147 \times 10^7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,209 \times 10^7 \end{bmatrix} \text{ olarak elde edilir.} \quad (3.49)$$

$$-121788 \alpha^2 = \begin{bmatrix} 2,390 \times 10^6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6,705 \times 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2,147 \times 10^7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,209 \times 10^7 \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

$$\alpha^2 = \begin{bmatrix} -19,96 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -55,056 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -176,35 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -239,32 \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

$$w = \begin{bmatrix} 4,43 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7,42 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13,28 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15,47 \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

olarak elde edilir.

$$\text{Binanın frekansları } \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,43 \\ 7,42 \\ 13,28 \\ 15,47 \end{Bmatrix} \text{ rad/s olarak bulunur.} \quad (3.53)$$

$$\text{Binanın periyotları ise } T = \frac{2\pi}{w} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.54)$$

$$\text{Binanın periyotları } \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,417 \text{ sn} \\ 0,846 \text{ sn} \\ 0,473 \text{ sn} \\ 0,406 \text{ sn} \end{Bmatrix} \quad (3.55)$$

olarak elde edilir.

3.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Yapılan Hesaplar

3.2.1. İzolasyonsuz Modelde Yapılan Hesaplar

3.2.2. Kat Kesme Kuvvetlerinin ve Katlar Arası Rölatif Yer Değişirmelerinin Hesabı

Eşdeğer deprem yüğü yöntemine göre yapılan çözümlerde; yapının davranışı üst yapının hemen hemen rijit kaldığı ve sadece izolasyon sistemin deformasyona uğradığı birinci dinamik modu tarafından belirlenmiştir. Üst yapıda deformasyona neden olan yüksek modlar harekete katılmayacakları için yüksek modların enerjisi üst yapıya aktarılmayacaktır.

Binanın periyodu $T_1 = 0,621$ sn olarak hesaplanmıştır. Bu periyot $T_B = 0,3$ değerinden daha büyük olduğu için yönetmelikte verilen spektrum eğrisinin son kısmı kullanılır. Bu durumda ise ;

$$A_0 \times S = 0,3 \times 2,5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.56)$$

$$A_0 \times S = 0,75 \left(\frac{0,3}{0,621} \right)^{0,8} = 0,419 \quad (3.57)$$

Bu durumda Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü;

$$V_T = \frac{W \times A_0 \times S \times I}{R_d} = \frac{3584,25 \times 0,419 \times 1}{4} = 375 \text{ kN} \quad (3.58)$$

olarak hesaplanır.

$$V_T = 375 \text{ kN} > 0,1 A_0 I W > 107,52 \text{ kN} \quad (3.59)$$

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 3 \times 375 = 8,44 \text{ kN} \quad (3.60)$$

$$\sum_1^N F_i = 375 - 8,44 = 366,56 \text{ kN} \quad (3.61)$$

olarak hesaplanır. Bu kuvvet katlara kat ağırlıkları ve zeminden yüksekliklerine göre (3.62) denkleminde göre dağıtılır.

$$F_i = (V_T - \Delta F_N) \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} \quad (3.62)$$

Tablo 3.1. İzolasyonsuz modelde hesaplanan kat kesme kuvvetleri

Kat	h_i (m)	W_i (kN)	$W_i h_i$	V_t (kN)	F_i (kN)	V_i (kN)
3	15	1194,75	17921,25	366,56	168,28+8,44	176,72
2	10	1194,75	11947,5		112,06	288,78
1	5	1194,75	5973,75		61,22	350

$$\text{Her bir kat için kat için katlar arası rölatif yer değiştirmeler } u_i = \frac{V_i}{k} \quad (3.63)$$

denkleminde hesaplanır. Burada u_i kat yer değiştirmesini V_i kat kesme kuvvetini ve k ise kat rijitliğini göstermektedir.

Tablo 3.2. Sismik izolasyonsuz modelde hesaplanan katlar arası rölatif yer değiştirmeler

	Katlar arası rölatif yer değiştirme (m)
$u_3 - u_2$	$2,809 \times 10^{-3}$
$u_2 - u_1$	$4,591 \times 10^{-3}$
$u_1 - u_0$	$5,564 \times 10^{-3}$

3.2.3. İzolasyonlu Modelde Yapılan Çözümler

3.2.4. Zemin ile Bina Temeli Arasına İzolatör Konulması Durumunda Kat Kesme Kuvvetleri ve Katlar Arası Rölatif Yer Değişikliklerinin Hesabı

Binanın periyodu $T_1 = 1,271 \text{ sn}$ olarak hesaplanmıştı. Bu periyot $T_B = 0,3$ değerinden daha büyük olduğu için yönetmelikte verilen spektrum eğrisinin son kısmı kullanılır. Bu durumda ise ;

$$A_0 \times S = 0,3 \times 2,5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.64)$$

$$A_0 \times S = 0,75 \left(\frac{0,3}{1,271} \right)^{0,8} = 0,236 \quad (3.65)$$

Bu durumda Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü;

$$V_T = \frac{W \times A_0 \times S \times I}{R_a} = \frac{4779 \times 0,236 \times 1}{4} = 282 \text{ kN} \quad (3.66)$$

olarak hesaplanır.

$$V_T = 282 \text{ kN} > 0,1 A_0 I W > 143,37 \text{ kN} \quad (3.67)$$

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 4 \times 282 = 8,46 \text{ kN} \quad (3.68)$$

$$\sum_1^N F_i = 282 - 8,46 = 273,54 \text{ kN} \quad (3.69)$$

olarak hesaplanır. Bu kuvvet katlara kat ağırlıkları ve zeminden yüksekliklerine göre (3.70) denkleminde göre dağıtılır.

$$F_i = (V_T - \Delta F_N) \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} \quad (3.70)$$

Tablo 3.3. Zemin ile bina temeli arasında izolötör konulması durumunda hesaplanan kat kesme kuvvetleri

Kat	h_i (m)	W_i (KN)	$W_i h_i$	V_t (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)
4	15,5	1194,75	18518,63	273,54	132,49+8,46	140,95
3	10,5	1194,75	12544,88		89,75	230,70
2	5,5	1194,75	6571,13		47,01	277,71
1	0,5	1194,75	597,38		4,27	282

Her bir kat için katlar arası rölatif yer değiştirmeler $u_i = \frac{V_i}{k}$ (3.71)

Tablo 3.4. Zemin ile bina temeli arasında izolötör konularak izolasyon yapılması durumunda elde edilen katlar arası rölatif yer değiştirmeler

	Katlar arası rölatif yer değiştirme (m)
u_4-u_3	$2,240 \times 10^{-3}$
u_3-u_2	$3,667 \times 10^{-3}$
$u_2- u_1$	$4,415 \times 10^{-3}$
u_1-u_0	$4,483 \times 10^{-3}$

3.2.5. Temel Üzerine Yerleştirilen Bir Kolon Üzerine İzolatör Konulması Durumunda Kat Kesme Kuvvetlerinin ve Katlar Arası Rölatif Yer Değişikliklerinin Hesabı

Sistemin periyodu $T_1 = 1,417$ sn olarak hesaplanmıştı. Bu periyot $T_B = 0,3$ değerinden daha büyük olduğu için yönetmelikte verilen spektrum eğrisinin son kısmı kullanılır. Bu durumda ise ;

$$A_0 \times S = 0,3 \times 2,5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.72)$$

$$A_0 \times S = 0,75 \left(\frac{0,3}{1,417} \right)^{0,8} = 0,217 \quad (3.73)$$

Bu durumda Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü;

$$V_T = \frac{W \times A_0 \times S \times I}{R_a} = \frac{4779 \times 0,217 \times 1}{4} = 260 \text{ kN} \quad (3.74)$$

$$V_T = 260 \text{ kN} > 0,1 A_0 I W > 143,37 \text{ kN} \quad (3.75)$$

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 4 \times 260 = 7,80 \text{ kN} \quad (3.76)$$

$$\sum_1^N F_i = 260 - 7,80 = 252,2 \text{ kN} \quad (3.77)$$

olarak hesaplanır. Bu kuvvet katlara kat ağırlıkları ve zeminden yüksekliklerine göre (3.78) denkleminde göre dağıtılır.

$$F_i = (V_T - \Delta F_N) \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} \quad (3.78)$$

Tablo 3.5. Temel üzerine yerleştirilen bir kolon üzerine izolatör konulması durumunda hesaplanan kat kesme kuvvetleri

Kat	h_i (m)	W_i (kN)	$W_i h_i$	V_t (kN)	F_i (kN)	V_i (kN)
4	15,5	1194,75	18518,63	252,2	122,15+7,80	129,95
3	10,5	1194,75	12544,88		82,75	212,7
2	5,5	1194,75	6571,13		43,34	256,06
1	0,5	1194,75	597,38		3,94	260

Her bir kat için katlar arası rölatif yer değiştirmeler $u_i = \frac{V_i}{k}$ (3.79)

Tablo 3.6. Temel üzerine yerleştirilen bir kolon üzerine izolatör konulması durumunda hesaplanan katlar arası rölatif yer değiştirmeler

	Katlar arası rölatif yer değiştirme (m)
u_4-u_3	$2,066 \times 10^{-3}$
u_3-u_2	$3,382 \times 10^{-3}$
u_2-u_1	$4,071 \times 10^{-3}$
u_1-u_0	$4,1334 \times 10^{-3}$

3.3. Mod Birleştirme Yöntemine Göre Yapılan Çözümler

3.3.1. İzolasyonsuz Modelde Yapılan Çözümler

Binanın frekansları $\begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 10,11 \\ 28,33 \\ 40,95 \end{Bmatrix}$ rad/sn olarak hesaplanmıştır.

$$M_i = \phi_i^T m \phi_i \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.80)$$

$$M_1 = \phi_1^T m \phi_1 = 101999 \text{ kg} \quad (3.81)$$

$$M_2 = \phi_2^T m \phi_2 = 121702 \text{ kg} \quad (3.82)$$

$$M_3 = \phi_3^T m \phi_3 = 121789 \text{ kg} \quad (3.83)$$

olarak hesaplanır.

$$L_i = \phi_i^T m 1 \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.84)$$

$$L_1 = \phi_1^T m 1 = - 61572 \text{ kg} \quad (3.85)$$

$$L_2 = \phi_2^T m 1 = 57603 \text{ kg} \quad (3.86)$$

$$L_3 = \phi_3^T m 1 = - 22167 \text{ kg} \quad (3.87)$$

olarak hesaplanır.

$$T_i = \frac{L_i}{M_i} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.88)$$

$$T_1 = \frac{L_1}{M_1} = - 1,506 \quad (3.89)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{M_2} = 0,473 \quad (3.90)$$

$$T_3 = \frac{L_3}{M_3} = -0,182 \quad (3.91)$$

Kat yer değiştirmeleri;

$$u_i = T_i \phi_i D_i \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.92)$$

$$u_{1(t)} = -1,506 \begin{bmatrix} -0,32799 \\ -0,59101 \\ -0,73699 \end{bmatrix} D_{1(t)} = \begin{bmatrix} 0,49395 \\ 0,89006 \\ 1,10990 \end{bmatrix} D_{1(t)} \quad (3.93)$$

$$u_{2(t)} = 0,473 \begin{bmatrix} 0,73699 \\ 0,32799 \\ -0,59101 \end{bmatrix} D_{2(t)} = \begin{bmatrix} 0,34859 \\ 0,15514 \\ -0,2795 \end{bmatrix} D_{2(t)} \quad (3.94)$$

$$u_{3(t)} = -0,182 \begin{bmatrix} -0,59101 \\ 0,73698 \\ -0,32799 \end{bmatrix} D_{3(t)} = \begin{bmatrix} 0,10756 \\ -0,13413 \\ 0,05969 \end{bmatrix} D_{3(t)} \quad (3.95)$$

D_i değerinin hesabı yönetmelikte verilen spektrum eğrisinden yararlanılarak yapılacaktır. Bu hesap için A_n ivme spektral değeri yönetmelikte verilen spektrum eğrisine göre hesaplanmış olup hesaplanan bu değerin dörtte biri hesaba katılmıştır.

$$T_1 = 0,621 \text{ sn için; } \frac{A_1}{g} = 0,349 \quad (3.96)$$

$$T_2 = 0,222 \text{ sn için; } \frac{A_1}{g} = 0,625 \quad (3.97)$$

$$T_3 = 0,153 \text{ sn için; } \frac{A_1}{g} = 0,625 \quad (3.98)$$

$$D_i = \frac{A_i}{w_i} \quad \text{formülünden hesaplanır.} \quad (3.99)$$

$$D_1 = \frac{A_1}{w_1} = 0,00341 \text{ m} \quad (3.100)$$

$$D_2 = \frac{A_2}{w_2} = 0,000778 \text{ m} \quad (3.101)$$

$$D_3 = \frac{A_3}{w_3} = 0,000324 \text{ m} \quad (3.102)$$

$$u_{1(t)} = \begin{bmatrix} 0,49395 \\ 0,89006 \\ 1,10990 \end{bmatrix} D_{1(t)} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 2,684 \\ 3,034 \\ 3,782 \end{bmatrix} \text{ m} \quad (3.103)$$

$$u_{2(t)} = \begin{bmatrix} 0,34859 \\ 0,15514 \\ -0,2795 \end{bmatrix} D_{2(t)} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 2,707 \\ 1,206 \\ -2,171 \end{bmatrix} \text{ m} \quad (3.104)$$

$$u_{3(t)} = \begin{bmatrix} 0,10756 \\ -0,13413 \\ 0,05969 \end{bmatrix} D_{3(t)} = 10^{-5} \begin{bmatrix} 3,499 \\ -4,342 \\ 1,912 \end{bmatrix} \text{ m} \quad (3.105)$$

Bulunan ve farklı zamanlarda meydana geldiği bilinen modal kat yer değiştirmelerinin birleştirilmesi, Karelerinin Toplamının Karekoku Kuralı alınarak, bütün modların katkıları ile oluşabilecek en büyük kat yer değiştirmeleri tablo 3.7'de hesaplanmıştır.

Tablo 3.7. İzolasyonsuz modelde bütün modların katkılarıyla oluşan yer değiştirmeler

Kat	Mod	Mod 1 (10^{-3}) (m)	Mod 2 (10^{-4}) (m)	Mod 3 (10^{-5}) (m)	u_{\max} (10^{-3}) (m)
1	u_1	2,684	2,707	3,499	2,705
2	u_2	3,034	1,206	-4,342	3,036
3	u_3	3,782	-2,171	1,912	3,784

Yukarıdaki tabloda yer değiştirmeler incelendiği zaman sadece birinci moddan dolayı olan yer değiştirmelerin daha etkili diğerlerinin etkisinin çok az olduğu görülmektedir.

3.3.2. Yatay Deprem Kuvvetinin Hesabı

Yatay deprem kuvveti aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$F_{i\ mod} = w_i^2 \ m \ u_i \quad (3.106)$$

$$F_{1\ mod} = 10,11^2 \times 121788 \times 10^{-3} \begin{bmatrix} 2,684 \\ 3,034 \\ 3,782 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 98,70 \\ 110,76 \\ 127,33 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.107)$$

$$F_{2\ mod} = 28,33^2 \times 121788 \times 10^{-4} \begin{bmatrix} 2,707 \\ 1,206 \\ -2,171 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 26,45 \\ 11,78 \\ -7,49 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.108)$$

$$F_{3\ mod} = 40,95^2 \times 121788 \times 10^{-5} \begin{bmatrix} 3,499 \\ -4,342 \\ 1,912 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,145 \\ -8,86 \\ 3,90 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.109)$$

olarak hesaplanır.

Tüm modların hesaba katılması sonucunda oluşacak deprem kuvvetleri;

$$F_{\max} = \begin{bmatrix} F_{1.kat} \\ F_{2.kat} \\ F_{3.kat} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (98,70^2 + 26,45^2 + 7,145^2) \\ (110,76^2 + 11,78^2 + 8,86^2) \\ (127,33^2 + 7,49^2 + 3,90^2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 102,43 \\ 111,73 \\ 127,60 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.110)$$

Tüm modların katkısı ile oluşabilecek toplam deprem yükü aşağıdaki gibidir:

$$102,43 + 111,73 + 127,60 = 341,26 \text{ kN} \quad (3.111)$$

$$1.\text{modun katkısı} = \frac{1.\text{mod}}{\text{tüm modlar}} = 0,91 \quad (3.112)$$

$$2.\text{modun katkısı} = \frac{2.\text{mod}}{\text{tüm modlar}} = 0,08 \quad (3.113)$$

$$3.\text{modun katkısı} = \frac{3.\text{mod}}{\text{tüm modlar}} = 0,01 \quad (3.114)$$

olarak belirlenir. Hesaplardan da görüldüğü gibi tüm modların hesaba katılması sonucu oluşacak deprem kuvvetleri 1. moda göre hesaplanan deprem kuvvetlerine yakın çıkmıştır.

3.3.3. Kat Kesme Kuvvetlerinin Hesabı

Bulunan yatay deprem yüklerinden dolayı elde edilen kat kesme kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{1\text{ mod}} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 336,79 \\ 238,09 \\ 127,33 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.115)$$

$$V_{2\text{ mod}} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 30,74 \\ 4,29 \\ -7,49 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.116)$$

$$V_{3 \text{ mod}} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,185 \\ -4,96 \\ 3,90 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.117)$$

$$V_{\text{max}} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 338,19 \\ 238,18 \\ 127,60 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.118)$$

olarak hesaplanır.

3.3.4. İzolasyonlu Modelde Yapılan Çözümler

3.3.5. Bina ile Zemin Arasına İzolatör Konulması Durumunda Yapılan Çözümler

$$\text{Binanın frekansları} \quad \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,95 \\ 10,90 \\ 13,35 \\ 16,98 \end{Bmatrix} \text{ rad/sn olarak hesaplanmıştır.}$$

$$M_i = \phi_i^T m \phi_i \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.119)$$

$$M_1 = \phi_1^T m \phi_1 = 122002 \text{ kg} \quad (3.120)$$

$$M_2 = \phi_2^T m \phi_2 = 121786 \text{ kg} \quad (3.121)$$

$$M_3 = \phi_3^T m \phi_3 = 121787 \text{ kg} \quad (3.122)$$

$$M_4 = \phi_4^T m \phi_4 = 121787 \text{ kg} \quad (3.123)$$

olarak hesaplanır.

$$L_i = \phi_i^T m 1 \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.124)$$

$$L_1 = \phi_1^T m 1 = -24377 \text{ kg} \quad (3.125)$$

$$L_2 = \phi_2^T m_1 = -2669 \text{ kg} \quad (3.126)$$

$$L_3 = \phi_3^T m_1 = 607 \text{ kg} \quad (3.127)$$

$$L_4 = \phi_4^T m_1 = 806 \text{ kg} \quad (3.128)$$

olarak hesaplanır.

$$T_i = \frac{L_i}{M_i} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.129)$$

$$T_1 = \frac{L_1}{M_1} = -0,1998 \quad (3.130)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{M_1} = -0,022 \quad (3.131)$$

$$T_3 = \frac{L_3}{M_3} = 0,0049 \quad (3.132)$$

$$T_4 = \frac{L_4}{M_4} = 0,0066 \quad (3.133)$$

Kat yer değiştirmeleri;

$$u_n = T_n \phi_n D_n \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.134)$$

$$u_{1(t)} = \begin{bmatrix} -0,49317 \\ -0,49873 \\ -0,50365 \\ -0,50612 \end{bmatrix} -0,1998 D_{1(t)} = \begin{bmatrix} 0,098535 \\ 0,099646 \\ 0,100063 \\ 0,101123 \end{bmatrix} D_{1(t)} \quad (3.135)$$

$$u_{2(t)} = \begin{bmatrix} -0,65606 \\ -0,27919 \\ 0,26360 \\ -0,64973 \end{bmatrix} -0,022 D_{2(t)} = \begin{bmatrix} 0,01443 \\ 0,00614 \\ -0,00579 \\ 0,01429 \end{bmatrix} D_{2(t)} \quad (3.136)$$

$$u_{3(t)} = \begin{bmatrix} 0,50373 \\ -0,49624 \\ -0,50125 \\ -0,49875 \end{bmatrix} 0,0049 D_{3(t)} = \begin{bmatrix} 0,002468 \\ -0,002431 \\ -0,002456 \\ -0,002443 \end{bmatrix} D_{3(t)} \quad (3.137)$$

$$u_{4(t)} = \begin{bmatrix} 0,27277 \\ 0,65350 \\ -0,65238 \\ -0,27006 \end{bmatrix} 0,0066 D_{4(t)} = \begin{bmatrix} 0,001800 \\ 0,004313 \\ -0,004305 \\ -0,001782 \end{bmatrix} D_{4(t)} \quad (3.138)$$

D_i değerin hesabı yönetmelikte verilen spektrum eğrisinden yararlanılarak yapılacaktır. Bu hesap için A_n ivme spektral değeri yönetmelikte verilen spektrum eğrisine göre hesaplanmış olup hesaplanan bu değerin dörtte biri hesaba katılmıştır.

$$T_1 = 1,271 \text{ sn için; } \frac{A_1}{g} = 0,787 \quad (3.139)$$

$$T_2 = 0,576 \text{ sn için; } \frac{A_2}{g} = 1,483 \quad (3.140)$$

$$T_3 = 0,470 \text{ sn için; } \frac{A_3}{g} = 1,745 \quad (3.141)$$

$$T_4 = 0,370 \text{ sn için; } \frac{A_4}{g} = 2,113 \quad (3.142)$$

$$D_i = \frac{A_i}{w_i} \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.143)$$

$$D_1 = \frac{A_1}{w_1} = 0,1593 \text{ m} \quad (3.144)$$

$$D_2 = \frac{A_2}{w_2} = 0,1360 \text{ m} \quad (3.145)$$

$$D_3 = \frac{A_3}{w_3} = 0,1307 \text{ m} \quad (3.146)$$

$$D_4 = \frac{A_4}{w_4} = 0,1244 \text{ m} \quad (3.147)$$

$$u_{1(t)} = \begin{bmatrix} 0,098535 \\ 0,099646 \\ 0,100063 \\ 0,101123 \end{bmatrix} D_{1(t)} = 10^{-2} \begin{bmatrix} 1,56966 \\ 1,58736 \\ 1,59400 \\ 1,6108 \end{bmatrix} \text{ m} \quad (3.148)$$

$$u_{2(t)} = \begin{bmatrix} 0,01443 \\ 0,00614 \\ -0,00579 \\ 0,01429 \end{bmatrix} D_{2(t)} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 1,96248 \\ 0,83504 \\ -0,78744 \\ 1,94344 \end{bmatrix} \text{ m} \quad (3.149)$$

$$u_{3(t)} = \begin{bmatrix} 0,002468 \\ -0,002431 \\ -0,002456 \\ -0,002443 \end{bmatrix} D_{3(t)} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 3,22567 \\ -3,17731 \\ -3,20999 \\ -3,19300 \end{bmatrix} \text{ m} \quad (3.150)$$

$$u_{4(t)} = \begin{bmatrix} 0,001800 \\ 0,004313 \\ -0,004305 \\ -0,001782 \end{bmatrix} D_{4(t)} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 2,2392 \\ 5,36537 \\ -5,3554 \\ -2,2168 \end{bmatrix} \text{ m} \quad (3.151)$$

Bulunan ve farklı zamanlarda meydana geldiği bilinen modal kat yer değiştirmelerinin birleştirilmesi, Karelerinin Toplamının Karekoku Kuralı alınarak, bütün modların katkıları ile oluşabilecek en büyük kat yer değiştirmeleri tablo 3.8'de hesaplanmıştır.

Tablo 3.8. İzolasyonlu modelde bütün modların katkılarıyla oluşan yer değiştirmeler

Kat	Mod	Mod 1(10 ⁻²)	Mod 2 (10 ⁻³)	Mod 3 (10 ⁻⁴)	Mod 4 (10 ⁻⁴)	u _{max} (10 ⁻²)(m)
1	u ₁	1,56966 m	1,964248	3,22567	2,2392	1,5823
2	u ₂	1,58736	0,83504	-3,17731	5,36537	1,5906
3	u ₃	1,59400	-0,78744	-3,20999	-5,3554	1,5972
4	u ₄	1,6108	1,94344	-3,19300	-2,2168	1,6229

3.3.6. Yatay Deprem Kuvvetinin Hesabı

Yatay deprem kuvveti aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$F_{i\ mod} = w_i^2 \cdot m \cdot u_i \quad (3.152)$$

$$F_{1\ mod} = 4,95^2 \times 121788 \times 10^{-2} \begin{bmatrix} 1,56966 \\ 1,58736 \\ 1,59400 \\ 1,6108 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 56,84 \\ 57,36 \\ 57,56 \\ 58,06 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.153)$$

$$F_{2\ mod} = 10,90^2 \times 121788 \times 10^{-3} \begin{bmatrix} 1,96248 \\ 0,83504 \\ -0,78744 \\ 1,94344 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 28,39 \\ 12,08 \\ -11,78 \\ 28,12 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.154)$$

$$F_{3\ mod} = 13,35^2 \times 121788 \times 10^{-4} \begin{bmatrix} 3,22567 \\ -3,17731 \\ -3,20999 \\ -3,19300 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,00 \\ -6,89 \\ -6,97 \\ -6,93 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.155)$$

$$F_{4\ mod} = 16,98^2 \times 121788 \times 10^{-4} \begin{bmatrix} 2,2392 \\ 5,36537 \\ -5,3554 \\ -2,2168 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,86 \\ 18,83 \\ -18,80 \\ -7,78 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.156)$$

olarak hesaplanır. Tüm modların hesaba katılması sonucunda oluşacak deprem kuvvetleri;

$$F_{\max} = \begin{bmatrix} F_{1.kat} \\ F_{2.kat} \\ F_{3.kat} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 64,40 \\ 61,95 \\ 62,08 \\ 65,34 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.157)$$

Tüm modların katkısı ile oluşabilecek toplam deprem yükü aşağıdaki gibidir:

$$64,40 + 61,95 + 62,08 + 65,34 = 253,77 \text{ KN} \quad (3.158)$$

$$1.\text{modun katkısı} = \frac{1.\text{mod}}{\text{tüm modlar}} = 0,84 \quad (3.159)$$

$$2.\text{modun katkısı} = \frac{2.\text{mod}}{\text{tüm modlar}} = 0,10 \quad (3.160)$$

$$3.\text{modun katkısı} = \frac{3.\text{mod}}{\text{tüm modlar}} = 0,4 \quad (3.161)$$

$$4.\text{modun katkısı} = \frac{4.\text{mod}}{\text{tüm modlar}} = 0,2 \quad (3.162)$$

olarak belirlenir. Hesaplardan da görüldüğü gibi tüm modların hesaba katılması sonucu oluşacak deprem kuvvetleri 1. moda göre hesaplanan deprem kuvvetlerine yakın çıkmıştır.

3.3.7. Kat Kesme Kuvvetlerinin Hesabı

Bulunan yatay deprem yüklerinden dolayı elde edilen kat kesme kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{1\ mod} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 229,82 \\ 173,48 \\ 116,12 \\ 58,06 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.163)$$

$$V_{2\ mod} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 56,81 \\ 28,42 \\ 16,34 \\ 28,12 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.164)$$

$$V_{3\ mod} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -13,79 \\ -20,79 \\ -13,9 \\ -6,93 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.165)$$

$$V_{4\ mod} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,11 \\ -7,75 \\ -26,58 \\ -7,78 \end{bmatrix} \text{ KN} \quad (3.166)$$

$$V_{max} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 237,62 \\ 177,19 \\ 122,17 \\ 65,35 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad (3.167)$$

olarak hesaplanır.

3.4. Çözümlerin Karşılaştırılması

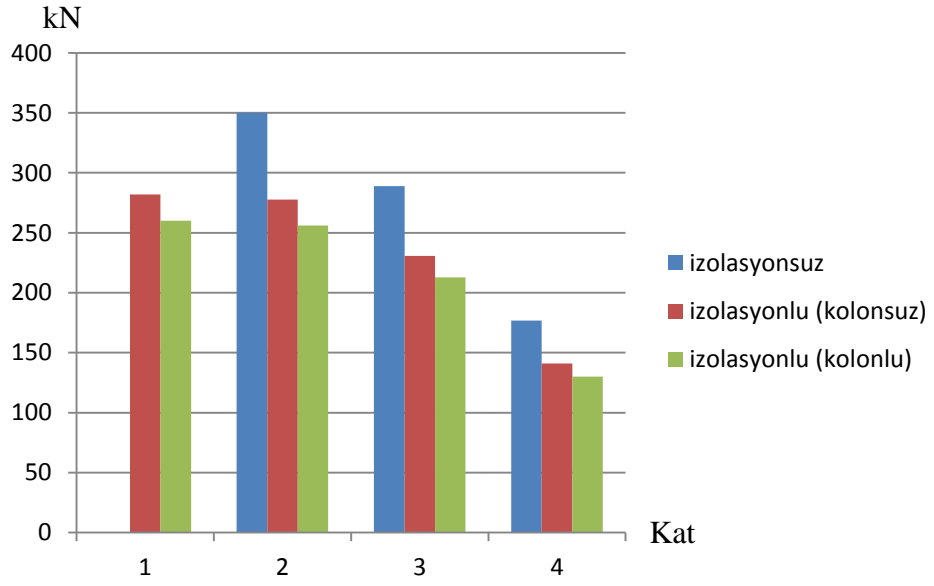
Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre izolasyonlu ve izolasyonsuz modelde hesaplanan kat kesme kuvvetleri ve katlar arası rölatif yer değiştirmeler aşağıdaki tablolarda ve şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

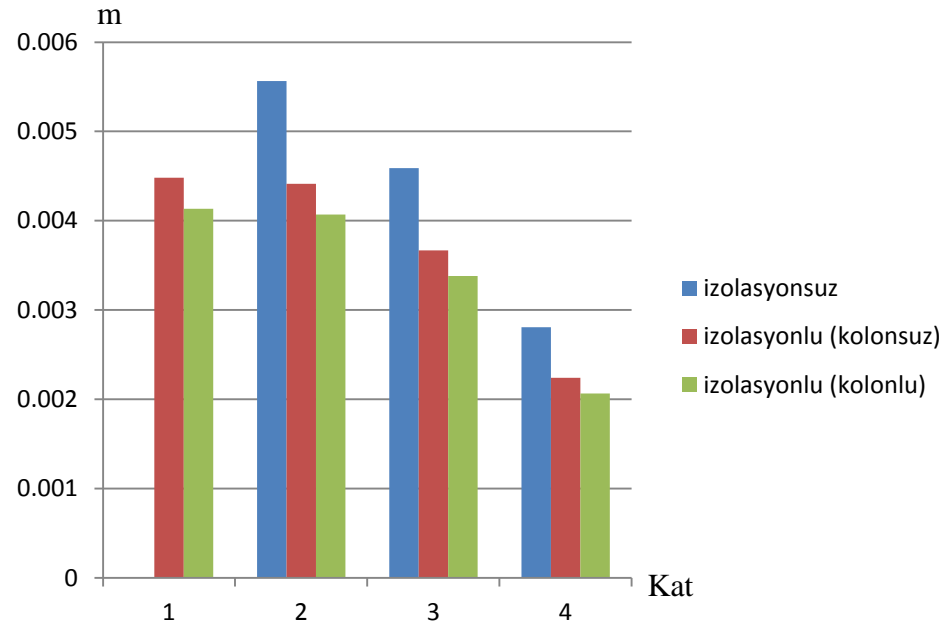
Kat	İzolasyonsuz Durumunda (kN)	Kat	Bina İle Zemin Arasına İzolatör Konulması Durumunda (kN)	Temel Üzerine Yükseltlen Kolon Üzerine İzolatör Konulması Durumunda (kN)
3	176,72	4	140,95	129,95
2	288,78	3	230,70	212,7
1	350	2	277,71	256,06
		1	282	260

Tablo 3.10. Katlar arası rölatif yer değiştirmelerinin karşılaştırılması

Katlar arası rölatif yer değiştirmeler	İzolasyonsuz Durumunda (m)	Katlar arası rölatif yer değiştirmeler	Bina İle Zemin Arasına İzolatör Konulması (m)	Temel Üzerine Yükseltlen Kolon Üzerine İzolatör Konulması (m)
u_3-u_2	$2,809 \times 10^{-3}$	u_4-u_3	$2,240 \times 10^{-3}$	$2,066 \times 10^{-3}$
u_2-u_1	$4,591 \times 10^{-3}$	u_3-u_2	$3,667 \times 10^{-3}$	$3,382 \times 10^{-3}$
u_1-u_0	$5,564 \times 10^{-3}$	u_2-u_1	$4,415 \times 10^{-3}$	$4,071 \times 10^{-3}$
		u_1-u_0	$4,483 \times 10^{-3}$	$4,1334 \times 10^{-3}$



Şekil 3.4. Hesaplanan kat kesme kuvvetleri



Şekil 3.5. Hesaplanan katlar arası rölatif yer değiştirmeler

Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılan çözümlerde tablo ve şekillerden görüldüğü gibi izolasyon yapılması durumunda elde edilen kat kesme kuvvetleri ve katlar arası rölatif kat yer değiştirmeleri azalmıştır. Kat kesme kuvvetleri bina ile zemin arasında izolatör konulması durumunda % 21, temel üzerine yükseltelen bir kolon üzerine izolatör konulması durumunda ise %27 oranında azalmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üç katlı betonarme bir bina; sismik izolasyonsuz ve sismik izolasyonlu olarak çözülmüştür. Yapılan çözümlerden elde edilen sonuç ve öneriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Eşdeğer Deprem yükü yöntemine göre yapılan çalışmalardan görülebileceği gibi, üst yapıda depremden dolayı oluşabilecek etkileri sismik izolasyon sisteminin azalttığı açıktır. Sismik izolasyonlu bir binada katlar arası rölatif yer değiştirmelerin sismik izolasyonsuz bina ile karşılaştırıldığında azaldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, sismik izolasyonlu binada katlara gelen kesme kuvvetlerinin sismik izolasyonsuz binaya oranla azaldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada sismik izolasyon sistemi iki farklı şekilde uygulanmıştır. İlk olarak bina ile zemin arasına izolatör konularak çözüm yapılmış ve diğer durumda ise izolatör, temel üzerine yükseltilen bir kolon üzerine yerleştirilerek çözümler yapılmıştır. Bu iki durum birbiriyle karşılaştırıldığında ikinci durumda depremden dolayı oluşan etkilerin birinci duruma göre azaldığı gözlemlenmiştir. İzolasyonlu durumda yapının serbest titreşim periyotları izolasyonsuz durum ile karşılaştırıldığında arttığı görülmektedir. İzolatörler yapının titreşim periyodunu arttırdığı için kısa periyotlu yapılarda kullanımı daha uygundur. Bu sayede yapının depremden daha az etkilenmesi sağlanmış olacaktır.

Mod birleştirme yönteminin göre yapılan çalışmalar sonucunda, taban izolasyonlu binada katlara gelen kesme kuvvetlerinin sismik izolasyonsuz binaya oranla azaldığı belirlenmiştir. Sismik izolasyonlu bir binada kat yer değiştirmelerin sismik izolasyonsuz bina ile karşılaştırıldığında arttığı görülmektedir.

Taban izolasyonlu bir binada taban izolasyonsuz binaya göre toplam deprem yükü, kat kesme kuvvetleri ve katlar arası rölatif kat yer değiştirmeleri azalmıştır. Bu nedenle sismik izolasyonlu sistemlerin daha yaygın kullanılmasını önermekteyiz. Ancak bu ileri teknoloji ürünlerin maliyeti düşünüldüğünde, yapı maliyetini arttırmaktadır. Bu konuda yapılacak deneysel çalışmalarla her yapıda kullanılacak ekonomik modellerin geliştirilmesiyle kullanımı yaygınlaşacaktır.

Bu çalışma yapılan çözümlerde döşemelerin rijit olduğu kabul edilmiştir. Benzer çalışma döşemelerin rijit olmadığı durum için de yapılabilir. Bu çalışmada yapılan çözümlerde sönüm etkisi dikkate alınmamıştır. Benzer çalışma sönüm etkisi dikkate alınarak yapılabilir. Bu çalışmada bir doğrultuda deprem etkisi dikkate alınarak çözümler yapılmıştır. Benzer çalışma iki doğrultuda deprem etkisi dikkate alınarak yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Alku Z., 2009. "Sismik İzolatörler", Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Atımtay E., 2008. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Açıklamalar ve Örnekler", Cilt I-II, Ankara.
- Celep Z.ve Kumbasar N., 2004. "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Constantinou M, 1991." Experimental and Theoretical Study of a Sliding Isolation System for Bridges", Technical Report, State University of New York at Buffalo.
- Doğan M., 2012. "Depreme Dayanıklı Tasarım Ders Notları", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Dumanoğlu A., Bayraktar A.ve Ateş Ş., 2005. "Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Modeli ile Taban İzolasyonu Yapılan Köprülerin Deprem Davranışının Belirlenmesi", Mühendislik Yapıları.
- Dumanoğlu, A.ve Ateş Ş., 1999. "Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi", Teknik Rapor, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
- Ercan E.ve Nuhoglu A., 2005. "Taban İzolatörlü ve Pasif Enerji Sönümleyici Yapıların Dinamik Analizi", Deprem Sempozyumu", Kocaeli.
- Erdik M., 2007. "Binalarda Deprem Yalıtımı ve Ülkemizdeki Uygulamalar", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Erdik M., 2006. "Erzurum Devlet Hastanesi Deprem Yalıtım Sistemi Yalıtıcı Prototip Deneyleeri Hakkında Rapor".
- Erdik M. Ve Mungan İ., 2007. "Seismic Isolation Applications in Turkey", Deprem İzolasyonu Derneği, İstanbul.
- Erdik M. Ve Yüzügüllü Ö., 2008. "Deprem Müh. Açısından Yapı Dinamiğine Giriş".
- Jangid, R., S., Datta T., K. 1994. "Nonlinear Response Torsionally Coupled Base Isolated Structure", Journal of Structural Engineering, ASCE.
- Kayhan H., 2007. "Depreme Dayanıklı Betonarme Yapı Tasarım İlkeleri", Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- Keskin A., 2007. "Yapı İzolatörleri", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Nagarajaiah., 1991. “Nonlinear Dynamic Analysis of 3D Base-Isolated Structures”, Journal of Structural Engineering, ASCE.
- Pekgöz R., Gürel A., Kömür M., ve Çılı F., 2007. “Sismik Taban Yalıtım Sistemi Uygulanmış Bir Binada Maliyet Analizi”, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, İstanbul.
- Şengel H. S., Erol H. Ve Yavuz E., 2009. “Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına Uygun Örnek Uygulama” , Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- Tsopelas, 1996. “Experimental study of FPS System in Bridge Seismic Isolation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics”.
- Tsopelas, P., Constantinou, M., C., 1994. “Taisei Corporation Research Program on sliding Seismic Isolation Systems for Bridges Experimental and Analytical Study of System Consisting of Lubricated PTFE Sliding Bearing and Mild Steel Dampers”, Technical Report, State University of New York at Buffalo.
- Türker H., 2005 “Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanış Tipleri Örnek Maliyet Analizi”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Yavuz E., 2008. “Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Yücesoy A., 2005.” Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Tasarım”, Yüksek Öğretim ve Araştırma Vakfı Yayınları.

ÖZGEÇMİŞ

Selcan BAKİ 1988 yılında Trabzon'da doğdu. 2003 yılında Dumlupınar İlköğretim Okulu'nu, 2005 yılında Trabzon Lisesi'ni bitirdikten sonra 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Temmuz 2011 tarihinde lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Fakültesinde yüksek lisans eğitimine başladı.

Üniversite dönemi stajlarını;

I. Dönem (06.07-14.08 / 2009) tarihleri arası Altınova (Ayvalık)/Balıkesir Atıksu Arıtma Tesisi İnşaat'ında

II. Dönem(07.06 - 16.07 / 2010) tarihleri arası Giresun Deniz Deşarjı İnşaatı ile Söğütlü-Derecik-Yıldızlı-Gurup İçmesuyu İnşaatlarında yaptı.

Çalışma hayatına bir yapı denetim firmasında başladı. 2011-2013 tarihleri arasında kontrol mühendisi olarak çalıştıktan sonra 2013 tarihinde Gazi Üniversitesince yapılan Baraj ve İller Bankası A.Ş. Genel Müdürlüğüne Yapılan Sözlü Sınavlarını kazanarak İller Bankası A.Ş. Genel Müdürlüğü Alt Yapı Uygulama Dairesi Başkanlığı'na Teknik Uzman Yardımcısı olarak atandı. Mart 2014 tarihine kadar Ankara'da görev yaptıktan sonra İller Bankası A.Ş. Trabzon Bölge Müdürlüğü'ne tayin edildi. İller Bankası hizmet içi eğitim ve katı atık yönetimi alanlarında çalışmalara katılmış olup bu konularda sertifikaları mevcuttur.

Selcan Baki halen İller Bankası A.Ş. Trabzon Bölge Müdürlüğü'nde Teknik Uzman Yardımcısı kadrosunda görev yapmaktadır..