

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEPREM YALITIM SİSTEMLERİNİN ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ
BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Serhan KARSLIOĞLU

ŞUBAT 2015

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEPREM YALITIM SİSTEMLERİNİN ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ
BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞLARINA ETKİLERİ**

İnş. Müh. Serhan KARSLIOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.12.2014
Tezin Savunma Tarihi : 09.02.2015**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Metin HÜSEM

Trabzon 2015

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Serhan KARSLIOĞLU Tarafından Hazırlanan

DEPREM YALITIM SİSTEMLERİNİN ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ
BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞLARINA ETKİLERİ

başlıklı bu çalışmada, Enstitü Yönetim Kurulunun 13/01/2015 tarih ve 1585 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye :Doç. Dr. Selim PUL

Üye :Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada tez danışmanlığımı üstlenerek, üniversite hayatım boyunca ve tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlanma imkânı tanıyan Sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM hocama sonsuz saygılarımı ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın yazımından düzenlenmesine kadar her aşamasında her türlü bilgi, belge ve deneyimlerini benimle paylaşan çok değerli arkadaşım Sayın Arş. Gör. Safiye GÜNDOĞAN'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusu hakkında vizyonumu genişleten değerli hocam Sayın Dr. Cenân ÖZKAYA'ya ve analiz aşamasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Betül DEMİRTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ailemize eğitim bilincini kazandıran dedem Emekli Öğretmen Osman KARSLIOĞLU'na ve bütün hayatım boyunca benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen başta babam Elk. Müh. Uğur Zeki KARSLIOĞLU olmak üzere tüm aile bireylerine minnettarlığımı belirtir, sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım. Bu çalışmanın ülkemize yararlı olmasını temenni ederim.

Serhan KARSLIOĞLU
Trabzon 2015

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Deprem Yalıtım Sistemlerinin Çerçeve Taşıyıcı Sistemli Betonarme Binaların Deprem Davranışlarına Etkileri” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Metin HÜSEM’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda 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. 09 / 02 / 2015

Serhan KARSLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Sismik İzolasyon Sistemleri.....	3
1.3.1. Elastomerik Sistemler	4
1.3.1.1. Düşük Sönümlü Elastomer Mesnetler	5
1.3.1.2. Kurşun Çekirdekli Elastomer Mesnetler.....	6
1.3.1.3. Yüksek Sönümlü Elastomer Mesnetler.....	7
1.3.2. Kayıcı Mesnetli Sistemler.....	7
1.3.2.1. Sürtümlü Sarkaç Sistemi.....	9
1.4. Sismik İzolasyonlu Sistemlerin Doğrusal Teorisi.....	9
1.4.1. İki Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri.....	9
1.4.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri	19
1.5. Sismik İzolasyon Mesnetlerinin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri.....	22
1.5.1. Elastomer Mesnetlerin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri	25
1.5.1.1. Sıkıştırılmayan Kauçuk ile Üretilen Elastomer Mesnetler.....	26
1.5.1.2. Sıkıştırılabilir Kauçuk ile Üretilen Elastomer Mesnetler.....	32
1.5.2. Kurşun Çekirdekli Elastomer Mesnetlerin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri	42
1.5.3. Yüksek Sönümlü Elastomer Mesnetlerin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri	46
1.5.4. Sürtümlü Sarkaç Sistemlerinin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri.....	48

1.6.	Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı	51
1.6.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	57
1.6.2.	Tepki Spektrumu Yöntemi.....	65
1.6.3.	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi	68
1.7.	Konu ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar	69
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	80
2.1.	Sismik İzolasyonlu Yapı Tasarımında İzolatör Tasarımı	80
2.1.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Elastomer Mesnet Tasarımı.....	83
2.1.2.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Sürtünme Sarkaç Mesnet Tasarımı	91
2.1.3.	Tepki Spektrumu Yöntemi ile Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Tasarımı.....	93
2.2.	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile Analiz.....	103
3.	BULGULAR VE İRDELEME	113
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	148
5.	KAYNAKLAR	150

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DEPREM YALITIM SİSTEMLERİNİN ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLİ
BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞLARINA ETKİLERİ

Serhan KARSLIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Metin HÜSEM
2015, 153 Sayfa

Tarih boyunca dünyada meydana gelen depremlerde büyük can ve mal kaybı yaşanması, depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini ortaya koymaktadır. Bu konu üzerine geliştirilen yaklaşımlardan birisi olan sismik taban yalıtım sistemleri, deprem mühendisliği alanında gelişen teknoloji ile son yıllarda kullanılan bir teknik olmuştur. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan sismik taban yalıtım sistemleri tanıtılarak, yalıtım birimlerinin mekanik özellikleri açıklanmıştır. Deprem yalıtımlı yapıların tasarımında kullanılan yöntemler incelenerek taban yalıtım birimlerinin modellenmesi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında ankastre mesnetli ve sismik taban yalıtım sistemli olarak modellenen kat yüksekliği 3m olan 3, 5, 7, 12 ve 15 katlı çerçeve taşıyıcı sistemli betonarme binaların, SAP2000 paket programında zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılarak depreme karşı yapısal davranışları karşılaştırılmıştır. Analizlerde üç farklı deprem kaydından elde edilen maksimum değerler göz önüne alınarak yapıların yüksekliğine bağlı olarak; periyotları, kat deplasmanları, rölatif kat deplasmanları, mutlak kat ivmeleri, taban kesme kuvvetleri ve taban eğilme momentleri gibi yapısal davranış parametreleri karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Ayrıca sismik taban yalıtım birimlerinin çevrimsel davranışı ile deprem enerjisini sönmüleme katkısı incelenmiştir. Sonuç olarak, sismik taban yalıtım sistemi kullanılan binaların, ankastre mesnetli binalara göre yerdeğiştirme dışındaki tüm yapısal davranışlarının büyük oranda iyileştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sismik taban yalıtım sistemleri, Sismik taban yalıtım birimleri,
Zaman tanım alanında dinamik analiz

Master Thesis

SUMMARY

EFFECTS OF SEISMIC ISOLATION SYSTEMS ON EARTHQUAKE BEHAVIORS OF
THE REINFORCED CONCRETE FRAME BUILDINGS

Serhan KARSLIOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Metin HÜSEM
2015, 153 Pages

The great loss of life and property in the earthquakes throughout the history indicates the importance of the earthquake-resistant building design. Seismic base isolation systems, an approach which has been developed on these issues, is used in recent years with developing technology in the field of earthquake engineering. In this study, seismic base isolation systems are introduced and mechanical properties of the isolators are shown. Moreover, modeling of base isolators are discussed by examining the methods used in the design of seismically isolated structures. As model buildings; all floor height of 3 meters 3, 5, 7, 12 and 15-storey reinforced concrete frame buildings are used for non-linear analyses in this thesis. They are designed with as conventional fixed based and seismic base isolation system after that structural behaviors against earthquakes were compared by carrying out time history dynamic analysis in SAP2000 software package. In the analysis, the maximum values obtained from three different seismic datas are taken into consideration. Structural behavior parameters such as periods, floor displacements, interstory drifts, absolute floor accelerations, base shear forces and base bending moments are covered as the comparative base depending on the height of the structure. In addition, damping contribution to the energy which appears during earthquake was examined with the hysteresis behavior of seismic base isolators. Based on obtained results, all structural behaviors except for displacement were improved for the seismically isolated buildings with seismic base isolation systems as compared to the fixed-base buildings.

Key Words: Seismic base isolation systems, Seismic base isolators, Time history dynamic analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Sönüme bağlı olarak; (a) yapının periyot-ivme ilişkisi, (b) yapının periyot yerdeğiştirme ilişkisi.....	4
Şekil 1.2.	Elastomer izolatörlerin kolonlarda uygulama yerleri.....	5
Şekil 1.3.	Düşük sönümlü kauçuk mesnedin en kesiti	6
Şekil 1.4.	Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kesiti.....	6
Şekil 1.5.	Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetli sistemler	7
Şekil 1.6.	İki eğri yüzeyli kayıcı mesnet	8
Şekil 1.7.	Sürtünmeli sarkaç sisteminin maksimum yerdeğiştirmesi	9
Şekil 1.8.	İki serbestlik dereceli izolasyonlu bir sistemdeki parametreler	10
Şekil 1.9.	İki serbestlik dereceli sismik izolasyonlu sistemin mod şekilleri	13
Şekil 1.10.	Elastomer mesnedin kuvvet-yerdeğiştirme davranışı	22
Şekil 1.11.	Taban izolatörlerinin idealize edilmiş çevrimsel davranışı.....	23
Şekil 1.12.	2w genişliğinde, t kalınlığındaki sonsuz uzunluktaki bir elastomer tabaka enkesiti	26
Şekil 1.13.	Yarıçapı b olan, t kalınlığındaki dairesel bir elastomer tabaka enkesiti.....	27
Şekil 1.14.	Yarıçapı b, boşluk yarıçapı a olan, t kalınlığındaki dairesel bir elastomer tabaka enkesiti	28
Şekil 1.15.	Dairesel elastomer tabaka için boşluğun basınç modülü üzerindeki etkisi	29
Şekil 1.16.	Sadece basınca maruz kalan sonsuz uzunluktaki bir elastomer tabaka kesitindeki farklı şekil faktörleri için basınç dağılımları	34
Şekil 1.17.	Sadece eğilme momentine maruz kalan sonsuz uzunluktaki bir elastomer tabaka kesitindeki farklı şekil faktörleri için basınç dağılımları	36
Şekil 1.18.	Düşey yük altında, alt ve üstü dönmeye karşı sabitlenmiş, yanal sınırlandırılma olmadan burkulan bir izolatör.....	37
Şekil 1.19.	Azaltılmış elastomer mesnedin alanının (A_r) tanımı	40
Şekil 1.20.	Yanal yerdeğiştirme sırasında mesnette meydana gelen basınç ve çekme bölgeleri	41
Şekil 1.21.	Geçmeli izolatörlerin mesnetten çıkma (roll-out) mekaniği	42
Şekil 1.22.	Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin kuvvet – deplasman ilişkisi.....	43
Şekil 1.23.	Kurşun çekirdekli elastomer mesnet için tipik kuvvet-yerdeğiştirme grafiği	43
Şekil 1.24.	Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin rijitlik ve sönümleri	47

Şekil 1.25. Eğri Yüzeyle Sürtünmeli Sarkaç Sistemler için tipik kuvvet-yerdeğiştirme (çevrimsel) eğrisi.....	48
Şekil 1.26. Sürtünmeli sarkaç mesnete etkiyen kuvvetler	50
Şekil 1.27. Tasarım depremi ivme spektrumu	56
Şekil 1.28. En büyük deprem ivme spektrumu.....	57
Şekil 1.29. Planda dış merkezlik	62
Şekil 1.30. Sismik taban izolasyon sisteminin kuvvet – yerdeğiştirme grafiği.....	67
Şekil 1.31. Düzeltilmiş ivme spektrumu.	68
Şekil 2.1. Örnek yapı modeline ait kalıp planı, kat yükseklikleri ve ağırlıkları.....	81
Şekil 2.2. Örnek yapı için en büyük deprem ivme spektrumu	82
Şekil 2.3. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün düşey kesiti ve boyutları.....	86
Şekil 2.4. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi	98
Şekil 2.5. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün düşey kesiti ve boyutları	100
Şekil 2.6. Modellenen binaların kat planı.....	105
Şekil 2.7. (a) 3 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (b) 5 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (c) 7 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (d) 12 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (e) 15 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı	106
Şekil 2.8. 94 Northbidge depremi Kagel Canyon istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı.....	108
Şekil 2.9. 94 Northbidge depremi Kagel Canyon istasyonu Doğu-Batı bileşeni ivme kaydı.....	108
Şekil 2.10. 94 İzmit depremi Gebze istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı	109
Şekil 2.11. 94 İzmit depremi Gebze istasyonu Doğu-Batı bileşeni ivme kaydı.....	109
Şekil 2.12. 94 Northbidge depremi Castaic istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı.....	110
Şekil 2.13. 94 Northbidge depremi Castaic istasyonu Doğu-Batı bileşeni ivme kaydı..	110
Şekil 2.14. Seçilen Deprem Kayıtlarının %5 Sönümlü Ölçeklenmemiş Tepki Spektrumları	111
Şekil.2.15. Üç Kaydın Maksimum Tepki Spektrumu ve Referans Tepki Spektrumu....	111
Şekil 3.1. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	115
Şekil 3.2. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	115
Şekil 3.3. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	116

Şekil 3.4	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	116
Şekil 3.5.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	117
Şekil 3.6.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	118
Şekil 3.7.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	118
Şekil 3.8.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	119
Şekil 3.9.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	121
Şekil 3.10.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	121
Şekil 3.11	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	122
Şekil 3.12	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	122
Şekil 3.13.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	124
Şekil 3.14.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	125
Şekil 3.15.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	126
Şekil 3.16.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	126
Şekil 3.17	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	128
Şekil 3.18	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri	129
Şekil 3.19.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	130
Şekil 3.20.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri	130
Şekil 3.21.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri.....	131
Şekil 3.22.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri.....	132
Şekil 3.23.	Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri.....	133

Şekil 3.24. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri.....	134
Şekil 3.25. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri.....	136
Şekil 3.26. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri.....	136
Şekil 3.27. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri.....	138
Şekil 3.28. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri.....	138
Şekil 3.29. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri.....	141
Şekil 3.30. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri.....	141
Şekil 3.31. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların X yönü maksimum taban kesme kuvvetleri	143
Şekil 3.32. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların Y yönü maksimum taban kesme kuvvetleri	143
Şekil 3.33. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların X yönü maksimum taban eğilme momentleri	145
Şekil 3.34. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların Y yönü maksimum taban eğilme momentleri	145
Şekil 3.35. 15 katlı sismik izolasyonlu binada kullanılan sismik izolatörlerde Castaic depremi sonucunda X yönünde meydana gelen kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisi.....	146
Şekil 3.36. 15 katlı izolasyonlu bina için Kagel depreminden meydana gelen enerji – zaman grafikleri	147

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Kısa periyod zemin katsayısı F_a	55
Tablo 1.2. 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v	55
Tablo 1.3. UBC-97 de tanımlanan bazı taşıyıcı sistemlere ait azaltma faktörleri	64
Tablo 2.1. Yapı koordinatları için verilen spektral ivme değerleri	82
Tablo 2.2. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin karakteristik özellikleri	107
Tablo 2.3. Analizlerde kullanılan ivme kayıtları	107
Tablo 3.1. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların periyotları	113
Tablo 3.2. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri.....	114
Tablo 3.3. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri.....	117
Tablo 3.4. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri.....	120
Tablo 3.5. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri.....	123
Tablo 3.6. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri.....	127
Tablo 3.7. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın mutlak kat ivmeleri.....	131
Tablo 3.8. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın mutlak kat ivmeleri.....	133
Tablo 3.9. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın mutlak kat ivmeleri.....	135
Tablo 3.10. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın mutlak kat ivmeleri.....	137
Tablo 3.11. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın mutlak kat ivmeleri.....	140
Tablo 3.12. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu yapıların taban kesme kuvvetleri.....	142
Tablo 3.13. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu yapıların taban eğilme momentleri	144

SEMBOLLER DİZİNİ

$S_{DR}(0.2)$: Tasarım depremi seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü, yatay, kısa periyotlu ($T=0.2sn$) spektral ivme (g)
$S_D(0.2)$: Tasarım depremi seviyesinde %5 sönümlü kısa periyotlu ($T=0.2sn$) yatay spektral ivme (g)
$S_{DR}(1)$: Tasarım depremi seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü, yatay, 1s periyotlu spektral ivme (g)
$S_D(1)$: Tasarım depremi seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivme (g)
$S_{MR}(0.2)$: En büyük deprem seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü, yatay, kısa periyotlu ($T=0.2s$) spektral ivme (g)
$S_M(0.2)$: En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü kısa periyotlu ($T=0.2sn$) yatay spektral ivme (g)
F_a	: Kısa periyot düzeyinde ($T=0.2sn$) farklı zemin sınıfları için spektral genlik düzeltme katsayısı
$S_{MR}(1)$: En büyük deprem seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü, yatay, 1s periyotlu spektral ivme (g)
$S_M(1)$: En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivme (g)
F_v	: 1 sn'lik periyot düzeyinde farklı zemin sınıfları için spektral genlik düzeltme katsayısı
m	: Üst yapı kütlesi
m_b	: İzolasyon döşemesinin kütlesi
k_s	: Üst yapı rijitliği
c_s	: Üst yapı sönümü
k_b	: İzolasyon sisteminin rijitliği
c_b	: İzolasyon sisteminin sönümü
T_s	: Üst yapı titreşim periyodu
β_s	: Üst yapı sönüm faktörü
T_b	: İzolasyon sisteminin periyodu
β_b	: İzolasyon sisteminin sönüm faktörü
$\ddot{u}_g(t)$: Yer ivmesi
u_g	: Zemin yer değiştirmesi

u_b	: İzolasyon döşemesinin mutlak yer değiştirmesi
u_s	: Üst yapının mutlak yer değiştirmesi
v_s	: Üst yapının izolasyon katına göre yer değiştirmesi
v_b	: İzolasyon katının yere göre yer değiştirmesi
ω_s	: Üst yapı frekansı
ω_b	: izolasyon sisteminin frekansı
γ_{max}	: Maksimum kayma şekil değiştirmesi
β_{eff}	: Etkili sönüm oranı
G	: Kauçuğun kayma modülü
ϵ_b	: Kopma şekil değiştirmesi
σ_b	: Düşey yük taşıma kapasitesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Deprem, yer kabuğunda meydana gelen salınım ve titreşim hareketidir. Dünyada günümüze kadar farklı büyüklükte ve şiddetlerde birçok deprem meydana gelmiş ve bugüne kadar meydana gelen depremlerde büyük can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Sismik açıdan aktif fayların bulunduğu bir coğrafyada yer alan ülkemizde de geçmişte büyük depremler yaşanmıştır. Deprem, önlenemeyen bir doğal afet olduğundan ve günümüz teknolojisi ile henüz yeri ve zamanı kesin olarak tahmin edilemediğinden dolayı deprem etkilerine karşı dayanıklı yapılar inşa etmek gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için geleneksel yöntem, yapının sismik performansını artırmak amacıyla yapı sistemini sağlamlaştırmaktır. Fakat bu uygulama yapının daha rijit olmasına sebep olmakta ve taşıyıcı elemanlarının ağırlığının artması nedeniyle daha fazla kuvvete maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için yeni yaklaşımlar ve yöntemler geliştirilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı üzerine geliştirilen yaklaşımlardan birisi olan deprem yalıtım (sismik izolasyon) sistemleri, deprem mühendisliği alanında son yıllarda kullanılan bir teknik olmuştur. Sismik izolasyon, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, yapının deprem talebini azaltmak amacına dayanır. Sismik taban yalıtım (izolasyon) sistemi, yapı ile yapı temeli arasına, yatayda esnek, düşeyde rijit olan izolatörleri yerleştirilerek yapının periyodunun arttırılması ile yapıya etki eden ivme değerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, zemin ve yapıyı kısmen birbirinden ayıran sismik yalıtım birimleri (izolatörler) geliştirilmiştir. Bu durumda yerdeğiştirmeler daha çok yalıtım birimlerinde (sismik izolatörlerde) meydana gelmekte ve böylece üst yapı rijit kalarak yapının depreme karşı gösterdiği performans artmaktadır.

Sismik izolasyon sistemlerinin ilk kullanımına, 1876 - 1895 yılları arasında Tokyo Üniversitesi'nde maden profesörlüğü yapan ve yaptığı çalışmalardan dolayı modern sismolojinin babası olarak kabul edilen İngiliz John Milne tarafından örnek bir izolasyonlu yapı inşa edilerek başlanmıştır. Milne yapıyı, yapıya bağlı olan 25 cm çapında bilyeler üzerinde konkav dökme demir tablalarla ve tepesi tabak tipi kenarları olan kazıklar vasıtasıyla zeminden ayırarak sismik izolasyon fikrini ortaya atmıştır. Örnek yapı, 1885

yılında yapılan deneylerde depreme karşı memnum edici sonuçlar elde etmiş fakat rüzgar yüküne karşı kolayca hareket ederek verimli olamamış, daha sonra 1886 yılında dökme demir bilyelerin çaplarını 20 cm, 2.5 cm ve son olarak 0.6 cm seviyelerine indirilmiş ve rüzgar yüküne karşı kararlı hale getirilerek, depreme karşı başarılı olmuştur (Kelly ve Naeim, 1999).

İngiltere’de yaşayan tıp doktoru J.A. Calantarients, 1909 yılında binaların, yapımı sırasında temelinde oluşturulan yalıtımlı bir serbest birleşim sayesinde yapının deprem sırasında kayacağı dolayısıyla da yapıya gelen kuvvetlerin azalacağı bir ince kum, talk, veya mika katmanı üzerine yapının inşa edilmesini önermişti. Bu önerilen yöntem şimdiki sismik izolasyon sistemlerinin ilk örneği kabul edilmektedir (Kelly ve Naeim, 1999).

Kauçuk izolasyon sistemi, bir yapıyı depremden korumak amacıyla ilk kez 1969 yılında Üsküp ‘teki üç katlı bir betonarme ilkokulda kullanılmıştır. Fakat bu kauçuk izolatörler günümüzde kullanılan elastomer mesnetlerin aksine çelik tabakalarla güçlendirilmediğinden yapının ağırlığı altında şişmiş ve kenara doğru savrulmuştur (Kelly ve Naeim, 1999).

California Üniversitesi, Berkeley, bünyesinde yer alan Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinde (EERC, şimdiki adı PEER) ilk olarak 1976 yılında doğal kauçuk malzemeye yapılan izolatörler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 20 ton ağırlığında üç katlı basit bir model üzerinde yapılan deneyler sonucunda izolasyon amaçlı kullanılan yastıkların yapıya etki eden ivmeleri azalttığı görülmüş fakat üst yapıda belirli bir sönüm elde etmek amacıyla daha büyük modeller üzerinde çalışılması gereksinimi ortaya konulmuştur (Kelly ve Naeim, 1999).

Aynı merkezde 1978 yılında 5 katlı, 3 açıklıklı, 50 ton ağırlığında bir model tabanına belli bir sönüme sahip ticari amaçlı üretilen kauçuk izolatörler yerleştirilerek daha gerçekçi bir deney üzerinde çalışılmıştır. Deneyin asıl amacı, sismik izolasyon yöntemiyle birlikte yapı ve yapı içindeki ekipmanlara gelen ivme değerlerinin azalacağı ve böylece depremden kaynaklanan zararlarının azalacağını göstermektir. Aynı model üzerine çeşitli enerji sönümleyiciler yerleştirilmiş ve benzer testler uygulanmıştır. Sonuçlar, sönüm değerini arttırmak için yerleştirilen enerji sönümleyicilerin, yapının ve yapı içindeki ekipmanların mod değerlerini ve ivmesini arttırdığını göstermiştir. Dolayısıyla istenilen sönüm oranının kauçuk malzemeye sağlanması gerektiği ortaya konulmuştur (Kelly ve Naeim, 1999).

Gelişen teknoloji ile sismik izolatörler dünyada aktif olarak kullanılmaya başlamıştır. Deprem sonrasında hemen kullanılması gereken binalarda, içerisinde patlayıcı vb.

maddelerin hassas aletlerin bulunduğu binalarda, maddi ve manevi değere sahip yapılarda, köprü ve viyadüklerde kullanımı daha yaygındır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; sismik taban izolatörü uygulanan kat yüksekliği 3 m olan 3, 5, 7, 12 ve 15 katlı çerçeve taşıyıcı sistemli betonarme binaların, yapı yüksekliğine bağlı olarak deprem davranışlarının belirlenmesidir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan sismik taban izolatörleri hakkında bir sentez çalışması yapılarak, sismik taban izolatörlerinin modellenmesi verilmiş ve ankastre mesnetli binalar ile sismik izolasyonlu binalar, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analiz edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deprem davranışlarının karşılaştırılması kapsamında, üç farklı deprem etkisinde farklı yüksekliklere sahip binalarda oluşan kat yerdeğştirmeleri, rölatif kat yerdeğştirmeleri, mutlak kat ivmeleri, taban kesme kuvvetleri ve taban eğilme momentleri gibi yapısal davranış parametrelerinin maksimum değerleri ele alınmıştır. Ayrıca sismik izolatörlerin enerji sönümleme katkısı incelenmiştir.

1.3. Sismik İzolasyon Sistemleri

Depreme dayanıklı yapı tasarımı bir çok sismik kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bunlar,

- Pasif Kontrol Sistemler
- Aktif Kontrol Sistemler
- Yarı Aktif Kontrol Sistemler

olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir.

Aktif kontrol sistemleri, bilgisayar sistemi aracılığı ile verilen sinyallere uygun olarak sismik harekete karşı koyabilecek kontrol kuvvetleri üreten aygıtlardır.

Pasif kontrol sistemler, aktif sistemlerin aksine dışarıdan ek bir güç gereksinimi olmadan yapıda sismik yalıtımı sağlar. Bunlar taban izolasyon sistemleri ve enerji sönümleyici sistemler olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Yarı aktif kontrol sistemleri ise son zamanlarda aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla ön plana çıkmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan sismik izolasyon sistemlerinden olan taban izolatörleri, elastomerik sistemler ve kayıcı mesnetli sistemler olarak iki ana başlıkta incelenecektir.

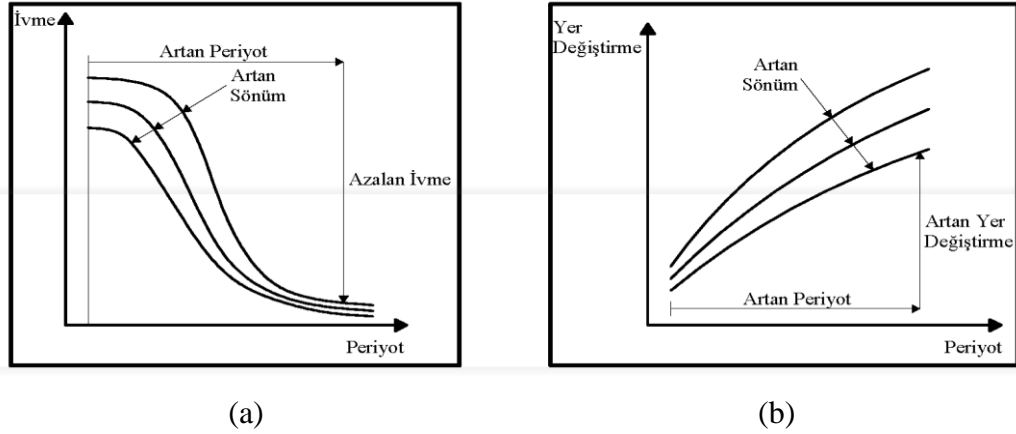
a-) Elastomerik sistemler

- Düşük sönümlü kauçuk mesnetler
- Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler
- Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler

b-) Kayıcı mesnetli sistemler

- Sürtünmeli sarkaç mesnetler

Sismik taban izolasyon sistemi yapı ile temeli arasına düşük yatay rijitliği olan izolatörleri monte ederek yapıyı, deprem hareketinin yatay bileşenlerinden ayırmaktadır. Bu yöntem uygulandığı yapıya, hem ankastre mesnetli sistemin frekansından hem de yer hareketinin hâkim frekanslarından çok daha küçük olan bir asal frekans vermektedir (Celep ve Kumbasar, 2004). Şekil 1.1’de ankastre mesnetli yapıya kıyasla, sismik izolasyonlu yapının artan periyoduyla birlikte yapının maruz kaldığı ivmenin azaldığı ve yerdeğiştirmenin arttığı görülmektedir.

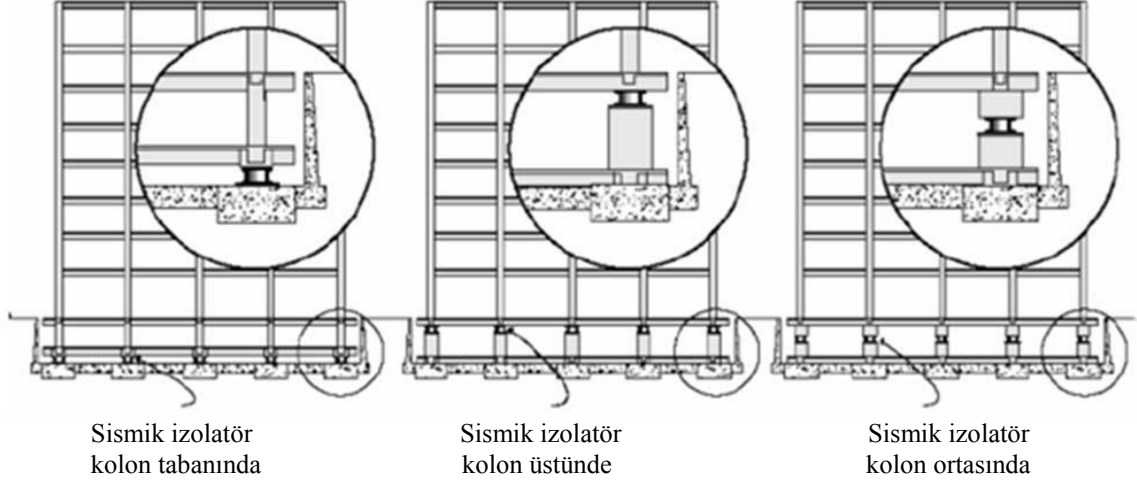


Şekil 1.1. Sönüme bağlı olarak; (a) yapının periyot-ivme ilişkisi, (b) yapının periyot yerdeğiştirme ilişkisi (Batur, 2005).

1.3.1. Elastomerik Sistemler

Elastomerik sistemler kauçuk esaslı mesnet sistemleridir ve sismik izolasyon, yapı ve temel arasındaki düşük kayma rijitliği bulunan bir tabaka ile sağlanır. Bu tip mesnetlerde kauçuk tabakalar arasına çelik plakalar yerleştirilir. Şekil 1.2.’de görüldüğü gibi elastomer

izolatörlerin yapıya uygulanması kolon altında, kolon üstünde ya da kolon ortasında olabilmektedir.



Şekil 1.2. Elastomer izolatörlerin kolonlarda uygulama yerleri (MEB 2006).

1.3.1.1. Düşük Sönümlü Elastomer Mesnetler

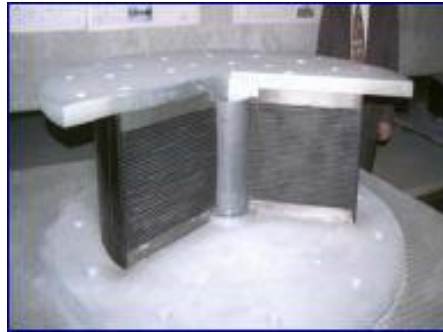
Sismik izolasyon teknolojisinde kullanılan en eski elastomerik mesnet çeşididir. Ülkemizde standart köprü uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip mesnetler, kauçuk tabakalar arasına çelik plakaların ısı ve basınç altında birbirlerine birleştirilmesiyle elde edilmektedir (Şekil 1.3.). Yatay tabakalar halinde bulunan ince çelik levhalardan dolayı yüksek düşey rijitliğe sahiptir fakat bu ince çelik levhalar yatay rijitliğe katkı sağlamaz ve bu nedenle bu mesnetler düşük yatay rijitliğe sahiptir. Yatay rijitlik kauçuk tabakaların kalınlığı ve sayısına bağlıdır. Bu mesnetlerin enerji sönümleme kapasitesi düşük (%2-5) olduğu için üstyapı ile altyapıyı birbirinden ayırmakta kullanılmaktadır.



Şekil 1.3. Düşük sönümlü kauçuk mesnedin enkesiti
(Coşkun, 2004).

1.3.1.2. Kurşun Çekirdekli Elastomer Mesnetler

Kurşun çekirdekli sistemlerin yapısı düşük sönümlü kauçuk mesnetli sistemlere benzemektedir. Aralarındaki fark, bu tip izolatör mesnedinin orta kısmında bulunan kurşun çekirdektir (Şekil 1.4.). Bu çekirdek enerjiyi dağıtarak dinamik sönümü yüksek tutar ve kauçuğun yatay yönde yerdeğiştirmelerini azaltır. Düşey yük taşıma kapasitesini sağlayan çelik levhalar tarafından sarmallanan kurşun çekirdek, servis durumunda rijitlik sağlarken deprem durumunda plastik davranış göstererek enerji sönümler. Enerji sönümleme oranları %20-25 arasındadır. Kurşunun yorulma dayanımı yüksek olduğu için yatay yüklemekten kısa bir süre sonra özelliğini geri kazanır. Bazı uygulamalarda çok sayıda kurşun çekirdeğin mesnet çevresine dağıtıldığı da olmuştur. Buradaki amaç deprem sırasında enerji sönümlenmesi neticesinde ortaya çıkan ısıyı dağıtarak performansı olumsuz etkilemesinin önüne geçmektir (Özkaya, 2010).



Şekil 1.4. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kesiti
(Yücesoy, 2005).

1.3.1.3. Yüksek Sönümlü Elastomer Mesnetler

Düşük sönümlü izolatörlerin ek sönümleyici ihtiyacı duyması sonucu yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler geliştirilmiştir (Şekil 1.5). Elastomer mesnetlerden farkı, kullanılan kauçuğun kimyasal formülasyonudur. Enerji sönümleme oranları %10-15 oranındadır. Yüksek sönümlü doğal kauçuk kullanılmasının avantajlarından biri gerekli esnekliği ve enerji sönümü ihtiyacını tek bir eleman olarak karşılamasıdır. Ayrıca yüksek yanal birim şekil değiştirmelerde rijitleşen bir davranış göstermesi, ilave geri getirici özellik kazandırmaktadır. Kullanılan kauçuğun formülasyonunun üreticiden üreticiye değişmesi ve enerji sönümleme oranının diğer sistemlere nazaran düşük olması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir.



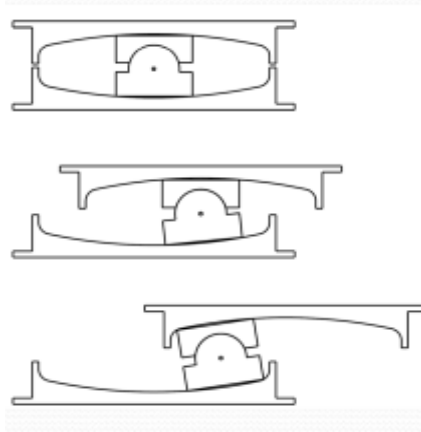
Şekil 1.5. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetli sistemler (Kelly ve Naeim, 1999).

1.3.2. Kayıcı Mesnetli Sistemler

Kauçuk izolatörlere bir alternatif olarak ortaya çıkan kayıcı izolasyon sistemleri de günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemin çalışma şekli, yalıtım ara yüzünde kesme kuvveti geçişinin kayıcı bir yalıtım tabakası kullanılarak sınırlandırılmasıdır. Bu tabakanın dayanım kuvveti aşıldığında kayıcılar aktif hale gelmekte, üst yapı kaymaya başlamakta ve çıkan enerji sürtünme ile sönümlenmektedir. Kauçuk mesnetlerde, çok soğuk iklimlerde kauçuğun sertleşmesi neticesinde yatay rijitliği artarak altyapıya aktarılan

kuvvetler artmaktadır. Bu nedenle kayıcı mesnetler soğuktan daha az etkilendikleri için kauçuk mesnetlere göre soğuk iklimlere kullanılması daha uygundur. Kayıcı mesnetler düz yüzeyli ve eğri yüzeyli kayıcı mesnetler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Düz yüzeyli kayıcı mesnetlerde, kayıcı yüzey düz olduğu için sistemin geri getirici özelliği yoktur. Bu nedenle geri getirici özelliği olan başka sistemlerle beraber kullanılması daha uygun olmaktadır. Eğri yüzeyli kayıcı mesnetler, özel bir malzeme ile kaplı kayıcının konkav bir, iki veya üç eğri yüzeyler üzerinde kaymasıyla enerji sönümler (Şekil 1.6.). Deprem ve fren gibi ani yüklemelerde altyapıya gidecek olan kuvvetleri azaltır. Kayıcı mesnetlerin aşınma dayanımı çok önemlidir. Günlük servis hareketleri neticesinde (sıcaklık değişimleri, hareketli yük altındaki eğilmeler) kayıcı malzemede aşınma olmakta, bu da sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Örneğin, ilk etapta %12 sürtünme katsayısına sahip bir mesnetin sürtünme katsayısı 5 yıl sonra %6'ya inebilmektedir (Özkaya, 2010). Bu tip mesnetlerin tasarım parametreleri mesnedin sürtünme yüzeyinin çapı, sürtünme katsayısı ve mesnedin üzerindeki aksel yüküdür .

Bütün izolasyon sistemlerinde olduğu gibi bu sistemler de enerji sönümlenmesi neticesinde ortaya çıkan ısıdan olumsuz yönde etkilenmektedirler. Ayrıca eğri yüzeyli kayıcı mesnetler binalarda kullanıldığında yatay hareketin başlaması esnasında istenmeyen titreşimlere meydan verebilmektedir.



Şekil 1.6. İki eğri yüzeyli kayıcı mesnet (Özkaya, 2010).

1.3.2.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi

Sürtünmeli sarkaç sisteminde, yapının sarkaç hareketi ile deprem hareketinin ve enerjinin sürtünme ile sönümlenmesi amaçlanmaktadır. Özel metaller kullanılarak içbükey küresel yüzey üzerinde kayabilen izolatör elemanı, üzerine gelen deprem enerjisini mafsalı kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı sönümler ve yapının başlangıç konumuna dönebilmesini sağlar (Şekil 1.7.).



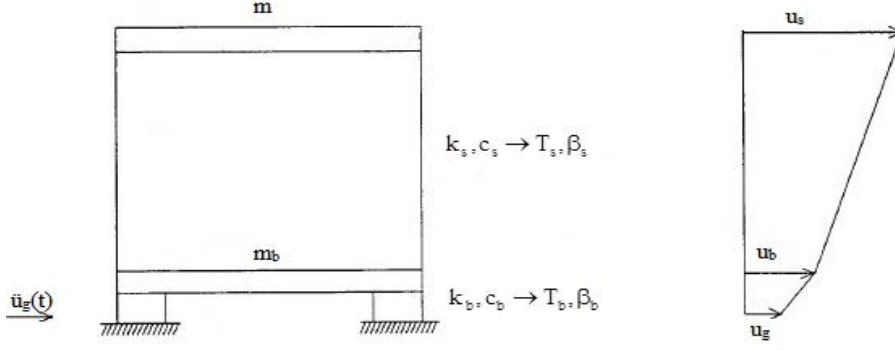
Şekil 1.7. Sürtünmeli sarkaç sisteminin maksimum yerdeğiştirmesi (Constantinou, 2004).

1.4. Sismik İzolasyonlu Sistemlerin Doğrusal Teorisi

Sismik taban izolasyonlu yapıların davranışını anlayabilmek için iki serbestlik dereceli sistemlerin ve çok serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri, frekansları, modları, sönüm modal katılım faktörleri, maksimum görelî yerdeğiştirmeleri ve taban kesme katsayıları gibi parametrelerin ele alınması gerekmektedir (Kelly, 1990).

1.4.1. İki Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri

İzolasyon sistemleri doğrusal olmayan sistemlerdir ama etkili rijitlik ve etkili sönüm tahmin edilerek yapılacak olan doğrusal bir yaklaşımla yaklaşık bir sonuç elde edilmektedir. Sismik izolasyonlu bir yapının davranışını anlayabilmek için, Şekil. 1.8'deki gibi iki serbestlik dereceli izolasyonlu bir sistemde basit bir çözümlene yapılabilir.



Şekil 1.8. İki serbestlik dereceli izolasyonlu bir sistemdeki parametreler (Kelly, 1990).

Bu sistemde üst yapının izolasyon katına göre yerdeğiştirmesi (v_s) ve izolasyon sisteminin yere göre yerdeğiştirmesi (v_b)

$$v_s = u_s - u_b \quad (1)$$

$$v_b = u_b - u_g \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada u_s , üst yapının mutlak yerdeğiştirmesini; u_b , izolasyon döşemesinin mutlak yerdeğiştirmesini; u_g ise zemin yerdeğiştirmesini göstermektedir.

Sismik taban izolasyonlu iki serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri;

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \quad (3a)$$

$$M\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -M\ddot{u}_g \quad (3b)$$

şeklindedir. Bu bağıntılarda m , üst yapı kütesini; M , üst yapı kütesi (m) ile izolasyon sisteminin kütesinin (m_b) toplamını; \dot{v}_s ve \ddot{v}_s , üst yapının görelî yerdeğiştirmesinin zamana göre birinci ve ikinci türevini; \dot{v}_b ve \ddot{v}_b , izolasyon sisteminin görelî yerdeğiştirmesinin zamana göre birinci ve ikinci türevini; k_s , üst yapı rijitliğini; c_s , üst yapı sönümünü; k_b , izolasyon sisteminin rijitliğini; c_b , izolasyon sisteminin sönümünü; \ddot{u}_g , yer ivmesini göstermektedir.

Bu denklemlerin matris forma dönüştürülüp çözümlenmesiyle sistemin modlarına, frekanslarına ve modal katılım faktörlerine ulaşılması belirlenmektedir. Sismik taban izolasyonlu iki serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri matris formda,

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (4)$$

$$M^* = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \quad K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \quad v^* = \begin{bmatrix} v_b \\ v_s \end{bmatrix} \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

şekline gelmektedir. Burada C, M, K matrisleri sırasıyla sönüm, kütle, rijitlik matrislerini, r matrisi ise her bir serbestlik derecesini yer hareketine bağlayan etki matrisini ifade etmektedir.

Sismik taban izolasyonlu sistemlerin analizinde kullanılan başlangıç varsayımları aşağıdaki gibidir.

1) $m_b \leq m$ ve aynı büyüklük mertebesindedir.

2) $\omega_s = \sqrt{\frac{k_s}{m}} \gg \omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{M}}$ ve $\varepsilon = \left(\frac{\omega_b}{\omega_s}\right)^2$ ve ε 'nin büyüklüğü 10^{-2}

mertebesindedir. Burada ω_s , üst yapı frekansını; ω_b , izolasyon sisteminin frekansı göstermektedir.

3) Üst yapı sönüm faktörü ($\beta_s = \frac{c_s}{2m\omega_s}$) ile izolasyon sisteminin sönüm faktörü

($\beta_b = \frac{c_b}{2M\omega_b}$) değerlerinin büyüklükleri ε ile aynı mertebededir.

4) Kütleler oranı $\gamma = \frac{m}{m+m_b} = \frac{m}{M} < 1$

Bu büyüklükler sismik taban izolasyonlu iki serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemlerinde (3a) ve (3b) yazılırsa,

$$\gamma \ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (5a)$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_s \beta_s \dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (5b)$$

şekline gelmektedir. Sistemin sönümsüz doğal modları ;

$$\phi^n = \{\phi_b^n, \phi_s^n\}^T \quad n = 1, 2 \quad (6)$$

ve bir mod için açılmal frekanslar ω_n olmak üzere;

$$\begin{bmatrix} -\omega_n^2 + \omega_b^2 & -\gamma\omega_n^2 \\ -\omega_n^2 & -\omega_n^2 + \omega_s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_b^n \\ \phi_s^n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

denklemleriyle verilmektedir. ω_n için karakteristik denklem ise;

$$(1-\gamma)\omega_n^4 - (\omega_b^2 + \omega_s^2)\omega_n^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (8)$$

şeklindedir. Bu denklemin çözümündeki iki kökten 1. ve 2. modlara karşılık gelen açısız frekansların (ω_1 ve ω_2) büyük olanı (ω_2) izolasyon sistemi yüzünden değişmiş olan üst yapı frekansını (ω_s^*), küçük olanı (ω_1) ise değişmiş izolasyon frekansını (ω_b^*) temsil etmektedir. Bu denklemin kökleri;

$$\begin{Bmatrix} \omega_2^2 \\ \omega_1^2 \end{Bmatrix} = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ (\omega_s^2 + \omega_b^2) \pm \left[(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (9)$$

şeklindedir. Burada, karekök içindeki ifadeye $\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}$ değişken dönüşümü yapılırsa;

$$\omega_b^{*2} = \omega_1^2 = \omega_b^2(1-\gamma\varepsilon) \quad (10a)$$

$$\omega_s^{*2} = \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{1-\gamma}(1+\gamma\varepsilon) \quad (10b)$$

şekline gelmektedir. Bu ifadelerde ε değerinin büyüklüğü 10^{-2} mertebesinde olduğundan yaklaşık 0 alınabilir ve ikinci terimleri yok sayılırsa,

$$\omega_b^* = \omega_b \quad (11a)$$

$$\omega_s^* = \frac{\omega_s}{(1-\gamma)^{1/2}} \quad (11b)$$

şekline gelmektedir. Birinci modun frekansı, yapı rijit olduğundan yaklaşık olarak değişmiş izolasyon sisteminin frekansına eşittir. İkinci modun frekansı ise izolasyon sisteminin rijitliğinden dolayı değişmiş üst yapı frekansından oldukça farklıdır. Bu denklemlerden, yapıya eklenen izolasyon döşemesinin varlığından dolayı üst yapı frekansı

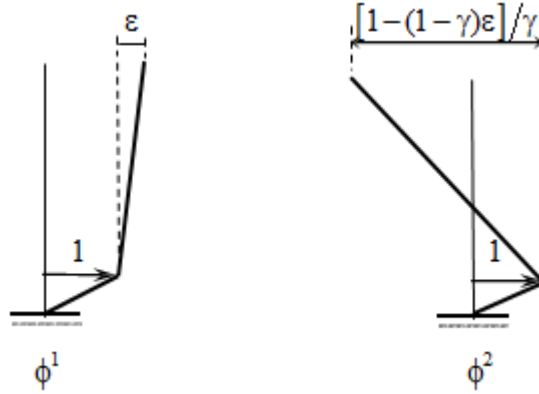
büyük ölçüde değişirken, izolasyon frekansının küçük ölçüde sadece ε mertebesinde değiştiği görülmüştür.

İzolasyon sisteminin rijitliğinin nasıl etkili olduğu, bu frekans değişimlerinden anlaşılmaktadır. İkinci modun frekansı, ankastre tabanlı yapısal frekanstan daha büyük bir değer aldığına yapıya gelen yüksek ivmelere karşılık büyük taban kesme kuvveti gelmez ve böylece frekans değişimi yapıyı korumuş olur. Değiştirilmiş olan bu frekansları (7) eşitliğinde ε mertebesini ihmal etmeden $\phi_b^1 = 1$ yazılırsa,

$$\phi^1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{Bmatrix} \quad (12a)$$

$$\phi^2 = \begin{Bmatrix} \frac{1-(1-\gamma)\varepsilon}{\gamma} \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (12b)$$

1. ve 2. mod şekilleri elde edilir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. İki serbestlik dereceli sismik izolasyonlu sistemin mod şekilleri (Kelly, 1990).

Bu şekilden görüldüğü gibi, 1. modda (ϕ^1) yapı rijit davranışa yakın bir davranış gösterirken, 2. modda (ϕ^2) hem üst yapıda hem de izolasyon katında zıt yönde yerdeğiştirme olmaktadır. Modal koordinatlardaki görelî yerdeğiştirmeler ise;

$$v_b = q_1 \phi_b^1 + q_2 \phi_b^2 \quad (13a)$$

$$v_s = q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2 \quad (13b)$$

bağıntıları ile belirlenmektedir. Burada q_1 ve q_2 zamana bağlı modal bileşenlerdir olmak üzere ana matris denklemi göreli yerdeğiştirmelere bağlı olarak ifade edilirse;

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_b^* \beta_b^* \dot{q}_1 + \lambda_1 \dot{q}_2 + \omega_b^{*2} q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (14a)$$

$$\ddot{q}_2 + \lambda_2 \dot{q}_1 + 2\omega_s^* \beta_s^* \dot{q}_2 + \omega_s^{*2} q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \quad (14b)$$

denklemleri elde edilmektedir. Burada L_1 ve L_2 iki mod için ifade edilen modal katılım faktörleridir ve M_i modal (genelleştirilmiş) kütle cinsinden

$$\begin{aligned} M_i &= \phi^{iT} M^* \phi^i & M_i L_i &= \phi^{iT} M^* r^* \\ L_i &= \frac{M_i L_i}{M_i} = \frac{\phi^{iT} M^* r^*}{\phi^{iT} M^* \phi^i} \end{aligned} \quad (15)$$

şeklinde ifade ifade edilir. Burada L_1 için, $M_1 L_1 = M + m\varepsilon$ ve $M_1 = M + 2m\varepsilon + m\varepsilon^2$ olarak tanımlanırsa,

$$L_1 = 1 - \gamma\varepsilon \quad (16)$$

ve L_2 için, $M_2 L_2 = M(1 - \gamma)\varepsilon$ ve $M_2 = M/\gamma[(1 - \gamma)(1 - 2(1 - \gamma)\varepsilon)]$ olarak tanımlanırsa

$$L_2 = \gamma\varepsilon \quad (17)$$

elde edilmektedir.

Burada, eğer ω_b ve ω_s frekansları birbirinden yeterince uzaksa yapısal şekildeğiştirmeyi içeren ikinci moda ait katılım faktörü olan L_2 çok küçük olmaktadır. Bu modal katılım faktörü modu çok küçük olduğundan, deprem girdisi olan $M^* r \ddot{u}_g$ ile ortogonaldir. Bu yüzden bu frekansta depremin enerjisi olmasına rağmen, yer hareketi yapıya aktarılmamaktadır. Bu sismik izolasyon sisteminin gerçek etkinliğidir. Amaç enerji yutmak değil, ortogonallik özelliği sayesinde enerjiyi dağıtmaktır. Ancak, enerji sönümlenme izolasyon sistemi için önemli bir parametredir. Üst yapının enerji sönümlenme oranı %5 iken, izolasyon sisteminde bu oran %10-20 ye çıkmaktadır. İzolasyon sisteminin amacı yapıya etkiyen kuvvetleri azaltarak, üst yapının %5 den daha küçük sönüm oranlarıyla projelendirmesini sağlamaktır. Aynı yapıdaki iki bileşenin çok farklı sönüm

oranlarına sahip olması sistemin çözümünü oldukça zor hale getirmektedir. Bu yüzden (14a) ve (14b) denklemlerindeki modal sönüm çarpanları olan β_s^* ve β_b^* yaklaşık bir yöntemle hesaplanır. Buna göre;

$$2\omega_n^* \beta_n^* = \frac{\phi^{nT} \mathbf{c}^* \phi^n}{\phi^{nT} \mathbf{M}^* \phi^n} \quad (18)$$

bağıntısından,

$$2\omega_b^* \beta_b^* = 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma\varepsilon) \quad (19a)$$

$$2\omega_s^* \beta_s^* = \frac{2\omega_s \beta_s + 2\gamma\omega_b \beta_b}{1 - \gamma} \quad (19b)$$

elde edilir. Bu ifadeler (10a) ve (10b) denklemleri yerine konularak β_b^* ve β_s^*

$$\beta_b^* = \beta_b \left(1 - \frac{3\gamma\varepsilon}{2} \right) \quad (20a)$$

$$\beta_s^* = \left(\frac{\beta_s + \gamma\beta_b \varepsilon^{1/2}}{(1 - \gamma)^{1/2}} \right) \left(1 - \frac{1}{2} \gamma\varepsilon \right) \quad (20b)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada (20b) denklemi yapısal sönümün, izolatör sisteminin sönümü yüzünden $\varepsilon^{1/2}$ mertebesinde arttığını göstermektedir. Eğer β_s çok küçükse β_b 'nin katkısı çok büyük olabilmektedir. Yani izolasyon sistemindeki yüksek sönüm, yapısal sönüme büyük ölçüde katkı sağlayabilmektedir. (14a) ve (14b) denklemlerinde bulunan modal birleştirme katsayıları λ_1 ve λ_2 için bu eşitlik

$$\lambda_i \mathbf{M}_i = (\phi^i)^T \mathbf{C}^* \phi^n \quad (21)$$

şeklindedir. Önceden hesaplanan \mathbf{M}_1 ve \mathbf{M}_2 değerleri yerine yazılarak λ_1 ve λ_2 değerleri hesaplanabilmektedir. Fakat yapısal uygulamaların çoğunda, modların ortogonalliğini bozmamak için sistemdeki sönümün çok küçük olduğu kabul edilir ve sönüme bağlı ortogonal bileşenlerin (λ_1 ve λ_2) etkisi ihmal edilir. Böylece (14a) ve (14b) denklemleri

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_b^* \beta_b^* \dot{q}_1 + \omega_b^{*2} q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (22a)$$

$$\ddot{q}_2 + 2\omega_s^* \beta_s^* \dot{q}_2 + \omega_s^{*2} q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \quad (23b)$$

şekline dönüşür. Bu bağıntılardan elde edilen $L_1, L_2, \beta_s^*, \beta_b^*$ sonuçları ile birlikte, sistemin belli bir deprem girdisinde nasıl tepki vereceği tahmin edilebilmektedir. Eğer yer hareketinin ($\ddot{u}_g(t)$) ivme zaman geçmişi biliniyorsa, modal bileşenler;

$$q_1 = -\frac{L_1}{\omega_b^*} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_b^* \beta_b^* \tau} \sin \omega_b^* \tau d\tau \quad (24a)$$

$$q_2 = -\frac{L_2}{\omega_s^*} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_s^* \beta_s^* \tau} \sin \omega_s^* \tau d\tau \quad (24b)$$

şeklinde hesaplanır ve q_1, q_2 nin tahmini maksimum değerleri,

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_b^*, \beta_b^*) = L_1 \frac{1}{\omega_b^{*2}} S_A(\omega_b^*, \beta_b^*) \quad (25a)$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_s^*, \beta_s^*) = L_2 \frac{1}{\omega_s^{*2}} S_A(\omega_s^*, \beta_s^*) \quad (25b)$$

olarak elde edilir. Burada $S_D(\omega, \beta)$ ve $S_A(\omega, \beta)$ terimleri, ω frekansına ve β sönüm faktörüne sırasıyla yerdeğiştirme tepki spektrumuna ve ivme tasarım spektrumuna karşılık gelen değerleri ifade etmektedir.

İzolasyon sisteminin ve yapının maksimum görelî yerdeğiştirme değerleri SRSS (karelerinin toplamının karekökü) yöntemiyle,

$$|v_s|_{\max} = \left[(\phi_s^1 q_{1\max})^2 + (\phi_s^2 q_{2\max})^2 \right]^{1/2} \quad (26a)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[(\phi_b^1 q_{1\max})^2 + (\phi_b^2 q_{2\max})^2 \right]^{1/2} \quad (26b)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu denklemlerde mod değerleri, L_1 ve L_2 değerleri yerine yazılırsa $S_A(\omega, \beta)$, $S_D(\omega, \beta)$ spektrumları cinsinden yalıtım sistemindeki maksimum yerdeğiştirme ve maksimum yapısal şekildeğiştirme,

$$|v_b|_{\max} = \left\{ (1-\gamma\varepsilon)^2 [S_D(\omega_b^* \beta_b^*)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 [S_D(\omega_s^* \beta_s^*)]^2 \right\}^{1/2} \quad (27a)$$

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \left\{ (1-2\gamma\varepsilon)^2 [S_D(\omega_b^* \beta_b^*)]^2 + [1-2(1-\gamma)\varepsilon]^2 [S_D(\omega_s^* \beta_s^*)]^2 \right\}^{1/2} \quad (27b)$$

bağıntısıyla elde edilmiş olur. $|v_b|_{\max}$ değeri; genellikle deprem spektrumlarında yüksek frekanslardaki yerdeğiştirmelerin, düşük frekanstakilerden çok küçük olduğundan $\varepsilon^2 [S_D(\omega_s^* \beta_s^*)]$ terimi ihmal edilerek,

$$|v_b|_{\max} = (1-\gamma\varepsilon) S_D(\omega_b^* \beta_b^*) \quad (28)$$

şeklinde yazılabilir. $|v_s|_{\max}$ değerinin en sade halini elde etmek için, ε^2 den daha yüksek dereceli terimler ihmal edilirse $|v_s|_{\max}$ değeri,

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \left[S_D(\omega_b^* \beta_b^*)^2 + S_D(\omega_s^* \beta_s^*)^2 \right]^{1/2} \quad (29)$$

şekline gelir.

Birçok tasarım spektrumu, yaklaşık olarak sabit bir hız spektrumu olduğu kabul edilmektedir. S_v sabit hız spektrumu olmak üzere, tasarım spektrumları birbiri cinsinden yazılırsa

$$S_D(\omega, \beta) = \frac{S_A(\omega, \beta)}{\omega^2} = \frac{S_v}{\omega} \quad (30)$$

ve $|v_s|_{\max}$ ve $|v_b|_{\max}$ yerdeğiştirmelerini S_v hız spektrumu cinsinden;

$$|v_s|_{\max} = \frac{\varepsilon S_v}{\omega_b} = \varepsilon S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (31a)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_v}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (31b)$$

şekline gelir. Burada sabit bir hız spektrumu için yapıdaki katlar arasındaki görelî yerdeğiştirmelerin izolasyonlu sistemdeki yerdeğiştirmeye göre ε mertebesinde (10^{-2}) olduğu görölmektedir.

Tasarım taban kesme kuvveti katsayısı C_S ;

$$C_S = \frac{k_s v_s}{m} = \omega_s^2 v_s \quad (32)$$

formülüyle tanımlanmaktadır. Bu katsayı ankastre tabanlı sistemler için;

$$C_S = \omega_s^2 S_D(\omega_s, \beta_s) = S_A(\omega_s, \beta_s) \quad (33)$$

izolasyonlu sistemler için ise;

$$C_S = \left[S_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*) + \varepsilon^2 (1-\gamma)^2 (1-2\varepsilon) S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right]^{1/2} \quad (34)$$

şeklinde yazılmaktadır. İkinci terimin ε^2 ile çarpılmış olmasına karşılık, eğer sabit yerdeğiştirme spektrumu söz konusu ise, birinci terimle aynı mertebeden olabilir. Eğer spektrum bir sabit ivme spektrumu ise, ikinci terim ihmal edilebilir. Taban kesme kuvveti katsayısı (C_S) sabit hız spektrumu cinsinden yazılırsa,

$$C_S = \omega_b S_v \left[1 + \varepsilon^2 (1-\gamma)^2 \frac{\omega_s^{*2}}{\omega_b^2} \right]^{1/2} = S_A(\omega_b, \beta_b) [1 + (1-\gamma)\varepsilon]^{1/2} \approx S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (35)$$

denklemleri elde edilmektedir. Burada tasarım spektrumunda ε içeren ikinci terim ihmal edilmiştir. İzolasyonlu bir sistem için $S_A(\omega_b, \beta_b)$ ile ankastre tabanlı bir sistemi için $S_A(\omega_s, \beta_s)$ elde edilen taban kesme kuvvet katsayıları karşılaştırıldığında taban kesme kuvvetindeki azalma, $S_A(\omega_b, \beta_b)/S_A(\omega_s, \beta_s)$ oranında olmaktadır. Bu oran sabit bir hız spektrumu için ω_b/ω_s veya yaklaşık $\varepsilon^{1/2}$ mertebesinde dir. Ancak genellikle β_b, β_s den daha büyük olduğu için taban kesme kuvvetinde meydana gelen bu azalma ihmal edilebilir.

Bu sonuçlara göre izolasyon sisteminin ilk tasarım aşamasında; görelî taban yerdeğiştirmeleri için $S_D(\omega_b, \beta_b)$ 'ye göre, taban kesme kuvveti katsayısı için ise $S_A(\omega_b, \beta_b)$ 'ya göre hesapların yapılması daha uygun olmaktadır.

1.4.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri

Deprem izolasyonun basit doğrusal modelin iki serbestlik dereceli analizi, çok katlı yapılar için de uygulanabilmektedir. Çok katlı yapı sistemlerinin hareket denklemleri, iki serbestlik dereceli sistemler üzerinde yapılan kabullerden çıkarılmıştır. Geleneksel bir yapı sisteminin doğrusal denklemi taban izolasyon sistemi ile birleştirilirse;

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr(\ddot{u}_g + \ddot{v}_b) \quad (36)$$

şeklindedir. İzolasyon döşemesinin kütlesi ile beraber izole edilmiş yapının hareket denklemi yeniden düzenlenirse;

$$r^T M \ddot{v} + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (37)$$

şekline gelir. Bu denklemlerde $r^T M r$ terimi üst yapının toplam kütlesi (m) olarak ifade edilir. Bundan dolayı, $(m + m_b)$ terimi izolasyon sisteminin üzerindeki toplam kütedir. Bu eşitlik, matris formda

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (38)$$

$$M^* = \begin{bmatrix} m + m_b & r^T M \\ Mr & M \end{bmatrix} \quad C^* = \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \quad K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. Çok serbestlik dereceli sistemin modal analizi aşamasında ankastre tabanlı yapıların doğal mod şekilleri (ϕ^i $i=1,2,3,\dots,N$) kullanılarak her serbestlik derecesi için yerdeğiştirme değerleri;

$$v = \sum_{i=1}^N q_i \phi^i \quad (39)$$

şeklinde gösterilmektedir. Hareket denklemlerinin matrisi N+1 denkleme indirgenirse;

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{r}^T \mathbf{M} \phi_i \ddot{\mathbf{q}}_i + (\mathbf{M} + \mathbf{M}_b) \ddot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{c}_b \dot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{k}_b \mathbf{v}_b = -(\mathbf{M} + \mathbf{M}_b) \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (40a)$$

$$\ddot{\mathbf{q}}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{\mathbf{q}}_i + \omega_i^2 \mathbf{q}_i = -\mathbf{L}_i (\ddot{\mathbf{v}}_b + \ddot{\mathbf{u}}_g) \quad i=1, 2, \dots, N \quad (40b)$$

şeklinde olur.

Genellikle yapının veya izolasyon sisteminin tasarımında yapının tüm davranışının belirlenmesinde deprem anındaki titreşim modu en önemli etken olduğu için yüksek modlar etkili rol oynamaz. Bu nedenle sadece ilk modun kullanılması yeterlidir. Bu yüzden 1. mod için (40a) denkleminde (16) nolu denklem \mathbf{L}_1 konulup düzenlenirse;

$$\frac{\{\mathbf{L}_1 \mathbf{M}_1\}}{(\mathbf{M} + \mathbf{M}_b)} \ddot{\mathbf{q}}_1 + \ddot{\mathbf{v}}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{\mathbf{v}}_b + \omega_b^2 \mathbf{v}_b = -\ddot{\mathbf{u}}_g \quad (41a)$$

$$\mathbf{L}_1 \ddot{\mathbf{v}}_b + \ddot{\mathbf{q}}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{\mathbf{q}}_1 + \omega_1^2 \mathbf{q}_1 = -\mathbf{L}_1 \ddot{\mathbf{u}}_g \quad i=1, 2, \dots, N \quad (41b)$$

denklemleri elde edilir.

Tek serbestlik dereceli sistemin temel sonuçları, denklemlere yazıldığında; maksimum görelî taban yerdeğiştirmesi, tek serbestlik dereceli sistem için elde edilen (31b) bağıntısıyla aynı olur. Maksimum görelî taban yerdeğiştirmesi ($|\mathbf{v}_b|_{\max}$),

$$|\mathbf{v}_b|_{\max} = \mathbf{S}_A(\omega_b, \beta_b) / \omega_b^2 \quad (42)$$

şeklinde elde edilmektedir. Taban kesme kuvveti ise,

$$|\mathbf{q}_1|_{\max} = \left[\frac{\varepsilon^2 \mathbf{L}_1^2 \mathbf{S}_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*)}{\omega_b^{*4}} + \frac{\varepsilon^2 \mathbf{L}_1^2 \mathbf{S}_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)}{\omega_s^{*4}} \right]^{1/2} \quad (43)$$

denkleminde elde edilmektedir. Görelî yerdeğiştirme vektörü;

$$\mathbf{v} = \mathbf{q}_1 \phi^1 \quad (44)$$

bağıntısıyla, eğer sönüm katkısını ihmal edilirse her bir elemandaki atalet kuvveti,

$$F = Kv = q_1 K \phi^1 = q_1 M \phi^1 \omega_1^2 \quad (45)$$

bağıntısıyla, üst yapıdaki toplam yatay kuvvet ise;

$$r^T F = q_1 \omega_1^2 L_1 M_1 \quad (46)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu denklem taban kesme katsayısı C_s cinsinden;

$$C_s M = rF \quad (47)$$

şeklinde ifade edilir. Böylece $\gamma = \frac{L_1^2 M_1}{M + M_b}$ ve $\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_1^2}$ olmak üzere (C_s);

$$C_s = \frac{L_1^2 M_1}{M} \left\{ S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma)^2 \varepsilon^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right\}^{1/2} \quad (48)$$

şeklinde belirlenmektedir.

İzolasyonlu bir yapı için kesme kuvvetinin dağılımı, $\{1, \varepsilon L_1 \phi^1\}^T$ olan birinci izolasyon modunun şekliyle belirlenir. Eğer ε terimini ihmal edilirse, dağılım üniform olmaktadır. Bu durumda herhangi bir kata gelen yanal deprem kesme kuvveti;

$$F_x = C_{v_x} V \quad (49)$$

bağıntısıyla belirlenir. Bu denklemdeki C_{v_x} ; ω_x kat ağırlığını, ω toplam ağırlığı göstermek üzere ω_x / ω dir.

Her kattaki deprem kesme kuvveti V_x ;

$$V_x = \sum_{i=x}^N F_i \quad (50)$$

buradan, F_i yerine yazılırsa

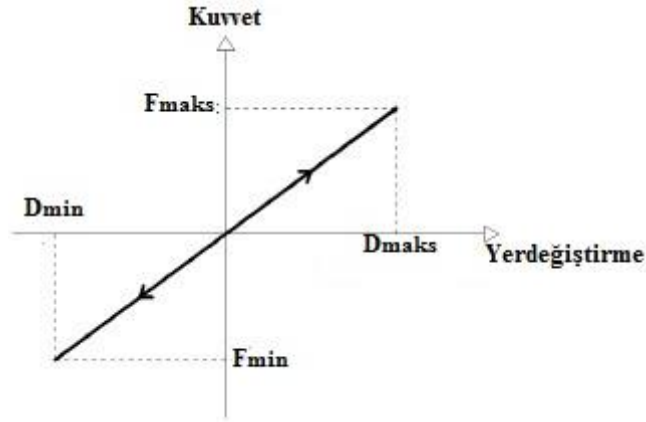
$$V_x = \sum_{i=x}^N C_{v_i} V = V \sum_{i=x}^N \frac{\omega_i}{\omega} = C_s \sum_{i=x}^N \omega_i \quad (51)$$

olarak belirlenir.

Yani yapı tasarımında, tasarım spektrumdan C_s 'yi tahmin edip her bir katın ağırlığıyla çarparak her kattaki kesme kuvveti bulunur. Eğer istenirse süneklilik katsayısı olan R 'de hesaba katılabilir, ancak izolasyon sistemi sayesinde elde edilen kesme kuvvetindeki azalmanın fazla olmasından dolayı buna gerek yoktur. Böylece düşük süneklilik katsayısı ile yapısal olmayan elemanlarda bile hasar ihtimali ve yapı maliyeti azaltılmış olmaktadır.

1.5. Sismik İzolasyon Mesnetlerinin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri

Elastomer mesnetlerin matematik modeli, doğrusal yay ve sönüm elemanın birleşiminden oluşmaktadır. Bu mesnetler Şekil 1.10.'da gösterildiği gibi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği doğrusal olarak modellenmektedir. Sönüm ise yaklaşık %2 seviyelerinde alınmaktadır (Şahin, 2008).



Şekil 1.10. Elastomer mesnedin kuvvet- yerdeğiştirme davranışı (Şahin, 2008).

Şekil 1.10'da görüldüğü gibi, elastomer mesnedin yatay rijitliği $k_b = F/D$ olmak üzere izolasyon sisteminin periyodu T_b ,

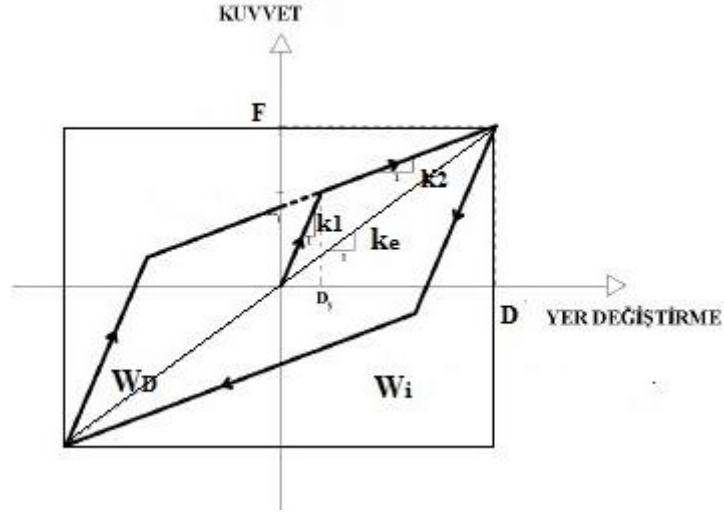
$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_b}} \quad (52)$$

bağıntısıyla sönüm faktörü ise,

$$\beta_b = \frac{c_b T_b}{4\pi M} \quad (53)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir.

Kurşun çekirdekli ve yüksek sönümlü elastomer mesnetler ile sürtünmeli sarkaç sistemlerin kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 1.11’de gösterildiği gibi çevrimsel eğriler olarak modellenmektedir. Sönümleri ise %10-15 seviyelerine eşit veya büyük olacak şekilde dikkate alınmaktadır.



Şekil 1.11. Taban izolatörlerinin idalize edilmiş çevrimsel davranışı

Şekil 1.11’de verilen k_1 ilk rijitlik, k_2 akma sonrası rijitlik olmak üzere izolasyon sisteminin periyodu,

$$T_{b_1} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_1}} \quad \text{ve} \quad T_{b_2} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_2}} \quad (54)$$

bağıntılarıyla sönüm faktörü ise,

$$\beta_{b_1} = \frac{c_b T_{b_1}}{4\pi M} \quad \text{ve} \quad \beta_{b_2} = \frac{c_b T_{b_2}}{4\pi M} \quad (55)$$

bağıntılarıyla belirlenmektedir. Çevrimsel eğrideki tepeden tepeye değerlerin sekant eğimi olarak tanımlanan etkili rijitlik $k_e = F/D$ olmak üzere izolasyon sisteminin etkili periyodu,

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_e}} \quad (56)$$

olarak elde edilmektedir. Etkili sönüm faktörü (β_e) ise gerçek viskoz sönüm (β_b) ile çevrimsel sönümün (β_h) toplamıyla ($\beta_e = \beta_b + \beta_h$) hesaplanmaktadır.

Burada β_b ;

$$\beta_b \cong \frac{c_b T_e}{4\pi M} \quad (57)$$

ve β_h ise,

$$\beta_h = \frac{W_D}{2\pi F D} \quad (58)$$

şeklinde hesaplanmakta ve genellikle $\beta_h > \beta_b$ olmaktadır. Bu bağıntıda W_D , çevrimsel eğrisinin içinde kalan alanı ifade etmektedir.

Taban izolatörlerinde doğrusal olmama faktörü NL,

$$NL = \frac{W_D}{W_i} = \frac{W_D}{4FD} \quad (59)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Burada W_i toplam alanı göstermektedir. Doğrusal olmama faktörü, $NL=1$ olduğundan yüksek derecede doğrusal olmayan sistemler olduğunu, $NL \sim 0$ seviyelerinde olduğunda ise sistemlerin yüksek derece doğrusal davranış gösterdiği kabul edilmektedir.

İzolatörlerin ön modelleme aşamasında; sistemin muhtemel maksimum yerdeğiştirmesi, maksimum kayma şekildeğiştirmesi, yapısal taban kesme kuvveti, izolatörün kararlılığı, muhtemel yukarı yönlü hareketi, burkulma davranışı gibi parametreler ele alınmalıdır. Ön tasarımda elde edilen bu parametreler, üretilen prototip izolatörlerin test sonuçlarına göre düzenlenmektedir.

1.5.1. Elastomer Mesnetlerin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri

Elastomer mesnetlerin mekanik özelliklerini, doğrusal olmayan teknikler kullanılarak elde etmek oldukça zordur. Bu nedenle tasarımcılar, elastik teoriye dayanan basit tahmin yöntemleri geliştirmiş ve sonlu elemanlar yöntemi araştırmaları ile laboratuvar deneyleri yapmışlardır. Buna göre, elastomer mesnetlerin en önemli mekanik özelliği olan yatay rijitlik,

$$K_h = \frac{GA}{T_r} \quad (60)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada; G, elastomerin kayma rijitliğini (0,5~1,2 MPa); A, dolu (yatay) enkesit alanını ve T_r , elastomer tabakanın toplam kalınlığını ifade etmektedir. Maksimum yanal yerdeğiştirme (D) altında elastomer malzemede oluşacak maksimum kayma birim şekildeğiştirmesi (γ_s);

$$\gamma_s = \frac{D}{T_r} \quad (61)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu değer genelde %150~200 seviyelerinden daha küçüktür. Dolayısıyla da deprem yalıtımı yönetmeliğinde izolatörün yanal yerdeğiştirme miktarı, $D \leq 0,7B$ (B = elastomer çapı) koşulu ile birlikte maksimum kayma birim şekildeğiştirmesi (γ_s), 2.5 değerine eşit veya küçük olma şartı istenmektedir (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği, 2008).

İzolasyon sisteminin düşey frekansı, sistemin tasarımında önemli bir kriterdir ve bu düşey frekans mesnedin düşey rijitliği ile kontrol edilmektedir. Tasarımcının düşey frekansı tahmin edebilmesi için, sabit yük altında doğrusal analiz yaparak mesnetlerin düşey rijitliğini hesaplaması gerekmektedir. Düşey yük altında mesnedin ilk tepkisi lineer değildir. Genelde mesnetin düşey tepkisini önemli ölçüde elastomer mesnet içinde sıralanan çelik yapraklar belirlemektedir. Bununla birlikte elastomer mesnet tasarımında, mesnedin burkulma kararlılığı önemli bir parametredir. Zira, buna bağlı olarak mesnedin eğilme rijitliği ile ifade edilen eğilme momentine karşı tepkisi belirlenmektedir.

Elastomer mesnet tasarımı için elde edilecek olan mekanik özelliklerden, sadece basınç gerilmesine maruz elastomer tabakanın basınç modülü (E_c) ve sadece eğilme

momentine maruz elastomer tabakanın eğilme modülü (E_b), kullanılan elastomer malzemenin sıkıştırılabilme kabulüne göre ayrı ayrı incelenmiştir.

1.5.1.1. Sıkıştırılmayan Kauçuk ile Üretilen Elastomer Mesnetler

Kauçuk gibi katılarda, poisson oranı (ν), 0.46 ve daha büyük değerlere yaklaştıkça hacimsel modül (K), rijitlik modülünden daha büyük hale gelmekte ve malzeme neredeyse sıkıştırılmaz olarak nitelendirilmektedir. Hacimsel modül büyük olduğundan elastomer tabaka basınç altında sıkışmadığı ve hacimsel değişimin sıfır olduğu kabul edilmektedir. Bu tip kauçuk malzeme kullanılarak üretilen elastomer mesnetlerin düşey rijitliği (K_v);

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r} \quad (62)$$

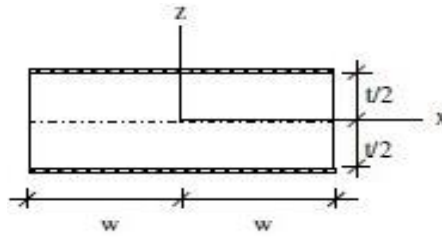
bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu denklemdaki E_c , kauçuk – çelik birleşiminin belirli düşey yük seviyesindeki anlık etkili basınç modülüdür. Tek bir kauçuk tabaka için hesaplanan E_c değeri, şekil faktörü (S) ile kontrol edilir.

Bir elastomer tabakanın şekil faktörü,

$$S = A / L \quad (63)$$

bağıntısından elde edilmektedir. Bu denklemden; A , her bir elastomer tabakanın çelik plaka ile yapışmış yüke maruz kalan yüzey plan alanını, L ise tek bir elastomer tabakanın serbest (kenar yüzeyi) alanını göstermektedir.

Şekil 1.12.'de gösterilen $2w$ genişliğinde, t kalınlığındaki sonsuz uzunluktaki bir elastomer tabaka için şekil faktörü;



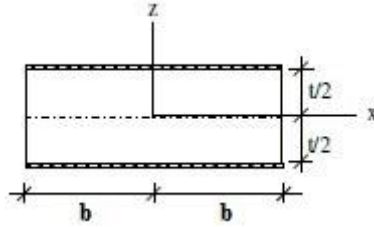
Şekil 1.12. $2w$ genişliğinde, t kalınlığındaki sonsuz uzunluktaki bir elastomer tabaka enkesiti (Pınarbaşı, 2007).

$$S = \frac{L2w}{2(t2w + Lt)} \cong \frac{w}{t} \quad (64)$$

olmak üzere birim boy alandaki etkili basınç modülü,

$$E_c = 4GS^2 \quad (65)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Şekil 1.13.'de gösterilen yarıçapı b olan t kalınlığındaki dairesel bir elastomer tabaka için şekil faktörü,



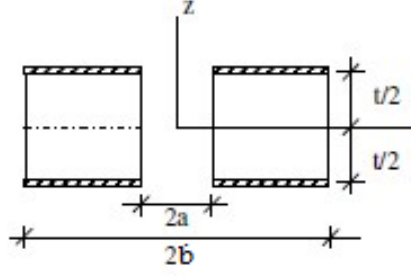
Şekil 1.13. Yarıçapı b olan, t kalınlığındaki dairesel bir elastomer tabaka enkesiti (Pınarbaşı, 2007).

$$S = \frac{\pi b^2}{2\pi bt} = \frac{b}{2t} \quad (66)$$

olmak üzere etkili basınç modülü,

$$E_c = 6GS^2 \quad (67)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Şekil 1.14.'de gösterilen dış yarıçapı b , iç yarıçapı a olan t kalınlığındaki boşluklu veya kurşun çekirdekli dairesel bir elastomer tabaka için şekil faktörü,



Şekil 1.14. Yarıçapı b , boşluk yarıçapı a olan, t kalınlığındaki dairesel bir elastomer tabaka enkesiti (Pınarbaşı, 2007).

$$S = \frac{\pi b^2 - \pi a^2}{2\pi b t + 2\pi a t} = \frac{b^2 - a^2}{2t(b + a)} = \frac{b - a}{2t} \quad (68)$$

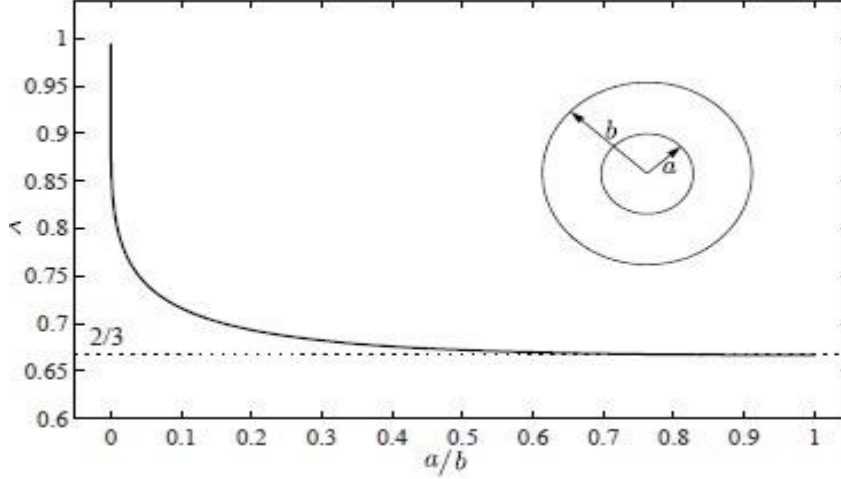
olmak üzere etkili basınç modülü,

$$E_c = 6GS^2\eta \quad (69)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Buradaki η , dairesel elastomer tabakadaki boşluğun etkili basınç modülüne etkisini gösteren bir katsayıdır ve boşluk oranı cinsinden (a/b),

$$\eta = \frac{1 + (a/b)^2 + \frac{1 - (a/b)^2}{\ln(a/b)}}{(1 - a/b)^2} \quad (70)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Buna göre dairesel bir elastomer tabakanın boşluk oranına bağlı olarak etkili basınç modülünün değişimi Şekil 1.15.'de verilmektedir.



Şekil 1.15. Dairesel elastomer tabaka için boşluğun basınç modülü üzerindeki etkisi (Kelly ve Konstantinidis, 2011)

Şekil 1.15.'de görüldüğü gibi dairesel bir elastomer tabakanın etkili basınç elastisite modülü (E_c), elastomer mesnetin içindeki boşluk oranına göre çok hızlı azalmaktadır. Bu da elastomer tabakadaki küçük bir boşluğun bile dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Boşluk yarı çapının dış yarı çapa oranı (a/b) 0 iken $\eta \rightarrow 1$ olduğundan basınç modülü, daha önceden dairesel kesitli elastomer tabaka için elde edilen basınç modülüne ($E_c = 6GS^2$) eşittir. Diğer taraftan (a/b) oranı 1'e yaklaşırken $\eta \rightarrow 2/3$ olduğundan etkili basınç elastisite modülü, $4GS^2$ değerine yaklaşmaktadır. Böylece boşluklu dairesel bir elastomer tabakanın basınç modülü $4GS^2 < E_c < 6GS^2$ arasında değiştiği görülmektedir. Ancak elastomer mesnedin a/b oranının 0,1 değerinden daha büyük değerleri için η değeri neredeyse $2/3$ değerini almaktadır. Bu küçük boşluğun basınç modülüne etkisinden dolayı, boşluklu dairesel elastomer tabakalarda basınç elastisite modülü değerinin $4GS^2$ alınması uygun olmaktadır.

Elastomer mesnetlerin modellenmesinde, elastomer tabakanın basınç altında zorlanmasından meydana gelen kayma gerilmeleri ve kayma şekildeğiştirmeleri de oldukça önemli parametrelerdir. Basınç altında Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'de gösterilen elastomer tabakalar için maksimum kayma şekildeğiştirmesi, şekil faktörü (S) cinsinden,

$$\gamma_{\max} = \gamma_c = 6S\epsilon_c \quad (71)$$

şeklinde heaplanmaktadır (Komodromos, 2000). Burada ε_c , basınç şekildeğiştirmesini (düşey) göstermektedir. (72) denkleminde görüldüğü gibi basınç şekildeğiştirmesi, 6S katı büyük kayma şekildeğiştirmesine neden olmaktadır. Elastomer tabakanın kalınlığı azaldıkça şekil faktörü (S) büyüdüğünden, maksimum şekildeğiştirmede buna bağlı olarak artmaktadır. AASHTO sismik izolasyon tasarım yönetmeliğinde,

$$\gamma_s + \gamma_c \leq 0.5\varepsilon_{br} \quad (72)$$

koşulu verilmektedir (AASHTO). Burada; γ_s (~150%), elastomer mesnedin yanıl yerdeğiştirmesinden meydana gelen kayma şekildeğiştirmesini, γ_c (~100%), basınç altında oluşan kayma şekildeğiştirmesini, ε_{br} ise kauçuğun maksimum kopma uzamasını göstermektedir.

Kauçuk esaslı malzemeler, şekildeğiştirmeye karşı hassas malzemelerdir. Basınç durumunda, kayma şekildeğiştirmesi elastomer tabakanın hacmi boyunca pozitiften negatife çok fazla değişiklik göstermektedir. Bu nedenle şekildeğiştirme seviyesine göre malzemenin kayma modülü (G) seçilmesi veya hesaplanması için elastomer malzemenin ortalama şekildeğiştirmesinin (γ_{ort}) hesaplanması gerekmektedir. Basınçtan doğan ortalama kayma şekildeğiştirmesi,

$$\gamma_{c,ort}^2 = \frac{E_c}{G} \varepsilon_c^2 \quad (73)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Kelly ve Konstantinidis, 2011). Ortalama kayma şekildeğiştirme, sonsuz uzunluktaki elastomer tabaka için basınç modülü $E_c = 4GS^2$, (73) bağıntısında yerine yazılırsa

$$\gamma_{c,ort} = 2S\varepsilon_c \quad (74)$$

ve dairesel elastomer tabaka için basınç modülü $E_c = 6GS^2$, (73) bağıntısında yerine yazılırsa

$$\gamma_{c,ort} = \sqrt{6S}\varepsilon_c \quad (75)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Elastomer mesnedin tasarımında, eğilme momentinin elastomer tabakanın eğilme modülü (E_b) üzerindeki etkileri oldukça önemlidir. Elastomer mesnedin başlıca mekanik özelliklerinden biri olan etkili eğilme modülü E_b ,

$$E_b = \frac{(EI)_{\text{eff}}}{I} \quad (76)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada; $(EI)_{\text{eff}}$ elastomer tabakanın eğilme rijitliğini, I ise kesitin tarafsız eksene göre atalet momentini göstermektedir. $(EI)_{\text{eff}}$, elastomer mesnedin burkulma yükünün tahmin edilmesinde ve düşey yükün mesnedin yatay rijitliğine etkisinin hesaplanmasında anahtar parametrelerdendir.

Genişliği $2w$, t kalınlığındaki sonsuz uzunluktaki bir elastomer tabaka için (bkz Şekil 1.12) birim uzunluktaki etkili eğilme modülü,

$$E_b = \frac{4}{5} GS^2 \quad (77)$$

bağıntısıyla, yarıçapı b olan t kalınlığındaki dairesel bir elastomer tabaka için (bkz Şekil 1.13) etkili eğilme modülü,

$$E_b = 2GS^2 \quad (78)$$

bağıntısıyla dış yarıçapı b , iç yarıçapı a olan t kalınlığındaki boşluklu veya kurşun çekirdekli dairesel bir elastomer tabaka için (bkz Şekil 1.14) etkili eğilme modülü,

$$E_b = 2GS^2 \frac{(b+a)^2}{b^2+a^2} \quad (79)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. (80) denkleminde görüldüğü gibi elastomer tabakadaki boşluk oranı (a/b), 0 iken etkili eğilme modülü, daha önceden dairesel mesnet için bulunan eğilme modülüne eşit olarak $2GS^2$ elde edilmektedir. Boşluk oranı (a/b) 1'e yaklaşırken eğilme modülü iki katına çıkmaktadır. Fakat eğilme modülündeki bu artış $(b+a)^2 / b^2+a^2$ oranında olduğu için elastomer mesnetteki küçük boşluğun etkisi, basınç modülüne olan etkisindeki gibi ani olmamaktadır. Bu sebeple mesnetteki küçük boşluğun etkisiyle

meydana gelen elastomer tabakanın etkili eğilme modülündeki değişim ihmal edilebilmektedir.

Tasarım aşamasında; sıkıştırılamaz elastomer tabakadaki eğilme momentlerinin, kayma şekildeğiştirmeleri oluşturması diğer bir önemli kriterdir. Ayrıca eğilme momentinin neden olduğu çelik plakalardaki gerilmeler, plakalarda kontrol edilmesi gereken basınç ve burkulma kararsızlıkları oluşturmaktadır. Eğilmeden doğan kayma şekildeğiştirmesi,

$$\gamma_b = 6S\varepsilon_b \quad (80)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, ε_b elastomer tabakada eğilmenin neden olduğu kenar birim kısalmasını göstermektedir. Tüm kayma şekildeğiştirmesi anlamında ortalama kayma birim şekildeğiştirmesi ise,

$$\gamma_b^{ort} = \frac{\sqrt{2}}{4} S\varepsilon_b \quad (81)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

1.5.1.2. Sıkıştırılabilir Kauçuk ile Üretilen Elastomer Mesnetler

Poisson oranı 0.46' dan büyük olan kauçuk malzemelerin hacimsel modülü (K) büyük olduğundan basınç altında sıkışmadığını ve elastomer tabakadaki hacimsel değişimin sıfır olduğuna kabul edilmektedir. Elastomer tabakanın şekil çarpanı büyüdüğünde, malzemenin sıkıştırılabilirlik özelliği önem kazanmaya başlamaktadır. Elastomer mesnet tabakalarında kullanılan kauçuğun poisson oranı (ν), 0,46'dan küçük değerlerinde (yaklaşık 0,3 seviyelerinde) olan malzemeler sıkıştırılabilir olarak nitelendirilmektedir.

Sadece düşey yüke maruz kalmış sıkıştırılabilir kauçuk ile üretilen elastomer tabaka için (bkz Şekil 1.12) şekil faktörünün küçük değerleri için ($S < 25$) basınç modülü,

$$E_c = 4GS^2 \left(1 - \frac{24GS^2}{5K} \right) \quad (82)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Komodromos, 2000). Bu denklemdaki birinci teriminin ($4GS^2$) sıkıştırılmaz kauçuk için bulunan basınç modülü ile aynı olduğu görülmektedir. İkinci terim ise kauçuğun daha yüksek şekil faktörü seviyelerinde hacimsel sıkıştırılabilirliğinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Hacimsel modülün (K), basınç modülüne (E_c) etkisinin deneysel varsayım formülü;

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_c^\infty} + \frac{1}{K} \quad (83)$$

şeklinde verilmektedir (Komodromos, 2000). K hacimsel modülünü, E_c^∞ ise $4GS^2$ olan sıkıştırılmaz kabul edilen basınç modülünü ifade etmektedir. (83) bağıntısı (84) bağıntısı formunda yaklaşık olarak,

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{4GS^2 \left(1 - \frac{24GS^2}{5K}\right)} \xrightarrow{\text{yaklaşık terimler}} \frac{1}{E_c} = \frac{1}{4GS^2} + \frac{6}{5K} \quad (84)$$

şeklinde yazılmaktadır. Bu denklemden deneysel varsayım formülünün tamamıyla doğru olmadığı gözükmektedir. Daha doğru sonuçlar için (84) bağıntısında K değerinin yerine $5K/6$ değeri kullanılması gerekmektedir (Kelly ve Konstantinidis, 2011).

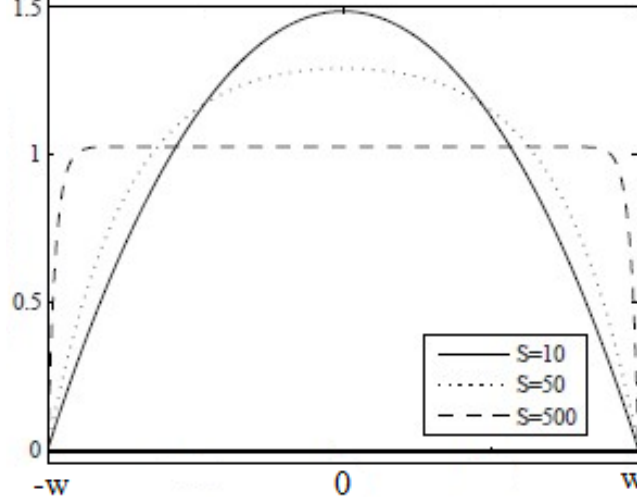
Düşey yüke maruz sıkıştırılabilir kauçuk ile üretilen elastomer tabakanın şekil faktörü 25'ten büyük olması durumunda basınç modülü,

$$E_c = K \left(1 - \sqrt{\frac{K}{12GS^2}}\right) \quad (85)$$

şeklinde olmaktadır. (Kelly ve Konstantinidis, 2011).

Elastomer malzemenin hacimsel modülünü (K) elde edebilmek oldukça zor olmaktadır. Literatürde K hacimsel modülü 1000 MPa'dan 3500 MPa'a kadar geniş bir aralıkta değer alabildiğinden, tasarımcı yüksek şekil faktörlü bir elastomer mesnet tasarlarken K değerini, tam tahmin etmede çok zorluk çekmektedir. Bu nedenle düşey rijitlik deneylerin sonuçlarından, tahmini bir hacimsel modül elde edilmektedir.

Elastomer tabakanın kalınlığı boyunca sadece basınç sebebiyle meydana gelen basınç dağılımı şekil faktörü küçük daha kalın elastomer tabakalarda parabolik, şekil faktörü büyük ve daha ince tabakalarda sabittir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Sadece basınca maruz kalan sonsuz uzunlukta bir elastomer tabaka kesitindeki farklı şekil faktörleri için basınç dağılımları (Kelly ve Konstantinidis, 2011).

Sadece düşey yüke maruz kalmış sıkıştırılabilir kauçuk ile üretilen elastomer tabaka için (bkz Şekil 1.13) şekil faktörünün küçük değerleri için ($S < 25$), basınç modülü,

$$E_c = 6GS^2 \left(1 - \frac{6GS^2}{K} \right) \quad (86)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Komodromos, 2000). Bu denklemdeki birinci teriminin ($6GS^2$) sıkıştırılmaz kauçuk için bulunan basınç modülü ile aynı olduğu görülmektedir. İkinci terim ise kauçuğun daha yüksek şekil faktörü seviyelerinde hacim sıkıştırılabilirliğinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Burada da (87) bağıntısı, (84) bağıntısı formunda yaklaşık olarak,

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{6GS^2 \left(1 - \frac{8GS^2}{K} \right)} \xrightarrow{\text{yaklaşık terimler}} \frac{1}{E_c} = \frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K} \quad (87)$$

şeklinde yazılmaktadır. Bu denklemden deneysel varsayımın tamamıyla doğru olmadığı gözükmemektedir. Daha doğru sonuçlar için (84) denklemindeki K değerinin yerine $3K/4$ değeri kullanılmalıdır.

Şekil faktörünün büyük değerleri ($S > 25$) için ise basınç modülü,

$$E_c = K \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{12G}{K}S}} + \frac{1}{\frac{48G}{K}S^2} \right) \quad (88)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Kelly ve Konstantinidis, 2011). Bu denklemlerden görüldüğü gibi basınç modülündeki azalma, G/K oranı ve S şekil faktörü arttıkça artmaktadır.

Bu sonuçlardan, düşük şekil faktör değerlerinde ($S=10$) bile kauçuğun sıkıştırılabilir özelliğinin, basınç modülünün üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Kauçuğun sıkıştırılabilirliğinin etkisi, günümüzdeki sismik izolasyon mesnet modellenmelerinde kullanılan büyük şekil faktör değerleri (30~40) seviyelerinde daha da büyük oranda rol oynadığından ihmal edilmemelidir. Ayrıca bu sonuçlardan, genellikle basınç modülünün bulunmasında kullanılan deneysel varsayımların tam doğru olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Sadece eğilme momentine maruz kalmış sıkıştırılabilir kauçuk ile üretilen elastomer tabaka için (bkz Şekil 1.12) eğilme modülü; şekil faktörünün küçük değerleri için ($S < 25$),

$$E_b = \frac{4GS^2}{5} \left(1 - \frac{8GS^2}{7K} \right) \quad (89)$$

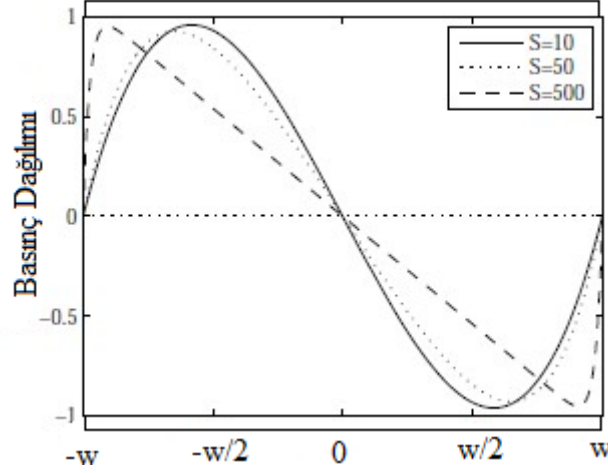
ve şekil faktörünün büyük değerleri ($S \geq 25$) için ise,

$$E_b \approx K \quad (90)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Komodromos, 2000).

Sıkıştırılmaz kauçuk için bulunan eğilme modülü bağıntısı (78) ile ve sıkıştırılabilir kauçuk için bulunan eğilme modülü bağıntısı (90) karşılaştırıldığında, sıkıştırılabilir kauçuğun eğilme modülündeki azalmanın (90) bağıntısındaki ikinci teriminden kaynaklandığı görülmektedir. Rijitlikteki bu azalma miktarı, G/K oranı ve şekil faktörü S arttıkça daha da artmaktadır.

Sadece eğilme momenti sebebiyle meydana gelen basınç dağılımı elastomer tabakanın kalınlığı boyunca; şekil faktörü küçük ve daha kalın elastomer tabakalarda hiperbolik, şekil faktörü büyük ve daha ince tabakalarda ise doğrusal olmaktadır (Şekil 1.17).



Şekil 1.17. Sadece eğilme momentine maruz kalan sonsuz uzunlukta bir elastomer tabaka kesitindeki farklı şekil faktörleri için basınç dağılımları (Kelly ve Konstantinidis, 2011).

Sadece eğilme momentine maruz kalmış sıkıştırılabilir kauçuk ile üretilen elastomer tabaka için (bkz Şekil 1.13) eğilme modülü; şekil faktörünün küçük değerleri için ($S < 25$),

$$E_b = 2GS^2 \left(1 - \frac{3GS^2}{K} \right) \quad (91)$$

şekil faktörünün büyük değerleri ($S \geq 25$) için,

$$E_b \approx K \quad (92)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Komodromos, 2000).

Sıkıştırılmaz kauçuk için bulunan eğilme rijitliği bağıntısı ile (79), sıkıştırılabilir kauçuk için bulunan eğilme rijitliği bağıntısı (92) karşılaştırıldığında, sıkıştırılabilir kauçuğun eğilme rijitliğindeki azalmanın (92) bağıntısındaki ikinci teriminden kaynaklandığı görülmektedir. Rijitlikteki bu azalma miktarı, G/K oranı ve şekil faktörü S artıkça daha da artmaktadır.

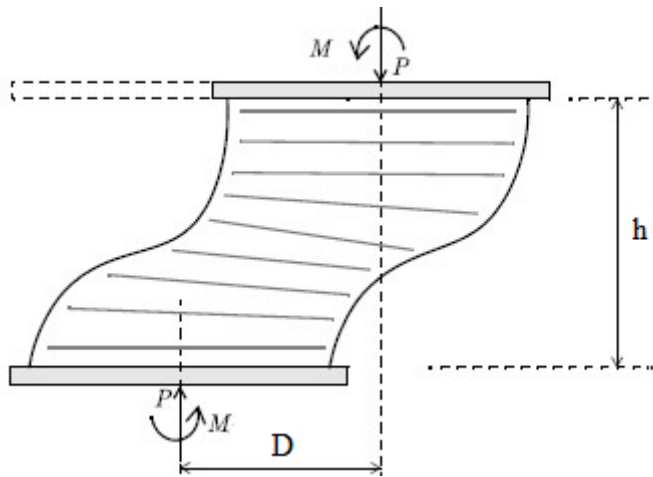
Çeşitli izolator şekilleri için elde edilen eğilme rijitlikleri, izolatörün burkulma davranışını tahmin edilerek tasarımının yapılmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca eğilme momentlerinin kauçukta neden olduğu kayma şekildeğiştirmeleri de tasarım aşamasında önemli olmaktadır.

Elastomer mesnette düşey rijitliği sağlayan çelik plakalar, elastomer malzemenin yanlara doğru şişmemesini ve serbestçe kayabilmesini sağlamaktadır. Basınç ve eğilme altında elastomer malzemede oluşan kayma gerilmeleri çelik plakalar üzerinde akma, burkulma veya kırılma gibi etkiler yaratan çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Bu sebepten mesnet üzerindeki dış yük, bu çekme gerilmeleri göz önüne alınarak tasarlanmalıdır.

Çok tabakalı elastomer mesnedin burkulma davranışının analizi aşamasında elastomer mesnet, h yüksekliğinde bir kolon gibi düşünülmekte ve Euler burkulmasının doğrusal elastik analizi yardımıyla sonuca ulaşılmaktadır (Şekil 1.18). Burkulma hesabında dikkate alınacak kritik burkulma yükü yaklaşık olarak,

$$P_{\text{kritik}} = \sqrt{P_S P_E} \quad (93)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada; P_S birim uzunluğa düşen kayma rijitliğini, P_E ise kayma şekildeğiştirmesi yapmayan bir kolon için Euler burkulma yükünü göstermektedir. Çelik, bütün bir sistem içinde şekildeğiştirmeyeceği için enkesit alanındaki ve eğilme rijitliğindeki değişimini hesaba katmak gerekir.



Şekil 1.18. Düşey yük altında, alt ve üstü dönmeye karşı sabitlenmiş, yanal sınırlandırılma olmadan burkulmuş bir izolator (Kelly ve Konstantinidis, 2011).

Burkulma yükü hesabında (93) bağıntısındaki terimler,

$$P_s = GA_s = GA \frac{h}{T_r} \quad (94)$$

$$P_E = \frac{\pi^2}{hT_r} (EI)_{\text{eff}} \quad (95)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada; A_s , elastomer mesnedin etkin kayma alanını, h elastomerin toplam yüksekliğini (elastomer tabakaların ve çelik plakaların toplam kalınlığını), T_r ise toplam elastomer kalınlığını göstermektedir.

Dairesel elastomer mesnet için kritik yük, (94) ve (95) bağıntıları (93) bağıntısında yerine yazılırsa,

$$P_{\text{kritik}} = \left(GA \frac{h}{T_r} \right)^{1/2} \left(\frac{\pi^2}{hT_r} 2GA r^2 S^2 \right)^{1/2} = \frac{\sqrt{2}\pi GASr}{T_r} \quad (96)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, r atalet yarıçapı ($r = \sqrt{I/A}$) olup çapı B olan bir dairesel mesnet için $B/4$ değerindedir. Tasarım aşamasında hesaplanan mesnede gelen yük (W), bu kritik yükün belli bir oranından az olması istenmektedir. Bu oran, burkulmaya karşı güvenlik çarpanı (SF),

$$SF = P_{\text{kritik}} / W \quad (97)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu güvenlik çarpanı, mesnedin yatay frekansı ($\omega_H^2 = (K_h/W)/g$) (97) bağıntısında yerine yazılırsa

$$SF = \frac{P_{\text{kritik}}}{W} = \frac{\sqrt{2}\pi S r}{W} \frac{GA}{T_r} = \frac{\sqrt{2}\pi S \omega_H^2 r}{g} \quad (99)$$

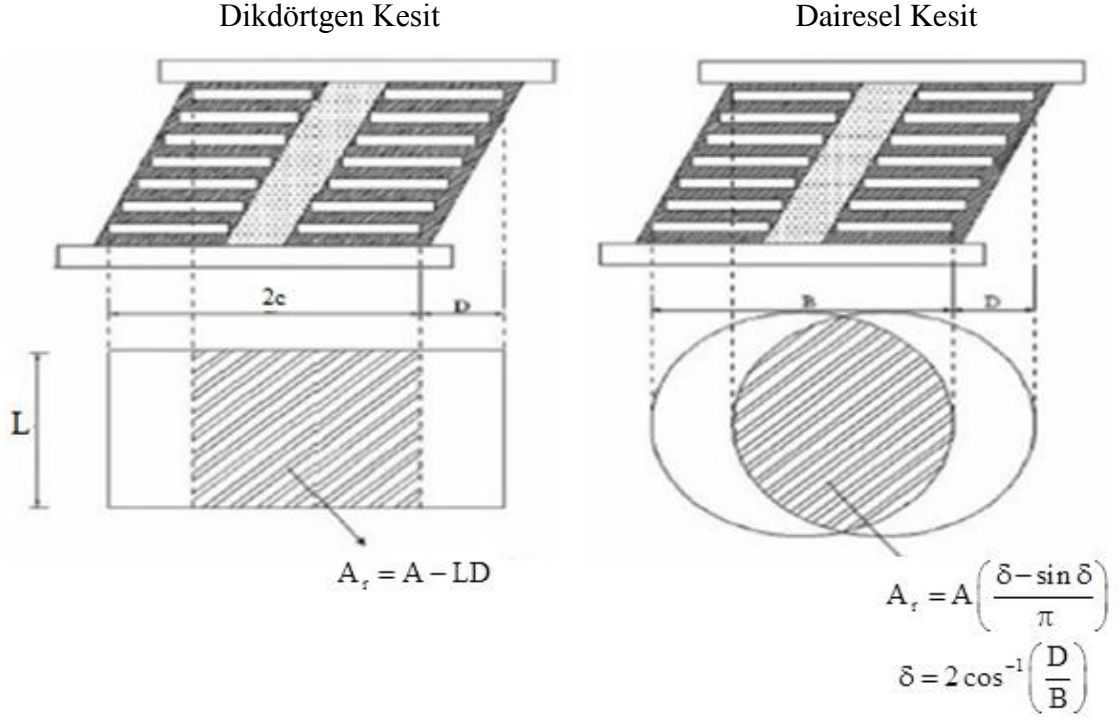
şeklinde elde edilmektedir. (99) denkleminde görüldüğü gibi, elastomer mesnedin şekil faktörü (S), frekansı (ω_H) veya mesnet boyutları (çap ve uzunluk) arttıkça güvenlik çarpanı (SF) artmaktadır. Ayrıca bu denklemle istenilen şekil faktörü seviyesinde, taşınan yükten ve gelen basınçtan bağımsız olarak şekil faktörüne ve frekansına bağlı olarak mesnedin minimum boyutlarına ulaşılmaktadır. Birçok yapı için tasarlanan mesnetlerin

boyutları, bu minimum boyutların çok üzerinde olduğu için burkulma, tasarım için muhtemel bir problem olmamaktadır. Eğer mesnet tarafından taşınan yük burkulma yüküne yakınsa, daha önceden verilen basit yatay rijitlik ($K_h = GA/T_r$) formülü değişime uğramaktadır. Mesnede gelen düşey yük, mesnedin yatay rijitliğini azaltmaktadır. Yeni yatay rijitlik yaklaşık olarak,

$$K_h = \frac{GA_s}{h} \left[1 - \left(\frac{P}{P_{\text{kritik}}} \right)^2 \right] \quad (100)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). (100) denklemindeki ikinci terim, eğilme eğiliminin yatay rijitlik üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır.

Sismik izolasyon sistemlerin tasarımında, deprem esnasında meydana gelecek maksimum yatay yerdeğiştirmeyle beraber kritik yükü belirlemekte de önemli bir parametredir. Maksimum düşey yük ve maksimum yatay yerdeğiştirmenin birleşik etkisi altında mesnet davranışının tahmin edilebilmesi için karmaşık doğrusal olmayan analiz gerekmektedir. Elastomer mesnette yatay yerdeğiştirmeden dolayı düşey yüke maruz kalan alan azalmaktadır. Düşey yükü taşıyan bu alan, azaltılmış alan (A_r) olarak ifade edilmektedir (Şekil 1.19). Azalan alandan dolayı basıncın artması, eğilme dayanımını etkilemeyecek fakat kaymadan dolayı dayanımı düşürebilmektedir.



Şekil 1.19. Azaltılmış elastomer mesnedin alanının (A_r) tanımı
(Deprem Yalıtım Yönetmeliği, 2008)

Elastomer mesnetin alanının azalması ile, mesnetin şekil değiştirmiş durumdaki kritik yükü P'_{kritik} ,

$$P'_{\text{kritik}} = \sqrt{\frac{A_r}{A}} P_{\text{kritik}} \quad (101)$$

şekline gelmektedir.

Elastomer mesnetin yatay yer değiştirmesinden dolayı, basınç çökmesinden ayrı olarak aşağı yönde bir yer değiştirme (δ_v) meydana gelmektedir. Bu yer değiştirme, mesnedin merkezindeki çelik plakaların rotasyonundan oluştuğundan burkulma analizi kullanılarak hesaplanabilmektedir. Şekil değiştiren elastomer mesnette, çelik plakaların dönmesinden dolayı bu plakalar boyunca kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Düşey yük bileşeniyle birlikte bileşke kayma birim şekil değiştirmesi, mesnedin üst kısmında aşağı doğru bir hareket doğurmaktadır. Elastomer mesnetteki bu düşey yer değiştirme miktarı (δ_v), burkulma analizi yardımı ile

$$\delta_v = \frac{P_s + P}{P_E} \frac{D^2}{h} \quad (102)$$

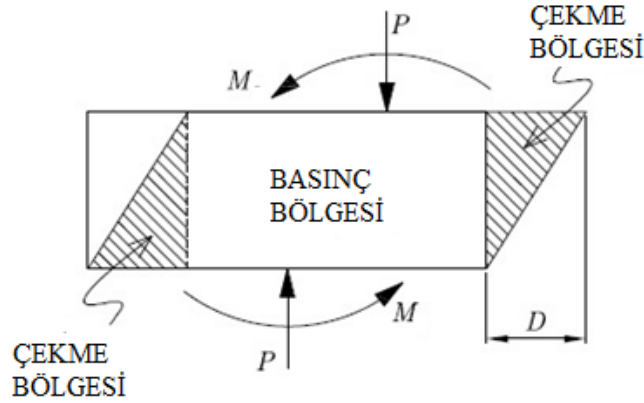
şeklinde hesaplanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). (102) bağıntısı dairesel elastomer mesnet için düzenlenirse; düşey yerdeğiştirme,

$$\delta_v = \frac{P}{P_{kritik}} \frac{D^2}{\sqrt{2\pi r} S} \quad (103)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu bağıntıdan düşey yerdeğiştirmenin, mesnetin yüksekliğine (h) bağlı olmadığı gözükmektedir.

Elastomer mesnedin yatay yerdeğiştirmesiyle, mesnedin düşey rijitliği önemli derece azalmaktadır. Bu sebepten modellenecek mesnet için yatay yerdeğiştirme ile düşey rijitlik arasındaki etkileşim, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapısal analiz programlarında çözümlenmelidir.

Bir izolasyon mesnedinde yatay yerdeğiştirme sırasında Şekil 1.20.'de görüldüğü gibi çekme bölgeleri oluşmaktadır. Bu sebepten izolasyon sistemlerinin tasarımında, alt ve üst yapı bağlantılarının çekme gerilmelerini karşılayacak şekilde, kesme kuvvetini aktaracak elemanların seçilmesi gerekmektedir.



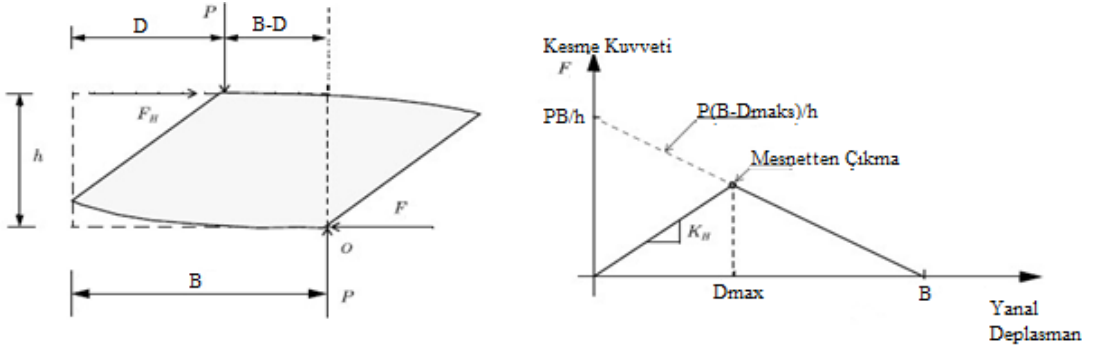
Şekil 1.20. Yanal yerdeğiştirme sırasında mesnette meydana gelen basınç ve çekme bölgeleri (Kelly ve Konstantinidis, 2011).

İlk zamanlarda tasarımcılar, izolatörlerin çekme gerilmelerine maruz bırakılmaması için elastomer mesnetlerde cıvatalı bağlantı yerine geçmeli bağlantı sistemi kullanmışlardır. Fakat böylece mesnetlerin belli bir yatay yerdeğiştirme seviyesinde

mesnetten çıkma (rollout veya rollover) tehlikesi ile karşı karşıya kalmışlardır (Şekil 1.21.). Mesnedin karşılayabildiği kesme kuvveti, maksimum yerdeğiştirme noktasından sonra azalan bir eğilim göstermektedir. Bu kararsızlığın kontrolü için, Şekil 1.21’de verilen O noktasına göre moment alınırsa maksimum yerdeğiştirme,

$$D_{\text{maks}} = \left(\frac{P}{P + K_h h} \right) B \quad (104)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

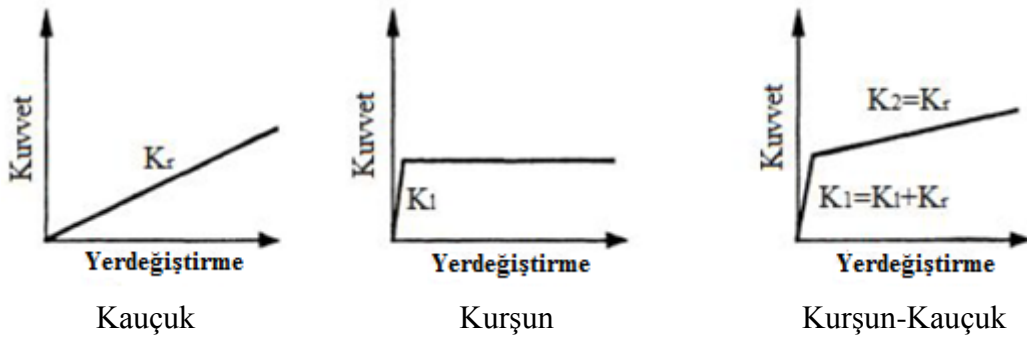


Şekil 1.21. Geçmeli izolatörlerin mesnetten çıkma (roll-out) mekaniği (Naeim ve Kelly, 1999).

Günümüzde elastomer malzemenin yüksek çekme gerilmelerine dayanabilecek kapasitede olduğunun anlaşılması, tasarımcılara izolasyon sistemlerinde cıvatalı bağlantıların kullanılması imkanını vermektedir. Elastomer mesnette, maksimum yerdeğiştirme (D_{maks}) değeri geçinceye kadar belirgin bir çekme gerilmesi oluşmamaktadır. Bu sebepten dolayı izolasyon sistemi cıvatalı olarak ankraj edilse bile güvenli tarafta kalabilmek için yerdeğiştirmeyi, mesnetten çıkma değeriyle sınırlandırmak gerekmektedir.

1.5.2. Kurşun Çekirdekli Elastomer Mesnetlerin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri

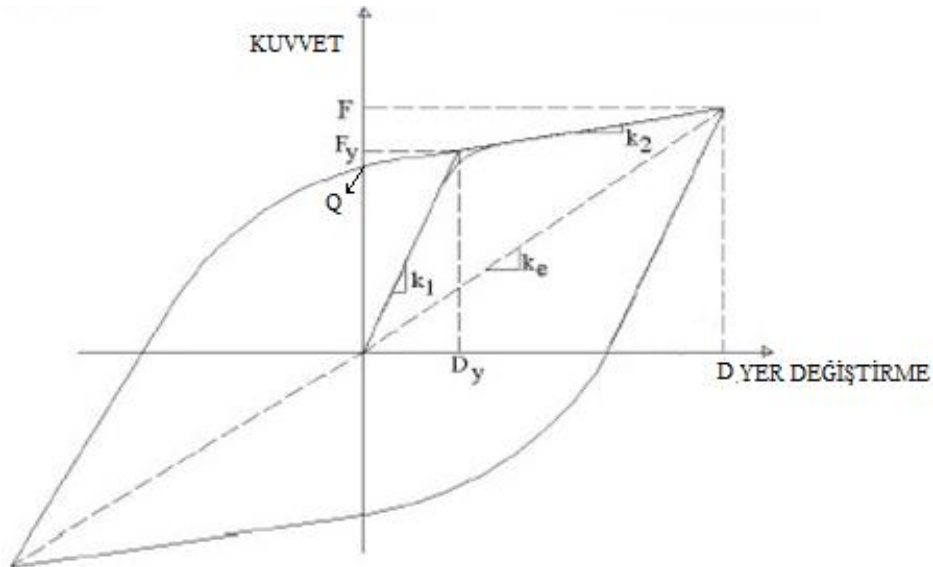
Kurşun çekirdekli elastomer mesnedin mekanik davranışının, kurşun ve kauçuk malzemelerinin kuvvet - yerdeğiştirme özelliklerinin birleşiminden meydana geldiği kabul edilmektedir (Şekil 1.22.).



Şekil 1.22. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin kuvvet – deplasman ilişkisi (Komodromos, 2000).

Madde 1.5.1. başlığı altında boşluklu elastomer mesnetler için elde edilen bağıntılar, kurşun çekirdekli elastomer mesnetler için de geçerli olmaktadır. Kurşun çekirdekli elastomer mesnetlerde, ortadaki boşluk yerine kurşun çekirdekten ve onu çevreleyen kauçuk tabakaların arasındaki çelik plakalardan oluşmaktadır. Mesnedin yanal rijitliğini kauçuk malzemenin kayma rijitliği, sönümünü ise kurşun çekirdek sağlamaktadır.

Kurşun çekirdekli elastomer mesnetler için verilen tipik yatay kuvvet - yerdeğiştirme çevrimsel eğrisi (Şekil 1.23.), eşdeğer doğrusal rijitlikleri ve eşdeğer sönüm oranları ile tanımlanmaktadır.



Şekil 1.23. Kurşun çekirdekli elastomer mesnet için tipik kuvvet - yerdeğiştirme grafiği (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği, 2008).

Bu değerlerden sekant eğimi olarak tanımlanan eşdeğer doğrusal (etkin) rijitlik (k_e),

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{k_2 D + Q}{D} = k_2 + \frac{Q}{D} \quad (105)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada; F çevrimde ulaşılan maksimum kuvveti, D maksimum yerdeğiştirmeyi, k_2 elastik ötesi (akma sonrası) rijitliği, Q karakteristik kuvveti (dayanımı) göstermektedir.

Karakteristik kuvvet (dayanım) Q , çevrimsel eğrinin kuvvet eksenini kestiği değerdir ve yaklaşık olarak kurşunun etkin akma kuvvetine (F_y) eşit alınmaktadır.

$$Q \cong F_y = A_p \sigma_{yp} \quad (106)$$

Burada; A_p kurşun çekirdeğin alanını, σ_{yp} ise kurşun malzemenin akma gerilmesidir (~10.3 MPa). Şekil 1.23.'deki grafikten F_y akma kuvveti,

$$F_y = k_1 D_y = Q + k_2 D_y \quad (107)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada; D_y etkin akma yerdeğiştirmesini, k_1 başlangıç (elastik) rijitliğini göstermektedir. (108) denkleminde D_y ;

$$D_y = \frac{Q}{k_1 - k_2} \quad (108)$$

şeklinde elde edilmektedir. Kurşun çekirdekli elastomer mesnedin yatay olarak başlangıç rijitliği (elastik rijitlik, k_1) büyük ölçüde mesnedin ortasındaki kurşun çekirdeğin elastik rijitliği tarafından belirlenmektedir. Elastik ötesi rijitlik (akma sonrası rijitlik, k_2) hesabında ise, elastomer malzemenin yatay rijitliği hâkimdir. Buna göre k_2 ,

$$k_2 = G (A/ Tr) \quad (109)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, A her bir elastomer tabakanın yüke maruz kalan yüzey plan alanını göstermektedir. Bu alan; b mesnet yarıçapı, b_p kurşun çekirdeğin yarıçapı olmak üzere,

$$A = \pi (b^2 - b_p^2) \quad (110)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir.

Elastik ötesi rijitliğin (k_2), (109) bağıntısından, karakteristik dayanımın (Q) ise (109) bağıntısından kesin olarak hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır. Fakat elastik rijitliğin (k_1) eğimi genellikle geniş bir aralıkta değiştiğinden değerinin tam tespit edilmesi zor olmaktadır. Bu k_1 değerinin, eşdeğer doğrusal (etkin) rijitlik üzerinde hiçbir etkisi olmadığı (105) bağıntısından görülmekte ancak sönüm üzerinde çok kuvvetli bir etkisi olmaktadır. Bu yüzden genellikle deneysel olarak elde edilen k_1 , k_2 nin 10 katı alınmaktadır ($k_1=10k_2$). Böylece k_1 değeri, (108) bağıntısında yerine yazılırsa akma yerdeğiştirme bağıntısı,

$$D_y = Q/9k_2 \quad (111)$$

şekline gelmektedir. Son yıllardaki araştırmalar, kurşun çekirdekli mesnedin tasarımında, akma yerdeğiştirmesini (D_y), 10 mm almanın daha doğru sonuç verdiğini göstermiştir (Naeim ve Kelly, 1999). Kurşun çekirdekli mesnedin doğal frekansı (ω),

$$\omega^2 = \frac{k_e}{P} g \quad (112)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda $k_e = k_2 + Q/D$, $\omega_0^2 = k_2 g/P$ ve $Q = \lambda P$ dönüşümleri yerine konursa, doğal frekans;

$$\omega^2 = \omega_0^2 + \lambda \frac{g}{D} \quad (113)$$

şeklinde dönüşmektedir. Burada λ , izolatörün karakteristik dayanımının (Q), üzerine gelen düşey yüke (P) oranını göstermektedir. %2 ile %15 arasında yapının faya uzaklığına göre bir değer seçilmektedir. İzolatörlerde, %2 seviyelerinde servis yüklerine dayanım gösterememe, %15 seviyelerinde ise dinamik yükler altında aşırı ısınma problemleri gözlenmektedir. Bu nedenle faya yakın yapılar için yaklaşık %10, daha uzak yapılar için yaklaşık %5 alınmaktadır (Özkaya, 2010). Böylece izolatörün etkin periyodu (T);

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \lambda \frac{g}{D}}} \quad (114)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Eşdeğer (etkin) sönüm (β_e) ise bir yerdeğiştirme çevriminde yutulan enerjinin, (çevrimsel eğrinin içinde kalan alan = W_d) $2\pi FD$ değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Bu etkin sönüm,

$$\beta_e = \frac{W_d}{2\pi FD} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(k_2 D + Q)D} \quad (115)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Maksimum sönüm ise,

$$\beta_{\text{maks}} = \frac{2a}{\pi} \frac{1}{2\sqrt{1+a} + (2+a)} \quad (116)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Burada maksimum sönüm oranının sadece a terimine bağlı olduğu görülmektedir. a terimi boyutsuz bir karakteristik dayanım olarak tanımlanmaktadır ve,

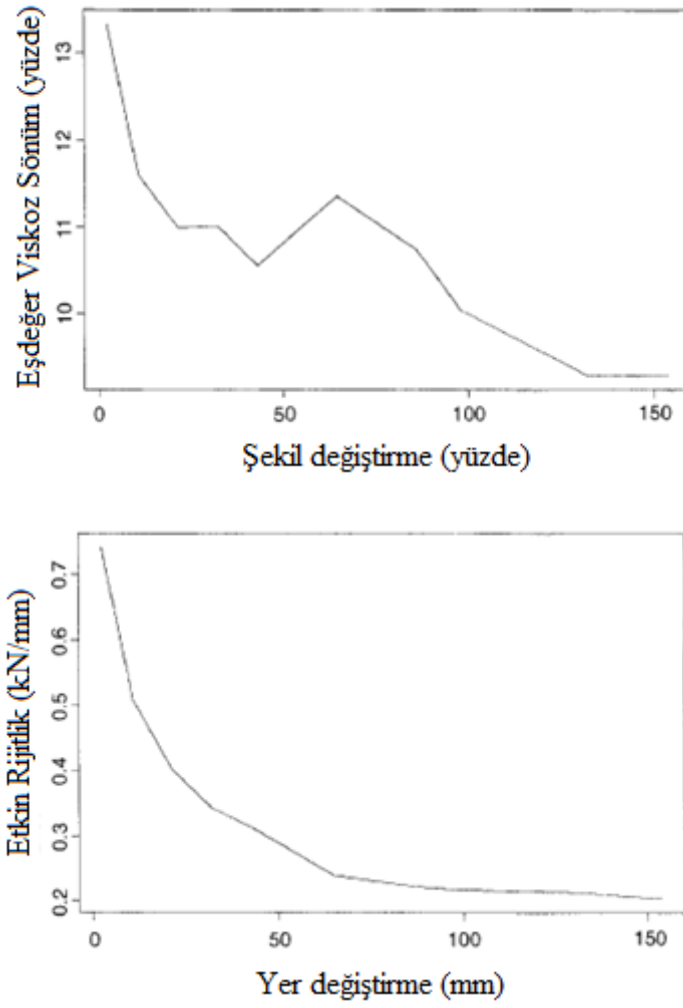
$$a = \frac{Q}{k_2} \frac{1}{D_y} = \frac{Q}{k_2} \frac{k_1 - k_2}{Q} = \frac{k_1 - k_2}{k_2} \quad (117)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

1.5.3. Yüksek Sönümlü Elastomer Mesnetlerin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri

Elastomer mesnetler için elde edilen sonuçlar, elastomer esaslı yüksek sönümlü mesnetler için de geçerli olmaktadır. İzolatörler için eşdeğer doğrusal rijitlik ve eşdeğer viskoz sönüm ile ifade edilen mekanik özellikleri; alternatif olarak birim şekildeğiştirme, gerilme ve malzeme sönüm katsayısı gibi elastomer malzeme özellikleriyle de formülize edilebilmektedir. Bu sayede analizlerin, gerçek izolatörlerden alınan deney sonuçlarına gerek kalmadan sadece malzeme özelliklerine dayanması sağlanmaktadır.

Yüksek sönümlü elastomer mesnedin mekanik özellikleri, sabit hız altında tekrarlı deneylerden elde edilmektedir. Yerdeğiştirmenin bir fonksiyonu olan etkili (etken) rijitliğin ve eşdeğer viskoz sönümün değişimi Şekil 1.24. verilmektedir.

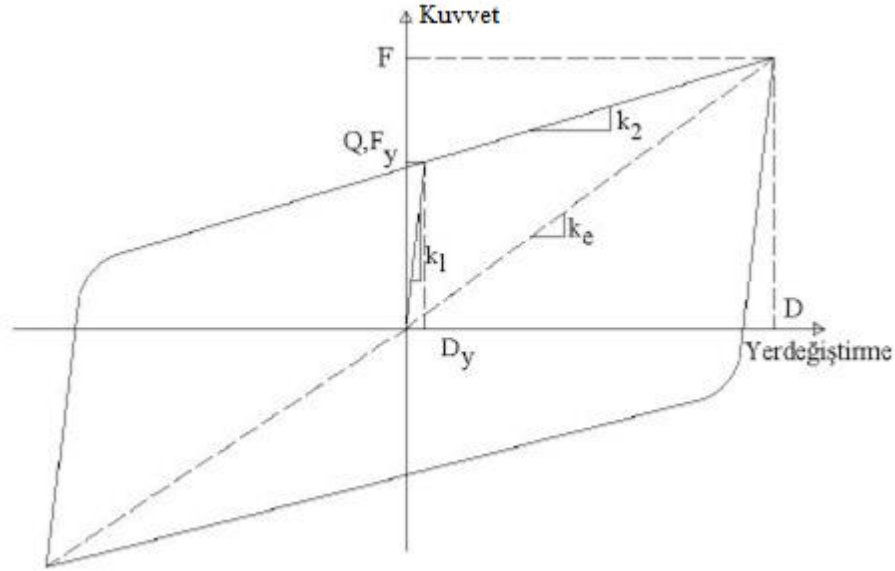


Şekil 1.24. Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin rijitlik ve sönümleri (Naeim ve Kelly, 1999)

Şekil 1.24.'de görüldüğü gibi yüksek sönümlü izolatörün, elastomer malzemenin bileşimine bağlı olarak, yaklaşık %25 birim şekildeğiştirmeye kadar rijit davranış göstermektedir. Bu seviyeden sonra %150-200 birim şekildeğiştirmeye kadar etkili rijitlikte önemli bir azalma görülmektedir. %200 birim şekildeğiştirmeden sonra malzemenin kristalleşmesine bağlı olarak etkili rijitlik sonsuz rijitliğe doğru artmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

1.5.4. Sürtünmeli Sarkaç Sistemlerin Modellenmesi ve Mekanik Özellikleri

Düz ve eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon sistemleri, bir kayıcı elemanın yer aldığı bir veya iki taraflı içbükey çelik elemanlardan oluşmaktadır. İzolasyon sisteminin elastik ötesi (k_2) rijitliğini içbükey kayma yüzeyindeki eğrilik yarıçapı, sönümünü ise teflon kaplamalı kayıcı birim ile çelik kayma yüzeyi arasında sürtünme nedeni ile oluşan enerji kaybı sağlamaktadır. Düz yüzeyli izolasyon sistemlerinin ilk yatay rijitliği (k_1) sıfır olarak alınmaktadır. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri kendilerine özgü yatay kuvvet-yerdeğiştirme (çevrimsel) eğrileri (Şekil 1.25.), eşdeğer doğrusal rijitlikleri ve eşdeğer sönüm oranları ile tanımlanmaktadır (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği 2008).



Şekil 1.25. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Sistemler için tipik kuvvet-yerdeğiştirme (çevrimsel) eğrisi (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği, 2008).

Şekil 1.25'den, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç sisteminler için geri döndürme kuvvetinin son derece doğrusal olduğu, kayma olayı olmadan önceki yüksek rijitliği ve kayma sürtünmesinden doğan yutulmuş enerji görülmektedir. Bu tür mesnetlerde, karakteristik dayanım Q , kurşunun etkin akma kuvvetine (F_y) eşit alınmakta ve

$$Q = F_y = \mu P \quad (118)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, μ sürtünme katsayısı olup sistem iki taraflı eğri yüzeyli ise iki yüzeyindeki sürtünme katsayıları toplamından elde edilmelidir ($\mu = \mu_1 + \mu_2$).

Sürtünmeli sarkaç sistemlerin başlangıç rijitliği (k_1), modellemede dikkate alınan fiktif bir rijitliktir. Başlangıç rijitliği (k_1) değerinin, eşdeğer doğrusal (etkin) rijitlik üzerinde hiçbir etkisi olmamasına rağmen sönüm üzerinde çok kuvvetli bir etkisi olmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemlerin modellenmesi aşamasında, seçilecek olan başlangıç rijitliği değeri yüksek tutuldukça küçük yerdeğişirmelerde, büyük sönümler elde edilmektedir. Yerdeğiştirme artıka sönüm azalmakta ve farklı k_1 değerleri için seçilen sönüm seviyeleri ile aynı olma eğilimi göstermektedir. Sürtünmeli sarkaç sistemler için, $k_1=100k_2$ oranında alınmaktadır. Yatay rijitlik değeri (k_2) ise,

$$k_2 = k_h = P/R \quad (119)$$

şeklinde belirlenmektedir. Burada, R kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapıdır. Sistem iki taraflı eğri yüzeyli ise iki yüzeyindeki eğrilik yarıçapları toplamından elde edilmektedir ($R=R_1+R_2$).

İzolatörün D yerdeğiştirmesine karşılık gelen eşdeğer doğrusal rijitlik (k_e) ise,

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{k_2 D + Q}{D} = k_2 + \frac{Q}{D} = \frac{P}{R} + \frac{\mu P}{D} \quad (120)$$

şeklinde elde edilmektedir. Sürtünmeli sarkaç mesnetler için doğal frekansı (ω),

$$\omega^2 = \frac{k_h}{P} g = \frac{g}{R} \quad (121)$$

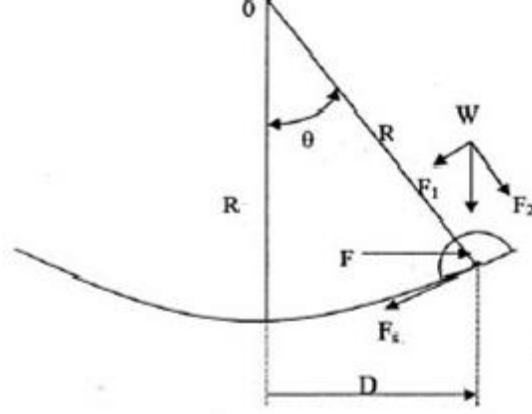
şeklinde hesaplanmaktadır. Böylece izolatörün periyodu (T);

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{g/R}} \quad (122)$$

şeklinde elde edilmektedir. (122) bağıntısında yapının periyodunun, taşınan kütleden bağımsız olduğu görülmektedir. Bu denklemden eğrilik yarı çapı çekilirse;

$$R = \frac{gT^2}{(2\pi)^2} = \frac{9.81T^2}{(2\pi)^2} \approx 0.25T^2 \quad (123)$$

şeklinde elde edilmektedir. Sürtünmeli sarkaç mesnetlere etkiyen kuvvetler aşağıda verilmektedir (Şekil 1.26.).



Şekil 1.26. Sürtünmeli sarkaç mesnete etkiyen kuvvetler (Yurdakul, 2011).

Sürtünmeli sarkaç mesnetin üzerindeki ağırlığın sebep olduğu geri döndürücü kuvvet (F_1), $\sin \theta = D/R$ olmak üzere,

$$F_1 = P \sin \theta \quad (124)$$

şeklinde elde edilmektedir. Kayan yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti (F_s) ise;

$$F_s = F_2 \mu = \mu P \cos \theta = \mu P (\text{sgn } \dot{D}) \quad (125)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, μ sürtünme katsayısını, P mesnedin taşıdığı yüke ve \dot{D} , kayma hızını göstermektedir. İşaret fonksiyonunun (sgn) çözümü ise;

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x < 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x > 0 \end{cases} \quad (126)$$

şeklinde verilmektedir. Böylece sürtünmeli sarkaç sistemler için toplam kuvvet (F),

$$F = \underbrace{\frac{P}{R} D}_{1.\text{Terim}} + \underbrace{\mu P (\text{sgn } \dot{D})}_{2.\text{Terim}} \quad (127)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. İlk terim, yerdeğiştirme sırasında kütlelerin yükselmesine bağlı geri döndürme kuvvetini, ikinci terim ise kayan ve konkav yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetini göstermektedir.

Eğer sürtünmeli sarkaç sistemin yatay yerdeğiştirmesinin (D), eğrilik yarıçapına (R) oranı, yüzeyler arası seçilen sürtünme katsayısına (μ) eşit veya daha küçük olursa, yer değiştirmiş sistem eski haline dönemeyecektir. Bu sonuç uzun periyotlu sistemlerde problem yaratabilmektedir. Bu yüzden yapının tekrar merkeze gelebilmesi için sistemin geri getirici kuvvetinin sürtünme kuvvetinden büyük olması gerekmektedir.

Kayan yüzeylerde sürtünmeden dolayı doğan eşdeğer sönüm oranı (β_e) ise bir yerdeğiştirme çevriminde yutulmuş enerjinin (çevrimsel eğrinin içinde kalan alan = W_d) $2\pi FD$ değerine bölünmesi ile

$$\beta_e = \frac{W_d}{2\pi FD} = \frac{4\mu PD}{2\pi \left(\frac{PD}{R} + \mu P \right) D} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\left(\frac{D}{R} + \mu \right)} \quad (128)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Sistemin yatay yerdeğiştirmesinden dolayı, yukarı doğru yaptığı düşey yerdeğiştirme (δ_v) ise;

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D}{R} \right) \right] \cong \frac{1}{2} \frac{D^2}{R} \quad (129)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

1.6. Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı

Depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesini sağlamaktır. Yapı tasarımı için kullanılacak analiz türünün seçiminin temel ilkesi, performansa göre tasarım esasına dayanmaktadır. Bu performansa dayalı tasarım ve değerlendirme aşamasında, yapının belirli deprem düzeyleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelebilecek

hasarların kabul edilebilir limitlerin altında olup olmadığı kontrol edilmektedir. Yapı tasarımında, hasar durumunun kabul edilebilir seviyelerinin altında kalacağını öngörüldüğü performans hedefleri için geleneksel dayanıma göre doğrusal analiz yöntemlerinin kullanılmasına izin verilmektedir. Diğer taraftan, son yıllarda yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı deprem performanslarını daha gerçekçi olarak belirleyen doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Yapı performansının belirlenmesinde ana etken olan hasar limitleri, en iyi yerdeğiştirmelerle ve şekildeğiştirmelerle ifade edilmektedir. Bu nedenle yapı tasarımında kullanılacak olan analizlerde, seçilecek yöntemin yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme kavramlarını esas alması oldukça önemli olmaktadır.

Performansa dayalı tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde üç farklı deprem düzeyi tanımlanmaktadır. Bu deprem düzeyleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilmektedirler.

Servis (kullanım) (D1) deprem düzeyi 50 yılda aşılma olasılığı % 50, yaklaşık dönüş periyodu 72 yıl olan yer hareketidir. Yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, görece olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. Bu depremin etkisi, yaklaşık olarak tasarım depreminin yarısı kadar olmaktadır.

Tasarım (D2) deprem düzeyi 50 yılda aşılma olasılığı % 10, yaklaşık dönüş periyodu 475 yıl olan yer hareketidir. Yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilme olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir.

En büyük (D3) deprem düzeyi 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir depremdir. Yapıların maruz kalabileceği çok seyrek fakat en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katı olmaktadır.

Türkiye’de inşa edilecek binaların bağlı olduğu teknik şartlar Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik kapsamında verilmektedir. Bu yönetmelikte sismik izolasyonlu yapılar hakkında 1.3 Kapsam başlığı altında aşağıdaki maddeler verilmektedir.

1.3.4 – Yapı taşıyıcı sistemini deprem hareketinden yalıtma amacı ile, temelleri ile zemin arasında özel sistem ve gereçlerle donatılan veya diğer aktif ve pasif kontrol sistemleri bulunan binalar için bu yönetmelik hükümleri uygulanamaz.

1.3.5 – Bu yönetmeliğin kapsamı dışındaki yapılara uygulanacak esaslar, kendi özel yönetmelikleri yapıncaya dek, yapımları denetleyen Bakanlıklar tarafından çağdaş uluslararası standartlar gözönünde tutularak özel olarak saptanacak ve projeleri bu esaslara göre düzenlenecektir.

Türkiye’de sismik izolasyonlu yapı tasarımına ait yönetmelik bulunmamasına rağmen 1.3.5. maddesi ile uluslararası standartlara uygun yönetmelikler göz önüne alınarak bu tür yapıların tasarımına izin verilmektedir. Sismik izolasyonlu yapı tasarımı hakkında Avrupa’da ve Amerika’da kullanılan referans alınabilecek çok sayıda yönetmelik bulunmaktadır. Bunlardan, International Building Code (IBC2000), American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 7-05), Federal Emergency Management Agency 2003 (FEMA450), Eurocode8 (EN 1998-1(2004)), Guide Specification For Seismic Isolation Design (AASHTO 2010) yönetmelikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yönetmeliklerde en büyük deprem düzeyinde (D3) kısa periyot (0.2 sn) için (S_S) ve 1.0 sn periyot (S_1) için spektral ivme değerleri ülke haritası üzerinde tanımlayan kontur haritaları ile verilmektedir. Türkiye için ise, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği’nde 50 yılda aşılma olasılığı sırası ile, %50, %10 ve %2 olan (D1), (D2) ve (D3) deprem düzeylerinde 0.02 derecelik enlem ve boylam artımları ile kısa periyot (0.2 sn.) için (S_S) ve 1.0 sn.deki periyot (S_1) için spektral ivme değerleri tablolar halinde ve kontur haritaları şeklinde verilmektedir. Bu yönetmelikte binaların ve bina türü yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi konusu 1.4. başlığı altında ele alınmıştır. Bu kapsamda limanlarda, demiryolu tesislerinde ve hava meydanlarında yer alan binaların ve bina türü yapıların depreme dayanıklı tasarımı ile mevcutlarının deprem performanslarının belirlenmesi için Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) hükümleri uygulanacağı fakat her üç deprem düzeyi için bu yönetmelikte verilen spektral ivmelerin (DBYBHY)’e göre daha elverişsiz olması durumunda, yeni yapılacak binaların tasarımında bu yönetmelikteki ivmelerin kullanılacağı belirtilmektedir.

Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği’nde Türkiye genelinde deprem düzeyleri için verilen spektral ivme değerleri tablolar halinde, referans zemin sınıfı olarak B grubu zemin için tanımlanmaktadır. Diğer zemin sınıfları için kullanılacak spektral ivme değerleri, Tablo 1.1. ve Tablo 1.2.’de verilen spektral genlik düzeltme katsayıları (F_a ve F_v) kullanılarak elde edilmektedir.

Tasarım spektral ivme değerleri,

$$S_D(0.2)=F_a \times S_{DR}(0.2) \quad (130a)$$

$$S_D(1)=F_v \times S_{DR}(1) \quad (130b)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada; $S_{DR}(0.2)$ tasarım depremi seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü kısa periyotlu ($T=0.2s$) spektral ivmeyi (g), $S_D(0.2)$ tasarım depremi seviyesinde %5 sönümlü kısa periyotlu ($T=0.2s$) yatay spektral ivmeyi (g), F_a kısa periyot düzeyinde ($T=0.2s$) farklı zemin sınıfları için spektral genlik düzeltme katsayısını, $S_{DR}(1)$ tasarım depremi seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü 1s periyotlu spektral ivmeyi (g), $S_D(1)$ tasarım depremi seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivmeyi (g), F_v 1 sn'lik periyot düzeyinde farklı zemin sınıfları için spektral genlik düzeltme katsayısını göstermektedir. Maksimum spektral ivme değerleri,

$$S_M(0.2)=F_a \times S_{MR}(0.2) \quad (131a)$$

$$S_M(1)=F_v \times S_{MR}(1) \quad (131b)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada; $S_{MR}(0.2)$ en büyük deprem seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü kısa periyotlu ($T=0.2s$) spektral ivmeyi (g), $S_M(0.2)$ en büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü kısa periyotlu ($T=0.2s$) yatay spektral ivmeyi (g), F_a kısa periyot düzeyinde ($T=0.2s$) farklı zemin sınıfları için spektral genlik düzeltme katsayısını, $S_{MR}(1)$ en büyük deprem seviyesinde referans zemin (B sınıfı) için, %5 sönümlü, 1s periyotlu spektral ivmeyi (g), $S_M(1)$ en büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivmeyi (g), F_v 1 sn'lik periyot düzeyinde farklı zemin sınıfları için spektral genlik düzeltme katsayısını göstermektedir.

Tablo 1.1. Kısa periyod zemin katsayısı F_a (Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Esasları).

Zemin Sınıfı	Kısa Periyod Spektral İvmesi (g) ^a				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	– ^b	– ^b	– ^b	– ^b	– ^b

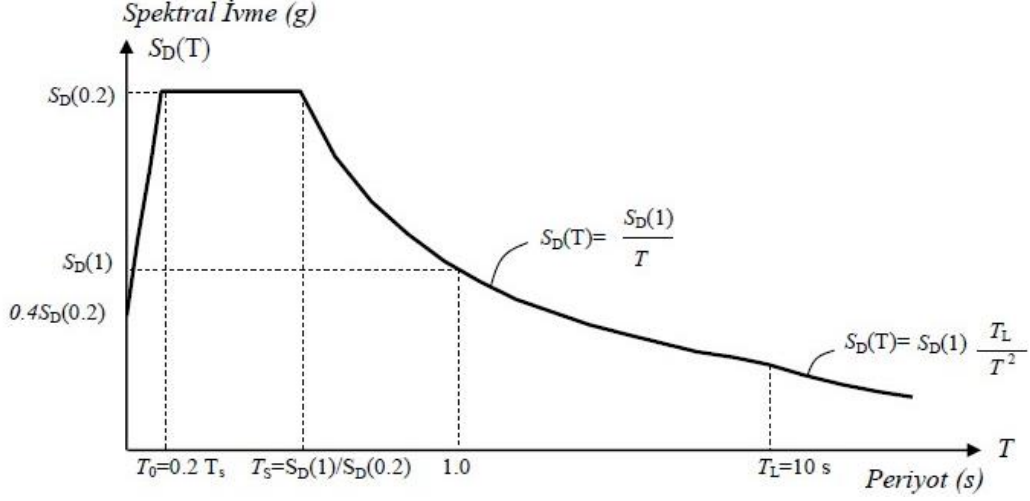
^a S_S 'in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.
^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.

Tablo 1.2. 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v (Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Esasları).

Zemin Sınıfı	1.0 sn periyodunda Spektral İvme (g) ^a				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	– ^b	– ^b	– ^b	– ^b	– ^b

^a S_1 'in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.
^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.

Tasarım denkleminde karşılık gelen %5 sönümlü yatay ivme spektrumu Şekil 1.27’de verilmektedir.



Şekil 1.27. Tasarım depremi ivme spektrumu (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği, 2008).

Şekil 1.27.’den görüldüğü gibi, tasarım spektral ivme değerleri,

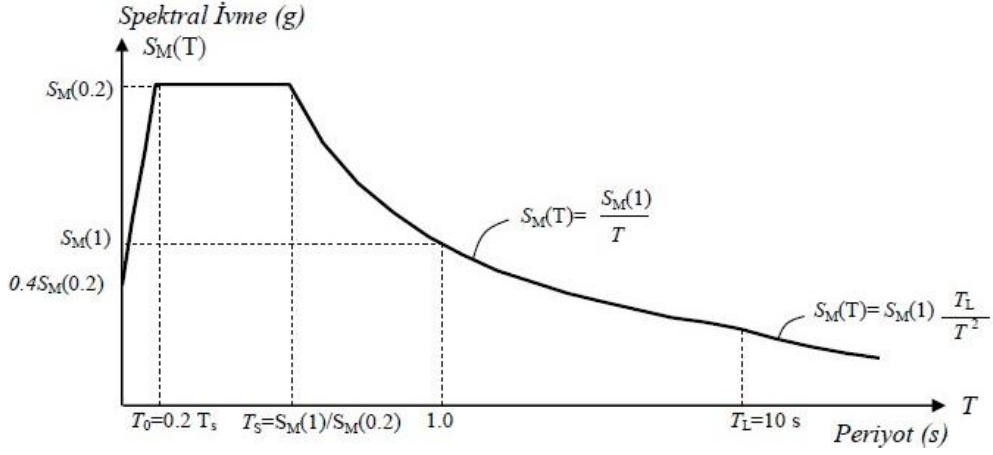
$$S_D(T) = 0.4 S_D(0.2) + 0.6 \frac{S_D(0.2)}{T_0} T \quad (T_0 \leq T)$$

$$S_D(T) = S_D(0.2) \quad (T_0 \leq T \leq T_s)$$

$$S_D(T) = \frac{S_D(1)}{T} \quad (T_s \leq T \leq T_L)$$

$$S_D(T) = \frac{S_D(1) T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$

şeklinde belirlenmektedir (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği, 2008). En büyük depreme karşılık gelen %5 sönümlü yatay ivme spektrumu Şekil 1.28’de verilmektedir.



Şekil 1.28. En büyük deprem ivme spektrumu (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği, 2008).

Şekil 1.28.'den görüldüğü gibi, maksimum spektral ivme değerleri,

$$S_M(T) = 0.4 S_M(0.2) + 0.6 \frac{S_M(0.2)}{T_0} T \quad (T_0 \leq T)$$

$$S_M(T) = S_M(0.2) \quad (T_0 \leq T \leq T_s)$$

$$S_M(T) = \frac{S_M(1)}{T} \quad (T_s \leq T \leq T_L)$$

$$S_M(T) = \frac{S_M(1) T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$

şeklinde belirlenmektedir (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği, 2008).

Sismik izolasyonlu yapıların tasarımı için; eşdeğer yatay yük yöntemi, tepki spektrumu yöntemi, zaman tanım alanında hesap yöntemi olmak üzere üç farklı analiz yöntemi kullanılmaktadır.

1.6.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, yapının minimum seviyede tasarım kuvvetlerini ve tasarım yerdeğiştirmelerini verdiği için sismik izolasyon sistemlerin ön tasarımında kullanılan temel bir yöntemdir. Dinamik analizin gerektirdiği durumlarda bile, statik analiz ile yapılan sismik izolasyon sisteminin ve üst yapının başlangıç tasarımı, tasarımcıya yol göstermektedir.

Sismik izolasyonlu yapıların tasarımında kullanılan eşdeğer deprem yükü yöntemi, aşağıda verilen koşulları sağladığı takdirde kullanılmaktadır (IBC2000).

1. Yapının inşa edildiği bölgedeki $S_{MR}(1)$ spektral ivme değeri (referans zemin (B sınıfı) için en büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü, 1s periyotlu yatay spektral ivme) 0,6g veya altında olmalıdır.

2. Yapı; A, B, C veya D zemin sınıfları üzerinde inşa edilmelidir.

3. İzolasyon sisteminin üzerindeki üst yapı dört kattan veya 20 metre yükseklikten fazla olmamalıdır.

4. En büyük deprem seviyesinde sismik izolasyonlu yapının yanal etkin titreşim periyodu (T_M) 3sn. veya daha az olmalıdır.

5. İzolasyonlu yapının etkin tasarım periyodu (T_D), ankastre mesnetli yapı periyodunun üç katından daha büyük olmalıdır.

6. İzolasyon sisteminin üzerindeki yapı düşeyde ve planda düzenli olmalıdır.

Ayrıca izolasyon sistemleri aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır.

7.1. İzolasyon sisteminin tasarım yerdeğiştirmesindeki efektif rijitliği, tasarım yerdeğiştirmesinin %20'sine tekabül eden efektif rijitliğin üçte birinden fazla olmalıdır.

7.2. İzolasyon sisteminin toplam tasarım yerdeğiştirmesindeki geri dönüş kuvveti, toplam tasarım yerdeğiştirmesinin %50'sine tekabül eden geri dönüş kuvvetinden 0,025W kadar fazla olmalıdır.

7.3. İzolasyon sisteminin kuvvet - sehim özellikleri yükleme oranından bağımsız olmalıdır.

7.4. İzolasyon sisteminin kuvvet - sehim özellikleri düşey ve iki yönlü kuvvetlerden bağımsız olmalıdır.

7.5. İzolasyon sisteminin en büyük deprem yerdeğiştirmesi (D_M), toplam tasarım yerdeğiştirmesi (D_{TD}) değeri ile $S_M(1)/ S_D(1)$ oranının çarpımından daha az bir değere sınırlandırılmamalıdır (IBC 2000).

Eşdeğer yatay yük yönteminde üst yapı ve alt yapı rijit kabul edilmekte ve üst yapıda her iki doğrultuda yatay öteleme ve burulma serbestlik dereceleri (3 serbestlik derecesi) göz önüne alınmaktadır (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği).

Sismik izolasyon sistemi her iki yatay doğrultuda oluşacak tasarım depremi seviyesi yerdeğiştirmesini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Tasarım yerdeğiştirmesi;

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_D(1)T_D}{B_D} \quad (132)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada; D_D tasarım depremi seviyesinde izolasyon sisteminin etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirmeyi (m), g yer çekimi ivmesini ($9,81 \text{ m/sn}^2$), T_D tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde sismik izolasyonlu yapının yanal etkin titreşim periyodunu (sn), $S_D(1)$ tasarım depremi seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivmesini (g -sn), B_D tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde izolasyon sisteminin eşdeğer sönüm oranı ile ilişkili olarak belirlenmiş spektrum azaltma katsayısını göstermektedir. Sismik izolasyon sisteminin tasarım yerdeğiştirmesi seviyesindeki eşdeğer sönüm oranı β_D ,

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum \text{Çevrimsel Alan}}{K_{D_{maks}} D_D^2} \right] \quad (133)$$

bağıntısından elde edilmektedir. Burada; çevrimsel alan, sismik izolasyonlu sistemin kuvvet- yerdeğiştirme çevrimindeki eğrinin içinde kalan alanı (her bir döngü için harcanan enerjinin toplamı); $K_{D_{maks}}$ ise tasarım depremi yerdeğiştirmesi seviyesinde izolasyon sisteminin maksimum etkin rijitliğini göstermektedir. Sismik izolasyon sisteminin tasarım yerdeğiştirme seviyesindeki etkili sönüm (β_D) ile ilişkili sayısal katsayısı B_D ;

$$\frac{1}{B_D} = 0.25(1 - \ln \beta_D) \quad (134)$$

bağıntısından belirlenmektedir. Tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde sismik izolasyonlu yapının yanal etkin titreşim periyodu (T_D),

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D_{min}} g}} \quad (135)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Burada; W izolasyon sisteminin üzerindeki üst yapının toplam ağırlığını, $K_{D_{min}}$ ise tasarım depremi yerdeğiştirmesi seviyesinde izolasyon sisteminin minimum etkin rijitliğini göstermektedir. Deneylelerden tasarım yerdeğiştirmesindeki minimum ve maksimum etkin rijitlikler

$$K_{D_{\min}} = \frac{\sum |F_D^+|_{\min} + \sum |F_D^-|_{\min}}{2D_D} \quad (136a)$$

$$K_{D_{\max}} = \frac{\sum |F_D^+|_{\max} + \sum |F_D^-|_{\max}}{2D_D} \quad (136b)$$

bağıntılarıyla elde edilmektedir. Burada F_D^+ , deney aşamasında tasarım yükünden elde edilen maksimum pozitif yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvveti; F_D^- , deney aşamasında tasarım yükünden elde edilen maksimum negatif yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvveti, D_D ise deney sonucunda elde edilen tasarım yerdeğiştirmesini göstermektedir.

En büyük deprem seviyesinde izolasyon sisteminin etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme;

$$D_M = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_M(1)T_M}{B_M} \quad (137)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada; D_M en büyük deprem seviyesinde izolasyon sisteminin etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirmeyi (m), g yer çekimi ivmesini ($9,81 \text{ m/sn}^2$), T_M en büyük deprem seviyesinde sismik izolasyonlu yapının yanal etkin titreşim periyodu (sn), $S_M(1)$ en büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivmeyi (g -sn), B_M en büyük deprem seviyesinde yalıtım sisteminin eşdeğer sönüm oranı ile ilişkili olarak belirlenmiş spektrum azaltma katsayısını göstermektedir. İzolasyon sisteminin tasarım yerdeğiştirmesi seviyesindeki eşdeğer sönüm oranı β_M ,

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum \text{Çevrimsel Alan}}{K_{M_{\max}} D_M^2} \right] \quad (138)$$

bağıntısından elde edilmektedir. Buradaki çevrimsel alan sismik izolasyonlu sistemin kuvvet- yerdeğiştirme çevrimindeki eğrinin içinde kalan alanı (her bir döngü için harcanan enerjinin toplamı), $K_{M_{\max}}$ ise, en büyük deprem yerdeğiştirmesi seviyesinde izolasyon sisteminin maksimum etkin rijitliğini göstermektedir. Sismik izolasyon sisteminin en büyük yerdeğiştirme seviyesindeki etkili sönüm (β_M) ile ilişkili sayısal katsayısı B_M ;

$$\frac{1}{B_M} = 0.25(1 - \ln \beta_M) \quad (139)$$

bağıntısından belirlenmektedir. En büyük deprem seviyesindeki sismik izolasyonlu yapının yanal etkin titreşim periyodu (T_M)

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M_{\min}} g}} \quad (140)$$

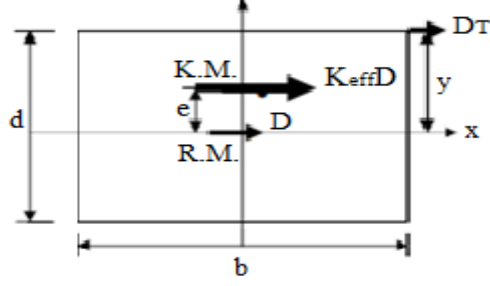
bağıntısından hesaplanmaktadır. Burada; W izolasyon sisteminin üzerindeki üst yapının toplam ağırlığını, $K_{M_{\min}}$ ise en büyük deprem yerdeğiştirmesi seviyesinde izolasyon sisteminin minimum etkin rijitliğini göstermektedir. Deneilerden en büyük yerdeğiştirmedeki minimum ve maksimum etkin rijitlikler,

$$K_{M_{\min}} = \frac{\sum |F_M^+|_{\min} + \sum |F_M^-|_{\min}}{2D_M} \quad (141a)$$

$$K_{M_{\max}} = \frac{\sum |F_M^+|_{\max} + \sum |F_M^-|_{\max}}{2D_M} \quad (141b)$$

bağıntılarıyla elde edilmektedir. Burada F_M^+ , deney aşamasında en büyük yerdeğiştirme yükünden elde edilen maksimum pozitif yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvveti; F_M^- , deney aşamasında en büyük yerdeğiştirme yükünden elde edilen maksimum negatif yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvveti, D_M ise deney sonucunda elde edilen en büyük yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

Deprem kuvvetinin etki ettiği kütle merkezi ve yapının rijitlik merkezi çakışmış olsa dahi güvenlik nedeni ile iki merkez arasındaki e mesafesini artırmak için maruz kalınan deprem doğrultusuna dik kenarın %5'i miktarında bir eksantrisite eklenmektedir (Şekil 1.24.).



Şekil 1.29. Planda dış merkezlik (Kelly ve Naeim,1999)

Bu durumda yapının en dış köşe noktasının yerdeğiştirme değeri, döndürme momentinin döndürme rijitliğine oranlanmasıyla elde edilmektedir. Plan boyutları $b \times d$ ve izolasyon seviyesine ait toplam rijitlik değeri K_{eff} olan bir binanın dönme rijitliği $K_{eff}[(b^2+d^2)/12]$, döndürme momenti ise $K_{eff}De$ olarak tanımlanır. Bu durumda yapının en dış köşe noktasında burulma etkisinden dolayı oluşacak yerdeğiştirme değeri;

$$\theta = \frac{K_{eff}De}{K_{eff}[(b^2+d^2)/12]} y = \frac{12De}{b^2+d^2} y \quad (142)$$

bağıntısından belirlenmektedir. Böylece izolasyon sisteminin toplam tasarım yerdeğiştirmesi (D_{TD}),

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2} \right) \quad (143)$$

bağıntısıyla toplam maksimum yerdeğiştirmesi (D_{TM}) ise;

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2} \right) \quad (144)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu değerler, sırasıyla tasarım depremi seviyesindeki yerdeğiştirmenin (D_D) ve en büyük deprem seviyesindeki yerdeğiştirmenin (D_M) 1.1 katından küçük olamaz (IBC2000).

İzolasyon sistemi ve izolasyon sisteminin altında kalan bütün yapısal elemanlar minimum yatay sismik kuvvette (V_b) karşı koyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde izolasyon sisteminde ve alt yapıda oluşacak kesme kuvveti (V_b),

$$V_b = K_{D,max} D_D \quad (145)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. İzolasyon sistemlerde V_b kesme kuvveti, tasarım yerdeğiştirmesi dâhil bütün yerdeğiştirme seviyelerindeki maksimum kuvvetten daha az alınmamaktadır. Altyapı, bu kesme kuvvetini doğrusal-elastik davranışla karşılayacak şekilde izolasyonsuz yapı tasarımındaki gibi tasarlanacaktır.

İzolasyon sistemi üzerindeki üst yapı minimum yatay sismik kuvvette (V_s) karşı koyabilecek şekilde izolasyonsuz yapı tasarımındaki esaslar göz önüne alınarak tasarlanacaktır. Bu kuvvet,

$$V_s = \frac{V_b}{R_1} = \frac{K_{D,max} D_D}{R_1} \quad (146)$$

bağıntısından elde edilmektedir. Buradaki R_1 , izolasyon sistemi üzerindeki yatay kuvvete karşı koyan sistemin tipine ilişkin deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir. Sismik izolasyonlu yapılarda ankastre mesnetli bir yapıya göre çok daha küçük azaltma katsayısı alınmaktadır. Bunun nedeni ise periyot aralığıdır. Ankastre mesnetli bir yapı akma seviyesinin üstünde bir değere ulaştığında yapının periyodu artmakta ve üstlendiği yük buna bağlı olarak azalmaktadır. Aynı zamanda yapıdaki sönüm değeri de çevrimsel alanının büyümesinden dolayı artmaktadır. Buna ilave olarak yapıda dayanım ötesi bir yükleme oluşmakta ve yapının diğer bileşenleri de akma yönünde bir davranış göstermektedir. İzolasyonlu bir yapıda ise yapının enerji sönümlemesi ve akma seviyesinin üstündeki bir yerdeğiştirme yapması istenmemektedir. Yalnızca dayanım aşımı dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla izolasyonlu sistemlerde azaltma faktörü düşük seçilerek yapıda oluşacak hasar miktarı kontrol altına alınmaktadır. Sismik izolasyonlu sistemler için bu değeri 1 ile 2 arasında alınmaktadır. Bazı taşıyıcı sistemlerin izolasyonlu ve izolasyonsuz hallerindeki azaltma katsayıları Tablo 1.3'de verilmektedir.

Tablo 1.3. UBC-97 de tanımlanan bazı taşıyıcı sistemlere ait azaltma faktörleri (Kelly ve Naeim,1999)

Taşıyıcı Sistem	İzolasyonlu Hal	İzolasyonsuz Hal
Özel Moment Direnim Çerçeveleri	2.0	8.5
Perdeli Sistemler	2.0	5.5
Çapraz Diagonal Bağlı Sistemler	1.6	5.6

Toplam eşdeğer deprem yükü V_s ; izolasyonlu yapı ile aynı ağırlığa ve eşit periyoda sahip ankastre mesnetli bir yapı için belirlenen eşdeğer deprem yükünden, rüzgar yükünden kaynaklanacak kesme kuvvetinden ve yalıtım sistemini harekete geçirmek için gerekli yatay kuvvetin (elastomer yalıtıcılarda kurşun çekirdeğin akması, eğimli yüzeyli sürtünmeli yalıtıcılarda statik sürtünme kuvvetinin yenilmesi veya özel tasarımı birimlerin dayanımı) 1,5 katından az olmamalıdır (NEHRP 2000). Yapının yüksekliğine ve kat kütle dağılımlarına bağlı olarak katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri ise,

$$F_x = V_s \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^N w_i h_i} \quad (147)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Burada; F_x x'inci kat seviyesine etkiyen yanal kuvveti, w_x x'inci kat seviyesindeki ağırlığı, h_x izolasyon seviyesi ile x'inci kat seviyesi arasındaki yüksekliği, N izolasyon sisteminin üstünden itibaren binadaki toplam kat sayısını, h_i katlar arasındaki kat yüksekliği göstermektedir. İzolasyon sisteminin üzerindeki yapının maksimum katlar arası görelî ötelenmesi $0.015 h_i$ değerini aşamaz (IBC2000).

Sismik izolasyon sistemi üzerine etkiyecek, deprem hareketinin düşey bileşeninden ve yatay bileşeninden oluşan devrilme momentinden meydana gelen tasarım depremi seviyesindeki (F_{VD}) ve en büyük deprem seviyesindeki (F_{VM}) düşey kuvvetler,

$$F_{VD} = \pm 0.3 \left(\frac{W}{g} \right) S_D(0.2) \quad (148a)$$

$$F_{VM} = \pm 0.3 \left(\frac{W}{g} \right) S_M(0.2) \quad (148b)$$

bağıntılarından hesaplanmaktadır (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği).

1.6.2. Tepki Spektrumu Yöntemi

Sismik izolasyonlu yapı tasarımı eşdeğer yatay yük yönteminin (statik analiz) aksine, dinamik analiz (tepki spektrumu yöntemi, zaman tanım alanında hesap yöntemi) bütün durumlar için kullanılmaktadır. Dinamik analiz yöntemleri izolasyonlu yapıların tasarımında, eşdeğer yatay yük yönteminin sistemin davranışının tanımlanmasında yetersiz kaldığı ve 1.6.1. başlığı altındaki maddeleri sağlanmadığı durumlarda gerekmektedir.

Dinamik analiz yöntemlerinde izolasyon sistemi ve izolasyon sisteminin altında kalan yapısal elamanlar için toplam tasarım yerdeğiştirmesinin (D'_{TD}) hesaplanmasında eşdeğer yatay yük yöntemi başlığı altında (130) bağıntısındaki D_D terimi yerine D'_D terimi kullanılmaktadır. Dinamik analiz yöntemleriyle elde edilen tasarım yerdeğiştirmesi D'_D ,

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1+(T/T_D)^2}} \quad (149a)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Dinamik analiz yöntemlerinde izolasyon sistemi ve izolasyon sisteminin altında kalan yapısal elamanlar için toplam en büyük yerdeğiştirmesinin (D'_{TM}) hesaplanmasında eşdeğer yatay yük yöntemi başlığı altında (136) bağıntısındaki D_M terimi yerine D'_M terimi kullanılmaktadır. Dinamik analizle elde edilen en büyük yerdeğiştirme D'_M ,

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1+(T/T_M)^2}} \quad (149b)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada T, elastik ankastre mesnetli üst yapının periyodudur. (149a) ve (149b) bağıntılarından görüldüğü gibi dinamik analiz yöntemleriyle, statik analiz yöntemine göre daha az tasarım ve en büyük yerdeğiştirme değerleri elde edilmektedir. Statik analiz yönteminde formüller üst yapıyı rijit kabul etmektedir fakat dinamik analiz yöntemlerinde, üst yapının esnekliğini ile meydana gelen şekildeğiştirmeler dikkate alındığından izolasyon sistemindeki yerdeğiştirmeler azalmaktadır. Fakat bu azalan toplam yerdeğiştirme değeri, statik analiz formüllerinde verilen D_{TD} değerinin %90'ından daha az; toplam en büyük yerdeğiştirmesi ise, statik analiz formüllerinde verilen D_{TM} değerinin %80'inden daha az alınmamaktadır. Ayrıca dinamik analiz yöntemlerinde bulunan

izolasyon sisteminde ve alt yapıda meydana gelen kesme kuvveti, statik analiz formüllerinde verilen V_b değerinin %90'ından daha az alınmamaktadır (IBC2000).

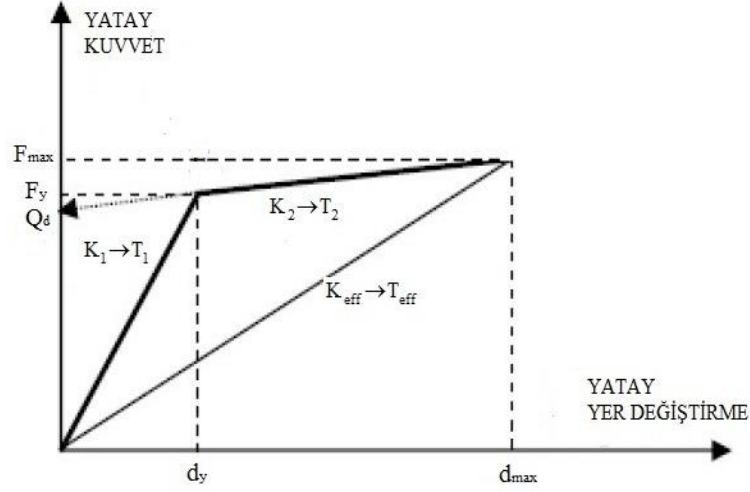
İzolasyon sisteminin üstünde bulunan yapısal elemanların tasarımında, eğer üst yapı düzenli ise dinamik analiz yöntemlerinden elde edilen kuvvetler, statik analiz yöntemi ile elde edilen V_s kuvvetinin %80'inden az fakat zaman tanım alanında yapılan analizlerde ise V_s kuvvetinin %60'ından az alınmamaktadır. Düzensiz yapılar için dinamik analizden elde edilen kuvvetler, statik analizden elde edilen V_s kuvvetinden daha az fakat zaman tanım alanında yapılan analizlerde ise V_s kuvvetinin %80'inden daha az alınmamaktadır (IBC2000).

Dinamik analiz yöntemlerinden biri olan tepki spektrum analizinde kullanılan tepki spektrumları, tek serbestlik dereceli bir sistemin belirli bir yer hareketi altındaki davranışının, sönüm oranına ve doğal periyoduna bağlı bir fonksiyon olarak ivme, hız ve yerdeğiştirme cinsinden sistemin tepkisini gösteren eğriler olarak tanımlanmaktadır. Tepki spektrum analizi, yapının tepkisinin farklı modlara ayrılabilmesini kabul etmektedir. Her modun tepkisi, o modun periyodundaki spektral ivmenin, belirli bir modun toplam tepkiye katılım ölçüsünü ifade eden katılım faktörü ile çarpımı kullanılarak hesaplanmaktadır. Modların maksimum tepkisi aynı anda olmamaktadır. Bu sebeple bunları birleştirmek için olasılığa dayanan, Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS) veya Tam Quadrik Kombinasyon (CQC) metodları kullanılmaktadır. İkinci metod, birbirine yakın modların kısmen beraber değerlendirilebileceği görüşünü hesaba katması sebebiyle SRSS'e göre daha doğru sonuçlar veren bir metod olarak kabul edilmektedir.

Çoğu standart tepki spektrum analizinin kullanımına eşdeğer yatay yük yöntemine nazaran daha geniş çapta müsaade etmektedir. Uygulamada izolasyon sistemi eşdeğer elastik sisteme göre modellenmekte ve sönüm, izolasyonlu mod için uygun sönümlü spektrum kullanılarak uygulanmaktadır. Fakat tepki spektrum yönteminin, lineer olmayan sistemlerde büyük oranda kat ivmelerini ve devrilme etkilerini ihmal ettiği yönünde görüşler de bulunmaktadır. (Uyar, 2005)

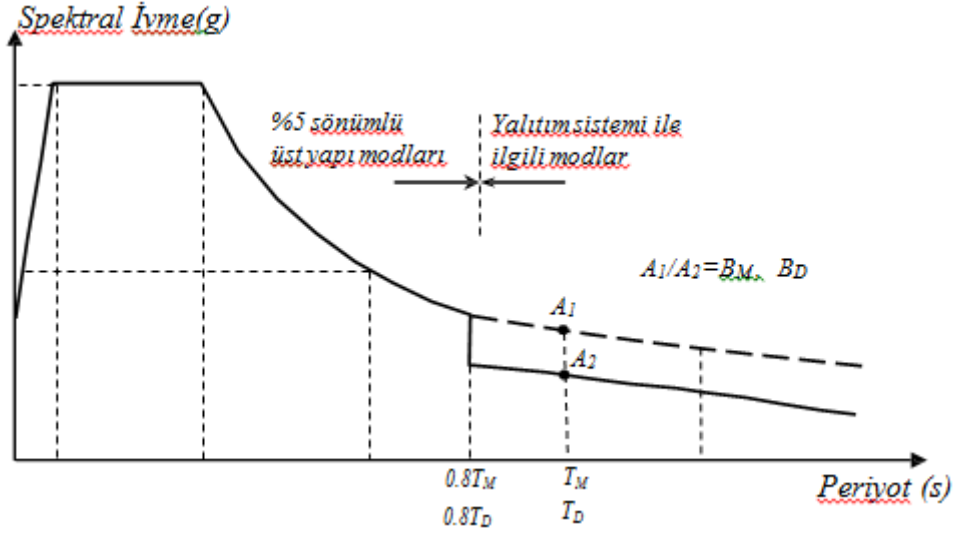
Sismik izolasyon sistemleri çevrimsel davranış neticesinde enerji sönümlendiğinden dolayı tepki spektrumu analizine çözüm adımlarına ya periyot ya da yerdeğiştirme seçilerek iterasyona (tekrarlama) başlamak gerekmektedir. Yerdeğiştirme değeri, yapının istenilen yerdeğiştirmenin sınırına göre periyot değeri ise, yapının inşa edildiği zemin koşullarına ve faya uzaklığına göre seçilmektedir. İlk yaklaşım olarak sismik izolasyon sisteminin periyodu, kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisine bağlı olarak seçilmektedir (Şekil

1.25.). Bu şekilden görüldüğü gibi yapı faya yakın ise, izolasyon sisteminin periyodunu (T_2), K_2 'nin eğimine bağlı olarak almak daha uygun olmaktadır. Zira, sistem doğrusal olmadığı için izolasyon sisteminin etkili periyodu (T_{eff}), T_2 'ye yakın olmaktadır. Ancak, yapı faya uzak ise K_{eff} yani T_{eff} üzerinden iterasyona başlanması daha uygun olmaktadır.



Şekil 1.30. Sismik taban izolasyon sisteminin kuvvet – yerdeğiştirme grafiği

Seçilen hedef periyot değeri kullanılarak, enerji sönümlenmesi etkisi olmadan verilen ivme spektrumunda denk gelen ivme değeri elde edilmektedir. Bu spektral ivmeden, izolasyon sisteminin yerdeğiştirme, yatay efektif rijitliği ve sönümlenme oranı hesaplanmaktadır. Daha sonra en büyük deprem ve tasarım depremi seviyesi için %5 sönümlü ivme spektrumları ($S_M(T)$ ve $S_T(T)$), sırasıyla $T \geq 0.8 T_M$ ve $T \geq 0.8 T_D$ periyot bölgelerinde, yalıtım sistemi eşdeğer sönüm oranlarına (β_M ve β_D) bağlı olarak bulunacak spektrum azaltma katsayıları (B_M ve B_D) ile bölünerek izolatör sistemi için düzeltilmiş ivme spektrumu elde edilmektedir (Şekil 1.26.).



Şekil 1.31. Düzeltilmiş ivme spektrumu (Deprem Yalıtımı Yönetmeliği).

İterasyon işlemleriyle elde edilen periyot değerlerinin sönüm oranlarına göre belirlenen ivme değerleri kullanılarak sırasıyla tasarım ve en büyük yerdeğiştirme,

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_D(T_D)T_D^2}{B_D} \quad (150a)$$

$$D_M = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_M(T_M)T_M^2}{B_M} \quad (150b)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Hesaplar sonucunda elde edilen değerler, başta kabul edilen yerdeğiştirme değerleriyle karşılaştırılmaktadır. Aralarındaki fark fazla ise bulunan sonuçlar başlangıçta kabul edilen değerlerin yerine konularak tekrar hesaplanmaktadır. Bu iterasyon işlemine sonuçlar aralarındaki farkın kabul edilebilir seviyeye inene kadar devam edilmektedir.

1.6.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında hesap yönteminde, yapıların doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınarak her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanmaktadır. Yapılara gelen deprem yüklerini belirleyebilmek amacıyla en güvenilir analiz yöntemi, yer ivmelerinin zamanla değişimini ele aldığından

zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz olarak kabul edilmektedir. Daha önce tasarımcılar tarafından bu yöntem; uygun yer hareketi kaydının elde edilememesi, yapı elemanlarının çevrimsel modellerinin oluşturulamaması ve uzun hesaplama zamanı gerektirmesi gibi zorlukları olduğundan fazla tercih edilmemekteydi. Fakat bu yöntem, son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve yapılan çalışmaların etkisiyle güçlendirme ve izolatör tasarımı projelerinde oldukça yaygınlaşmaktadır.

Zaman tanım alanında hesap yöntemi, ya uygun bir şekilde seçilmiş üç adet deprem kaydının kullanılması ile elde edilen sonuçların maksimuma ya da yine uygun bir şekilde seçilmiş yedi adet deprem kaydının kullanılması ile elde edilen sonuçların ortalamasına göre yapılmaktadır. Fakat analiz aşamasında bu iki çözümden, genellikle seçilen üç deprem kaydından bir tanesinin maksimum değerleri %30 diğer deprem kayıtlarına göre daha fazla sonuç verdiği için yedi adet kaydın ortalamasını kullanmak daha uygun olmaktadır. Bu benzer deprem kayıtlarının seçiminde jeolojik ve sismolojik şartlar; depremin büyüklüğü, faya uzaklığı, zemin koşulları, yakın fay etkileri, yırtılma yönü ve kaynak mekanizmaları gibi parametreler göz önünde alınmaktadır. Örneğin faylanma mekanizması olarak Türkiye’de çoğu fay yanal atımlı olduğundan seçilecek deprem kayıtları gerçek karakteri gösterebilmesi için buna ters olmamalıdır. Cosmos Earthquake ve Peer (Pasific Earthquake Engineering Research Center) gibi deprem veri tabanlarından elde edilen yaklaşık 20-30 senelik gerçek deprem kayıtlarına ulaşma imkânı, bu yöntemi en çok tercih edilen seçenek haline getirmektedir. Eğer yeterli kayıt yok ise, tasarım ivme spektrumu uyumlu yapay kayıtlar ve benzeştirilmiş (yapay) kayıtlar kullanılmaktadır.

1.7. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Taban izolasyonlu yapıların davranışlarını ve etkin özelliklerini ayırt edebilmek amacıyla iki boyutlu ve burulma etkisinin de araştırılabileceği üç boyutlu sistemler ele alınarak pek çok parametrik çalışma yapılmıştır.

Lee (1980); çevrimsel döngüye sahip olan taban izolasyon sistemlerinin, her iki yöndeki yer hareketi sebebiyle yapıda oluşan kesme kuvvetlerinin ve dönme momentlerinin üzerindeki azaltma etkisini incelemiştir. Çalışmada El-Centro (Mayıs 1940) depremine maruz tek katlı, her iki yönde simetrik olmayan bir yapı modellenmiştir. Sonuç olarak taban izolasyon sistemi, yapının eksantrisitesi büyük olduğunda bile yapının dönmesini büyük oranda azaltmıştır. Burulma momentindeki

bu azalma, yapının kütle merkezi ile izolasyon sisteminin rijitlik merkezi çakıştığı zaman en büyük değerini almıştır. Ayrıca üst yapıda bulunan eksantrisitenin, izolatör yerdeğiştirme büyüklüğüne küçük bir etkisi olacağı sonucuna varmıştır. Taban izolasyon sisteminin dinamik hareketini özetlemiş ve mevcut izolasyon sistemi bileşenleri tanımlanmıştır.

Kelly (1981), tarafından taban izolasyonunun deprem yükleri etkisindeki yapının içindeki ikincil ekipmanların sismik tepkisi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla dört farklı deprem ivmesine maruz sarsma tablası üzerine monte edilmiş büyük ölçekli 5 katlı yapı modeli üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Pan ve Kelly (1983), üç serbestlik derecesine sahip kauçuk mesnetli olarak izole edilmiş basit bir sistemin, El-centro depremine maruz kalması sonucu burulma açısından sismik tepkileri üzerine bir analitik çalışma yapmıştır. Sistemin yerdeğiştirme tepkilerini, küçük ve büyük eksantrisite sahip sönümlü ve sönümsüz durumlar için ifade edebilmek amacıyla Green fonksiyonları verilmiştir. Zaman tanım alanında ve tepki spektrumu modal birleştirme analizleri uygulanmıştır. Tepki spektrum analizinde maksimum tepkilerin tahmin edilmesinde tam karesel yönteminin (CQC), karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemine göre daha üstün olduğu vurgulanmıştır.

Mostaghel, Hejazi ve Tanbakuchi (1983), tarafından harmonik yer hareketlerine maruz kayıcı mesnetli tek serbestlik dereceli yapının tepkisi incelenmiştir. Elde edilen doğrusal olmayan hareket denklemleri kayma hareketinin başlangıç ve bitiş zamanlarındaki farklı durumlar için doğrusal hale getirilmiş ve formüller sayısal olarak Duhamel integrali kullanılarak çözülmüştür. Farklı sürtünme katsayıları için ve salınımın farklı konumları için yapının tepkisi değerlendirilmiş grafikler halinde sunulmuştur. Düşük bir sürtünme katsayısı için ivme tepkilerinin, yer hareketinin frekansına bağlı olarak değişmediğinden, sert zemin veya yumuşak zemin olan tüm bölgelerde etkili olarak kullanabileceğini ifade etmektedirler.

Griffith, Kelly ve Aiken (1988) tarafından elastomerik izolasyon mesnetlerinin içine monte edilebilen, mesnetlerin yerdeğiştirmelerini sınırlayacak ve mesnetlerde oluşan kaldırma (uplift) kuvvetlerini karşılayacak bir deplasman kontrol cihazı tasarlanmıştır. Bu cihaz, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinde (Berkeley) 8 adet elastomerik mesnet ile izole edilmiş 1/4 ölçekli 9 katlı bir çelik çerçeve modeli üzerinde köşelerindeki 4 adet mesnedin içerisine yerleştirilerek sarsma tablası testine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, deplasman kontrol cihazının orta yükseklikteki yapı modelinde kolonların

havaya kalkmasını engellediği, yatay yerdeğiştirmeleri sınırlamakta etkili olduğu ve cihazın izolasyon sistemi için göçme güvenlik mekanizması olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Bu cihazlar izolasyon sisteminin tasarımında kullanılan ivmelerden daha büyük yer hareketine maruz kalındığında devreye girecek şekilde tasarlanırsa güvenli bir sistem elde edilmiş olmaktadır.

Mokha, Constantinou, Reinhorn ve Zayas (1991) tarafından yapılan çalışmada sürtünmeli sarkaç sistem ile yalıtılmış çeyrek ölçekli 6 katlı, 23 ton ağırlığında bir yapı modeli sarsma tablası testlerine tabi tutulmuştur. Bu deneylerde sürtünme katsayıları 0,075 ve 0,095 olan iki farklı tipte mesnet malzemesi üzerinde çalışılmıştır. Her iki durumda da izolasyonlu sistemin doğal periyodu 1 sn olacak şekilde izolatörler tasarlanmıştır. Deneyler sonucunda, sürtünmeli sarkaç izolasyon sisteminin yapıyı yüksek deprem etkilere karşı korumakta etkili olduğu gözlemlenmiştir. El-Centro depremi ile yapılan deneyde sismik izolasyonlu yapı, ankastre mesnetli yapının dayandığı yer ivmesinden altı kat daha büyük yer ivme değerine hasar görmeden karşı koyduğu gözlemlenmiştir. Sarsma tablası deneylerinin sonunda mesnetlerdeki kalıcı yerdeğiştirme değerinin çok küçük olduğu genellikle mesnet tasarım yerdeğiştirme değerinin % 6'sını aşmadığı gözlenmiştir. Sürtünmeli sarkaç sistemlerinin ölçülebilir özellikleri ve hesaplanabilir analitik teknikleri sayesinde yapının tepkisinin doğru tahmin edileceği ortaya konulmuştur.

Aiken ve arkadaşları (1992) yüksek kayma modülüne ve düşük kayma modülüne sahip yüksek sönümlü kauçuk mesnet ile kurşun çekirdekli kauçuk mesnet olmak üzere üç tip sismik izolasyon mesneti üzerinde mekanik karakteristiklerini belirlemek amacıyla bir dizi deneysel çalışmalar yapmıştır. Mesnetler çeşitli düşey yük ve yükleme frekanslarında yatay çevrimsel yerdeğiştirme deneylere tabi tutulmuş ve bu deneylerde mesnetlerin kayma rijitliği ve sönüm oranı özelliklerinin kayma şekildeğiştirmesiyle ilişkileri incelenmiştir. Son olarak yapılan kapasite testlerinde ise mesnetlerin çeşitli düşey yükler altındaki kesme dayanımı, bulonlu birleşimlerdeki çekme dayanımı ve dübellenmiş mesnetlerdeki dönerek yuvadan mesnetten çıkma (roll-out) durumlarını incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda düşey yük ve yükleme frekanslarındaki değişimlerin mesnetlerin kayma rijitliği ve sönüm oranı özelliklerini çok fazla etkilemediği gözlemlenmiştir. Kesme dayanımı deneylerinde mesnetlerin 5 katına kadar kayma şekil değiştirmelerine dayandığı tespit edilmiştir.

Nagarajaiah, Reinhorn ve Constantinou (1993), doğrusal olmayan elastomer mesnetli olarak modellenen çok katlı yapılarda, çift yönlü yanal yer hareketleri nedeniyle

oluşan burulmayı incelemişlerdir. Çalışmanın amacı; üstyapının esnekliği, yanal frekanslara bağlanmamış burulma oranı, üstyapıda rijitlik dış merkezliği, izolasyon sisteminde dış merkezliği, yüksek mod etkileri, izolasyon sistemindeki izolatör sayısının etkileri gibi önemli parametrelerin farklı yer hareketlerine göre elastomer mesnetli yapılar üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Elde edilen sonuçlar mevcut yapıların davranışlarını ve daha önceki çalışmaların sonuçlarındaki bazı tutarsızlıkları açıklamak için kullanılmıştır. Ayrıca sonuçlar; elastomer taban izolasyon sisteminin varlığı üst yapı tepkisinin önemli ölçüde azaltmasına rağmen izolasyona ve üst yapı eksantrisitesine ve ayrıca yanal ve burulma esnekliğine bağlı olarak burulmada meydana gelen artan değerler, tasarım aşamasında önemli bir hale gelebildiğini göstermiştir.

Jangid ve Datta (1994), rastgele yer hareketlerine maruz taban izolatörlü sistemlerin simülasyon prosedürü kullanılarak kütle, rijitlik ve üst yapının sönüm oranları gibi farklı parametrik değişiklikler altında burulma davranışının doğrusal olmayan tepkisini ele almıştır. Simülasyon analizden elde edilen ortalama tepe tepkiler, taban izolasyon sisteminin etkinliğini araştırmak için ankastre mesnetli sistemle ve burulma çiftinin etkisini vurgulamak için simetrik sistemle karşılaştırılmıştır. İzolatörün yatay hareketi sebebiyle meydana gelen çift yönlü çevrimsel geri getirici kuvveti, bir grup doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerle modellenmiştir. Bu parametrik çalışmanın sonuçları, burulma çiftli taban izolatörlü yapıların davranışlarını ve etkin tasarımlarını anlamada yardımcı olmuştur.

Pan, Ling ve Cui (1995), taban izolasyonlu bir binanın üstyapısının birkaç parçadan oluşması durumunda depreme dayanıklı bir tasarım kavramı üzerinde çalışmışlardır. Her bir parçanın birkaç kattan oluştuğu ve birbirlerine doğrusal olan ilave titreşim yalıtım sistemleriyle bağlandığı bir durum için binanın dinamik karakteristiklerini araştırmışlardır. Titreşim izolasyon sistemlerinin optimum parametrelerini, karelerinin ortalamasını minimum yapan ivme tepkilerinden hesaplanmıştır. Parçalı bina modelinin 1940 El Centro depreminin kuzey-güney bileşenine maruz bırakılarak elde edilen tepkileri ile aynı bina modelinin ankastre tabanlı ve geleneksel taban yalıtımlı olarak modellendiğinde elde edilen tepkileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma; üst yapısı parçalı olarak modellenen yapıdan elde edilen tepkilerin neredeyse geleneksel taban izolasyonlu olarak modellenen yapıdan elde edilen tepkiler kadar küçük olduğu ve zemin seviyesindeki taban izolasyon sistemdeki yerdeğiştirmeyi önemli derecede azalttığını göstermiştir.

Kikuchi ve Aiken (1997), taban izolasyonlu yapıların sismik tepkisini doğru hesaplamak amacıyla elastomerik izolasyon mesnetleri için analitik çevrimsel bir model tasarlamışlardır. İki tip yüksek sönümlü kauçuk mesnet, bir tip kurşun çekirdekli kauçuk mesnet ve bir tip silikon kauçuk mesnet olmak üzere toplam dört tip elastomerik mesnet üzerinde mekanik özelliklerini tanımlamak amacıyla bir dizi yükleme deneyleri yapılmıştır. Daha sonra bu mesnetler, 1/2,5 ölçekli üç katlı yapı modeline yerleştirilerek sarsma tablası deneyleri yapılmıştır. Deneylerden ve analitik çalışmalardan elde ettikleri sonuçların birbirine çok yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca deneylerin, hem maksimum tepki değerlerinin hem de izolatörlerin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisinin ve yalıtımlı yapının kat tepki spektrumlarının tahmin edilmesinde etkili olduğu ortaya koymuşlardır.

Moroni ve arkadaşları (1997), deney düzeneği olarak 1992 yılında Şili'nin Santiago şehrinde yüksek sönümlü kauçuk mesnet kullanarak yalıtılmış dört katlı bir yapı ve onun yakınında ankastre mesnetli olarak modellenen ikiz bir yapı inşa ederek dinamik davranışlarını karşılaştırmışlardır. Binalar yerel sayısal ivmeölçerlerle donatılarak üç yıl boyunca en az 24 değişik şiddette depremin kayıtları elde edilmiştir. Elde edilen deprem kayıtlarına göre, izolasyonlu binada çatı katı seviyesindeki maksimum ivme davranışının geleneksel ankastre mesnetli binaya oranla maksimum yer ivmesi ve deprem hareketinin özelliğine göre değişerek, 1 ile 3,5 kat azaldığını belirlemişlerdir. Şiddeti büyük olan depremlerde yalıtım etkisinin de büyük, şiddeti küçük olan depremlerde ise yalıtım etkisinin de küçük olduğunu saptamışlardır.

Clark, Aiken ve Kelly (1997), sismik izolatörlerin laboratuvar ortamında yapılan deneylerle saptanan davranışlarının, gerçek uygulamadaki davranışları ile karşılaştırmak için Foothill Toplulukları Yasa ve Adalet Merkezi'nde kullanılmak üzere üretilen sismik izolatörlerin uzun süreli performanslarını ölçmek amacıyla bir deney gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde, yapıda yaklaşık 12 senedir bulunan izolatörler ve yapı inşasından önce imal edilmiş orijinal özelliklere sahip prototip izolatörler karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda binadan sökülen izolatörlerde orijinal özelliklerine kıyasla küçük farklar elde edilmiştir. Binadan sökülen izolatörlerin düşey rijitliklerinde bir değişiklik olmadığı, yatay rijitliklerinin ise %15 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

Malangone ve Ferraioli (1998), yüksek sönümlü elastomer mesnetli ve kurşun çekirdekli elastomer mesnetli olarak modellenen çok katlı yapılar üzerinde doğrusal olmayan analizleri için bir modal analiz yöntemi önermişlerdir. İzolasyon sistemleri, maksimum yerdeğiştirmeye bağlı parametrelerle elastik viskoz, çevrimsel ve Wen modeli

olmak üzere üç farklı analitik model kullanılarak tanımlanmıştır. Önerilen mod birleştirme yöntemi uygulanarak elde edilen doğrusal olmayan sonuçlarla, direk integrasyon metodu ile bulunan sonuçlar arasında uyum olduğu gözlemlenmiştir. Sonra izolasyon sistemlerinin üç ayrı analitik modelleri için elde edilen sonuçları, karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Son olarak, analitik modellerden kesin modal tepkiler elde edilmiş ve bu iki yaklaşık çözümle birlikte mod şekilleri ve izolatör özelliklerini değerlendirerek sismik izolatörler karşılaştırılmıştır.

Faya yakın bölgelerde bulunan sismik taban izolasyonlu yapıların tasarımında günümüzdeki yönetmeliklerdeki koşullar göz önüne alındığında mühendisler, çok büyük tasarım yerdeğiştirmeleriyle karşı karşıya gelmiştir. Kelly (1999), bu tasarım yerdeğiştirmelerini azaltmak için kullanılan ilave sönümleyicilerin rolünü araştırmıştır. Sönümleyiciler yapının taban yerdeğiştirmesini ve taban kesme kuvvetini azaltmış fakat üst yapıdaki katlar arasındaki ötelenmeyi ve kat ivmelerini büyük ölçüde arttırmıştır. Bu ikilemi göstermek için basit bir yalıtılmış yapı ele almıştır. Sonuçlar ilave sönümleyicilerin kullanılmasının yanlış bir uygulama olduğunu söyleyerek alternatif stratejiler önermiştir.

Sahin N. (2001), yapıların sismik izolasyonu konusunda dünyada yaygın olarak kullanılan elastomerik sistemleri ve kayıcı sistemleri tanıtmıştır. Konunun önemini anlatabilmek için Drain 2DX programı yardımıyla tabakalı kauçuk mesnet kullanarak izolasyonlu hale getirdiği Mimar Sinan Üniversitesi Merkez Kampüsü Heykel Bölümü Binası'nın doğrusal olmayan analizlerini yapmış ve sismik izolatörlerinin etkililik bakımından avantajları belirtilmiş ayrıca maliyet bakımından dezavantajlarına değinilmiştir. Sismik izolasyonlu yapıda kesit tesirlerinin taban ankastre yapıya göre daha küçük olduğundan yapı boyutlandırılırken daha küçük boyutların kullanılabileceği vurgulanmıştır. Taban kesme kuvvetlerinin sismik izolasyonlu yapıda taban ankastre göre yaklaşık dört kat azaldığı tespit edilmiştir.

Temiz (2002), 1999 Düzce depreminden sonra Bolu viyadüğünün deprem performansını incelemiştir. Yapı LUSAS Sonlu Elemanlar Analiz Programı ile modellenerek; modal spektral çözümleme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanmıştır. Modal analizde yapının dinamik karakteristikleri ilk 10 modu elde edilerek belirlenmiştir. Spektral analizde AASHTO (1992) spektrumu kullanılarak yapının AASHTO şartnamesine uygun olarak inşa edilip edilmediği araştırılmış, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile yapının sismik izolasyon sisteminde deprem sonrası oluşan etkiler elde edilerek sistemin yeterliliği sorgulanmıştır.

Colunga ve arkadaşları, (2002), taban izolasyonlu yapıların üst yapıda eksantrisite bulunduğu durumlardaki burulma tepkilerini araştırmışlardır. Farklı eksantrisite oranları için maksimum tepkileri araştırmak amacıyla doğrusal olmayan dinamik analizler incelenmiştir. Çalışmada Meksika'nın Pasifik kıyılarındaki sert zeminlerde kayıt edilmiş tek ve iki yönlü deprem hareketleri kullanılmıştır. Çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme döngüsüne sahip izolatörleri, etkili periyot aralığı 1,5-3,0 sn, akma kuvvetlerinin yapı ağırlığına oranı % 5 ve % 10 arası ve akma sonrası rijitliğinin elastik rijitliğinin oranı % 10 olarak modellenmiştir. Maksimum izolatör yerdeğiştirmeleri ve maksimum yerdeğiştirme süneklilik talepleri gibi tepe dinamik tepkiler çalışılmış, farklı zemin hareketleri altında ve farklı eksantrisite oranları göre simetrik sistemle karşılaştırılmıştır.

Matsagar ve Jangid (2003), çeşitli taban izolasyonları ile yalıtılmış çok katlı yapıların, salınımı sırasındaki komşu yapılarla çarpışması sonucu ortaya çıkan sismik tepkilerini araştırmıştır. Yalıtımlı binayı her katında yanal serbestlik dereceli kesme tipi çerçeve olarak modellemişler, komşu yapıyı modellemek için yay ve amortisör formunda bir çarpma elemanı kullanmışlardır. Yalıtımlı sistemler için hareketin diferansiyel denklemleri elde edilmiş ve Newmark'ın adım adım tekraralama yöntemiyle artan formlar çözülmüştür. Farklı depremler altında binaların çarpışma sırasında üst kat mutlak ivmelerindeki ve mesnet yerdeğiştirmelerindeki değişimi hesaplayarak, çeşitli yalıtım sistemlerinin karşılaştırmalı performansını ve binanın davranışını incelemişlerdir. Yapılar arası boşluk mesafesi, çarpma elemanının rijitliği, üstyapı esnekliği ve taban yalıtımlı binanın kat sayısı gibi önemli sistem parametrelerinin değişiminin, yalıtımlı binanın depremsel davranışına olan etkisini araştırmışlardır. Komşu yapıların çarpışmasından dolayı üstyapı ivmesinin arttığını ve mesnet ötelenmesinin azaldığını; ancak bununla beraber çarpma olayının akabinde, yalıtımsız yapıya göre, yalıtımın etkili kaldığını belirlemişlerdir.

Ateş (2004) çalışmasında, değişerek yayılan yer hareketleri için sürtünmeli sarkaç sistemi ile izolasyonlu karayolu köprülerinin davranışlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin özelliklerinin etkileri sebebiyle değişerek yayılan yer hareketi modeli göz önünde bulundurularak izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprülerinin stokastik analiz formülasyonu sunmuştur. Stokastik davranışın belirlenmesinde izolasyon etkilerinin tepki değerleri irdelemiştir.

Alhan ve Gavin, (2004) büyük ivme değerlerine sahip yakın saha yer hareketlerine maruz sismik yalıtımlı binaların korunmasına yönelik pasif olarak doğrusal ve doğrusal

olmayan sönümleme konusunda parametrik bir çalışma yapmıştır. Viskoz veya lineer visko-elastik aygıtlarla sönümleme elde edildiği zaman, birinci derecen bir formülasyon ve frekans tanım alanı metodu kullanarak yapının dinamik davranışının anlaşılabilirliğini belirtmişlerdir. Sönümleme etkisi akma veya sürtünme gibi doğrusal olmayan yöntemlerle sağlandığından, yapı davranışının analizinde zaman tanım alanı hesap yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Yozgat ve Hüsem (2004), deprem etkilerine karşı dayanıklı yapı tasarımında kullanılan aktif ve pasif yapı kontrol sistemlerini incelemiştir. Z1 ve Z4 yerel zemin sınıfları için ankastre, sismik taban izolasyonlu ve viskoz-sıvı sönümleyici sistemler kullanılarak modellenen altı katlı bir yapı modeli üzerinde modal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda her iki zemin turu için sismik kontrol yöntemlerinin kullanıldığı yapılarda, ankastre mesnetli geleneksel olarak tasarlanmış yapıya göre, kesit tesirlerinin azaldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda sismik kontrol sistemlerinin Z1 yerel zemin sınıfı için, Z4 yerel zemin sınıfına nazaran, daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Doudoumis ve arkadaşları (2005), tarafından yapılan çalışmada uygun sonlu eleman mikro modellerin ve basitleştirilmiş modellerin mekanik davranışları birbirleriyle karşılaştırılmış, basitleştirilmiş sistemden elde edilen karakteristik parametrelerin doğruluğu sorgulanmıştır. Bu çalışmada araştırılan mesnetler, üreticiler tarafından verilen standart kurşun çekirdek mesnet boyutları ışığında analitik olarak modellenmiştir. Elde edilen analitik çözümler deneysel değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçların çok benzer olduğu gözlemlenmiştir. Düşey yük altında bulunan modeller, yatay tekrarlanan yüklere maruz bırakılmış ve mesnedin bölgesel gerilme, şekil değiştirme dağılımları üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca analitik çalışmalardan elde edilen yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi, kurşun kauçuk mesnet üreticileri tarafından verilen basitleştirilmiş elastoplastik çevrimsel eğriler ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

Derdiman (2006), planda düzensiz binaların depremsel kuvvetlerin etkisi altındaki burulma davranışının, taban yalıtımı ve viskoz sönümleyiciler gibi pasif kontrol sistemleri kullanılarak iyileştirilebilirliği araştırmıştır. Birbirinden farklı kat adedi, taban yalıtımı ve sönümleyici özelliklerine sahip olan çok sayıda bina modeli tasarlanmış ve bu modeller değişik deprem hareketlerinin etkisi altında zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Kontrol sistemi olarak sadece taban yalıtımı kullanıldığı yapılar, sadece sönümleyicilerin

kullanıldığı yapılar ve hem taban yalıtımı hem de sönümleyicilerin birlikte kullanıldığı yapılar için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı özetlenmiştir.

Acar (2006), sismik taban izolasyon sistemlerin tasarımında FEMA 273(1997) (Federal Emergency Management Agency) ve IBC2000 (International Building Code) yönetmeliklerini ele almıştır. Her iki yönetmelik için sismik izolasyon sistemlerin tasarımdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, yönetmeliklerin avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Yönetmeliklerin farklı zemin sınıfları için deprem kayıtlarının ölçeklendirme faktörü kavramına farklı yaklaşımları ele alınmıştır.

Mirkelam (2006), taban yalıtımı tekniğinin yüksek binalarda da uygulanabilmesine olanak veren bir kavram ortaya atmış ve yapı esnekliğinin tabanda toplandığı klasik taban yalıtımı yerine, hem tabana hem de üstyapının bazı katları arasına yerleştirilen izolatörler sayesinde bina yüksekliği boyunca dağıtılmış olan esnekliğin, binanın depremsel yalıtım performansını nasıl etkilediği araştırmıştır. Farklı yalıtım parametrelerine ve mesnet koşullarına sahip, kat adetleri bir ile yirmi arasında değişen, planda düzenli ve düzensiz betonarme bina modelleri oluşturulup, yeni yalıtım kavramına göre tasarlanan bina modellerinin, 1999 Marmara Depremi (Yarımcı-Petkim)'nin Kuzey – Güney bileşeni deprem girdisine göre zaman tanım alanında hesap yöntemi ile dinamik çözümlenmeleri yapılmış, elde edilen sonuçlar ankastre tabanlı ve geleneksel taban yalıtımlı modellerle karşılaştırılmıştır.

Purnachandra ve Jangid (2008), farklı izolasyon sistemleriyle modellenen kablolu köprünün deprem tepkilerini araştırmışlardır. Seçilen izolasyon sistemleri yüksek sönümlü kauçuk mesnet, kurşun çekirdekli kauçuk mesnet, sürtünmeli sarkaç sistemi ve esnek sürtünmeli sismik taban izolasyon sistemlerinden oluşmaktadır. Bütün mesnetlerde aynı anda hareket eden boyuna yönde yer hareketi uygulanmıştır. Köprünün deprem davranışını Newmark'ın adım adım integrasyon yöntemi ile köprünün temel hareket denklemini çözerek elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca izolatör parametrelerinin çeşitliliğinin etkinliği araştırılmıştır. Devrilme momenti, taban kesme kuvvetinde önemli azalmalar olduğu ve diğer dinamik tepkiler sismik izolatörler kullanılarak kontrol altına alındığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, esnek sürtünmeli taban izolatör ve kurşunlu kauçuk mesnetlerin performansı ve yüksek sönümlü kauçuk mesnet ve sürtünmeli sarkaç mesnetlerin performansından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Üstelik yüksek sönümlü kauçuk mesnedin ve kurşunlu kauçuk mesnedin sönüm oranındaki artış, söz konusu mesnetlerin taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirmelerini azalttığı sonucuna

varılmıştır. Yapıdaki izolasyon periyodu, seçilen yer hareketinin türünün yanı sıra izolatörlere bağlı olduğu belirlenmiştir.

Özdemir (2010), sismik izolasyonlu binaların tasarım aşamasında eşdeğer deprem yük yöntemi ile elde edilen iki önemli parametre olan maksimum izolatör yerdeğiştirme ve maksimum kesme kuvveti değerlerinin, yakın kaynaklı depremlerin her iki doğrultuda da etkisi dikkate alındığında bu yöntem ile elde edilen değerlerin ne derece doğru olduğunu incelenmiştir. Bunun için doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen değerlerle, bu sonuçları karşılaştırmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi aşamasında kullanılacak deprem kayıtlarının hangi kriterler göz önünde bulundurularak seçileceği ve bu seçilen deprem kayıtlarının nasıl ölçeklendirileceği hakkında bilgi vermiştir. Üç ve yedi katlı iki farklı simetrik betonarme binanın iki farklı zemin sınıfında SAP2000 adlı yapısal analiz programı ile analizinde, deprem ölçeklendirme yöntemi kullanılarak sismik izolasyonlu yapıların tek ve çift doğrultulu deprem hareketleri altında davranışlarındaki değişimleri incelenmiştir. Son olarak da çift doğrultulu deprem analizlerinin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla izolatörlerin her iki yatay doğrultudaki bağımlı hareketi OpenSees isimli programa modellenerek eklenmiştir.

Soyluk (2010), düşeyde ve planda düzensizlik durumlarının tümünü içeren L şeklinde kalıp planına sahip düzensiz bir betonarme yapı ankastre tabanlı, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli olarak modellenip maksimum yer ivmesi 0,52 g olan Erzincan deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında hesap yöntemi ile dinamik analiz yapmıştır. Elde edilen sonuçları karşılaştırmış ve sismik taban izolasyon sistemlerin tasarımda serbestlik sağlamasına rağmen tasarımcıların düzensiz yapılarda bu konuya yönelmesini tavsiye etmemiştir. Ayrıca sismik izolasyon sistemlerinin tarihi yığma binalarda uygulanması kapsamında Mimar Sinan'ın eseri Şehzade Mehmet Cami SAP2000 bilgisayar programında modellenmiş ankastre mesnetli, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetli olarak davranış spektrum yöntemiyle dinamik analizleri yapılmıştır. Sonuçlar sismik izolasyon sistemlerin tarihi yığma yapıların dinamik davranışlarını iyileştirdiğini göstermektedir.

Özkaya (2010), yaygın olarak kullanılan elastomer mesnedin ortasındaki boşluğa küçük çaplı çelik bilyeler doldurularak Bilyeli Kauçuk Mesnet adında yeni bir kauçuk esaslı sismik izolatör geliştirmiştir. Değişik geometrik ve malzeme özelliklerine sahip üretilen çok sayıda bilyeli kauçuk mesnet üzerinde deneysel çalışma ve testler yapılmıştır. Deney sonuçları, mesnedin ortasındaki küçük çelik bilyelerin yatay yüklerden meydana gelen

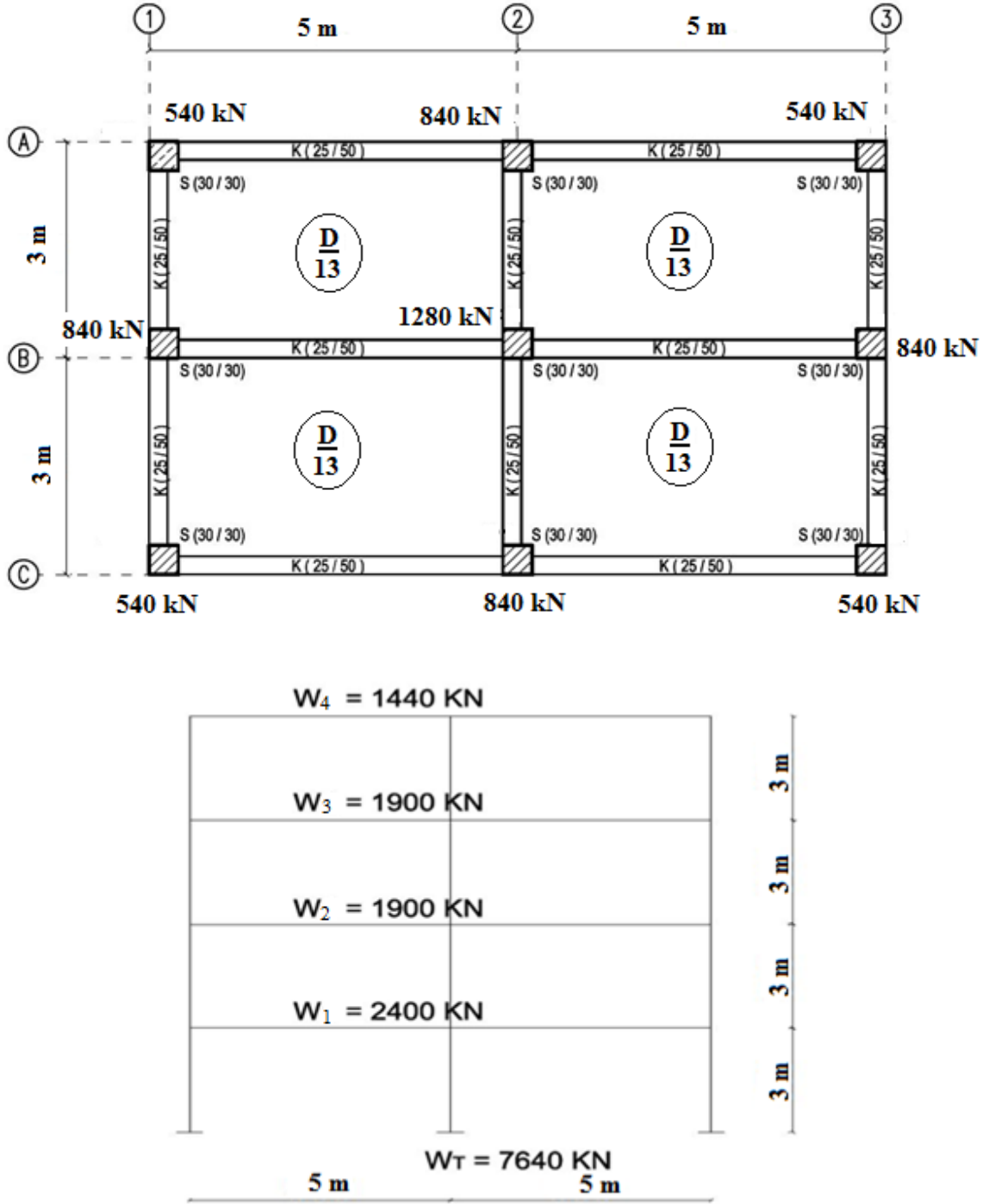
ötenmeler sırasında birbirlerine sürtünerek elastomer mesnedin enerji sönümleme kapasitesinin arttırdığını ve ayrıca yatay ve düşey rijitliğinin de arttırdığını göstermiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sismik izolasyonlu yapı tasarımında ele alınan yöntemler hakkında verilen bilgileri tamamlamak amacıyla basit bir yapı örneği üzerinde, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yüksek sönümlü kauçuk mesnet ve sürtünmeli sarkaç mesnet, sonra tepki spektrumu yöntemi kullanılarak kurşun çekirdekli kauçuk mesnet tasarlanmış ve yönetmelik koşullarına göre denetimleri yapılmıştır. Ardından zaman tanım alanında hesap yöntemiyle farklı yüksekliklere sahip betonarme binalar, ankastre mesnetli ve sismik izolasyon sistemli olarak SAP 2000 bilgisayar programında modellenmiş, sismik taban izolatörlerin binaların yapı yüksekliğine bağlı olarak deprem davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2.1. Sismik İzolasyonlu Yapı Tasarımında İzolatör Tasarımı

Sismik izolasyonlu olarak modellenen örnek yapı, Trabzon'da (41.0, 39.8) boylam ve enlem koordinatlarındadır. Zemin grubu B dir. Örnek yapı modeline ait kalıp planı, kat yükseklikleri ve ağırlıkları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bina, her bir zemin kat kolonunun altına bir adet izolatör gelecek şekilde toplam 9 adet izolatör yerleştirilerek yalıtılmıştır. Binanın zemin katta kolona gelen yükler plan üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Örnek yapı modeline ait kalıp planı, kat yükseklikleri ve ağırlıkları

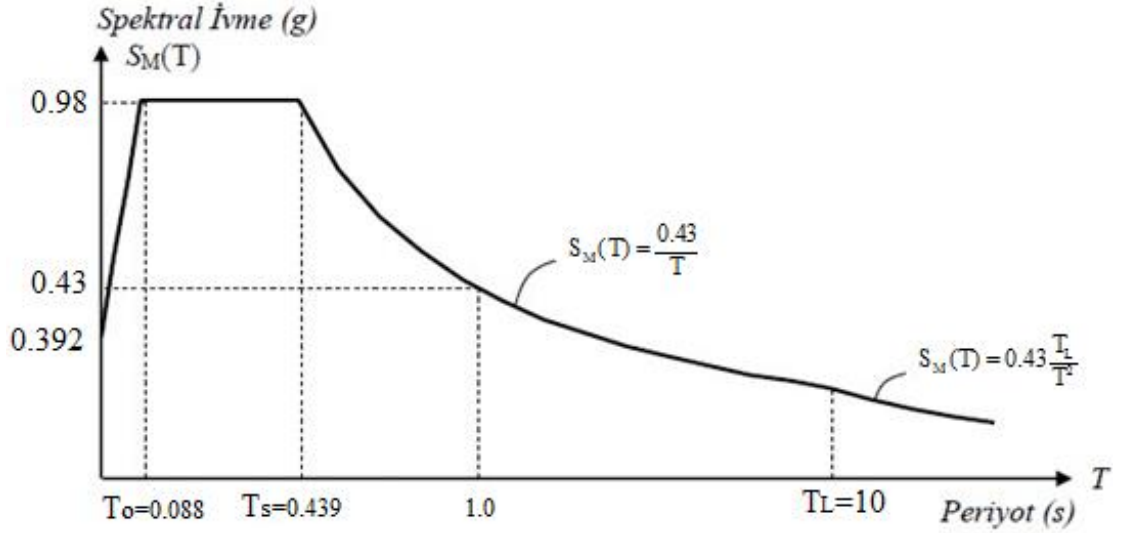
Sismik izolasyonlu yapı tasarımında, bu koordinatlardaki K1y1 ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Esasları yönetmeliğinde (D1), (D2) ve (D3) deprem düzeyleri için kısa doğal titreşim periyodu (0.2 saniye) ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivme değerleri (sırası ile S_S ve S_1), DBYBHY'den elde edilen spektral ivmelerden daha elverişsiz olduğu

için güvenli tarafta kalabilmek amacıyla bu yönetmelikteki spektral ivmeler göz önüne alınmıştır. Yapı koordinatlarında B grubu zemin için verilen spektral ivme değerleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Yapı koordinatları için verilen spektral ivme değerleri

Koordinat		Kısa Periyod için Spektral İvme (g) - S_s			1.0 sn Periyodu için Spektral İvme (g) - S_1		
		50 yılda aşılma olasılığı			50 yılda aşılma olasılığı		
Boy.	En.	% 50	% 10	% 2	% 50	% 10	% 2
41.0	39.8	0.34	0.63	0.98	0.13	0.26	0.43

Tablo 2.1.'de verilen servis (D1), tasarım (D2) ve en büyük (D3) deprem seviyelerine göre ivme spektrumlarını ayrı ayrı çizmek mümkündür. Bu uygulamada daha elverişsiz yüklere göre tasarım yapmak amacıyla en büyük deprem düzeyi ele alınmıştır. Buna göre, $S_M(0.2)=0.98$ ve $S_M(1)=0.43$ değerleri yerine konularak en büyük ivme spektrumu Şekil 2.1.'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 2.2. Örnek yapı için en büyük deprem ivme spektrumu

2.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Elastomer Mesnet Tasarımı

Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, izolasyon sisteminin ön tasarımıda fikir edinmek için kullanılmaktadır. Genelde izolasyonlu yapının hedef periyodu, ankastre mesnetli olarak modellenmiş yapının periyodunun 2 veya 3 katı olarak seçilmektedir. Seçilecek izolatörün istenilen özellikleri aşağıdaki gibidir.

Hedeflenen periyot; $T_M=2,5\text{sn}$

Maksimum kayma şekildeğiştirmesi, $\gamma_{\max} = 150\%$

Etkili sönüm oranı, $\beta_{\text{eff}} = 20\%$

Üretici firmanın deney raporlarından elde edilen seçilecek malzeme özellikleri,

Kauçuğun kayma modülü, $G=1\text{MPa}$

Kopma şekildeğiştirmesi, $\varepsilon_b = 500\%$

Düşey yük taşıma kapasitesi, $\sigma_b = 7\text{MPa}$

İzolatör mesnedinin üzerindeki en büyük yük $W=1280\text{ kN}$ olmak üzere, izolatörün etkili yatay rijitliği yaklaşık olarak;

$$K_{\text{eff}} = \frac{W_i}{g} \left(\frac{2\pi}{T_M} \right)^2 = \frac{1280}{9,81} \left(\frac{2\pi}{2,5} \right)^2 = 824 \text{ kN/m}$$

dir. Maksimum yerdeğiştirmedeki izolasyon sisteminin sönüm katsayısı, β_M ;

$$\frac{1}{\beta_M} = 0,25(1 - \ln\beta_{\text{eff}}) \rightarrow \frac{1}{\beta_M} = 0,25(1 - \ln 0,2) \rightarrow \beta_M = 1,53$$

şeklinde elde edilmiştir. Böylece izolatörün en büyük yatay yerdeğiştirme;

$$D_M = \frac{g}{4\pi^2} \left(\frac{S_M(1)T_M}{\beta_M} \right) = \frac{9,81}{4\pi^2} \left(\frac{0,43 \times 2,5}{1,53} \right) = 0,17\text{m} = 17\text{cm}$$

olarak hesaplanmıştır. İzolatörün boyutlandırması için gerekli olan parametreler ise aşağıda verilmiştir. Maksimum kayma şekildeğiştirmesi, $\gamma_{\max} = 1,5$ için toplam kauçuk tabaka kalınlığı;

$$t_r = \frac{D_M}{\gamma_{\text{maks}}} = \frac{17}{1,5} = 11.33 \cong 12 \text{cm}$$

dir. Şekil faktörünün elde edilmesinde, mesnedin düşey rijitliği olan K_v ,

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r}$$

bağıntısı ile yatay rijitliği olan K_h ,

$$K_h = \frac{GA}{t_r}$$

bağıntısı oranlanırsa,

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{E_c}{G} = \frac{6GS^2}{G} = 6S^2 \geq 400$$

şekil faktörü S ,

$$S \geq 8,16$$

olarak elde edilmiş olur. Şekil faktörü 8,16'nın üzerinde seçilmesi koşulu dikkate alınarak şekil faktörünün (S) 20 seçilmesi tasarım açısından uygun bir yaklaşım olmaktadır. Böylece tekil bir dairesel sıkıştırılamaz kabul edilen kauçuk tabakanın basınç modülü,

$$E_c = 6GS^2 = 6 \times 1 \times 20^2 = 2400 \text{ MPa}$$

olarak elde edilir.

İzolatör alanın hesabı:

a) Mesnedin üzerindeki yükü taşıyabilmesi koşulu,

$$\sigma_c = \frac{W_i}{A_i} \leq \sigma_b \quad \Rightarrow \quad \frac{1280}{A_i} \leq 7000 \quad \Rightarrow \quad A_i \geq 0,183 \text{ m}^2$$

sağlanmalıdır.

b) Kauçuk tabakanın bünyesinde oluşan maksimum kayma şekildeğiştirmesi değeri basınç şekildeğiştirmesine (ϵ_c) bağlı olarak,

$\gamma_c = \frac{\epsilon_b}{3}$ koşulu için ($\epsilon_b = 500\%$) $\gamma_c = 6S\epsilon_c$ olmak üzere,

$$6S \frac{W_i}{A_2 E_c} \leq \frac{\epsilon_b}{3} \quad \Rightarrow \quad 6 \times 20 \times \frac{1,28}{A_2 \times 2400} \leq \frac{5}{3} \quad \Rightarrow A_2 \geq 0,038 \text{ m}^2$$

koşulu sağlanmalıdır.

c) İzolatörün yatay rijitliği,

$$A_3 = \frac{K_{\text{eff}} t_r}{G} = \frac{0,824 \times 0,12}{1} = 0,099 \text{ m}^2$$

koşulu sağlanmalıdır. İzolatörün alanı için bu üç koşuldan elde edilen alanlardan (A_1, A_2, A_3) en olumsuz olanı (en büyüğü) alınır. Bu örnekte söz konusu izolatör alanı $A_1 = 0,183 \text{ m}^2$ olarak elde edilmiştir. Bu alan için izolatörün çapı $R = 0,48 \text{ m}$ olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla da izolatör çapı (d), 50 cm ve alanı $0,196 \text{ m}^2$ olarak seçilmiştir. İzolatör çapı ile en büyük yerdeğiştirme (D_M) arasındaki, yönetmelikte verilen koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilerek, seçilen izolatör çapının uygunluğu araştırılmıştır. Buna göre yönetmelik gereği $D_M \leq 0,7R$ olmalıdır. Daha önce hesaplanan en büyük yerdeğiştirme (D_M) olduğundan ($0,17 \text{ m} \leq 0,35 \text{ m}$) yönetmelik koşulu sağlanmaktadır.

Her bir kauçuk tabakanın kalınlığı şekil faktöründen belirlenmektedir. Buna göre kauçuk tabakanın kalınlığı (t),

$$S = \frac{d}{4t} \quad \Rightarrow t = 0,625 \text{ cm}$$

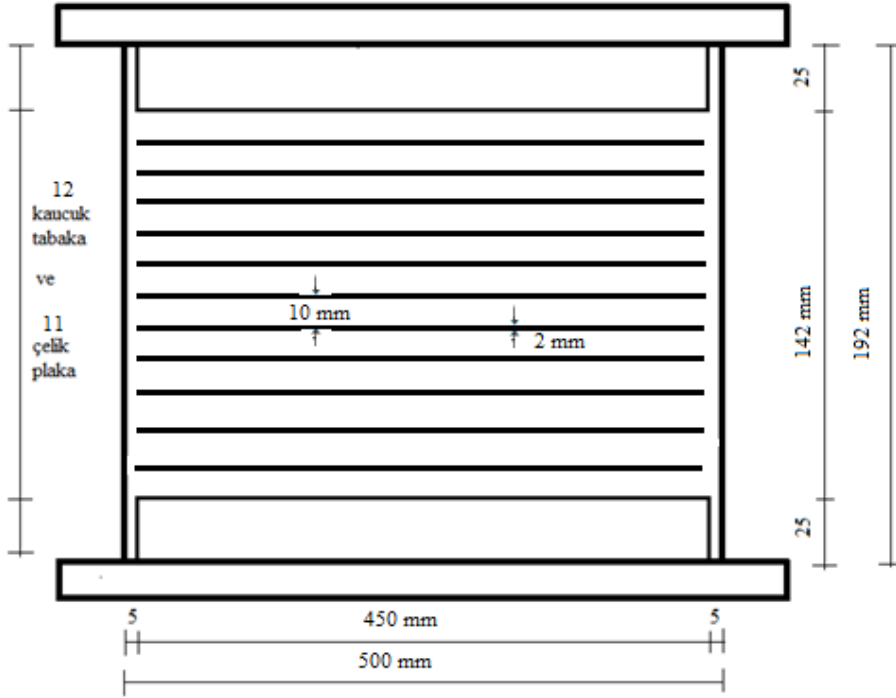
olarak elde edilmiştir. Buna göre $\frac{d}{80} \leq t \leq \frac{d}{40}$ koşulunu sağlayacak şekilde $t = 1 \text{ cm}$ seçilmiştir. Dolayısıyla izolatördeki kauçuk tabaka sayısı ($N_{\text{elastomer}}$), $t_r/t = 12/1 = 12$ adet olarak elde edilmiştir. İzolatörde bulunan çelik plaka sayısı, kauçuk tabaka sayısının bir eksiği olmalıdır. Buna göre izolatörde 11 adet çelik plaka ($N_{\text{çelik}}$) bulunacaktır ve kalınlığı (t_s), yanal ötelenmeden dolayı düşey yükün bindiği azaltılmış alan A_r olmak üzere;

$$A_r = \frac{0,5^2}{4} \left[2 \cos^{-1} \left(\frac{0,17}{0,5} \right) - \sin \left(2 \cos^{-1} \left(\frac{0,17}{0,5} \right) \right) \right] = 0,113 \text{ m}^2$$

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1})(W_i)}{(0,6x F_y) A_r} \geq 0,002m$$

$$t_s \geq \frac{2(0,01+0,01)(1,28)}{(0,6x365)0,113} = 0,002$$

2 mm olarak seçilmiştir. İzolatörün alt ve üst kısımlarında 25 mm lik başlık plakaları yerleştirilirse izolatörün toplam yüksekliği (H), 2xbaşlık plaka kalınlığı + N_{elastomer} x kauçuk tabaka kalınlığı + N_{çelik} x çelik plaka kalınlığı olmak üzere 192 mm dir.



Şekil 2.3. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün düşey kesiti ve boyutları

Bir izolatörde mesnet çevresi boyunca 5 mm kalınlığında kauçuk koruma tabakası bulunmaktadır. Tasarlanan elastomer mesnedin yatay rijitliği ise,

$$K_h = \frac{GA}{t_r} = \frac{1000x0,196}{0,12} = 1633 \text{ kN/m}$$

olarak elde edilmiştir. Seçilen örnekte dokuz adet kolon dolayısıyla da izolasyon seviyesinde 9 adet elastomer mesnet bulunduğundan sistemin toplam yatay rijitliği,

$$\sum K_h = 9K_h = 9x1633 = 14697 \text{ kN/m}$$

dir. Sistemin yatay titreşim periyodu ise,

$$T_h = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \sum K_h}} = 2\pi \sqrt{\frac{7640}{14697 \times 9,81}} = 1,45 \text{ sn}$$

olur. İzolasyon sisteminin altında kalan elemanlar için tasarım kesme kuvveti,

$$V_b = \sum K_h D_M = 14697 \times 0,17 = 2498 \text{ kN}$$

ve izolasyon sisteminin üstünde olan elemanlar için tasarım kesme kuvveti,

$$V_s = \frac{\sum K_h D_M}{R} = \frac{14697 \times 0,17}{2} = 1249 \text{ kN}$$

şeklindedir. Bu bağıntıdaki R taşıyıcı sistem azaltma katsayısı olup değeri izolasyonlu bir sistemde moment aktaran çerçeveler için 2 alınmıştır. İzolatördeki sismik taban kesme kuvveti C_s ,

$$C_s = \frac{V_s}{W} = \frac{1249}{7640} = 0,16 \Rightarrow \%16$$

dir. İki çelik levha arası kauçuk kalınlığı $t=10$ mm için şekil faktörü,

$$S = \frac{R}{4t} = \frac{500}{4 \times 10} = 12,5$$

olur. Tam daire içindeki kauçuk tabakalar için basınç modülü,

$$E_c = 6GS^2 = 6 \times 1 \times 12,5^2 = 937,5 \text{ MPa}$$

olduğundan izolatörün düşey rijitliği,

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} = \frac{937,5 \times 10^3 \times 0,196}{0,12} = 1531 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

sistemin toplam düşey rijitliği ise,

$$\sum K_v = 9K_v = 9 \times 1531 \times 10^3 = 13781 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

olarak elde edilmiştir. Yapının düşeyde yapmış olduğu toplam tasarım yerdeğiştirmesi,

$$\Delta t = \frac{W}{\sum K_v} = \frac{7640}{13781} = 0,55 \text{ mm}$$

dir. Bu değer genellikle ihmal edilebilecek seviyesindedir. Örnek yapının düşey titreşim periyodu ise,

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} = \frac{1,45}{\sqrt{6 \times 12,5}} = 0,17 \text{ sn}$$

olur. Burulmanın yerdeğiştirmeye olan etkisi göz önüne alınırsa, plan boyutları 10 m ve 6 m olan yapının dışmerkezliği (e),

$$e = \text{gerçek dışmerkezliği} + 0,05 \times L \rightarrow e = 0,5 \text{ m}$$

olmak üzere toplam maksimum yerdeğiştirmesi,

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \left(\frac{12e}{L_x^2 + L_y^2} \right) \right] = 0,17 \left[1 + 3 \left(\frac{12 \times 0,5}{10^2 + 6^2} \right) \right] = 0,19 \text{ m}$$

olur. Burada y mesafesi, yapının deprem doğrultusuna dik kenarın köşesindeki en uzak mesnedin mesafesidir. Kauçuk mesnet için burkulma denetiminde kritik yük;

$$P_{\text{kritik}} = \sqrt{P_S P_E}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada çelik kısım için kritik yük olan P_S ,

$$P_S = GA_s = GA \frac{h}{t_r}$$

ve elastomer kısım için kritik yük olan P_E ,

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{\text{eff}}}{h^2} = \frac{\pi^2}{h^2} E_c \frac{1}{3} I \frac{h}{t_r} = \frac{2\pi^2 GS^2 Ar^2}{ht_r}$$

değerleri yerine konulduğunda kritik yük;

$$P_{\text{kritik}} = \frac{\sqrt{2\pi GASr}}{t_r}$$

şeklinde elde edilmektedir. Atalet yarı çapı (r), dairesel mesnet için;

$$r = \sqrt{I/A} = d/4 = 0.5/4 = 0.125$$

olduğundan kritik yük P_{kritik} ;

$$P_{\text{kritik}} = \frac{\sqrt{2} \times \pi \times 1000 \times 12,5 \times 0,196 \times 0,125}{0,12} = 11339 \text{ kN}$$

olarak elde edilmektedir. Bu durumda, $P_{\text{kritik}} = 11339 \text{ kN} \gg W_i = 1280 \text{ kN}$ olmaktadır.

Kritik yükün yapı ağırlığına oranı (güvenlik faktörü), $P_{\text{kritik}}/W_i \geq 3$ olmalıdır. Buradan bu koşul, $11339/1280 = 8,8 \geq 3$ şeklinde sağlamaktadır. Toplam yerdeğiştirme için aşağıda verilen koşul sağlanmalıdır.

$$D_{\text{TM}} \leq \left(1,5 - \frac{3}{P_{\text{kritik}}/W_i}\right)R$$

Buradan,

$$0,19 \leq \left(1,5 - \frac{3}{11339/1240}\right)0,5 \rightarrow 0,23 \leq 0,58$$

söz konusu koşulun sağlandığı gözükmektedir.

Büyük yanal yerdeğiştirme altında stabilite kontrolleri yapılırken kolona deprem kuvvetinden gelen yükü de hesaba katılmalıdır. Orta kolona yaklaşık 50 kN luk deprem kuvveti geldiği varsayılırsa, orta kolonun yükü;

$$P_{i+eq} = W_i + F_{eq} = 1280 + 50 = 1330 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Toplam düşey yüklerin basıncından meydana gelen maksimum kayma şekildeğiştirmesi,

$$\gamma_{c,eq} = 6S\varepsilon_c < \frac{\varepsilon_b}{3}$$

şartını sağlamalıdır. Kayma şekildeğiştirmesi ($\gamma_{c,eq}$) düzenlenirse,

$$\gamma_{c,eq} = 6S \frac{P_{i+eq}}{A_r E_c} = 6S \frac{P_{i+eq}}{A_r 6GS^2}$$

$$\gamma_{c,eq} = \frac{D_c \sigma_c}{GS}$$

bağıntısı elde edilir. Burada D_c dairesel ve dikdörtgen mesnetler için değeri 1 olan şekil faktörüdür. Dolayısıyla da

$$\gamma_{c,eq} = \frac{1 \times 1330}{1000 \times 12,5 \times 0,113} = 0,94 < \frac{\epsilon_b}{3} = \frac{5}{3} = 1,67$$

kayma şekildeğiştirme koşulunu sağlamaktadır. Sismik yanal yerdeğiştirme yüzünden meydana gelen kayma şekildeğiştirmesi γ_{s+eq} ,

$$\gamma_{s,eq} = \frac{D_M}{t_r} < 2,5$$

koşulunu sağlamalıdır. Buradan $0,17/0,12=1,42 < 2,5$ sözkonusu koşulun sağlandığı gözükmemektedir. Dönme sebebiyle kayma şekildeğiştirmesi ise,

$$\gamma_r = \frac{D_r d^2 \theta}{t_r t}$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada D_r , dönme sebebiyle olan kayma şekildeğiştirmesi için şekil faktörü olup değeri dairesel mesnetler için 0,375 dir. Mesnedin dönme açısı θ ,

$$\theta = \frac{12 D_M e}{L_x^2 + L_y^2} = \frac{12 \times 0,17 \times 0,5}{10^2 + 6^2} = 0,0075$$

olarak hesaplanmaktadır. Buradan dönme kayma şekildeğiştirmesi γ_r ,

$$\gamma_r = \frac{0,375 \times 50^2 \times 0,0075}{1 \times 12} = 0,59$$

olarak belirlenmiştir. Toplam kayma şekildeğiştirmeleri için,

$$\gamma_{c,eq} + \gamma_{s+eq} + 0,5 \gamma_r < 5,5$$

$$\gamma_{c,eq} + \gamma_{s+eq} + \gamma_r < 0,75 \times \epsilon_b$$

yönetmelik koşulları sağlanmalıdır. Burada,

$$0,94 + 1,42 + 0,5 \times 0,59 < 5,5 \rightarrow 2,65 < 5,5$$

$$0,94 + 1,42 + 0,59 < 0,75 \times 5 \rightarrow 2,95 < 3,75$$

şeklinde koşulların sağlandığı görülmektedir. Mesnedin dışarı yuvarlanma (roll out) denetimi ise $\delta_{\text{maks}} > D_{\text{TD}}$ şeklinde yapılmaktadır. Burada δ_{maks} ,

$$\delta_{\text{maks}} = \frac{P d}{(P + K_{\text{eff}} H)}$$

bağıntısıyla verilmektedir. Bu denetim,

$$\delta_{\text{maks}} = \frac{1330 \times 0,5}{(1330 + 824 \times 0,192)} = 0,45 \text{ m} > 0,23 \text{ m}$$

şeklinde sağlanmıştır. Seçilen izolatör yönetmelik koşullarını sağladığından tasarım için uygundur.

2.1.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Sürtünme Sarkaç Mesnet Tasarımı

Sürtünmeli sarkaç mesnedin tasarımında, hedef periyot (T) 2,5 saniye, sürtünme kuvvetini (μ) 0,06 ve izolatör yerdeğiştirmesi (D) 20 cm olarak kabul edilirse; küresel kayma yüzeyinin eğrilik çapı (R),

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad \Rightarrow \quad 2,5 = 2\pi \sqrt{\frac{R}{9,81}} \quad \Rightarrow \quad R = 1,5 \text{ m}$$

olarak elde edilmiş olur. Bu durumda izolatörün etkili rijitliği (K_{eff}),

$$K_{\text{eff}} = \frac{W_i}{R} + \frac{\mu W_i}{D} = \frac{1280}{1,5} + \frac{0,06 \times 1280}{0,2} = 1237 \text{ kN/m}$$

olarak belirlenir. İzolatörde meydana gelen yatay yerdeğiştirme ile birlikte üst yapının yükselmesinden dolayı meydana gelen geri getirici kuvvetten elde edilen yatay (ikincil) rijitlik (K_2),

$$K_2 = \frac{W_i}{R} = \frac{1280}{1,5} = 853 \text{ kN/m}$$

şeklinde elde edilmiştir. İzolatörün etkili sönüm oranı (β_{eff}),

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{4\mu W_i D}{2\pi D^2 \left(\frac{W_i}{R} + \frac{\mu W_i}{D} \right)} = \frac{2\mu}{\pi \left(\frac{D}{R} + \mu \right)} = \frac{2 \times 0,06}{\pi \left(\frac{0,20}{1,5} + 0,06 \right)} = 0,2$$

ve sönüm katsayısı (β_M),

$$\frac{1}{\beta_M} = 0,25(1 - \ln \beta_{\text{eff}}) \rightarrow \frac{1}{\beta_M} = 0,25(1 - \ln 0,20) \rightarrow \beta_M = 1,53$$

şeklinde hesaplanmıştır. Böylece izolatörde meydana gelen en büyük deprem seviyesindeki yerdeğiştirme (D_M),

$$D_M = \frac{g}{4\pi^2} \left(\frac{S_M(1) T_M}{\beta_M} \right) = \frac{9,81}{4\pi^2} \left(\frac{0,43 \times 2,5}{1,53} \right) = 0,17 \text{ m} = 17 \text{ cm}$$

olarak belirlenmiştir. Bu yerdeğiştirme miktarı başta seçilen hedef yerdeğiştirme miktarından ($D=20\text{cm}$) daha küçük olduğu için seçilen hedef yerdeğiştirme tasarım için uygun olmaktadır. İzolatörün karakteristik dayanım (Q_d) veya etkin akma kuvveti (F_y) ise;

$$Q_d = F_y = \mu W_i = 0,06 \times 1280 = 76,8 \text{ kN}$$

olarak hesaplanmıştır. İzolatörün düşey yerdeğiştirmesi yaklaşık olarak,

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D}{R} \right) \right] \cong \frac{D^2}{2R} = \frac{0,2^2}{2 \times 1,5} = 0,013 \text{ m} = 1,3 \text{ cm}$$

şeklinde elde edilmiştir. Böylece disk derinliği (h_d), izolatörün düşey yerdeğiştirmesinden (δ_v) büyük olacak şekilde 1.7 cm olarak seçilmiştir. Disk çapı (d_d) ise; izolatörün yatay yerdeğiştirmenin iki katından daha büyük olmak üzere ($2D=2 \times 20=40 \text{ cm}$) 45 cm olarak seçilmiştir. İzolatörün yatay hareketi sonrası geri merkezlenme durumu,

$$\frac{D}{R} > \mu$$

bağıntısıyla kontrol edilmektedir. Seçilen izolatör için bu koşul;

$$\frac{0,2}{0,15} = 0,13 > 0,06$$

şeklinde sağlanmıştır. Dolayısıyla da sürtünmeli sarkaç mesnet modeli için seçilen izolatör parametreleri tasarım için uygun olmaktadır.

2.1.3. Tepki Spektrumu Yöntemi ile Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Tasarımı

İzolasyon sistemi doğrusal olmayan sistemler olduğu için, tepki spektrumu yöntemindeki çözüm adımlarına ya periyot ya da yerdeğiştirme seçilerek iterasyona (tekrarlama) başlanmaktadır. İzolasyon sisteminin istenilen özellikleri, ilgili ivme spektrumdan seçilen izolasyon periyoduna denk gelen spektral ivmelerden elde edilmektedir.

İzolatörün hakim periyodu olan elastik sonrası (akma sonrası) periyodu (T_2) 2,5 sn olarak kabul edilirse ikincil rijitliği (K_2);

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{W_i}{gK_2}} \Rightarrow 2,5 = 2\pi \sqrt{\frac{1280}{9,81 \times K_2}} \Rightarrow K_2 = 824 \text{ kN/m}$$

olarak elde edilir. İzolasyonlu bir yapının Q_d/W oranı faya yakın ise %10, uzak ise %5-7 seviyelerinde seçilmektedir. Bu oranın %10 seçilmesi durumunda karakteristik dayanım (Q_d),

$$Q_d/W = 0,1 \rightarrow Q_d = 0,1 \times 1280 = 128 \text{ kN}$$

şeklinde elde edilmiştir. İzolatörün yaptığı yatay yerdeğiştirme miktarını hesaplamak amacıyla başta yerdeğiştirme miktarı kabul edilerek iterasyon (tekrarlama) çözümüne başlanır. Hesaplanan yerdeğiştirme miktarı ile kabul edilen yerdeğiştirme değeri arasındaki fark fazla ise bulunan sonuçlar başlangıçta kabul edilen değerlerin yerine konularak tekrar hesaplanmaktadır. Bu iterasyon işlemine sonuçlar aralarındaki farkın kabul edilebilir seviyeye inene kadar devam edilmektedir. Örneğin izolatördeki maksimum yerdeğiştirme

(d_{maks}) miktarını 0,3 m olduğunu varsayarak çözüme başlanırsa bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen maksimum kuvvet (F_{maks}),

$$F_{\text{maks}} = Q_d + K_2 d_{\text{maks}} = 128 + 824 \times 0,3 = 375,2 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Buna bağlı olarak etkili rijitlik,

$$K_{\text{eff}} = \frac{F_{\text{maks}}}{d_{\text{maks}}} = \frac{375,2}{0,3} = 1251 \text{ kN/m}$$

ve etkili periyot,

$$T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{W_i}{gK_{\text{eff}}}} = 2\pi \sqrt{\frac{1280}{9,81 \times 1251}} = 2,03 \text{ sn}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Şekil 2.1'deki en büyük deprem ivme spektrumundan $T_{\text{eff}} = 2,03 \text{ sn}$ denk gelen spektral ivme, $0,212g \rightarrow S_{M(T)} = 2,08 \text{ m/sn}^2$ olarak elde edilir.

$K_1 \cong 10K_2$ yaklaşık kabulüyle izolatördeki akma yerdeğiştirmesi (d_y),

$$d_y = \frac{Q_d}{K_1 - K_2} = \frac{Q_d}{9K_2} = \frac{128}{9 \times 824} = 0,017 \text{ m}$$

olarak elde edilmiştir. İzolatörün etkili sönüm oranı

$$\beta_{\text{eq}} = \frac{4Q_d(d_{\text{maks}} - d_y)}{2\pi K_{\text{eff}} d_{\text{maks}}^2} = \frac{4 \times 128 \times (0,3 - 0,017)}{2 \times \pi \times 1251 \times 0,3^2} = 0,2 \Rightarrow \%20$$

ve sönüm katsayısı,

$$\frac{1}{\beta} = 0,25(1 - \ln \beta_{\text{eff}}) \rightarrow \frac{1}{\beta} = 0,25(1 - \ln 0,2) \rightarrow \beta = 1,53$$

şeklinde hesaplanmıştır. Böylece izolatörün en büyük deprem seviyesindeki yerdeğiştirme (D_M),

$$D_M = \frac{S_M(T)T^2}{4\pi^2\beta} = \frac{2,08 \times 2,03^2}{4 \times \pi^2 \times 1,53} = 0,14 \text{ m}$$

olarak elde edilmiştir. Bu değer ile başta seçilen maksimum yerdeğiştirme değeri ($d_{maks}=0,3$ m) arasındaki fark fazla olduğu için çözüme yeni bulunan değer ($d_{maks}=0,14$ m) yerine konularak devam edilmektedir. Bu durumda 0,14 m yerdeğiştirme değerine karşılık gelen maksimum kuvvet (F_{maks}),

$$F_{maks} = Q_d + K_2 d_{maks} = 128 + 824 \times 0,14 = 243,36 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Buna bağlı olarak etkili rijitlik,

$$K_{eff} = \frac{F_{maks}}{d_{maks}} = \frac{243,36}{0,14} = 1738 \text{ kN/m}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada sistemin ilk duruma göre rijitleştiği gözlenmektedir. Etkili rijitlik,

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W_i}{gK_{eff}}} = 2\pi \sqrt{\frac{1280}{9,81 \times 1738}} = 1,72 \text{ sn}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Şekil 2.1'deki en büyük deprem ivme spektrumundan bu etkili periyoda denk gelen spektral ivme, $T_{eff} = 1,72 \text{ sn} \rightarrow S_{(T)} = 2,45 \text{ m/sn}^2$ şeklinde elde edilir. Etkili sönüm oranı,

$$\beta_{eq} = \frac{4Q_d(d_{maks} - d_y)}{2\pi K_{eff} d_{maks}^2} = \frac{4 \times 128 \times (0,14 - 0,017)}{2 \times \pi \times 1738 \times 0,14^2} = 0,29 \Rightarrow \%29$$

ve sönüm katsayısı

$$\frac{1}{\beta} = 0,25(1 - \ln \beta_{eff}) \rightarrow \frac{1}{\beta} = 0,25(1 - \ln 0,29) \rightarrow \beta = 1,79$$

şeklinde hesaplanmıştır. Yerdeğiştirmesi azalan bir sistemin eşdeğer sönümleme oranının daha yüksek olması aşikârdır. Böylece izolatörün en büyük deprem seviyesindeki yerdeğiştirme,

$$D_M = \frac{S_{(T)} T^2}{4\pi^2 \beta} = \frac{2,45 \times 1,72^2}{4 \times \pi^2 \times 1,79} = 0,10 \text{ m}$$

olarak elde edilmiştir. Bu değer ile başta seçilen maksimum yerdeğiştirme değeri ($d_{maks}=0,14$ m) arasındaki fark fazla olduğu için çözüme yeni bulunan değer ($d_{maks}=0,10$ m)

yerine konularak devam edilmektedir. Bu durumda 0,10 m yerdeğiştirme değerine karşılık gelen maksimum kuvvet (F_{maks}),

$$F_{\text{maks}} = Q_d + K_2 d_{\text{maks}} = 128 + 824 \times 0,10 = 210,4 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Buna bağlı olarak etkili rijitlik,

$$K_{\text{eff}} = \frac{F_{\text{maks}}}{d_{\text{maks}}} = \frac{210,4}{0,10} = 2104 \text{ kN/m}$$

ve etkili rijitlik,

$$T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{W_i}{gK_{\text{eff}}}} = 2\pi \sqrt{\frac{1280}{9,81 \times 2104}} = 1,56 \text{ sn}$$

şeklinde hesaplanır. Şekil 2.1'deki en büyük deprem ivme spektrumundan bu etkili periyoda denk gelen spektral ivme, $T_{\text{eff}} = 1,56 \text{ sn} \rightarrow S_{(T)} = 2,69 \text{ m/sn}^2$ olarak alınmaktadır. Etkili sönüm oranı,

$$\beta_{\text{eq}} = \frac{4Q_d (d_{\text{maks}} - d_y)}{2\pi K_{\text{eff}} d_{\text{maks}}^2} = \frac{4 \times 128 \times (0,10 - 0,017)}{2 \times \pi \times 2104 \times 0,10^2} = 0,32 \Rightarrow \%32$$

ve sönüm katsayısı,

$$\frac{1}{\beta} = 0,25(1 - \ln \beta_{\text{eff}}) \rightarrow \frac{1}{\beta} = 0,25(1 - \ln 0,32) \rightarrow \beta = 1,87$$

şeklinde hesaplanır. Böylece izolatörün en büyük deprem seviyesindeki yerdeğiştirme,

$$D_M = \frac{S_{(T)} T^2}{4\pi^2 \beta} = \frac{2,69 \times 1,56^2}{4 \times \pi^2 \times 1,87} = 0,09 \text{ m}$$

olarak elde edilmiştir. Burada, elde edilen değer ile başta seçilen maksimum yerdeğiştirme değerinin ($d_{\text{maks}} = 0,10 \text{ m}$) yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu görülmektedir. Bu nedenle izolasyon sisteminin maksimum yatay yerdeğiştirmesi 0,10 m alınabilir. Böylece maksimum kuvvet;

$$F_{\text{maks}} = Q_d + K_2 d_{\text{maks}} = 128 + 824 \times 0,10 = 210,4 \text{ kN}$$

şeklindedir. Böylece her mesnette gelen taban kesme kuvveti 210,4 kN olarak elde edilmiş olur. Bu durumda bina, yüksekliği boyunca $210,4/12=17,5$ kN/m değerinde yanal düzgün yayılı yüke maruz kalmaktadır. İzolatörün maksimum yerdeğiştirme miktarı ($d_{maks}=0,10$ m) için tasarımda kullanılacak etkili rijitlik K_{eff} ,

$$K_{eff} = \frac{F_{maks}}{d_{maks}} = K_2 + \frac{Q_d}{d_{maks}} = \frac{210,4}{0,10} = 2104 \text{ kN/m}$$

ve etkili periyot T_{eff} ,

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W_i}{gK_{eff}}} = 2\pi \sqrt{\frac{1280}{9,81 \times 2104}} = 1,56 \text{ sn}$$

olarak hesaplanmıştır. Etkin akma kuvveti F_y ,

$$F_y = Q_d + K_2 d_y = 128 + 824 \times 0,017 = 142 \text{ kN}$$

olmak üzere izolatörün ilk rijitliği K_1 ,

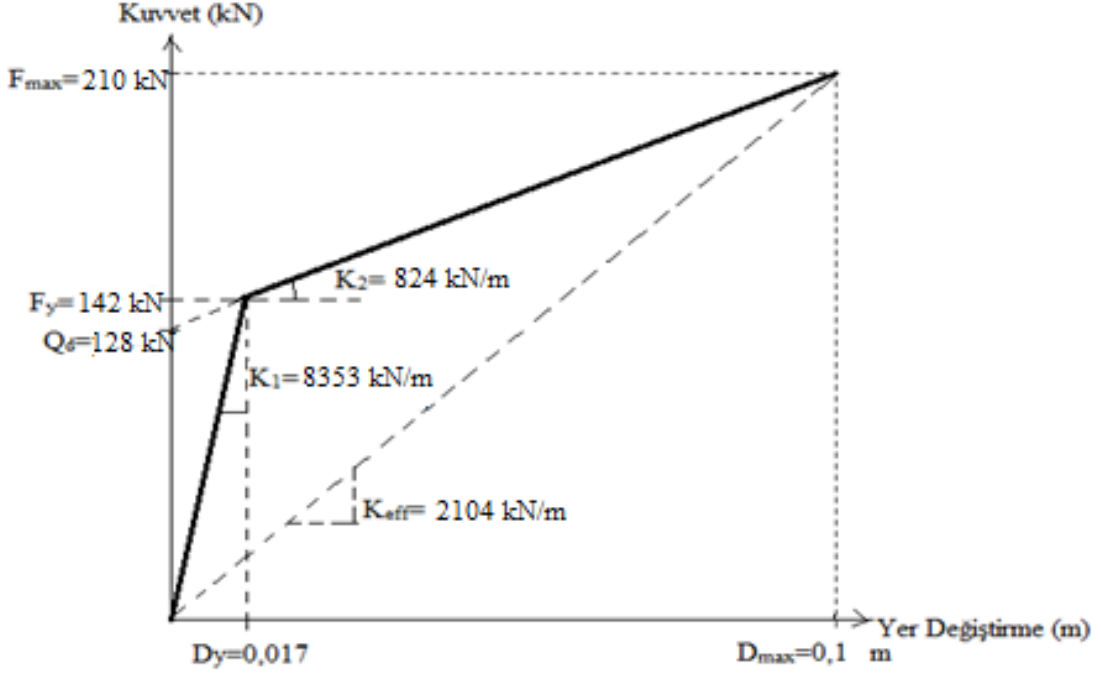
$$K_1 = \frac{F_y}{d_y} = \frac{142}{0,017} = 8353 \text{ kN/m}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, ilk rijitlik ile ikinci rijitlik arasındaki bağıntının yaklaşık olarak sağlandığı görülmektedir ($K_1 \cong 10K_2 \rightarrow 8353 \text{ kN/m} \cong 8240 \text{ kN/m}$).

İzolatörün depoladığı enerji, döngüsel eğrinin alanı yaklaşık olarak,

$$W_D = 4Q_d (d_{maks} - d_y) \cong 2\pi K_{eff} d_{maks}^2 \beta_{eq} = 4 \times 128 (0,10 - 0,017) = 42,5 \text{ kNm}$$

elde edilir. Kurşun çekirdekli kauçuk mesneden modellenmesinde kullanılan kuvvet-yerdeğiştirme grafiği, Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

İzolator boyutlandırmasında; kurşun çekirdek alanı, $A_{\text{kurşun}} = Q_d / f_{yd}$ olarak hesaplanmaktadır. Kurşun akma dayanımı, $f_{yd} = 10$ MPa olduğundan, bu alan 0.00128 m^2 olarak elde edilir. Burada çap $R_{\text{kurşun}} = 0.128$ metre olarak hesaplanmıştır. $R_{\text{kurşun}} \cong 0.13$ metre kabul edilmesi durumunda kurşun çekirdeğin alanı, $A_{\text{kurşun}} = 0.0133 \text{ m}^2$ olmaktadır. Maksimum kayma şekildeğiştirmesi %100 için toplam kauçuk tabaka kalınlığı,

$$t_r = \frac{d_{\text{maks}}}{\gamma} = \frac{0,10}{1} = 0,10 \text{ m}$$

dir. Şekil faktörü (S), yüksek sönümlü kauçuk mesnet çözümünde olduğu gibi

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{E_c}{G} = \frac{6GS^2}{G} = 6S^2 \geq 400 \quad \Rightarrow \quad S \geq 8,16$$

koşulu dikkate alınarak $S=20$ seçilmesi tasarım açısından uygun bir yaklaşımdır. Böylece basınç modülü,

$$E_c = 6GS^2 = 6 \times 1 \times 20^2 = 2400 \text{ MPa}$$

olarak elde edilir. İzolator alanının hesabında; mesnedin üzerindeki yükü taşıyabilme

$$\sigma_c = \frac{W_i}{A_i} \leq \sigma_b$$

koşulu sağlanmalıdır. Buradan $A_1 \geq 0,183 \text{ m}^2$ olarak elde edilmektedir. Basınç altında kayma şekildeğiştirme,

$$6S \frac{W_i}{A_2 E_c} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

koşulu sağlanmalıdır. Buradan $A_2 \geq 0,038 \text{ m}^2$ olarak elde edilmektedir. İzolatörün yatay rijitlik koşulu için ise,

$$A_3 = \frac{K_e t_r}{G}$$

şeklinde olmalıdır. Burada mesnedin elastik modülünü (K_e) hesaplamak için,

$$K_2 = K_e \left(1 + 12 \frac{A_{\text{kurşun}}}{A_{\text{mesnet}}}\right)$$

bağıntısında $K_e = 440 \text{ kN/m}$ elde edilir ve buradan alan $A_3 = 0,044 \text{ m}^2$ olarak elde edilir. İzolatör alanı için seçilecek değer maksimum (A_1, A_2, A_3) olmalıdır. Buradan $A_1 = 0,183 \text{ m}^2$ seçilirse izolatör çapı $R = 0,482 \text{ metre}$ olarak elde edilmektedir. Dolayısıyla da izolatör çapı $R = 0,50 \text{ m}$ ve alanı $0,196 \text{ m}^2$ olarak seçilmiştir. İzolatör çapının uygunluğu,

$$d_{\text{maks}} \leq 0,7R \quad \rightarrow \quad 0,10 \leq 0,7 \times 0,5 \quad \rightarrow \quad 0,10 \leq 0,35$$

şeklinde kontrol edilmiştir. Kurşun çekirdek çapı kontrolü ise;

$$\frac{1}{6} < \frac{R_{\text{kurşun}}}{R_{\text{mesnet}}} < \frac{1}{3} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{6} < \frac{0,13}{0,5} < \frac{1}{3} \quad \Rightarrow \quad 0,16 < 0,26 < 0,33$$

şeklinde yapılmaktadır. Burada görüldüğü gibi izolatör çapı ve kurşun çekirdek çapı yönetmeliklere uygundur. Her bir kauçuk tabaka kalınlığı,

$$S = \frac{R_m}{4t} \quad \Rightarrow \quad t = 0,625 \text{ cm}$$

olarak belirlenir. Buna göre kauçuk tabaka kalınlığı, $\frac{R}{80} \leq t \leq \frac{R}{40}$ koşulunu sağlayacak şekilde $t=1$ cm seçilmesi uygun olmaktadır. Kauçuk tabaka kalınlığının $t=1$ cm. olması durumunda şekil faktörü S ;

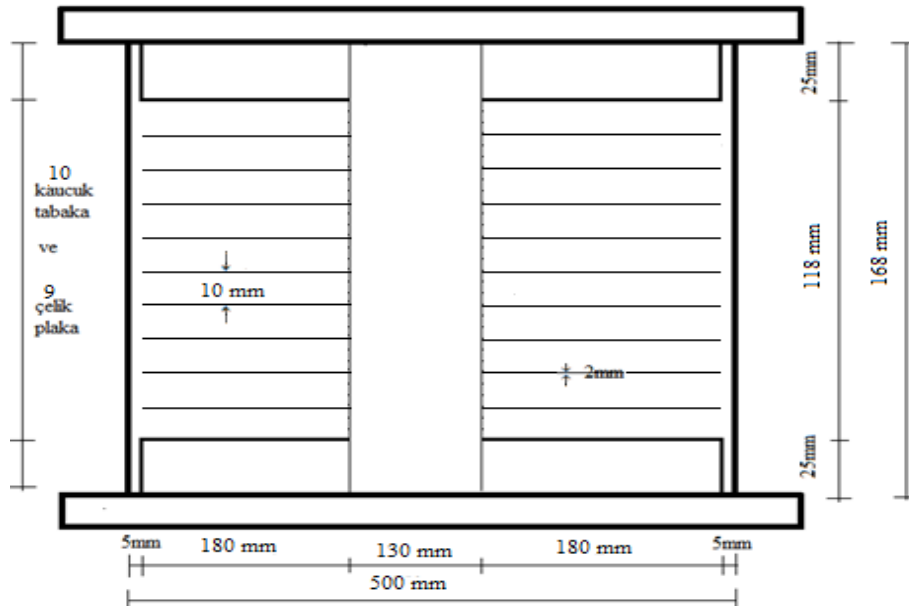
$$S = \frac{R_m}{4t} = \frac{50}{4 \times 1} = 12,5$$

olarak elde edilmektedir Dolayısıyla izolatördeki kauçuk tabaka sayısı ($N_{\text{elastomer}}$), $t_r/t = 10/1 = 10$ adet olarak elde edilmiştir. İzolatörde bulunan çelik plaka sayısı, kauçuk tabaka sayısının bir eksiği olmalıdır. Buna göre izolatörde 9 adet çelik plaka ($N_{\text{çelik}}$) bulunmaktadır. Çelik plaka kalınlığı minimum değer olan 2 mm seçilmiştir. İzolatörün alt ve üst kısımlarında 25 mm lik başlık plakaları yerleştirilirse izolatörün toplam yüksekliği, $H=168$ mm olmaktadır (Şekil 2.5.)

Kurşun çekirdek yüksekliği uygunluğu aşağıya verilmiştir.

$$1,25 \leq \frac{H_{\text{kurşun}}}{R_{\text{kurşun}}} \leq 5 \quad \Rightarrow \quad 1,25 \leq \frac{168}{130} = 1,3 \leq 5$$

Burada seçilen izolatörün kurşun çekirdek yüksekliğinin uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 2.5. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün düşey kesiti ve boyutları

Tasarlanan elastomer mesnedin yatay rijitliği;

$$K_h = \frac{GA_{\text{kauçuk}}}{t_r} = \frac{1000 \times (0,196 - 0,0133)}{0,10} = 1827 \text{ kN/m}$$

olarak elde edilmiştir. Seçilen örnekte dokuz adet kolon dolayısıyla da izolasyon seviyesinde 9 tane kurşun çekirdekli kauçuk mesnet bulunduğuna göre sistemin toplam yatay rijitliği;

$$\sum K_h = 9K_h = 9 \times 1827 = 16443 \text{ kN/m}$$

ve sistemin yatay titreşim periyodu ise,

$$T_h = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \sum K_h}} = 2\pi \sqrt{\frac{7640}{16443 \times 9,81}} = 1,36 \text{ sn}$$

olarak elde edilmiştir. Bu mesnet boyutlarına ve ikincil rijitliğine göre kauçuğun kayma modülü,

$$K_2 = \frac{GA}{t_r}$$

bağıntısından $G=0.45 \text{ MPa}$ olarak elde edilmiştir. Daha düşük değerler seçildiğinde, kauçuk ve çelik plaka birleşim (vulkanizasyon) problemlerine ve zamana bağlı özelliklere dikkat edilmelidir. Sabit yükler altında maksimum kayma şekildeğiştirmesine göre izolatörün kontrolü aşığıda verilmiştir.

$$\gamma_c < \frac{\epsilon_b}{3} \text{ koşulu } (\epsilon_b = 500\%) \text{ olmak üzere}$$

$$\gamma_c = 6S\epsilon_c = 6S \frac{W_i}{AE_c} = 6 \times 20 \times \frac{1,28}{0,196 \times 2400} = 0,33$$

şeklinde elde edilir. Bu koşul $0,33 \leq 5/3 = 1,66$ şeklinde sağlanmaktadır. İzolatörün burkulma denetiminde ise basınç gerilmesi (σ_c), $\sigma_c = 1,28/0,196 = 6,53 \text{ MPa}$ olarak ve kritik gerilme (σ_{kritik})

$$\sigma_{\text{kritik}} = \frac{\sqrt{2\pi G S r}}{t_r} = \frac{\sqrt{2 \times \pi \times 1 \times 12,5 \times \left(\frac{0,5}{4}\right)}}{0,10} = 69 \text{ MPa}$$

olmak üzere $\sigma_c \ll \sigma_{\text{kritik}}$ ve $\sigma_{\text{kritik}} \times A / W_i \geq 3,0$ koşulları sağlanmalıdır. Bu koşullar

$$6,53 \ll 69 \quad \text{ve} \quad 69000 \times 0,196 / 1280 = 10,5 \geq 3,0$$

şeklinde sağlanmaktadır. İzolatörün gerekli kontrolleri sabit ve deprem yükleri ($P_{i+eq} = W_i + F_{eq} = 1330 \text{ kN}$) ve yanal ötelenmeden dolayı düşey yükün bindiği azaltılmış alana ($A_r = 0,146 \text{ m}^2$) göre yapılmaktadır. Düşey yük basıncından meydana gelen şekildeğiştirme değeri,

$$\gamma_c = \frac{D_c \sigma_c}{G S A_r} = \frac{1 \times 1330}{1000 \times 12,5 \times 0,146} = 0,73$$

dür. Burada $0,73 < \epsilon_b / 3 = 5/3 = 1,67$ olarak istenilen koşul sağlanmaktadır.

İzolatörün sismik yanal yerdeğiştirmesi sonucunda meydana gelen şekildeğiştirme,

$$\gamma_{s,eq} = \frac{D}{t_r} = \frac{0,10}{0,10} = 1 < 2,5$$

koşulunu sağlamıştır. Dönme nedeniyle meydana gelen şekildeğiştirme ise $\theta = \frac{12De}{L_x^2 + L_y^2}$

olmak üzere

$$\gamma_r = \frac{D_r d^2 \theta}{t_r t} = \frac{0,375 \times 50^2 \times 0,004}{1 \times 10} = 0,375$$

olarak hesaplanmıştır. Burada D_r , dönme sebebiyle olan kayma şekildeğiştirmesi için şekil faktörü olup değeri dairesel mesnetler için 0,375 dir.

Elde edilen kayma şekildeğiştirmeleri toplamı;

$$\gamma_c + \gamma_{s,eq} + 0,5 \gamma_r < 5,5$$

$$0,73 + 1 + 0,5 \times 0,375 < 5,5$$

$$1,92 < 5,5$$

ve

$$\gamma_c + \gamma_{s+eq} + \gamma_r < 0,75x \epsilon_b$$

$$0,73 + 1 + 0,375 < 0,75x 5$$

$$2,1 < 3,75$$

şeklinde yönetmelik koşulları sağlamaktadır.

Mesnedin dışarı yuvarlanma (roll out) denetimi,

$$\delta_{maks} > D$$

$$\delta_{maks} = \frac{P_{i+eq} R - Q_d H}{(P_{i+eq} + K_{eff} H)}$$

bağıntısıyla yapılmaktadır. Burada mesnetin dışarı yuvarlanmama koşulu,

$$\delta_{maks} = \frac{1330x0,50 - 128x0,168}{(1330 + 824x0,168)} = 0,44 \text{ m} > 0,10 \text{ m}$$

şeklinde sağlanmaktadır.

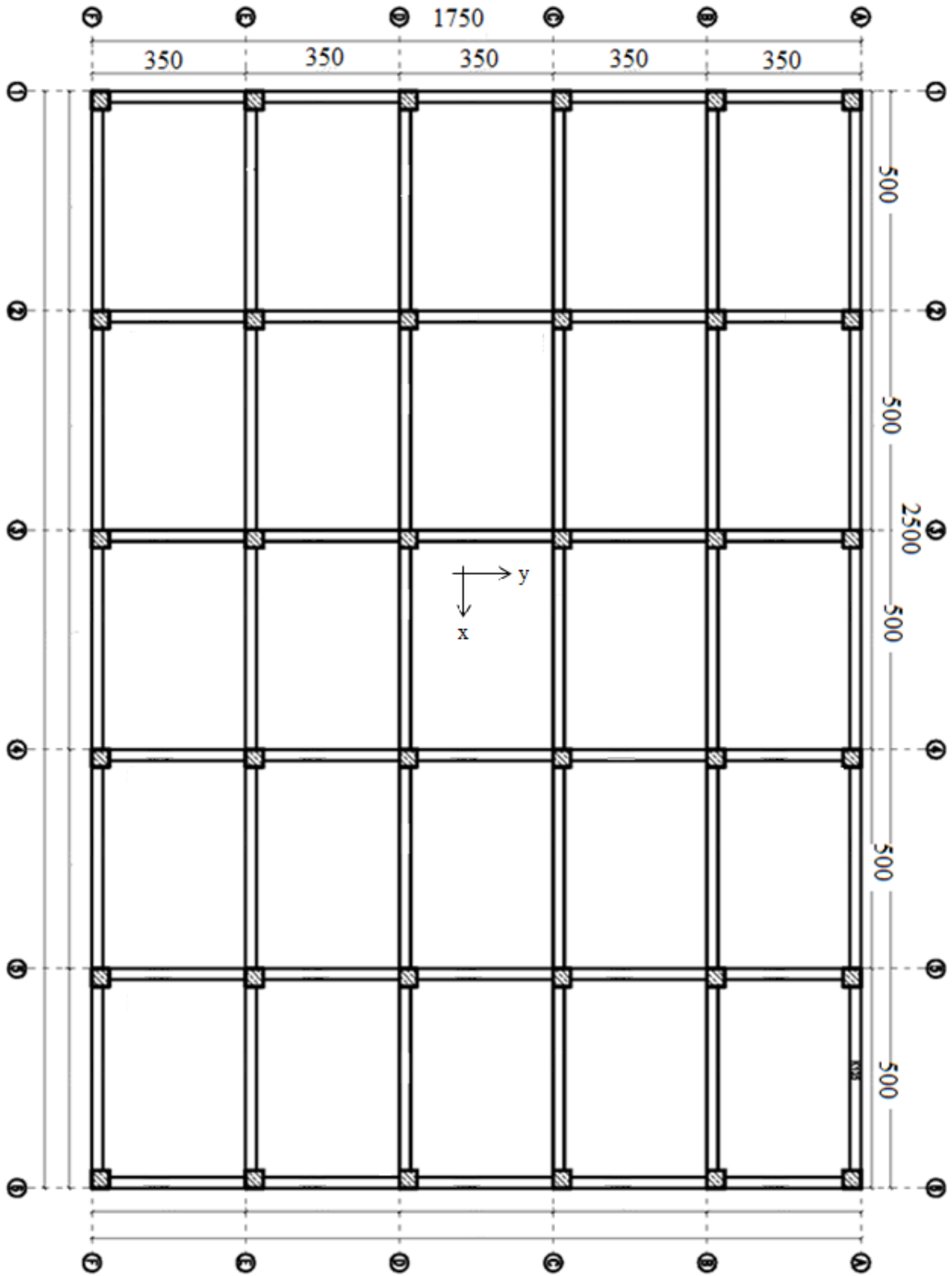
2.2. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile Analiz

Sismik taban izolatörlü farklı yükseklikteki bina türü yapılarda etkinliğinin araştırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılmıştır.

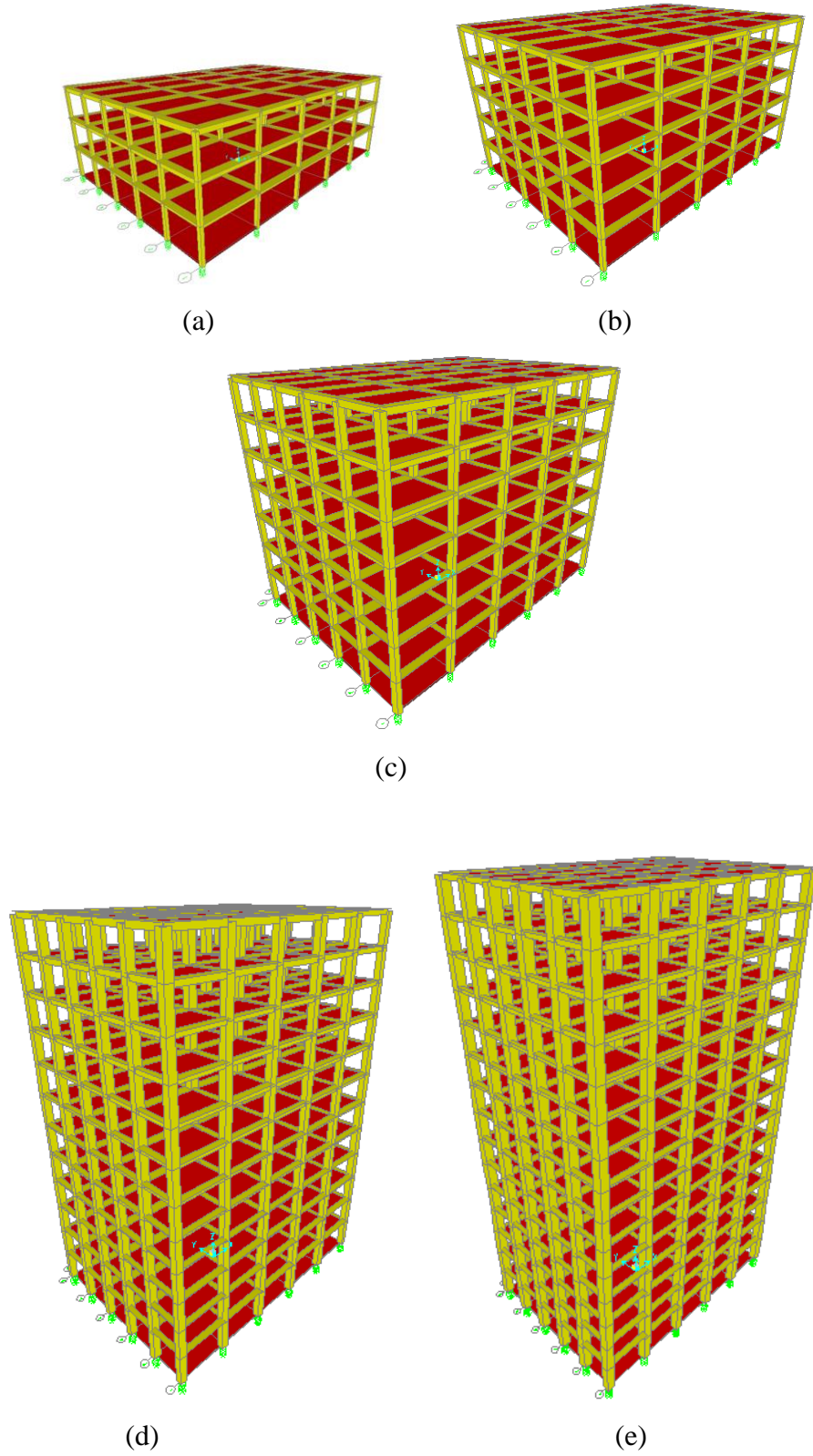
Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analizi yapılacak betonarme binalar; kat yükseklikleri 3 m olmak üzere 3, 5, 7, 12 ve 15 katlı, x yönünde 5 metre, y yönünde 3,5 metre olmak üzere 5'şer açıklıklı olarak modellenmiştir. Modellenen binaların, kat planı Şekil 2.6. verilmektedir. Modellerde malzeme olarak C25/30-S420 seçilmiştir. Dış çevre kirişler yarım tablalı, iç kirişler tam tablalı olmak üzere tüm kirişler ise 25x50 cm olarak modellenmiştir. Kolon boyutları ise 3 katlı model için 30x30 cm, 5 katlı model için 40x40 cm, 7 katlı model için 50x50 cm, 12 katlı model için 60x60 cm, 15 katlı model için ise 70x70 cm olarak seçilmiştir. Bütün döşemelere 4.50 kN/m² sabit yük (g), 2.00 kN/m²

hareketli yük (q) atanmış ve izolasyon seviyesi dahil bütün döşemelere rijit diyafram özelliği tanımlanmıştır. Dış kenar kirişlerin üzerine ise kendi ağırlığının haricinde 6 kN/m duvar yükü atanmıştır.

Farklı yüksekliklere sahip yapılar ilk önce ankastre mesnetli klasik yapı olarak modellenerek analizler yapılmış daha sonra Tablo 2.2' de görüldüğü gibi bina ağırlığına göre iki farklı rijitlikli izolatör tipleri kullanılarak sismik açıdan izole edilmiş olarak modellenerek analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.6. Modellenen binaların kat planı



Şekil 2.7. (a) 3 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (b) 5 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (c) 7 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (d) 12 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı (e) 15 katlı sismik izolasyonlu betonarme yapı

Modellenen betonarme binalarda sismik izolasyon sistemi olarak kurşun çekirdekli kauçuk mesnet tanımlanmıştır. 12 ve 15 katlı modellerde kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler; 3, 5, 7 katlı modellerde kullanılanlara göre nispeten daha rijit seçilmiştir. Modellerde kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin X ve Y yönlerindeki doğrusal olmayan karakteristik özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin karakteristik özellikleri

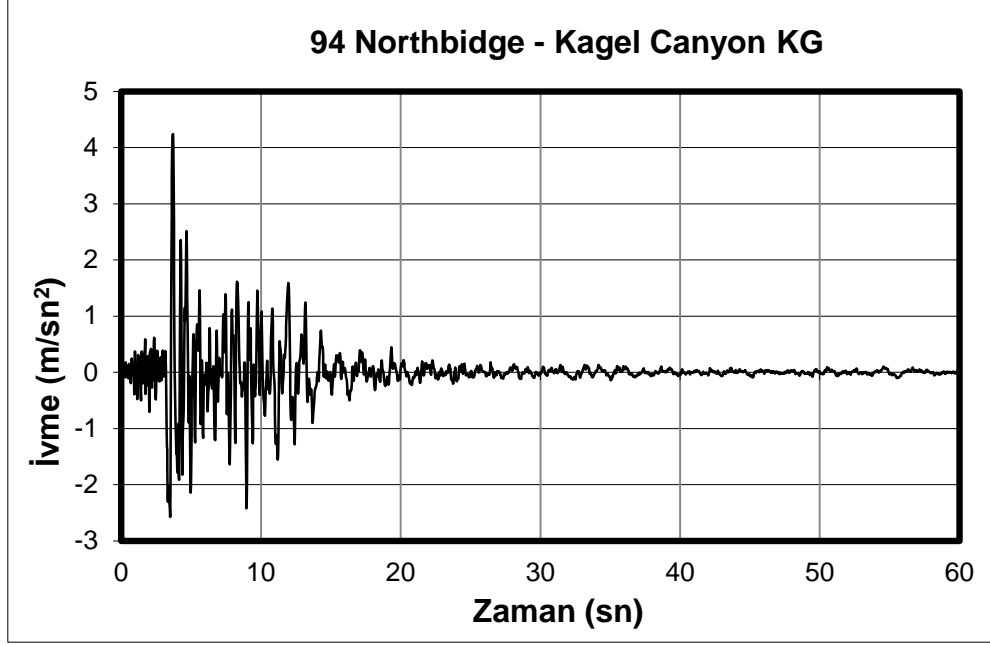
MODEL	ETKİLİ RİJİTLİK (kN/m)	ELASTİK (İLK) RİJİTLİK (kN/m)	AKMA DAYANIMI (kN)	AKMA SONRASI RİJİTLİKLER ORANI
3, 5 ve 7 Katlı Modeller	629.725	5852.353	18.422	0.1
12 ve 15 Katlı Modeller	1784.123	16580.749	51.208	0.1

Bu çalışmadaki analizlerde cosmos virtual data center veri merkezinden seçilen üç adet deprem kaydından elde edilen maksimum sonuçlar ele alınmıştır. Analizlerde kullanılan ivme kayıtları Tablo 2.2’de verilmiştir.

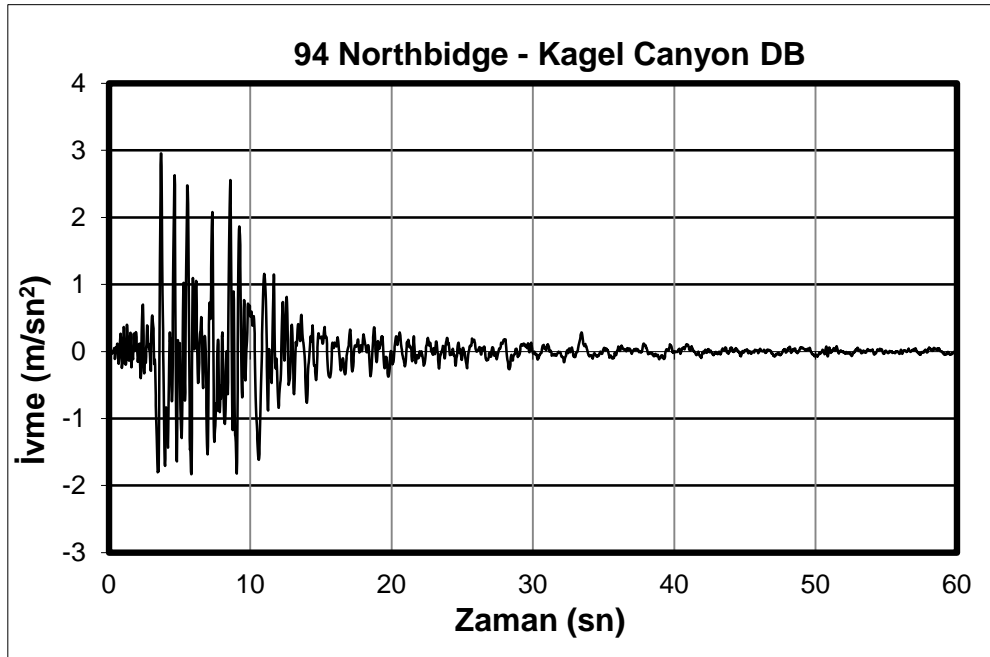
Tablo 2.3. Analizlerde kullanılan ivme kayıtları

Deprem	Bölge-İsim	Büyükük (M_w)	Faya Uzaklık (km)	PGA_L (m/sn^2)	PGA_T (m/sn^2)
1994 Northridge	Pacoima, Kaliforniya Kagel Canyon	6.7	10.6	4.24	2.95
1999 İzmit-Kocaeli	Marmara-Gebze	7.4	7.74	2.64	1.40
1994 Northridge	Castaic, Kaliforniya Old Ridge Route	6.7	24.1	5.04	5.57

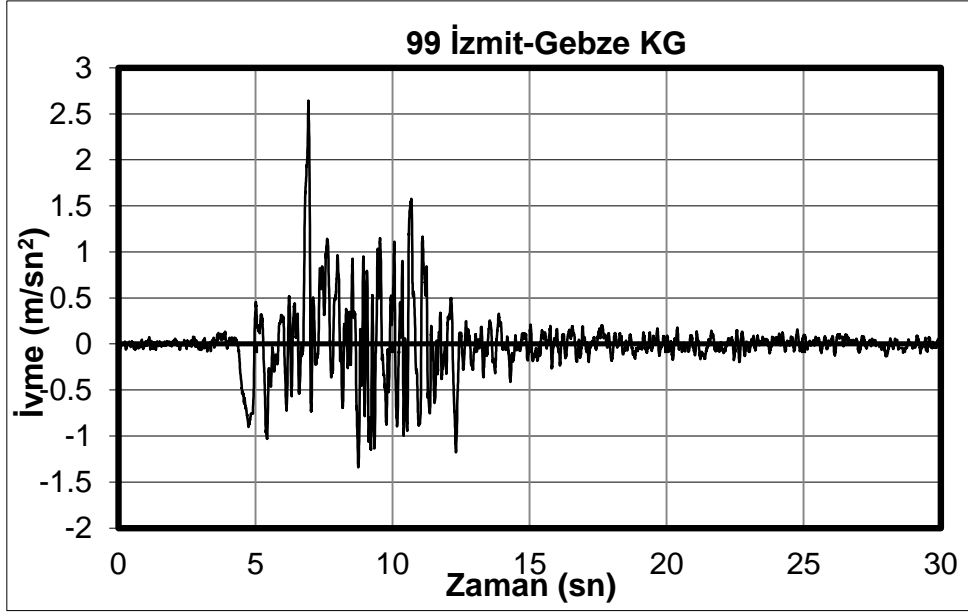
Modellenen yapıların maruz kaldığı deprem ivme kayıtları Şekil 2.8, Şekil 2.9, Şekil 2.10, Şekil 2.11, Şekil 2.12, Şekil 2.13’de verilmiştir.



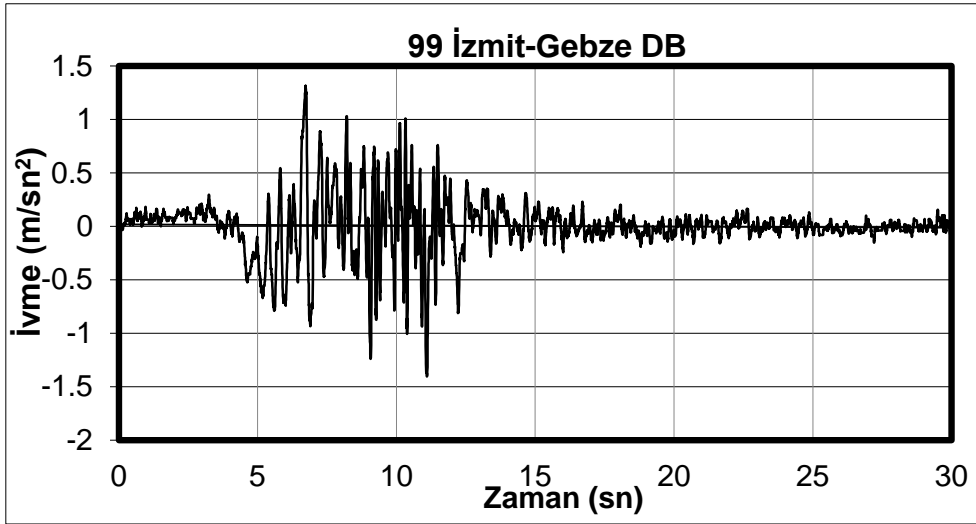
Şekil 2.8. 94 Northbidge depremi Kagel Canyon istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı



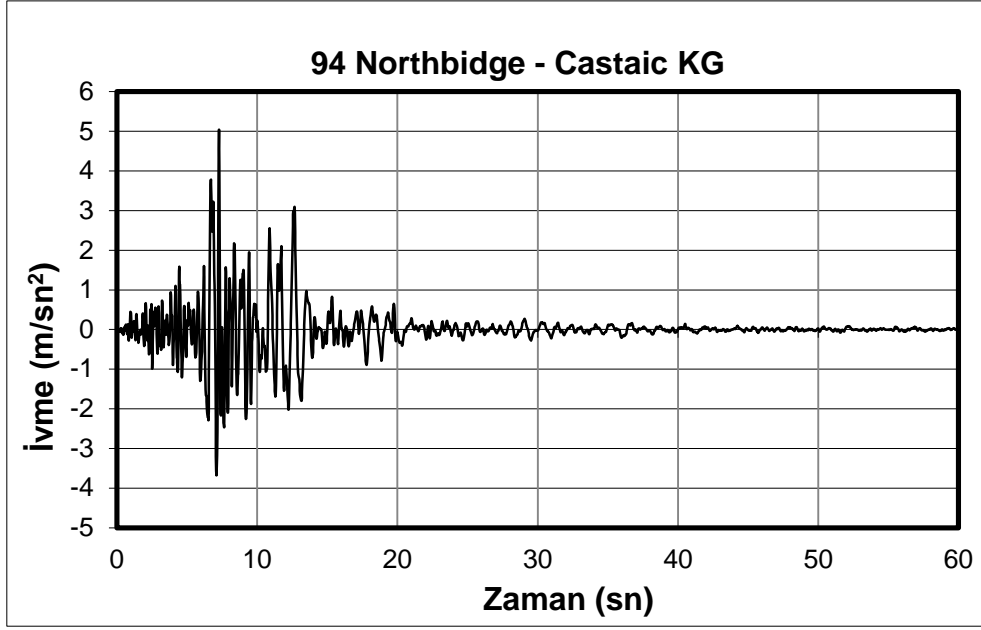
Şekil 2.9. 94 Northbidge depremi Kagel Canyon istasyonu Doğu-Batı bileşeni ivme kaydı



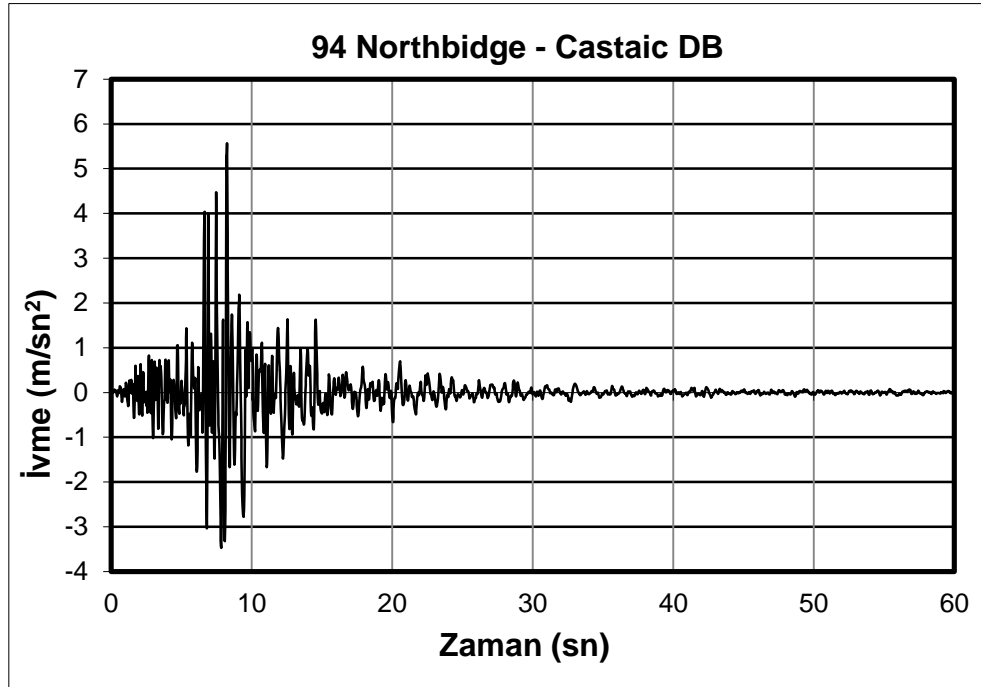
Şekil 2.10. 94 İzmit depremi Gebze istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı



Şekil 2.11. 94 İzmit depremi Gebze istasyonu Doğu-Batı bileşeni ivme kaydı



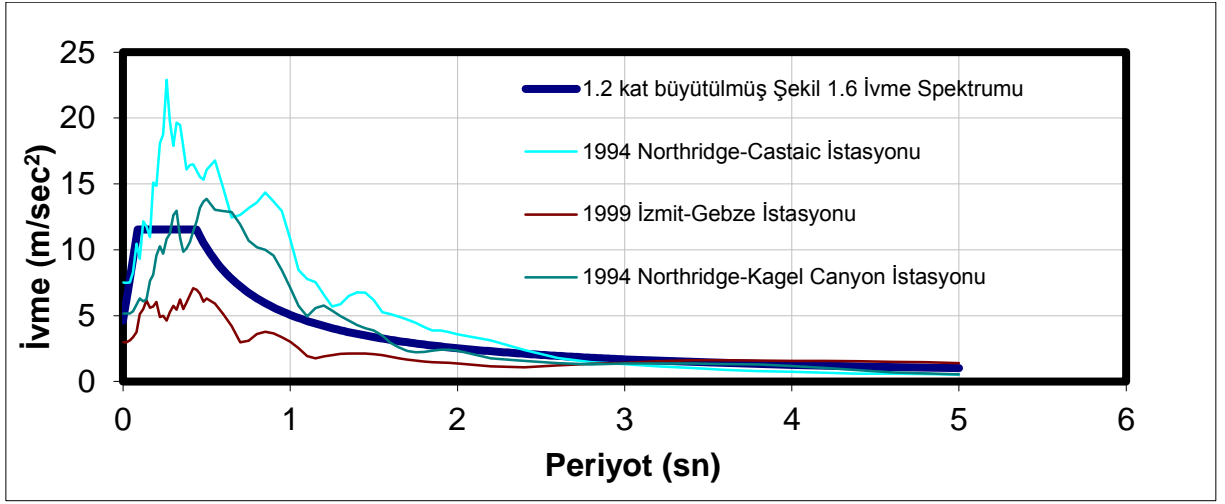
Şekil 2.12. 94 Northbidge depremi Castaic istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı



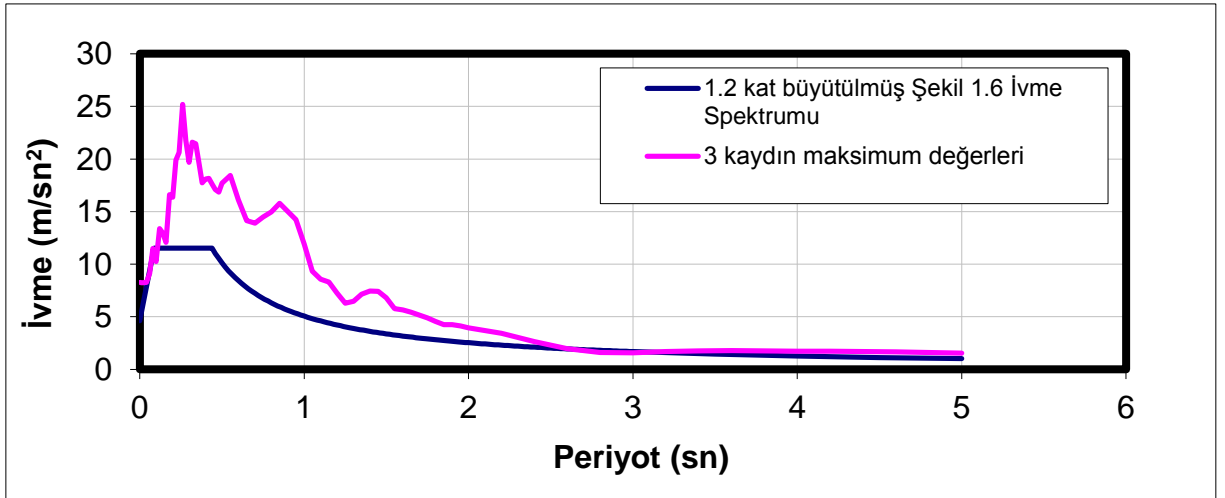
Şekil 2.13. 94 Northbidge depremi Castaic istasyonu Doğu-Batı bileşeni ivme kaydı

Seçilen depremlerden, %5 sönüm için verilen kuzey-güney ve doğu-batı tepki spektrumlarının bileşenleri karelerinin toplamının karekökü yöntemiyle birleştirilerek elde

edilen ve Şekil 2.14.' de verilen tepki spektrumlarından, üç kaydın maksimum değerleri alınarak Şekil 2.15'deki maksimum tepki spektrumu elde edilmiştir. Bu seçilen üç deprem kaydından elde edilen maksimum tepki spektrumu değerleri ile temel alınan yönetmelik tasarım spektrum değerlerinin özellikle yüksek periyotlarda çakışması gerekmektedir. İstenilen periyotlarda uygun ölçeklendirme katsayısı ile ölçeklenmiş deprem tepki spektrumlarının maksimum veya ortalama değerleri ile referans alınan yönetmelik tepki spektrum değerleri yüksek periyotlarda çakışmıyorsa seçilen deprem kayıtları değiştirilmelidir.



Şekil 2.14. Seçilen Deprem Kayıtlarının %5 Sönümlü Ölçeklenmemiş Tepki Spektrumları



Şekil.2.15. Üç Kaydın Maksimum Tepki Spektrumu ve Referans Tepki Spektrumu

Seçilen üç ivme kaydı kullanılarak, bu çalışmaya konu olan 3,5,7,12 ve 15 katlı betonarme binalar üzerinde SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler söz konusu binaların ankastre mesnetli ve izolatörlü olmak üzere ayrı ayrı yapılmıştır. Analizler sonunda binaların periyotları, kat yerdeğiştirmeleri, katların görelî yerdeğiştirmeleri mutlak kat ivmeleri ve kesit etkileri araştırılmıştır.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerden elde edilen bulgular ve bu bulguların irdelenmesi aşağıda verilmektedir.

Ankastre mesnetli klasik betonarme yapılar, sismik izolasyonlu olarak modellendiğinde ilk üç modun periyotlarındaki değişim Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların periyotları

KAT ADEDİ	MESNET DURUMU	PERİYOT (sn)		
		T1	T2	T3
3 Katlı	Ankastre	0.702	0.693	0.643
	İzolasyonlu	2.080	2.078	0.774
5 Katlı	Ankastre	0.759	0.737	0.695
	İzolasyonlu	2.653	2.648	0.899
7 Katlı	Ankastre	0.870	0.831	0.795
	İzolasyonlu	3.199	3.191	1.058
12 Katlı	Ankastre	1.393	1.326	1.267
	İzolasyonlu	2.799	2.775	1.553
15 Katlı	Ankastre	1.766	1.694	1.600
	İzolasyonlu	3.300	3.270	1.876

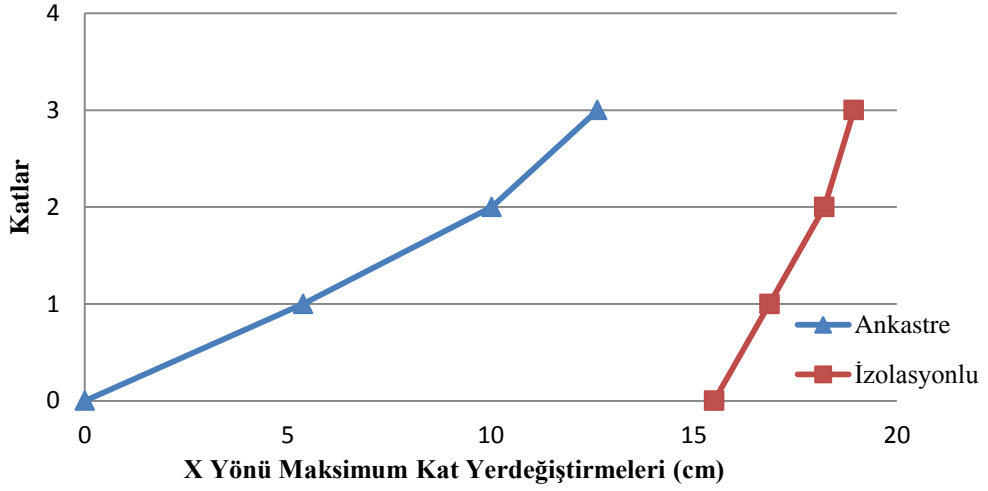
Bu tablodan görüldüğü gibi sismik izolatörler; 3, 5 ve 7 katlı ankastre mesnetli yapıların ilk iki periyotlarını sırasıyla yaklaşık olarak 3, 3.5, 3.7 kat artırmıştır. 12 ve 15 katlı modellere eklenen nispeten daha rijit izolatörler ise, yapıların periyotlarını yaklaşık olarak sırasıyla 2 ve 1.9 kat artırmıştır. Yapı ağırlığına uygun olmayan düşük rijitliğe sahip izolatörlerin kullanımı, sismik izolasyonlu binaların periyodunu 3 saniyenin üstüne çıkarmaktadır. Ankastre mesnetli 12 katlı yapının periyodu, ankastre mesnetli 7 katlı yapının periyodundan daha büyük olmasına rağmen sismik izolasyonlu halinde tam tersi durum söz konusudur. Çünkü 12 katlı yapıda kullanılan izolatörün daha rijit olması, izolasyonlu yapının periyodundaki artışı azaltmıştır.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 3 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen yerdeğıştirmeler Tablo 3.2’ de verilmiştir.

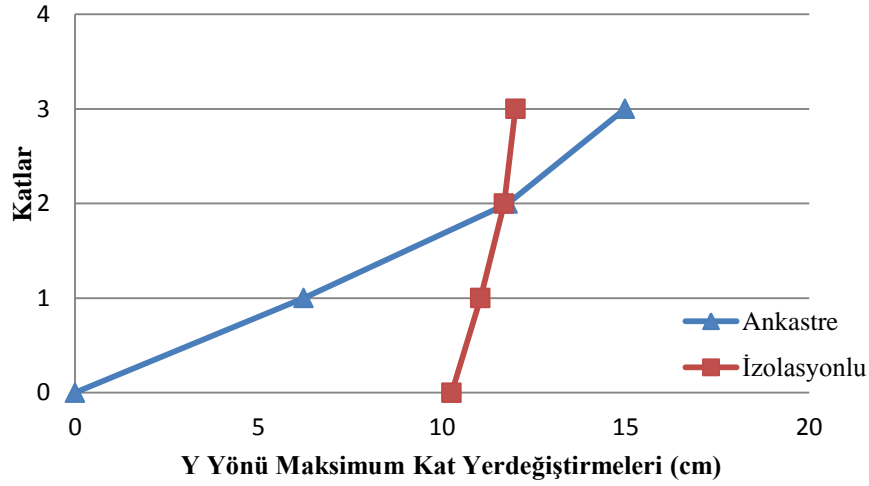
Tablo 3.2. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri

Kat Yerdeğıştirmeleri (cm)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	İzolasyonlu	15.500	4.008	8.949	4.861	10.277	10.260
1. kat	Ankastre	5.379	1.037	1.575	1.053	4.291	6.225
	İzolasyonlu	16.865	4.329	9.674	5.229	11.132	11.046
2. kat	Ankastre	10.026	1.985	2.886	2.136	8.099	11.793
	İzolasyonlu	18.216	4.714	10.363	5.538	11.931	11.690
3. kat	Ankastre	12.627	2.832	3.649	2.909	10.167	14.981
	İzolasyonlu	18.943	4.928	10.730	5.711	12.402	12.000

Bu tablodan görüldüğü gibi, 3 katlı hem ankastre mesnetli hem de sismik izolasyonlu bina için maksimum kat yerdeğıştirme değerleri, X yönünde Castaic depreminden; Y yönünde ise, Kagel depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönündeki maksimum kat yerdeğıştirmeleri Şekil 3.1’de, Y yönündeki yerdeğıştirmeleri ise Şekil 3.2’de verilmiştir.

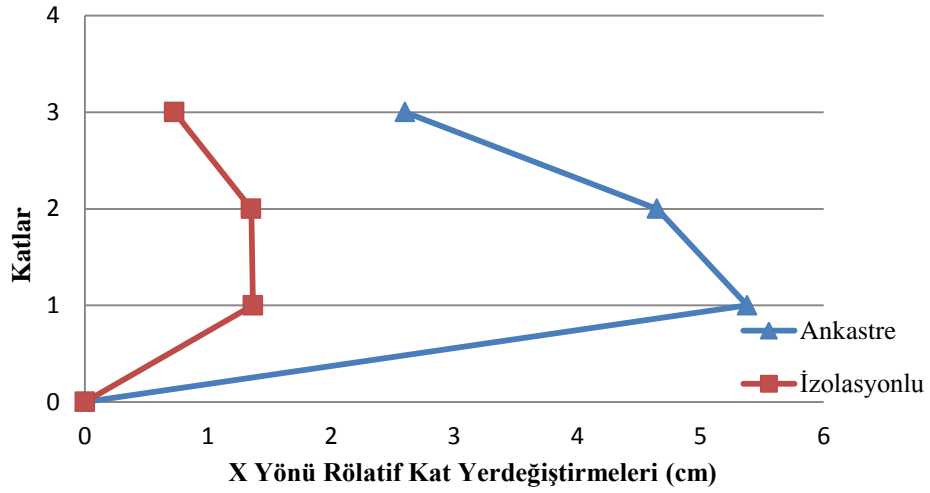


Şekil 3.1. Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğıştirmeleri

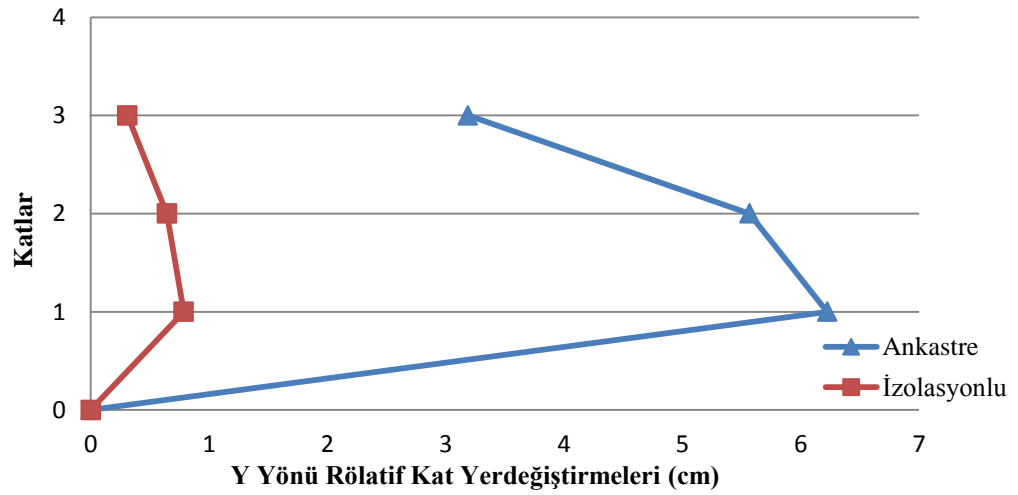


Şekil 3.2. Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğıştirmeleri

Bu tablo ve şekillerden, 3 katlı sismik izolasyonlu binanın, izolasyon seviyesinde X yönünde 15.5 cm ve Y yönünde 10.2 cm yerdeğıştirdiği, tepe noktasında ise yerdeğıştirme değerinin X yönünde 18.9 cm ve Y yönünde 12 cm olduğu görülmektedir. Aynı şekilde binanın ankastr mesnetli olması durumunda, binanın tepe noktasında X yönünde 12.6 cm ve Y yönünde ise 14.9 cm yerdeğıştirme meydana gelmektedir. Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın kat yerdeğıştirmelerine bağlı olarak belirlenen rölatif kat yerdeğıştirmeleri, X yönünde Şekil 3.3.'de ve Y yönünde ise Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri



Şekil 3.4 Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri

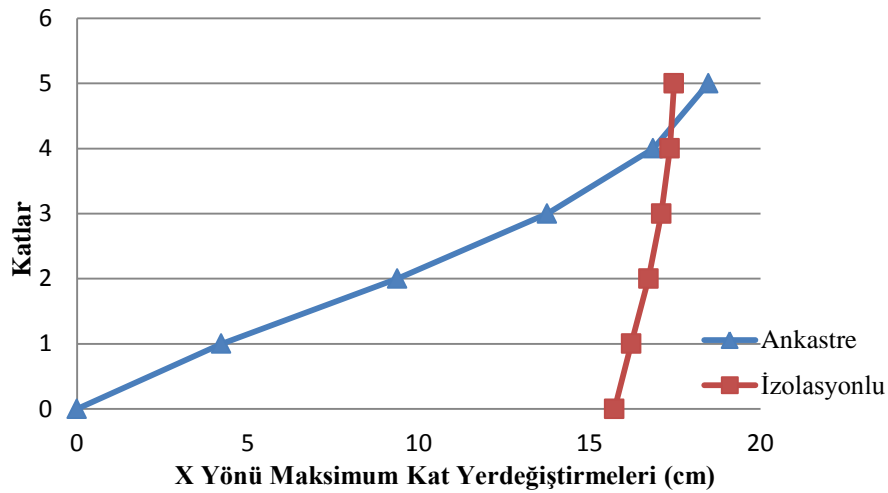
Bu şekillerden görüldüğü gibi; sismik izolasyonlu binanın üst katları, izolasyon seviyesine göre yaklaşık rijit hareket etmektedir. Sismik izolasyon sistemi, bu özelliği ile binada yapısal hasarların olma olasılığını azaltmaktadır.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 5 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen yerdeğiştirmeler Tablo 3.3' de verilmiştir.

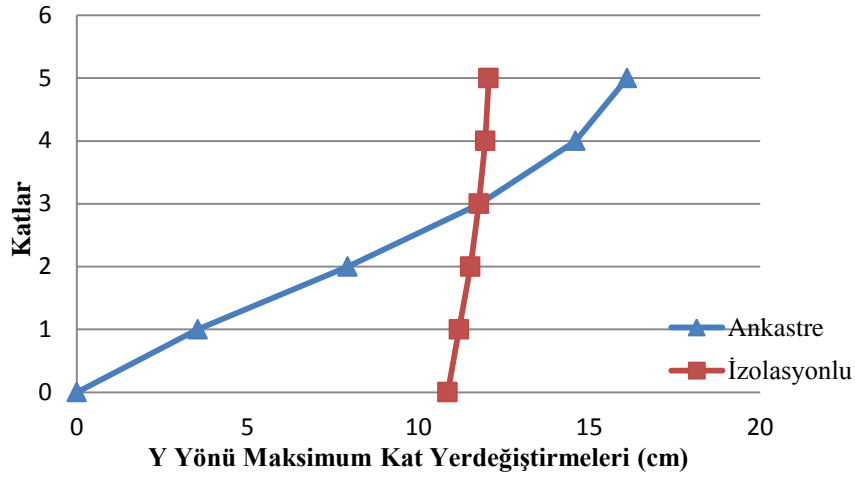
Tablo 3.3. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri

Kat Yerdeğıştirmeleri (cm)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	İzolasyonlu	14.671	5.060	15.732	8.376	12.911	10.853
1. kat	Ankastre	4.224	0.780	1.272	0.734	2.741	3.543
	İzolasyonlu	15.110	5.246	16.222	8.662	13.319	11.184
2. kat	Ankastre	9.378	1.601	2.737	1.515	5.903	7.932
	İzolasyonlu	15.507	5.460	16.728	8.967	13.790	11.516
3. kat	Ankastre	13.763	2.130	3.876	2.129	8.420	11.791
	İzolasyonlu	15.740	5.608	17.104	9.194	14.167	11.768
4. kat	Ankastre	16.865	2.856	4.655	2.707	10.210	14.596
	İzolasyonlu	15.872	5.722	17.349	9.356	14.428	11.952
5. kat	Ankastre	18.480	3.377	5.092	3.080	11.167	16.110
	İzolasyonlu	15.925	5.777	17.472	9.439	14.565	12.050

Bu tablodan görüldüğü gibi, 5 katlı ankastre mesnetli bina için maksimum kat yerdeğıştirme değerleri, X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu bina için ise X yönünde Gebze depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden elde edilmektedir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönündeki maksimum kat yerdeğıştirmeleri Şekil 3.5’de, Y yönündeki yerdeğıştirmeleri ise Şekil 3.6’de verilmiştir.

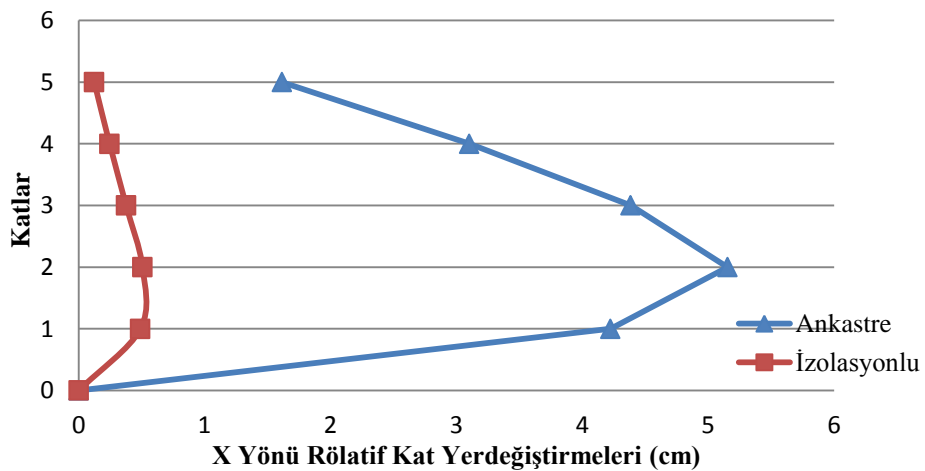


Şekil 3.5. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğıştirmeleri

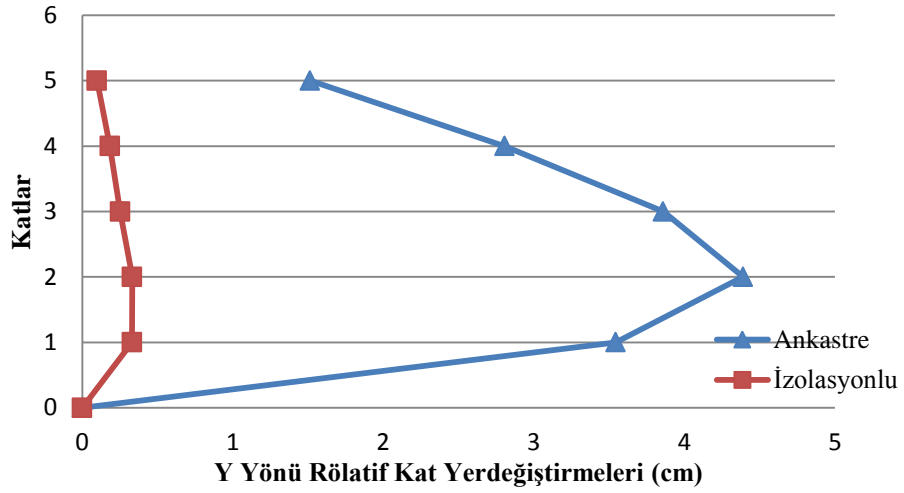


Şekil 3.6. Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri

Bu tablo ve şekillerden, 5 katlı sismik izolasyonlu binanın, izolasyon seviyesinde X yönünde 15.7 cm ve Y yönünde 10.8 cm yerdeğiştirdiği, tepe noktasında ise yerdeğiştirme değerinin X yönünde 17.4 cm ve Y yönünde 12 cm olduğu görölmektedir. Aynı şekilde binanın ankastr mesnetli olması durumunda, binanın tepe noktasında X yönünde 18.4 cm ve Y yönünde ise 16.1 cm yerdeğiştirme meydana gelmektedir. Sismik izolasyonlu 5 katlı bina, izolasyon seviyesinde büyük yerdeğiştirmeler yapmaktadır. İzolatörlü binanın üst noktasındaki yerdeğiştirme değeri ise ankastr mesnetli binaya göre daha az elde edilmiştir. Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın kat yerdeğiştirmelerine bağlı olarak belirlenen rölatif kat yerdeğiştirmeleri, X yönünde Şekil 3.7.'de ve Y yönünde ise Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri



Şekil 3.8. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın Y yönü rölafif kat yerdeğiftirmeleri

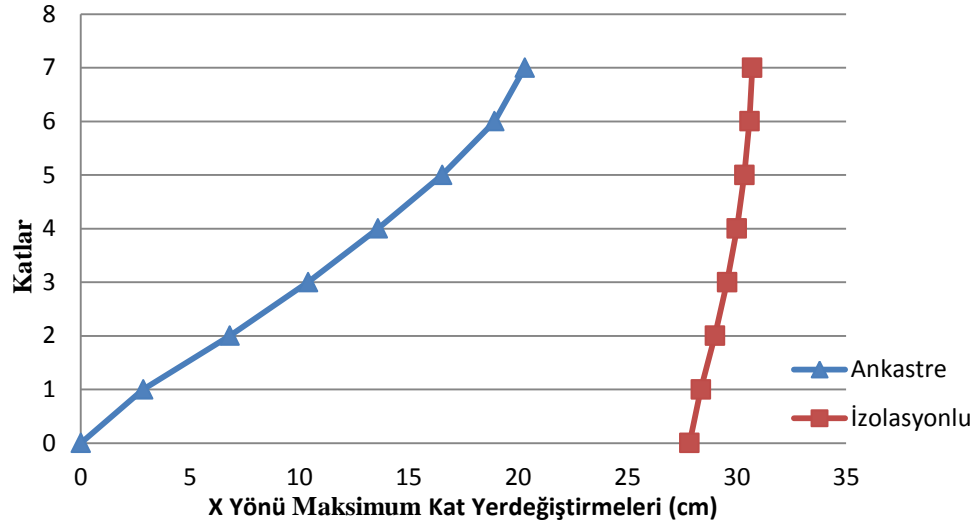
Bu şekillerden görüldüğü gibi, rölafif kat yerdeğiftirme değerleri yapının ankastre mesnetli olması durumunda ikinci kat seviyesinde artmış ve bu değer üst katlara gittikçe azalma eğilimi göstermiştir. İzolatör kullanılması durumunda rölafif kat yerdeğiftirmelerinde büyük bir azalma olmaktadır.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 7 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen yerdeğiftirmeler Tablo 3.4'de verilmiştir.

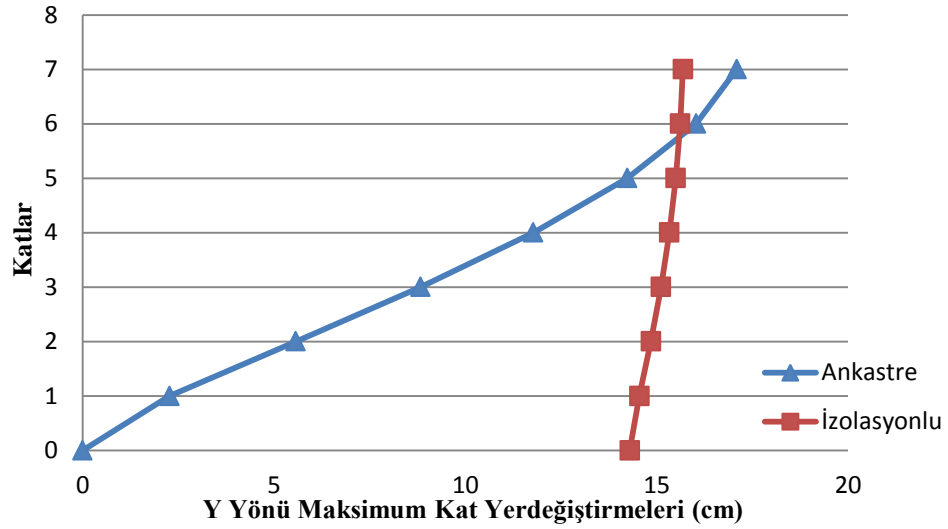
Tablo 3.4. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın kat yerdeşiftirmeleri

Kat Yerdeşiftirmeleri (cm)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	İzolasyonlu	16.269	5.347	27.837	14.296	18.740	11.462
1. kat	Ankastre	2.853	0.629	1.119	0.547	2.325	2.271
	İzolasyonlu	16.609	5.457	28.355	14.546	19.084	11.671
2. kat	Ankastre	6.816	1.455	2.816	1.296	5.710	5.568
	İzolasyonlu	17.073	5.604	28.996	14.849	19.516	11.930
3. kat	Ankastre	10.397	2.182	4.523	1.957	8.996	8.827
	İzolasyonlu	17.516	5.759	29.555	15.114	19.910	12.163
4. kat	Ankastre	13.585	2.729	6.081	2.458	11.962	11.774
	İzolasyonlu	17.905	5.886	30.004	15.330	20.241	12.362
5. kat	Ankastre	16.529	3.110	7.368	2.906	14.506	14.228
	İzolasyonlu	18.228	5.989	30.345	15.497	20.496	12.526
6. kat	Ankastre	18.923	3.563	8.272	3.265	16.346	16.030
	İzolasyonlu	18.462	6.059	30.576	15.614	20.670	12.645
7. kat	Ankastre	20.305	3.932	8.763	3.508	17.383	17.089
	İzolasyonlu	18.594	6.095	30.703	15.683	20.769	12.714

Bu tablodan görüldüğü gibi, 7 katlı ankastre mesnetli bina için maksimum kat yerdeşiftirme değerleri, X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu bina için ise X yönünde ve Y yönünde Gebze depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönündeki maksimum kat yerdeşiftirmeleri Şekil 3.9'da, Y yönündeki yerdeşiftirmeleri ise Şekil 3.10'da verilmiştir.



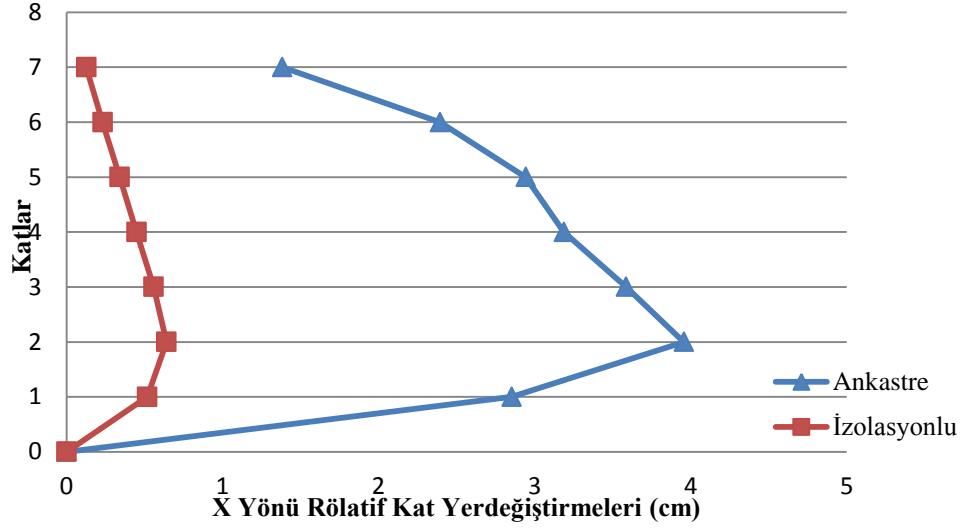
Şekil 3.9. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri



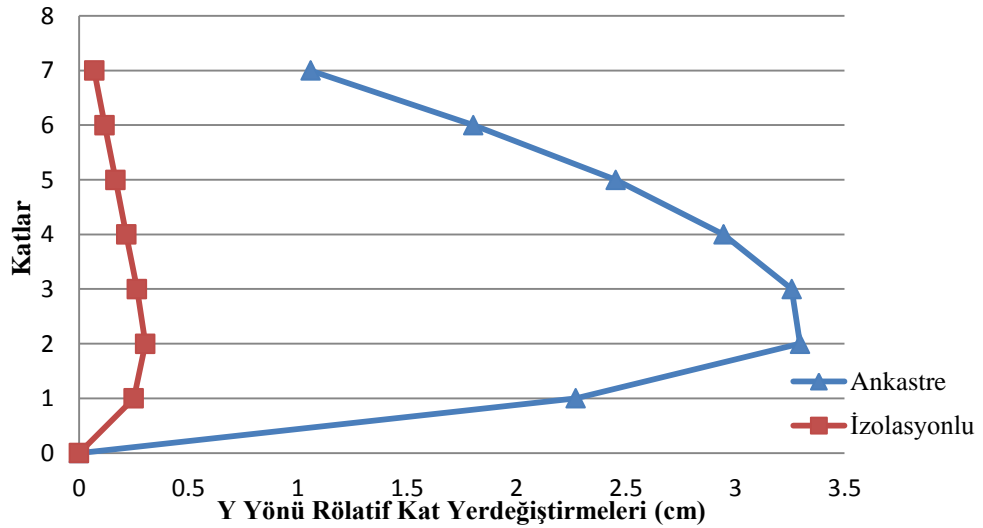
Şekil 3.10. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri

Bu tablo ve şekillerden, 7 katlı sismik izolasyonlu binanın, izolasyon seviyesinde X yönünde 27.8 cm ve Y yönünde 14.2 cm yerdeğiştirdiği, tepe noktasında ise yerdeğiştirme değerinin X yönünde 30.7 cm ve Y yönünde 15.6 cm olduğu görölmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda, binanın tepe noktasında X yönünde 20.3 cm ve Y yönünde ise 17 cm yerdeğiştirme meydana gelmektedir. Ankastre mesnetli ve sismik

izolasyonlu 7 katlı binanın kat yerdeşistirmelerine bağlı olarak belirlenen rölatif kat yerdeşistirmeleri, X yönünde Şekil 3.11.'de ve Y yönünde ise Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.11 Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeşistirmeleri



Şekil 3.12 Ankastr mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeşistirmeleri

Bu şekillerden görüldüğü gibi, izolotörlü sistemlerde X ve Y yönünde katların rölatif kat yerdeşistirme değerleri, ankastr mesnetli sisteme göre oldukça küçüktür. Ankastr mesnetli sistemde özellikle ilk dört katta rölatif kat yerdeşistirmeleri sismik izolasyonlu sistemlere göre oldukça büyük olmaktadır.

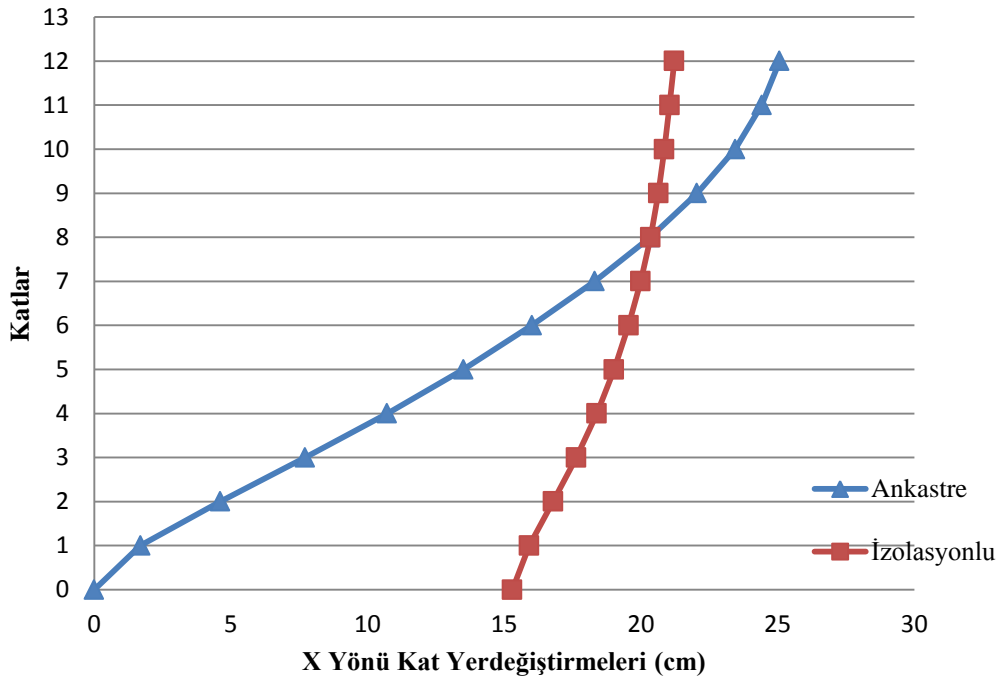
Rölatif kat yerdeğıştirmeleri değerlerinin; 3, 5 ve 7 katlı binalar için karşılaştırıldığında, bina yüksekliği artıkça azaldığı görülmektedir (bkz Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.11, Şekil 3.12).

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 12 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen yerdeğıştirmeler Tablo 3.5’de verilmiştir.

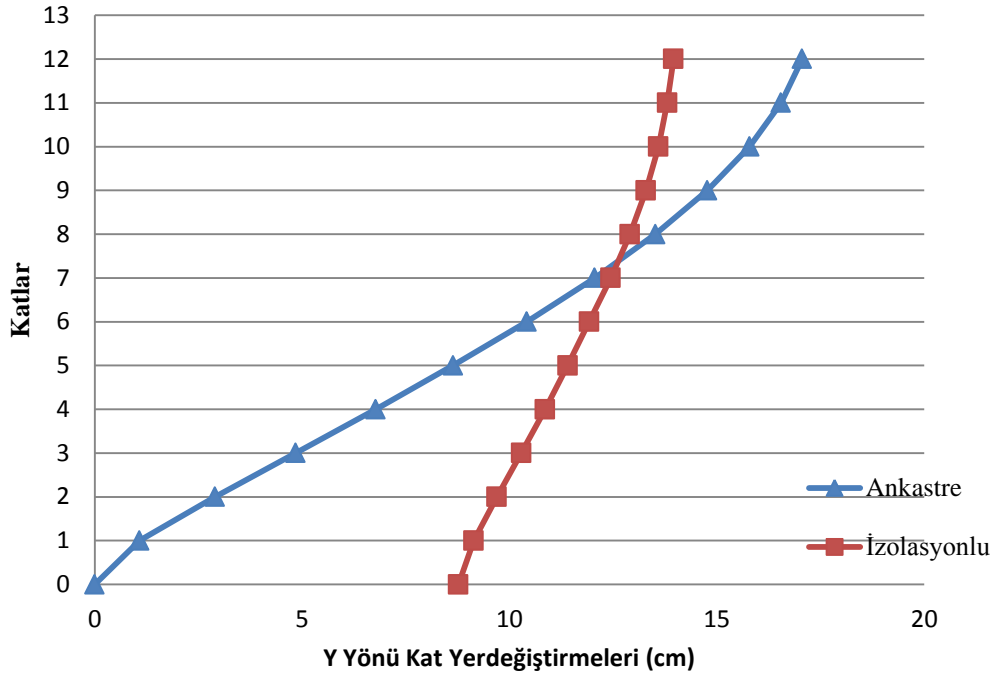
Tablo 3.5. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri

Kat Yerdeğıştirmeleri (cm)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	0	0	0	0	0	0
	İzolasyonlu	12.104	4.892	15.292	7.468	11.443	8.765
1. kat	Ankastre	1.692	0.425	0.822	0.535	1.365	1.081
	İzolasyonlu	12.641	5.090	15.912	7.769	11.879	9.136
2. kat	Ankastre	4.607	1.108	2.197	1.421	3.748	2.896
	İzolasyonlu	13.457	5.378	16.787	8.206	12.477	9.693
3. kat	Ankastre	7.717	1.789	3.605	2.350	6.360	4.840
	İzolasyonlu	14.312	5.666	17.637	8,654	13.057	10.284
4. kat	Ankastre	10.714	2.404	4.911	3.255	8.989	6.774
	İzolasyonlu	15.129	5.906	18.385	9.071	13.599	10.860
5. kat	Ankastre	13.504	3.026	6.068	4.113	11.532	8.641
	İzolasyonlu	15.891	6.091	19.018	9.438	14.188	11.404
6. kat	Ankastre	16.011	3.686	7.107	4.911	13.919	10.413
	İzolasyonlu	16.590	6.236	19.549	9.757	14.785	11.919
7. kat	Ankastre	18.308	4.282	8.148	5.637	16.108	12.053
	İzolasyonlu	17.192	6.346	19.990	10.034	15.320	12.440
8. kat	Ankastre	20.340	4.776	9.255	6.277	18.036	13.516
	İzolasyonlu	17.663	6.440	20.350	10.274	15.788	12.902
9. kat	Ankastre	22.046	5.156	10.342	6.818	19.658	14.770
	İzolasyonlu	17.995	6.541	20.635	10.474	16.181	13.289
10. kat	Ankastre	23.446	5.394	11.266	7.250	20.934	15.787
	İzolasyonlu	18.219	6.638	20.855	10.629	16.494	13.589
11. kat	Ankastre	24.419	5.532	11.964	7.569	21.841	16.546
	İzolasyonlu	18.375	6.715	21.047	10.741	16.721	13.804
12. kat	Ankastre	25.072	5.676	12.418	7.783	22.402	17.056
	İzolasyonlu	18,485	6.768	21.217	10.822	16.867	13.953

Bu tablodan görüldüğü gibi, 12 katlı ankastre mesnetli bina için maksimum kat yerdeğiştirme değerleri, X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu bina için ise, X yönünde Gebze depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönündeki maksimum kat yerdeğiştirmeleri Şekil 3.13’de, Y yönündeki yerdeğiştirmeleri ise Şekil 3.14’de verilmiştir.



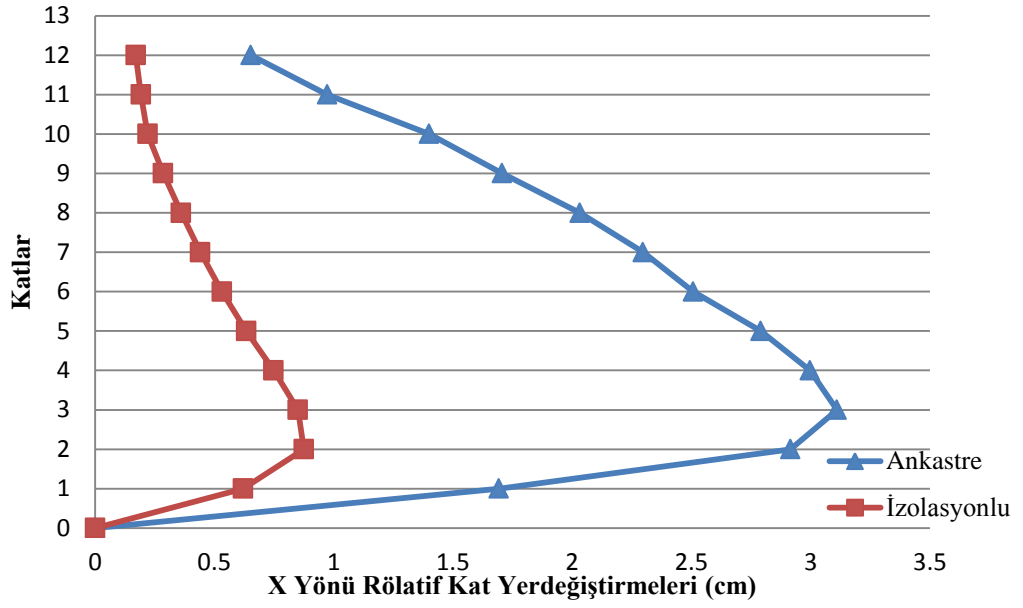
Şekil 3.13. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri



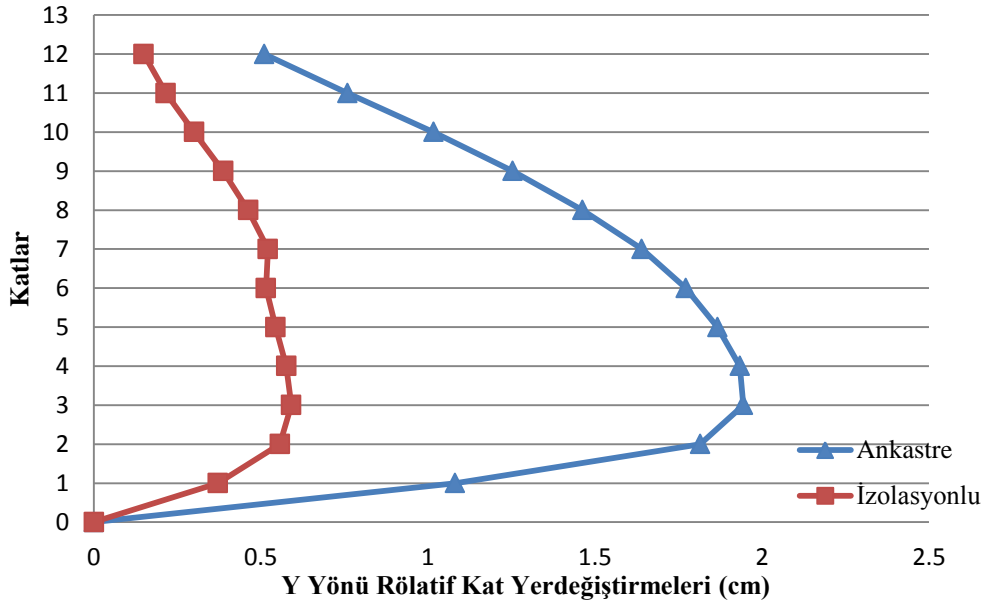
Şekil 3.14. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri

Bu tablo ve şekillerden, 12 katlı sismik izolasyonlu binanın, izolasyon seviyesinde X yönünde 15.2 cm ve Y yönünde 8.7 cm yerdeğiştirdiği, tepe noktasında ise yerdeğiştirme değerinin X yönünde 21.2 cm ve Y yönünde 13.9 cm olduğu görölmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda, binanın tepe noktasında X yönünde 25 cm ve Y yönünde ise 17 cm yerdeğiştirme meydana gelmektedir.

Sismik izolasyonlu 7 katlı ve 12 katlı binalar için elde edilen kat yerdeğiştirmelerine göre, 12 katlı izolasyonlu binada kullanılan daha yüksek rijitliğe sahip izolatörlerin, yapının yerdeğiştirme değerlerini sınırladığı anlaşılmaktadır. Bu sonuç, yüksek katlı binalarda yüksek rijitliğe sahip izolatörler kullanılmasının önemini göstermektedir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın kat yerdeğiştirmelerine bağlı olarak belirlenen rölatif kat yerdeğiştirmeleri, X yönünde Şekil 3.15.'de ve Y yönünde ise Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.15. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri



Şekil 3.16. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri

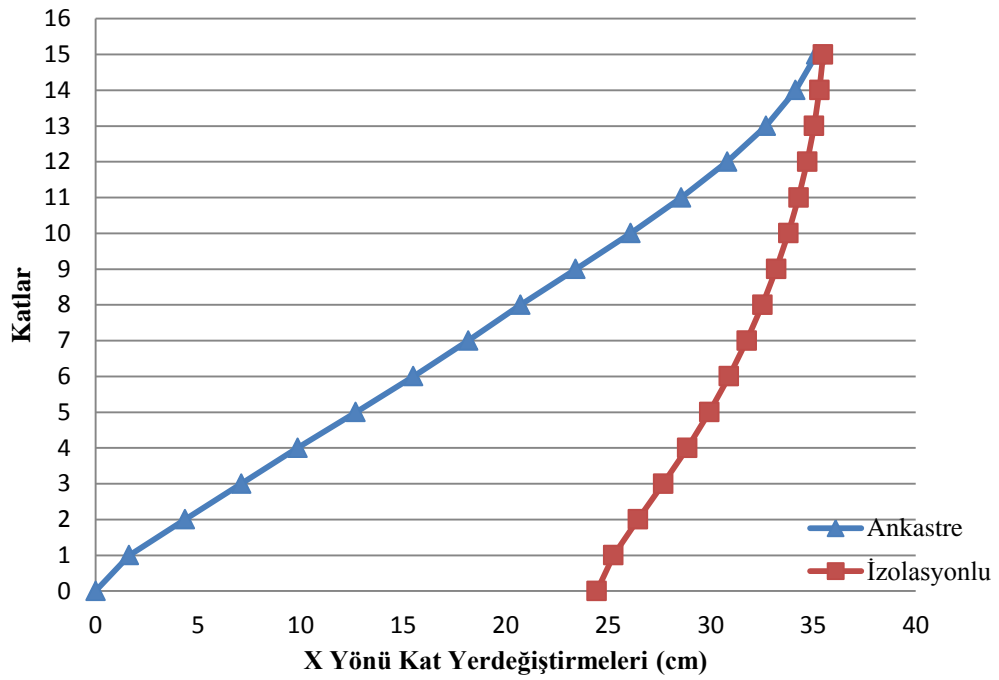
Bu şekillerden görüldüğü gibi, izolatörlü sistemlerde X ve Y yönünde katların rölatif kat yerdeğiştirme değerleri, ankastre mesnetli sisteme göre küçüktür. Ankastre mesnetli sistemde özellikle ilk altı katta rölatif kat yerdeğiştirmeleri sismik izolasyonlu sistemlere göre oldukça büyük olmaktadır.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 15 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen yerdeğıştirmeler Tablo 3.6’da verilmiştir.

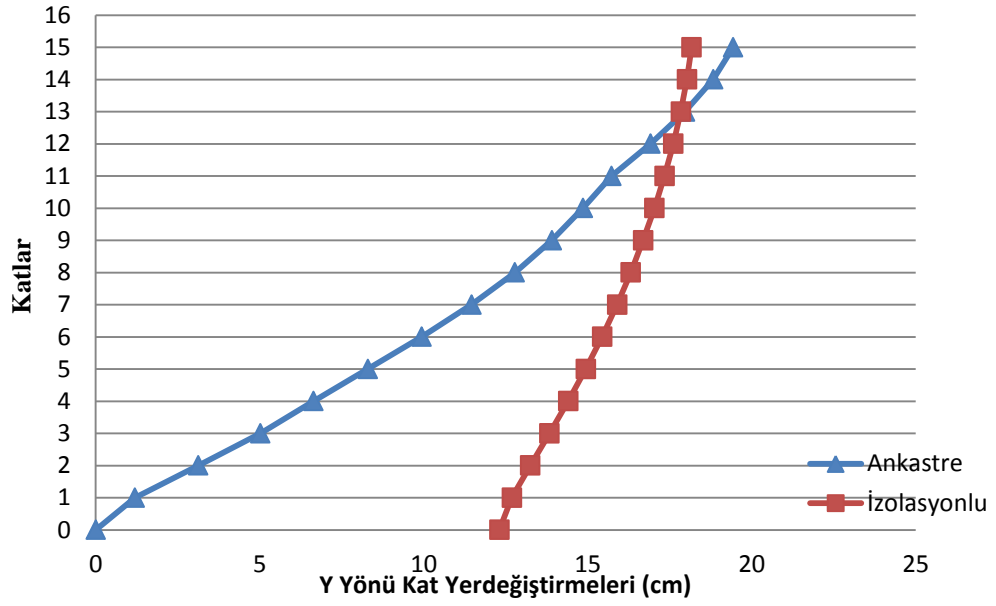
Tablo 3.6. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın kat yerdeğıştirmeleri

Kat Yerdeğıştirmeleri (cm)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	0	0	0	0	0	0
	İzolasyonlu	14.059	4.736	24.448	12.305	16.942	9.195
1. kat	Ankastre	1.631	0.498	0.977	0.476	0.797	1.195
	İzolasyonlu	14.559	4.901	25.261	12.689	17.505	9.470
2. kat	Ankastre	4.359	1.286	2.583	1.269	2.119	3.124
	İzolasyonlu	15.315	5.149	26.452	13.247	18.325	9.863
3. kat	Ankastre	7.106	2.037	4.159	2.105	3.442	5.023
	İzolasyonlu	16.126	5.416	27.689	13.834	19.163	10.279
4. kat	Ankastre	9.855	2.665	5.559	2.918	4.596	6.637
	İzolasyonlu	16.915	5.664	28.863	14.405	19.933	10.697
5. kat	Ankastre	12.692	3.183	6.785	3.689	5.518	8.296
	İzolasyonlu	17.649	5.872	29.935	14.943	20.608	11.113
6. kat	Ankastre	15.496	3.647	7.827	4.478	6.227	9.937
	İzolasyonlu	18.312	6.031	30.898	15.440	21.186	11.516
7. kat	Ankastre	18.181	4.279	8.668	5.247	6.992	11.458
	İzolasyonlu	18.908	6.142	31.759	15.896	21.682	11.903
8. kat	Ankastre	20.732	5.053	9.333	5.960	8.026	12.781
	İzolasyonlu	19.438	6.216	32.524	16.312	22.108	12.278
9. kat	Ankastre	23.416	5.806	9.876	6.606	8.981	13.909
	İzolasyonlu	19.897	6.263	33.200	16.691	22.480	12.654
10. kat	Ankastre	26.095	6.486	10.400	7.178	9.866	14.852
	İzolasyonlu	20.302	6.295	33.788	17.035	22.804	13.048
11. kat	Ankastre	28.572	7.049	11.057	7.682	10.625	15.726
	İzolasyonlu	20.643	6.317	34.291	17.343	23.077	13.414
12. kat	Ankastre	30.812	7.515	11.758	8.124	11.394	16.912
	İzolasyonlu	20.903	6.421	34.710	17.613	23.306	13.739
13. kat	Ankastre	32.696	7.849	12.409	8.500	12.185	17.969
	İzolasyonlu	21.137	6.514	35.047	17.841	23.504	14.014
14. kat	Ankastre	34.143	8.102	12.980	8.797	12.869	18.828
	İzolasyonlu	21.328	6.581	35.303	18.025	23.656	14.236
15. kat	Ankastre	35.157	8.309	13.420	9.016	13.323	19.437
	İzolasyonlu	21.466	6.631	35.488	18.169	23.767	14.402

Bu tablodan görüldüğü gibi, 15 katlı ankastre mesnetli bina için maksimum kat yerdeğiştirme değerleri, X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu bina için ise X yönünde ve Y yönünde Gebze depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönündeki maksimum kat yerdeğiştirmeleri Şekil 3.17’de, Y yönündeki yerdeğiştirmeleri ise Şekil 3.18’de verilmiştir.

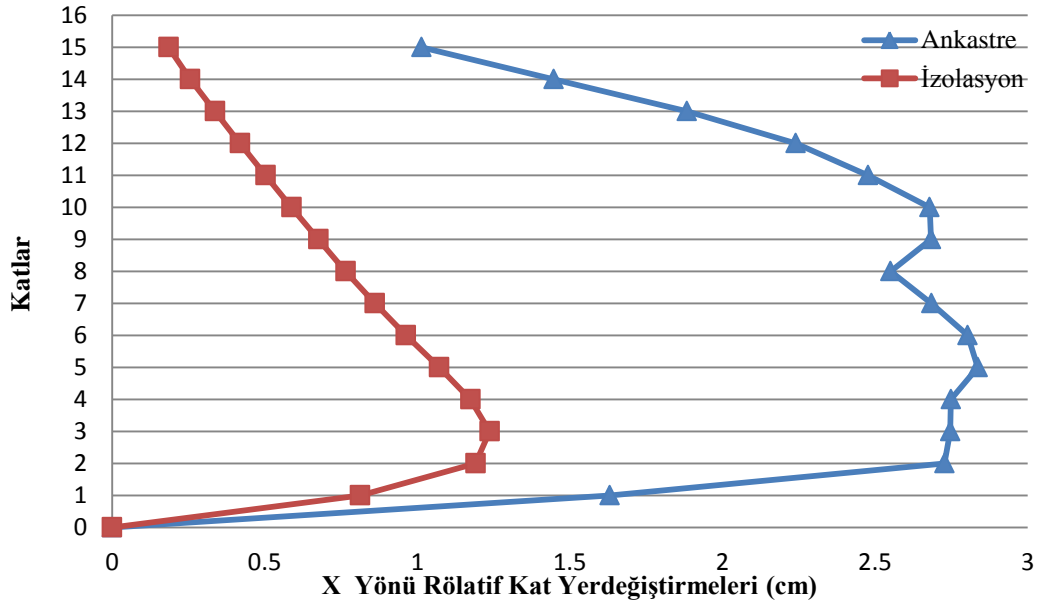


Şekil 3.17 Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri

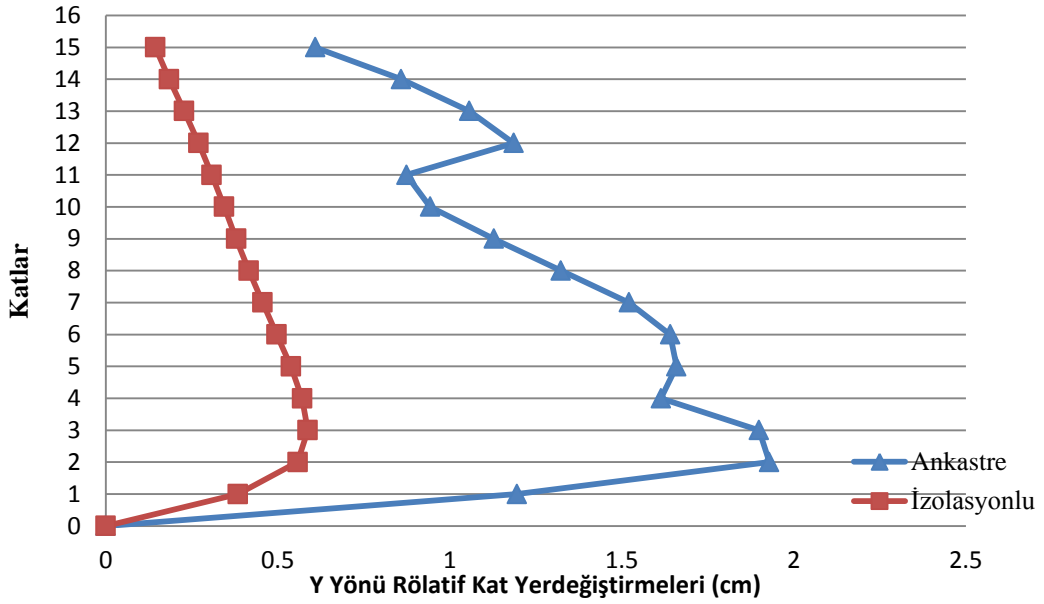


Şekil 3.18 Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın Y yönü maksimum kat yerdeğiştirmeleri

Bu tablo ve şekillerden 15 katlı sismik izolasyonlu binanın, izolasyon seviyesinde X yönünde 24.4 cm ve Y yönünde 12.3 cm yerdeğiştirdiği, tepe noktasında ise yerdeğiştirme değerinin X yönünde 35.4 cm ve Y yönünde 18.1 cm olduğu görölmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda, tepe noktasında X yönünde 35.1 cm ve Y yönünde ise 19.4 cm yerdeğiştirme meydana gelmektedir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın kat yerdeğiştirmelerine bağlı olarak belirlenen rölatif kat yerdeğiştirmeleri, X yönünde Şekil 3.19.'da ve Y yönünde ise Şekil 3.20.'de verilmiştir.



Şekil 3.19. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri



Şekil 3.20. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın Y yönü rölatif kat yerdeğiştirmeleri

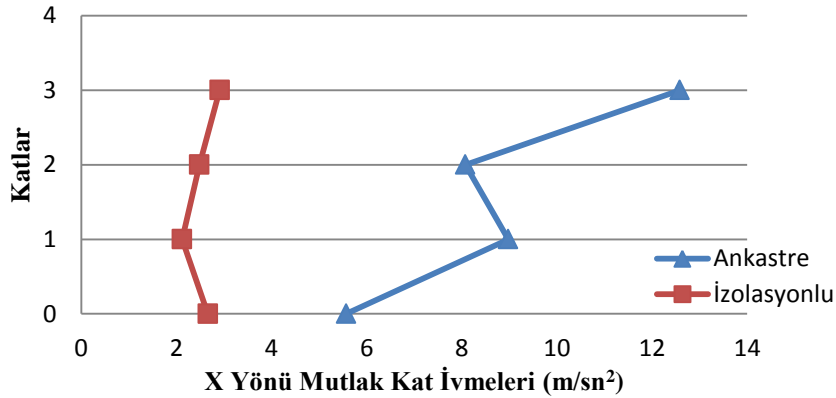
Bu şekillerden görüldüğü gibi, izolatörlü sistemlerde X ve Y yönünde katların rölatif kat yerdeğiştirme değerleri, ankastre mesnetli sisteme göre oldukça küçüktür.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 3 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen kat seviyelerinde meydana gelen X ve Y yönlerindeki mutlak kat ivmeleri Tablo 3.7' de verilmiştir.

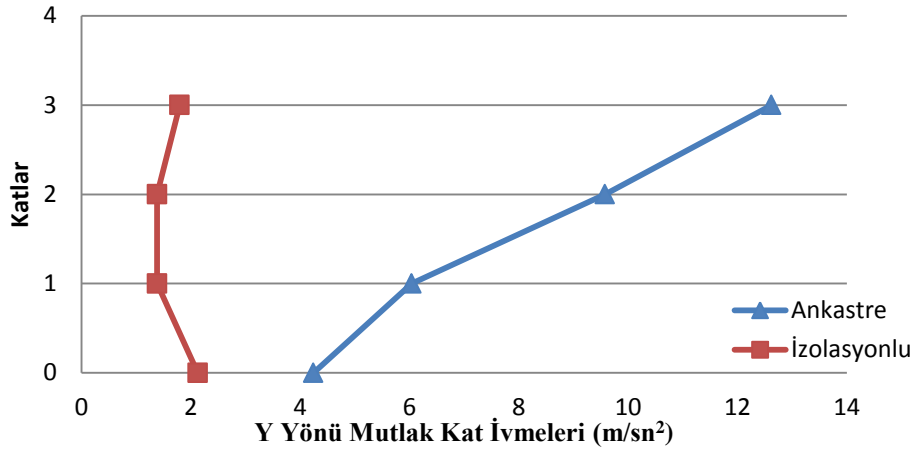
Tablo 3.7. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın mutlak kat ivmeleri

Mutlak kat ivmeleri (m/sn ²)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	5,571	2,554	2,642	1,406	2,952	4,242
	İzolasyonlu	2.660	1.697	1.651	0.930	1.726	2.125
1. kat	Ankastre	8.978	2.623	2.448	1.779	5.133	6.040
	İzolasyonlu	2.121	1.126	1.325	0.692	1.308	1.381
2. kat	Ankastre	8.076	2.202	2.916	2.281	6.818	9.573
	İzolasyonlu	2.482	0.997	1.197	0.747	1.470	1.381
3. kat	Ankastre	12.585	3.678	3.456	3.114	8.682	12.623
	İzolasyonlu	2.910	1.610	1.766	0.987	1.929	1.793

Bu tablodan görüldüğü gibi, hem ankastre mesnetli hem de sismik izolasyonlu 3 katlı binalar için en büyük mutlak kat ivme değerleri, X yönünde Castaic depreminden, Y yönünde ise Kagel depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönündeki en büyük mutlak kat ivme değerleri Şekil 3.21'de, Y yönündeki ivme değerleri ise Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri



Şekil 3.22. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 3 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri

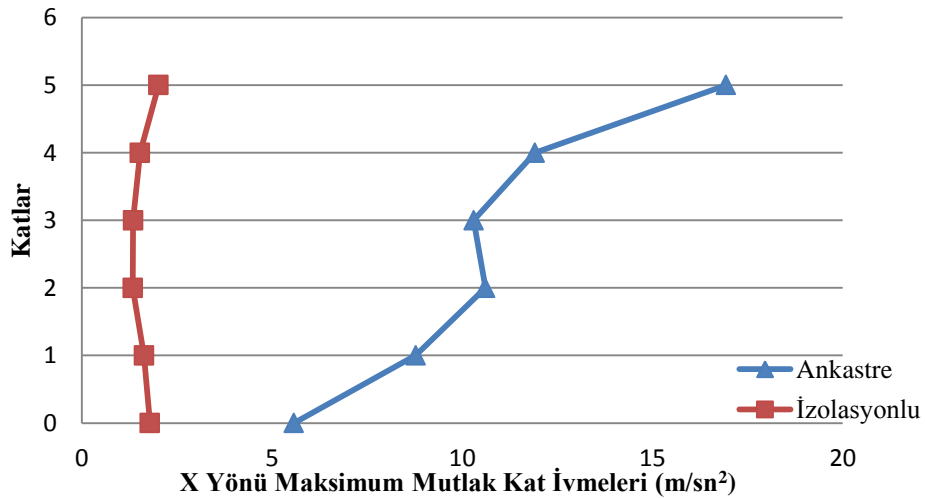
Bu tablo ve şekillerden 3 katlı sismik izolasyonlu binanın en büyük mutlak kat ivme değerlerinin, izolasyon seviyesinde X yönünde 2.6 m/sn^2 ve Y yönünde 2.1 m/sn^2 , tepe noktasında ise X yönünde 2.9 m/sn^2 ve Y yönünde 1.7 m/sn^2 olduğu görülmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda bina mesnetleri X yönünde 5.5 m/sn^2 ve Y yönünde 4.2 m/sn^2 , tepe noktası ise X yönünde 12.5 m/sn^2 ve Y yönünde 12.6 m/sn^2 kat ivmelerine maruz kalmaktadır. Taban izolatörü kullanılan 3 katlı binada izolasyon seviyesine gelen ivme değeri, ankastre mesnetli olarak inşa edilen binanınkine göre her iki yönde yaklaşık 2 kat azalmıştır. Binanın tepe noktasında ise ivme değeri, X yönünde yaklaşık 4 kat, Y yönünde ise yaklaşık 7 kat azalmıştır. Bu da, taban izolasyonlu 3 katlı binanın, ankastre mesnetli binaya göre daha az deprem kuvvetine maruz kalacağını göstermektedir.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 5 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen kat seviyelerinde meydana gelen X ve Y yönlerindeki mutlak kat ivmeleri Tablo 3.8' de verilmiştir.

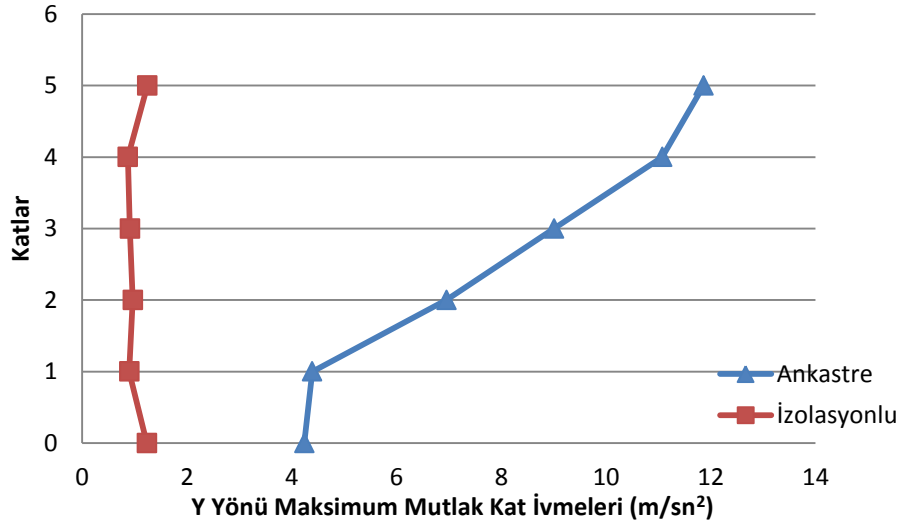
Tablo 3.8. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın mutlak kat ivmeleri

Mutlak kat ivmeleri (m/sn ²)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	5,571	2,554	2,642	1,406	2,952	4,242
	İzolasyonlu	1.789	1.238	1.101	0.679	1.176	0.915
1. kat	Ankastre	8.780	2.571	2.403	1.395	4.294	4.394
	İzolasyonlu	1.635	0.865	1.120	0.656	0.929	0.900
2. kat	Ankastre	10.608	2.882	2.994	2.147	5.756	6.956
	İzolasyonlu	1.341	0.796	1.077	0.640	0.843	0.969
3. kat	Ankastre	10.301	3.249	3.261	2.461	6.551	9.008
	İzolasyonlu	1.349	0.766	1.110	0.626	0.927	0.912
4. kat	Ankastre	11.913	2.717	3.202	2.322	6.868	11.074
	İzolasyonlu	1.528	0.755	1.139	0.630	1.047	0.872
5. kat	Ankastre	16.935	4.410	3.738	3.078	8.001	11.867
	İzolasyonlu	2.018	1.246	1.153	0.665	1.103	1.044

Bu tablodan görüldüğü gibi, 5 katlı ankastre mesnetli bina için mutlak kat ivme değerlerinin X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu bina için ise X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Castaic depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönündeki en büyük mutlak kat ivme değerleri Şekil 3.23'de, Y yönündeki ivme değerleri ise Şekil 3.24'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri



Şekil 3.24. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 5 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri

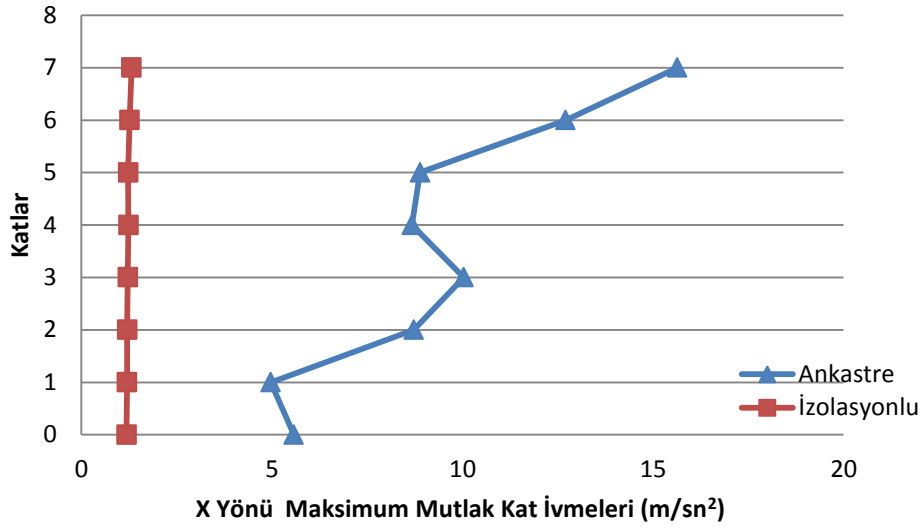
Bu tablo ve şekillerden 5 katlı sismik izolasyonlu binanın en büyük mutlak kat ivme değerlerinin izolasyon seviyesinde X yönünde 1.7 m/sn^2 ve Y yönünde 1.2 m/sn^2 , tepe noktasında ise X yönünde 2 m/sn^2 ve Y yönünde 1.2 m/sn^2 olduğu görülmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda bina mesnetleri X yönünde 5.5 m/sn^2 ve Y yönünde 4.242 m/sn^2 , tepe noktası ise X yönünde 16.9 m/sn^2 ve Y yönünde 11.8 m/sn^2 kat ivmelerine maruz kalmaktadır. Taban izolatörü kullanılan 5 katlı binada izolasyon seviyesine gelen ivme değeri, ankastre mesnetli olarak inşa edilen binanıninkine göre her iki yönde yaklaşık 3 kat azalmıştır. Binanın tepe noktasında ise ivme değeri, X yönünde yaklaşık 8 kat, Y yönünde ise yaklaşık 9 kat azalmıştır.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 7 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen mutlak kat ivmeleri Tablo 3.9' da verilmiştir.

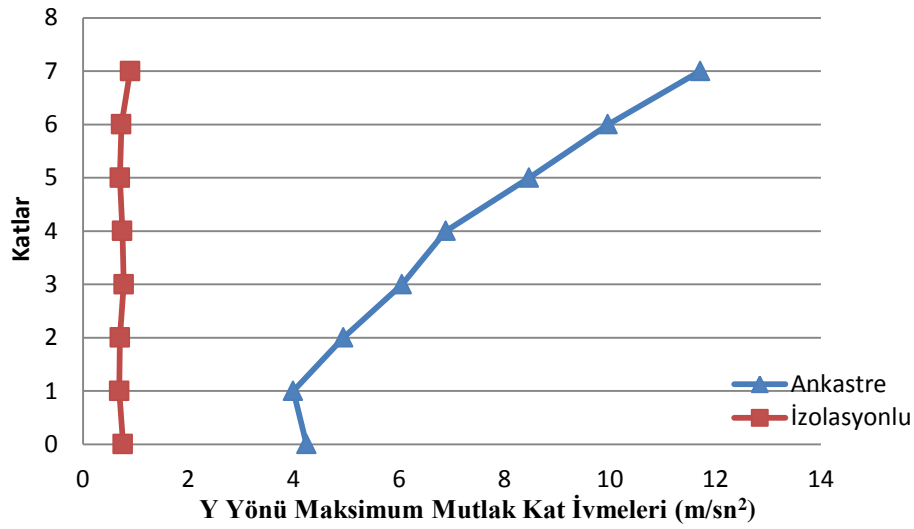
Tablo 3.9. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın mutlak kat ivmeleri

Mutlak kat ivmeleri (m/sn ²)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	5.571	2.554	2.642	1.406	2.952	4.242
	İzolasyonlu	1.170	0.760	1.181	0.675	0.889	0.687
1. kat	Ankastre	4.966	2.296	2.372	1.430	3.729	3.990
	İzolasyonlu	1.122	0.658	1.197	0.690	0.881	0.664
2. kat	Ankastre	8.717	2.546	2.403	1.611	5.383	4.941
	İzolasyonlu	0.992	0.522	1.201	0.702	0.853	0.635
3. kat	Ankastre	10.032	2.772	2.960	2.130	6.618	6.056
	İzolasyonlu	0.956	0.446	1.215	0.687	0.829	0.775
4. kat	Ankastre	8.672	2.929	3.493	2.300	6.932	6.886
	İzolasyonlu	0.894	0.430	1.233	0.622	0.798	0.748
5. kat	Ankastre	8.887	2.511	4.435	2.555	7.611	8.468
	İzolasyonlu	1.005	0.451	1.226	0.656	0.861	0.704
6. kat	Ankastre	12.703	3.254	4.951	2.021	9.460	9.962
	İzolasyonlu	1.183	0.574	1.264	0.707	0.908	0.730
7. kat	Ankastre	15.634	4.487	5.276	2.850	10.658	11.711
	İzolasyonlu	1.294	0.896	1.312	0.733	0.942	0.815

Bu tablodan görüldüğü gibi, 7 katlı ankastre mesnetli bina için en büyük mutlak kat ivme değerlerinin X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu bina için ise X yönünde Gebze depreminden ve Y yönünde üç depremden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönündeki en büyük mutlak kat ivme değerleri Şekil 3.25'de, Y yönündeki ivme değerleri ise Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.25. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri



Şekil 3.26. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 7 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri

Bu tablo ve şekillerden 7 katlı sismik izolasyonlu binanın mutlak kat ivme değerlerinin izolasyon seviyesinde X yönünde 1.1 m/sn^2 ve Y yönünde 0.76 m/sn^2 , tepe noktasında ise X yönünde 1.3 m/sn^2 ve Y yönünde 0.8 m/sn^2 olduğu görülmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda bina mesnetleri X yönünde 4.2 m/sn^2 ve Y yönünde 5.5 m/sn^2 , tepe noktası ise X yönünde 15.6 m/sn^2 ve Y yönünde 11.7 m/sn^2 kat ivmelerine maruz kalmaktadır. Taban izolatörü kullanılan 7 katlı binada izolasyon

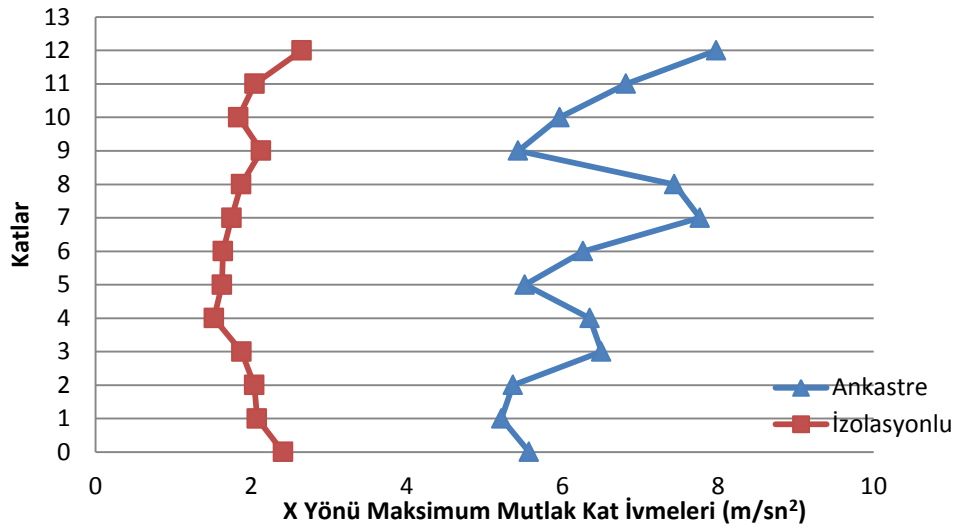
seviyesine gelen ivme değeri, ankastre mesnetli olarak inşa edilen binanınkine göre her iki yönde yaklaşık 5 kat azalmıştır. Binanın tepe noktasında ise ivme değeri, X yönünde yaklaşık 12 kat, Y yönünde ise yaklaşık 13 kat azalmıştır.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 12 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen mutlak kat ivmeleri Tablo 3.10' da verilmiştir.

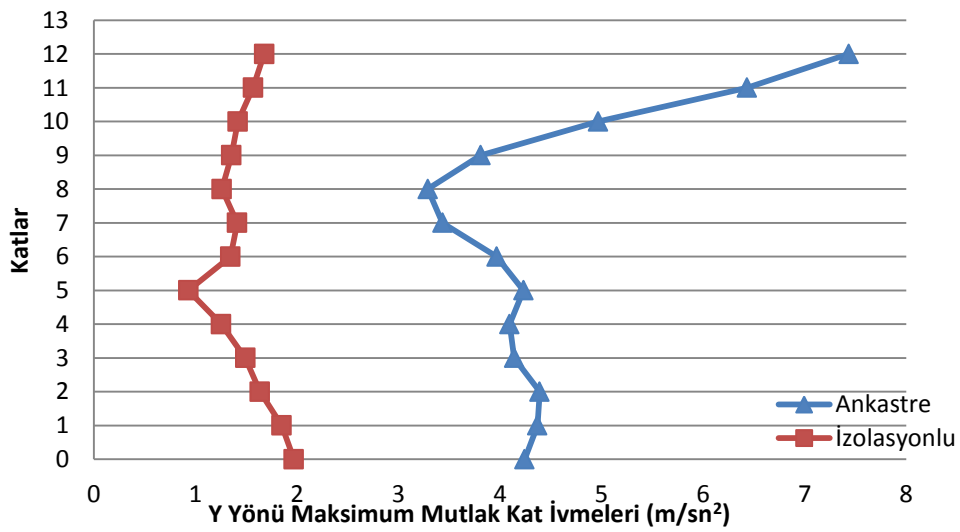
Tablo 3.10. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın mutlak kat ivmeleri

Mutlak kat ivmeleri (m/sn ²)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	5.571	2.554	2.642	1.406	2.952	4.242
	İzolasyonlu	2.412	1.343	1.337	0.882	1.905	1.969
1. kat	Ankastre	5.216	2.336	2.551	1.349	2.946	4.369
	İzolasyonlu	2.075	1.207	1.348	0.876	1.567	1.849
2. kat	Ankastre	5.365	2.406	2.779	1.964	3.096	4.391
	İzolasyonlu	2.041	0.991	1.374	0.869	1.317	1.635
3. kat	Ankastre	6.501	2.239	3.057	2.135	3.297	4.140
	İzolasyonlu	1.877	0.989	1.409	0.845	1.395	1.492
4. kat	Ankastre	6.351	2.205	3.300	2.322	3.288	4.094
	İzolasyonlu	1.522	0.927	1.383	0.816	1.414	1.254
5. kat	Ankastre	5.519	1.946	3.350	2.129	3.729	4.232
	İzolasyonlu	1.626	0.923	1.297	0.707	1.471	0.930
6. kat	Ankastre	6.267	2.074	2.957	2.056	3.550	3.967
	İzolasyonlu	1.637	1.010	1.174	0.655	1.183	1.345
7. kat	Ankastre	7.766	2.268	2.741	1.689	3.547	3.434
	İzolasyonlu	1.749	0.939	1.131	0.685	1.051	1.411
8. kat	Ankastre	7.439	2.342	2.660	1.813	3.850	3.289
	İzolasyonlu	1.873	0.883	1.282	0.685	1.042	1.259
9. kat	Ankastre	5.432	2.452	3.113	1.764	4.259	3.808
	İzolasyonlu	2.130	0.808	1.390	0.734	1.072	1.354
10. kat	Ankastre	5.996	1.960	3.671	2.352	4.535	4.967
	İzolasyonlu	1.838	0.919	1.434	0.769	1.241	1.419
11. kat	Ankastre	6.818	2.639	4.077	2.759	5.636	6.432
	İzolasyonlu	2.045	1.238	1.426	0.836	1.354	1.567
12. kat	Ankastre	7.979	3.921	5.275	3.148	6.492	7.435
	İzolasyonlu	2.652	1.667	1.570	0.972	1.748	1.677

Bu tablodan görüldüğü gibi, 12 katlı ankastre mesnetli bina için en büyük mutlak kat ivme değerlerinin X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu bina için ise X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönündeki en büyük mutlak kat ivme değerleri Şekil 3.27’de, Y yönündeki ivme değerleri ise Şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri



Şekil 3.28. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri

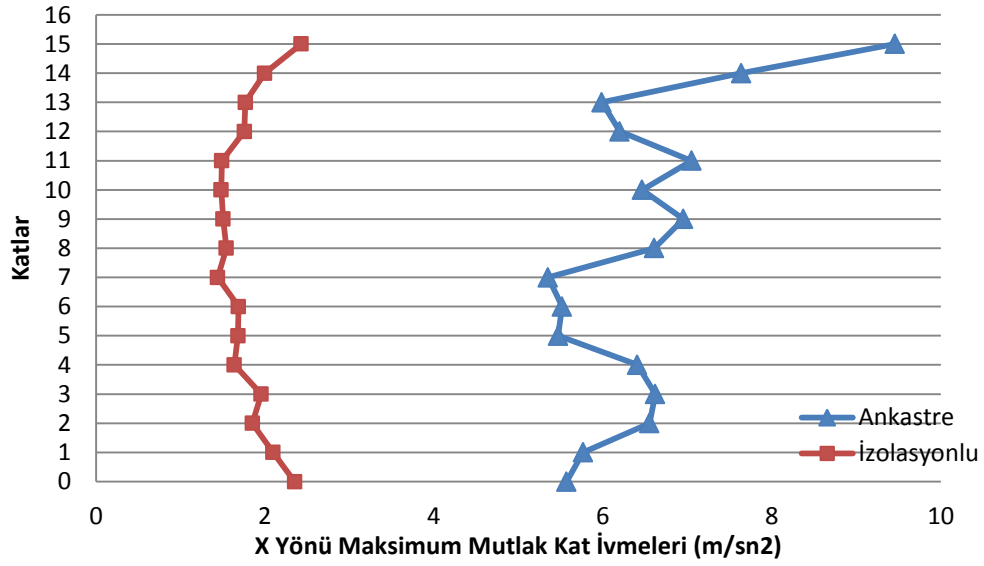
Bu tablo ve şekillerden 12 katlı sismik izolasyonlu binanın mutlak kat ivme değerlerinin izolasyon seviyesinde X yönünde 2.4 m/sn^2 ve Y yönünde 1.9 m/sn^2 , tepe noktasında ise X yönünde 2.6 m/sn^2 ve Y yönünde 1.6 m/sn^2 olduğu görülmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda bina mesnetleri X yönünde 5.5 m/sn^2 ve Y yönünde 4.2 m/sn^2 , tepe noktası ise X yönünde 7.9 m/sn^2 ve Y yönünde 7.4 m/sn^2 kat ivmelerine maruz kalmaktadır. Taban izolatörü kullanılan 12 katlı binada izolasyon seviyesine gelen ivme değeri, ankastre mesnetli olarak inşa edilen binaninkine göre her iki yönde yaklaşık 2 kat azalmıştır. Binanın tepe noktasında ise ivme değeri, X yönünde yaklaşık 3 kat, Y yönünde ise yaklaşık 4 kat azalmıştır.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen 15 katlı bina için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki kat seviyelerinde meydana gelen mutlak kat ivmeleri Tablo 3.11' de verilmiştir.

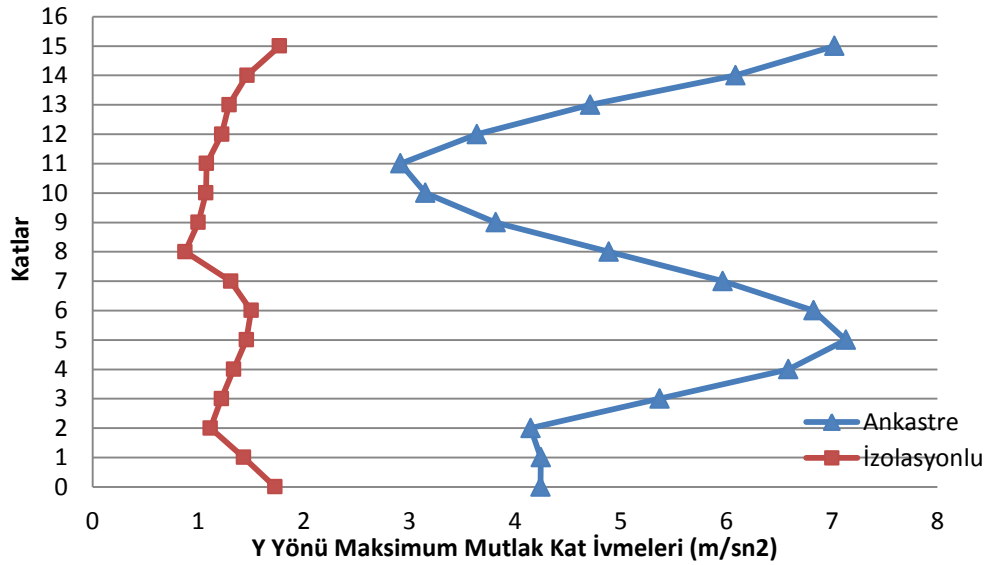
Tablo 3.11. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın mutlak kat ivmeleri

Mutlak kat ivmeleri (m/sn ²)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Zemin kat	Ankastre	5.571	2.554	2.642	1.406	2.952	4.242
	İzolasyonlu	2.351	1.466	1.469	0.769	1.335	1.727
1. kat	Ankastre	5.766	2.192	2.603	1.412	2.811	4.244
	İzolasyonlu	2.096	1.292	1.483	0.750	1.226	1.430
2. kat	Ankastre	6.551	2.145	2.809	1.444	3.131	4.148
	İzolasyonlu	1.852	0.927	1.476	0.695	1.276	1.115
3. kat	Ankastre	6.620	2.230	3.072	1.502	3.841	5.370
	İzolasyonlu	1.955	0.940	1.459	0.645	1.322	1.220
4. kat	Ankastre	6.408	2.146	2.777	1.812	3.720	6.588
	İzolasyonlu	1.638	1.028	1.470	0.694	1.299	1.334
5. kat	Ankastre	5.470	2.048	2.985	1.998	3.484	7.134
	İzolasyonlu	1.681	0.929	1.434	0.754	1.207	1.456
6. kat	Ankastre	5.517	2.181	3.031	2.184	3.454	6.828
	İzolasyonlu	1.687	0.797	1.336	0.742	1.151	1.501
7. kat	Ankastre	5.350	2.091	2.813	2.118	3.284	5.968
	İzolasyonlu	1.441	0.816	1.353	0.737	1.145	1.308
8. kat	Ankastre	6.608	1.928	2.695	2.078	3.147	4.887
	İzolasyonlu	1.543	0.760	1.384	0.778	1.107	0.876
9. kat	Ankastre	6.953	2.178	2.361	1.802	3.202	3.818
	İzolasyonlu	1.504	0.732	1.405	0.815	1.019	1.000
10. kat	Ankastre	6.464	2.191	2.401	1.238	2.568	3.152
	İzolasyonlu	1.483	0.761	1.411	0.802	1.103	1.073
11. kat	Ankastre	7.051	2.121	2.473	1.661	2.322	2.916
	İzolasyonlu	1.490	0.735	1.371	0.781	1.124	1.078
12. kat	Ankastre	6.199	2.192	2.682	1.792	2.435	3.640
	İzolasyonlu	1.756	0.767	1.412	0.803	1.215	1.223
13. kat	Ankastre	5.988	1.871	2.832	1.482	3.039	4.713
	İzolasyonlu	1.768	0.832	1.465	0.802	1.310	1.293
14. kat	Ankastre	7.640	2.514	3.741	1.857	3.865	6.089
	İzolasyonlu	1.998	1.068	1.562	0.868	1.326	1.462
15. kat	Ankastre	9.458	3.625	5.025	2.651	4.756	7.025
	İzolasyonlu	2.429	1.392	1.824	1.064	1.615	1.770

Bu tablodan görüldüğü gibi, hem ankastre mesnetli hem de sismik izolasyonlu 15 katlı binalar için mutlak kat ivme değerlerinin X yönünde Castaic depreminden, Y yönünde ise Kagel depreminden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönündeki en büyük mutlak kat ivme değerleri Şekil 3.29'da, Y yönündeki ivme değerleri ise Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.29. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın X yönü mutlak kat ivmeleri



Şekil 3.30. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 15 katlı binanın Y yönü mutlak kat ivmeleri

Bu tablo ve şekillerden 15 katlı sismik izolasyonlu binanın mutlak kat ivme değerlerinin izolasyon seviyesinde X yönünde 2.3 m/sn^2 ve Y yönünde 1.7 m/sn^2 , tepe noktasında ise X yönünde 2.4 m/sn^2 ve Y yönünde 1.7 m/sn^2 olduğu görülmektedir. Aynı şekilde binanın ankastre mesnetli olması durumunda bina mesnetleri X yönünde 5.5 m/sn^2 ve Y yönünde 4.2 m/sn^2 , tepe noktası ise X yönünde 9.4 m/sn^2 ve Y yönünde 7 m/sn^2 kat ivmelerine maruz kalmaktadır. Taban izolatörü kullanılan 15 katlı binada izolasyon seviyesine gelen ivme değeri, ankastre mesnetli olarak inşa edilen binanın göre her iki yönde yaklaşık 2.4 kat, binanın tepe noktasında ise yaklaşık 4 kat azalmıştır.

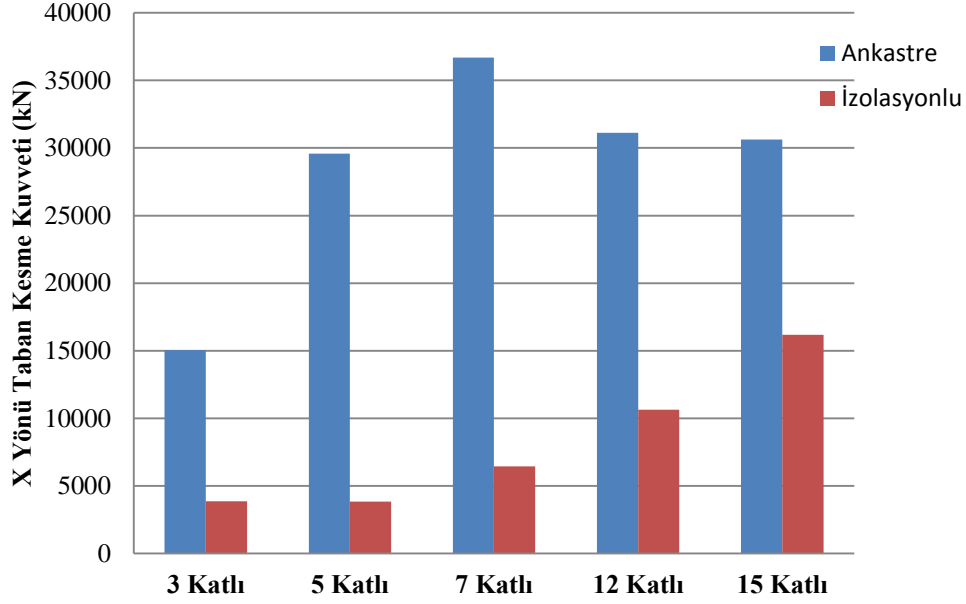
Depreme karşı yapı tasarımında, kesitlere gelen kuvvetlerin malzemenin akma sınırlarını aşmaması istenmektedir. Bu amaç doğrultusunda izolatörlü ve izolatörsüz yapıların taban kesme kuvvetleri ve taban eğilme momentleri incelenmesi gerekmektedir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen farklı yüksekliklere sahip binalar için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki taban kesme kuvvetleri Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu yapıların taban kesme kuvvetleri

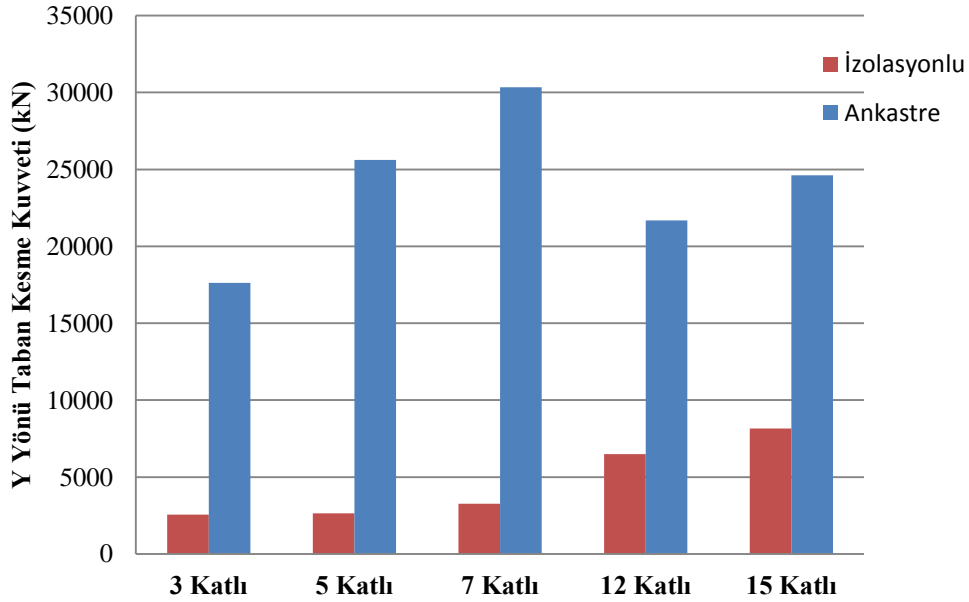
Taban kesme kuvveti (kN)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
3 Katlı	Ankastre	15042.3	2995	4412.8	3009.7	11970.6	17618.1
	İzolasyonlu	3862.5	1401.9	2452.7	1456.1	2667.4	2555.8
5 Katlı	Ankastre	29581.9	5793	8988.5	5465.7	19475.3	25624.2
	İzolasyonlu	3682.8	1592.6	3839.2	2282.6	3204.4	2648.3
7 Katlı	Ankastre	36692.5	8733.4	13908.9	7471.6	29329.3	30334
	İzolasyonlu	3996.7	1712.7	6451.5	3261.9	4179.5	2818.1
12 Katlı	Ankastre	31121.3	8738.8	15479.8	10804.8	24856.8	21674.8
	İzolasyonlu	8845.4	4507.3	10640.5	5841.6	7886.2	6482.9
15 Katlı	Ankastre	30634.5	10290.8	18675.6	9603.5	15261.2	24610.2
	İzolasyonlu	9969.4	4309.2	16185.2	8155.5	11647.5	6155.2

Bu tablodan görüldüğü gibi, ankastre mesnetli binalar için maksimum taban kesme kuvvet değerlerinin X yönünde Castaic depreminden ve Y yönünde Kagel depreminden; sismik izolasyonlu binalar için ise, X yönünde Gebze ve Castaic depremlerinden, Y yönünde Gebze ve Kagel depremlerinden elde edilmiştir. Ankastre mesnetli ve sismik

izolasyonlu binaların en büyük taban kesme kuvvet değerleri; X yönünde Şekil 3.31’de, Y yönünde ise Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.31. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların X yönü maksimum taban kesme kuvvetleri



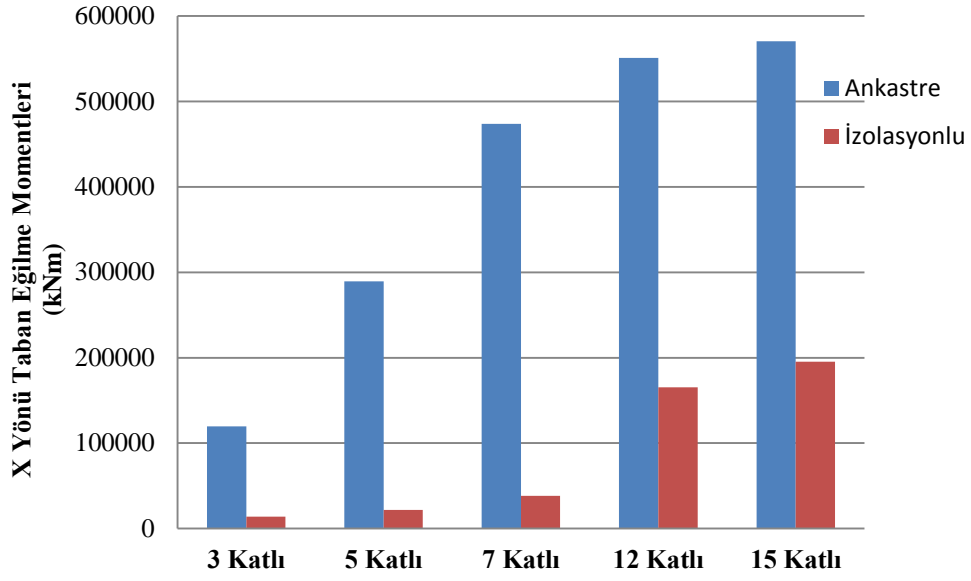
Şekil 3.32. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların Y yönü maksimum taban kesme kuvvetleri

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modellenen farklı yüksekliklere sahip binalar için zaman tanım alanında dinamik analizlerinden elde edilen X ve Y yönlerindeki taban eğilme momentleri ise Tablo 3.13’ de verilmiştir.

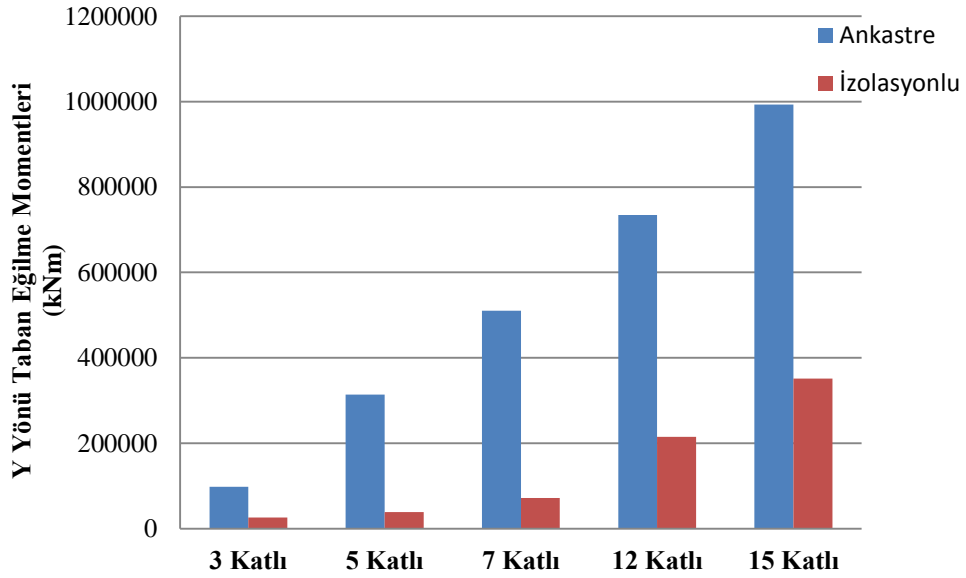
Tablo 3.13. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu yapıların taban eğilme momentleri

Taban eğilme momentleri (kNm)		Castaic		Gebze		Kagel	
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
3 Katlı	Ankastre	22510	98360	23200	28390	119700	79010
	İzolasyonlu	8621	26530	7911	13880	13860	16950
5 Katlı	Ankastre	60360	313800	55300	86660	289500	190100
	İzolasyonlu	17540	39040	18710	33160	22060	29470
7 Katlı	Ankastre	108500	510600	98500	221200	473600	439900
	İzolasyonlu	24330	58830	38520	72430	34860	50970
12 Katlı	Ankastre	182200	734800	252700	362000	550900	660900
	İzolasyonlu	91050	189600	117600	215400	165300	169900
15 Katlı	Ankastre	252200	993100	274300	378700	570300	373300
	İzolasyonlu	120700	259000	195200	351400	194300	255700

Tablo 3.13’den görüldüğü gibi, ankastre mesnetli binalar için maksimum taban eğilme moment değerlerinin X yönünde Kagel depreminden ve Y yönünde Castaic depreminden; sismik izolasyonlu binalar için ise, X yönünde Gebze ve Kagel depremlerinden, Y yönünde Gebze ve Castaic depremlerinden elde edildiği görülmektedir. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların en büyük taban eğilme moment değerleri; X yönünde Şekil 3.33’de, Y yönünde ise Şekil 3.34’de verilmiştir.

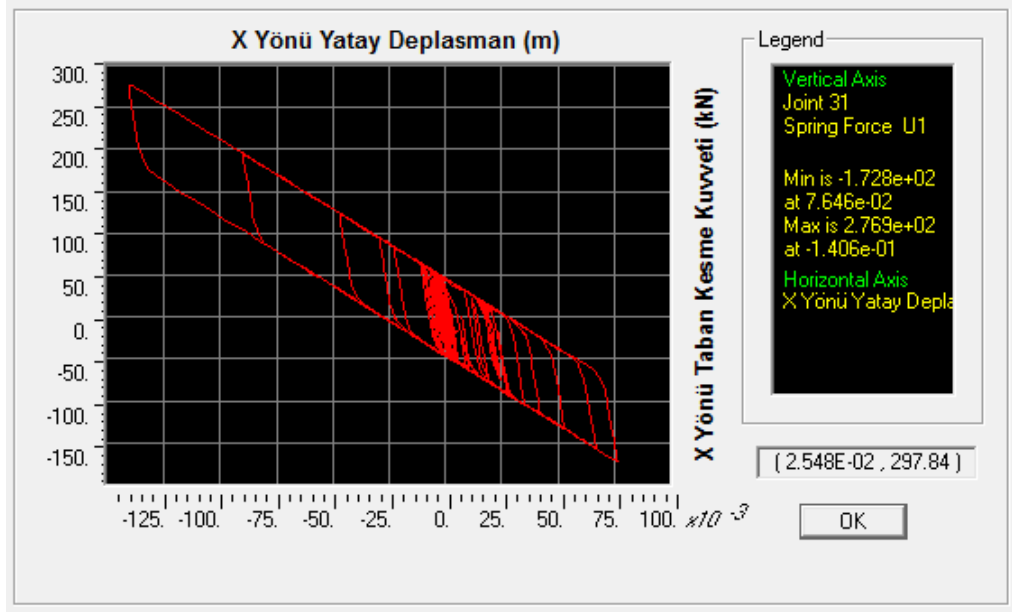


Şekil 3.33. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların X yönü maksimum taban eğilme momentleri



Şekil 3.34. Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu binaların Y yönü maksimum taban eğilme momentleri

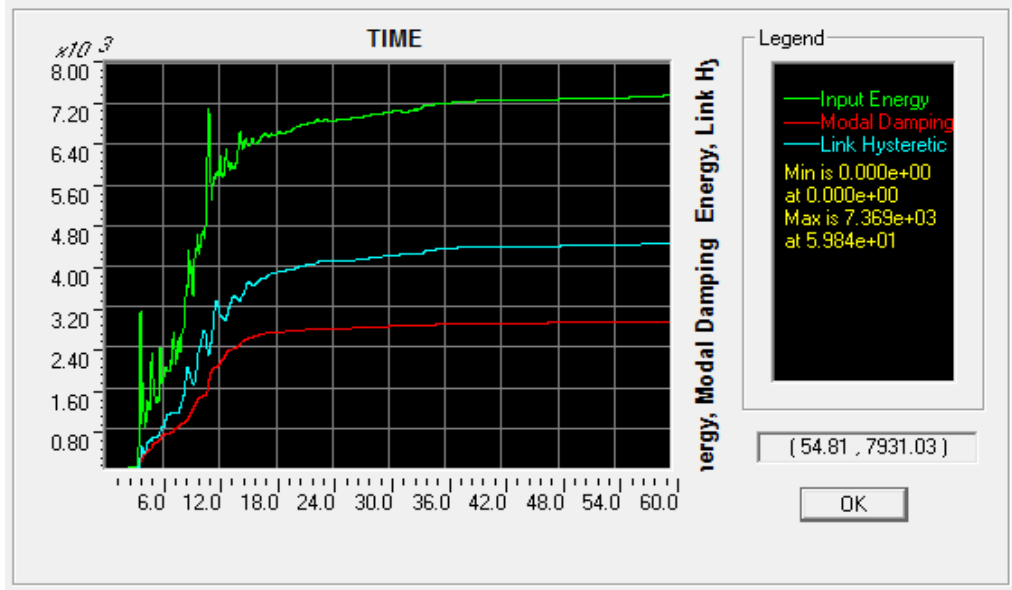
Sismik izolatörlerin çevrimsel davranışını araştırmak amacıyla, 15 katlı izolasyonlu binada kullanılan Castaic depreminin X yönündeki bileşenine maruz kalmış izolatörlerde meydana gelen kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.35’de verilmiştir.



Şekil 3.35. 15 katlı sismik izolasyonlu binada kullanılan sismik izolatörlerde Castaic depremi sonucunda X yönünde meydana gelen kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisi

Şekilden görüldüğü gibi sisteme giren enerji, sismik izolatörün çevrimsel davranışı sayesinde etkili bir şekilde yutulmaktadır. İzolatör, maksimum 276.9 kN kuvvete karşılık 0.1406 metre yerdeğiştirme yapmıştır. Bu değerler, 15 katlı izolasyonlu bina için Tablo 3.6.'da ve Tablo 3.12.'de verilen Castaic depremi zemin kat değerleriyle aynıdır.

Sismik izolatörlerin deprem sırasında sönmülediği enerji miktarını araştırmak amacıyla Kagel depremine maruz kalmış 15 katlı izolasyonlu binanın enerji-zaman grafikleri Şekil 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.36. 15 katlı izolasyonlu bina için Kagel depreminden meydana gelen enerji – zaman grafikleri

15 katlı sismik izolasyonlu binaya Kagel depreminden giren toplam enerjinin (yeşil çizgi) maksimum değeri 7.369×10^6 J olarak elde edilmiştir. Sismik izolatörlerin çevrimsel davranışları sayesinde sönmölenen enerjinin (mavi çizgi) maksimum değeri 4.447×10^6 J olarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi, sismik izolasyon sistemi, yapıya giren enerjinin büyük bir kısmını sönmölemiştir. Sönmölenemeyen enerji ise üst yapıya aktarılmaktadır. Üst yapının sönmölediği, modal sönmö enerji olarak adlandırılan bu enerjinin (kırmızı çizgi) maksimum değeri 2.911×10^6 J olarak elde edilmiştir. Enerjinin korunumu prensibinden sönmölenemeyen enerji ise yapının kinetik ve elastik enerjisinin toplamına eşittir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sismik izolatörlerin, çerçeve taşıyıcı sistemli 3, 5, 7, 12 ve 15 katlı betonarme binaların sismik davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Binaların zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerinde, çeşitli kriterlere göre seçilen üç adet deprem kaydından elde edilen maksimum sonuçlar incelenmiştir. Yapılan analizlere bağlı olarak elde edilen bulgulardan çıkarılabilecek sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Sismik taban izolatörlü olarak modellenmiş binaların periyotlarında, ankastre mesnetli olarak modellenen binalara göre önemli bir artış gözlemlenmiştir. Böylece izolasyon sistemi, binayı baskın periyot aralığından uzaklaştırarak yapının maruz kaldığı deprem ivmelerini azaltmıştır.

- Yüksek periyotlu binalarda, rijitliği az olan sismik taban izolasyon sistemlerinin kullanılması durumunda binanın periyodu daha da artmıştır. Bu nedenle yüksek periyotlu binalarda rijitliği az olan taban izolatörlerinin seçilmesi uygun olmamaktadır. Dolayısıyla yüksek katlı ağır binalarda daha rijit sismik izolatörlerin kullanılmasının ve daha az katlı nispeten daha hafif binalarda ise düşük rijitliğe sahip izolatörlerin kullanılmasının, daha uygun olduğu görülmüştür.

- Sismik taban izolasyonlu binalarda kat yerdeğiştirmeleri, ankastre mesnetli binalara göre daha fazla olmuştur. Sismik taban izolatörler, izolasyon seviyesinde meydana gelen yerdeğiştirmeleri karşılamasıyla, üst yapının nispeten daha rijit davranmasını sağlamıştır. Sismik izolasyonlu binalarda, bina yüksekliği arttıkça yerdeğiştirme miktarlarında meydana gelen artışlar, rijitliği yüksek izolatörler kullanılarak sınırlandırılmaktadır.

- Sismik izolasyonlu binalarda rölatif kat yerdeğiştirmelerinde, ankastre mesnetli modellere göre daha fazla azalma olmuştur. Ancak yüksek katlı binalarda, deprem etkisinde rölatif kat yerdeğiştirmelerinin sınırlandırılmasında ve deprem davranışlarının iyileştirilmesinde taban izolatörleri tek başına yeterli olmamaktadır. Bu katlarda kullanılacak viskoz sönümleyiciler veya ilave izolatörler ile yapı deprem sonrasında kullanılabilir durumda kalacak ve içerisindeki önemli cihazlarda ve donanımlarda oluşabilecek hasar seviyesi en aza indirilecektir.

- Ankastre mesnetli ve sismik taban izolatörlü binaların katlarına gelecek deprem kuvvetlerini araştırmak amacıyla mutlak kat ivmelerine bakıldığında, sismik taban izolasyon sistemli binaların ivme değerlerinin büyük oranda azaldığı görülmüştür. Bu da,

taban izolasyonlu binalarda katlara gelen deprem kuvvetlerinin azalmasına dolayısıyla da taşıyıcı eleman enkesit boyutlarının küçülmesine neden olmaktadır. Ayrıca ankastre mesnetli olarak modellenmiş binalara gelen kat ivmeleri yükseklik boyunca üst katlara doğru sürekli artarken sismik izolasyonlu binalarda ise gelen ivmeler hem önemli miktarda azalmış hem de yapının yüksekliği boyunca homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir.

- Sismik taban izolasyon sistemi, deprem nedeniyle oluşan enerjinin büyük bir kısmını sönmümlemekte, binanın taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının daha az deprem enerjisine maruz kalmasını sağlamaktadır.

- Sismik taban izolasyon sistemli binalarda, binaların tasarım aşamasındaki en önemli parametrelerinden olan taban kesme kuvvetlerinde ve taban eğilme momentlerinde, ankastre mesnetli modellere göre, çok büyük oranda azalma gözlenmiştir. Taban reaksiyonlarının büyük ölçüde azalması, binaya gelebilecek kesit etkilerini düşürüp, tasarımın daha ekonomik ve binanın daha güvenilir olmasına imkân sağlamaktadır.

Bu sonuçlardan sismik taban izolasyon sistemli olarak modellenen binaların, ankastre mesnetli binalara göre yerdeğiştirme dışındaki tüm yapısal davranışlarının iyileştiği görülmüştür. Sismik taban izolasyon seviyesinde gerçekleşen bu yerdeğiştirme, özellikle yüksek katlı binalar için sismik taban izolasyon sisteminin en önemli dezavantajıdır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak amacıyla ya viskoz sönmümleyicilere veya katlar arasına uygun konumlara yerleştirilen ilave izolatöre ya da aktif kontrol sistemleriyle beraber oluşturulacak karma yapı kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye’de son yıllarda sismik izolasyon sisteminin kullanılması otoyol viyadükleri, kamunun önemli binaları özellikle şehir hastaneleri gibi yapılarda şartnamelerde zorunlu hale getirilmiştir. Uygun tip sismik izolasyon sistemlerinin seçilmesi yapı davranışları açısından önemli olduğundan izolasyon sistemlerin hangi tür yapılarda ne şekilde etki edeceği araştırılmalıdır. Çok katlı yapılarda, kat sayısı arttıkça sismik taban izolasyon sisteminin tek başına yeterli olmadığı yapılan çalışmadan görülmüştür. Bu nedenle çok katlı yapılarda, sismik taban izolatörleri ile birlikte viskoz sönmümleyiciler veya kütle sönmümleyicilerin kullanılması tercih edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Acar, E., 2006. Comparison Of Design Specifications For Seismically Isolated Buildings, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Aiken, I., D., Kelly, J., M., Clark, P., W., Tamura, K., Kikuchi, M. ve Itah, T., 1992. Experimental studies of the mechanical characteristics of three types of seismic isolation bearings, Proceedings, Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid.
- Alhan, C. ve Gavin, H., 2004. A Parametric Study of Linear and Non-Linear Passively Damped Seismic Isolation Systems for Buildings, Engineering Structures, 26, 485-497.
- Ateş, Ş., 2004. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi ile İzolasyonlu Karayolu Köprülerinin Değişerek Yayılan Yer Hareketi İçin Stokastik Analizi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Batur, M., E., 2005. Standart Yapılarda Sismik İzolasyon, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 3. Baskı, ISBN 0-13-855214-2, İstanbul.
- Chung, W., J., Yun, C., B., Kim, N., S. ve Seo, J., W., 1999. Shaking Table and Pseudodynamic Tests for the Evaluation of the Seismic Performance of Base-Isolated Structures, Engineering Structures, 21, 4.
- Clark, P., W., Aiken, I., D. ve Kelly, J., M., 1997. Ongoing studies of the Foothill Communities Law and Justice Center, Proceedings, Structures Congress XV., Portland.
- Colunga, A., T. ve Soberon, L., G., 2002. Torsional Response of Base-Isolated Structures due to Asymmetries in the Superstructure, Engineering Structures, 24, 1587-1599.
- Constantinou, C., M., 2004. Friction Pendulum Double Concave Bearing, Technical Report, University at Buffalo State University New York.
- Derdiman, M., K., 2006. Düzensiz Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının Taban İzolatörleri, Enerji Sönümleyici ve Dağıtıcılarla İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Doudoumis, I., N., Gravalas, F. ve Doudoumis, N. I. 2005. Analytical modeling of elastomeric lead-rubber bearings with the use of finite element micromodels, 5th GRACM International Congress on Computational Mechanics Limassol.

- Griffith, M., C., Kelly, J., M. ve Aiken, I., D., 1988. A displacement control and uplift restraint device for base isolated structures, Proceedings, Ninth World Conference
- Hışman, K., 2011. Sismik İzolasyon Platformlarının Performanslarının Sismik İzolatörlerin Mekanik Özelliklerindeki Küçük Sapmalara Olan Duyarlılığı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Jangid, R., S. ve Datta T., K., 1994. Non-linear Response Torsionally Coupled Base Isolated Structure, Journal of Structural Engineering, ASCE, 120, 1-22.
- Kelly, J., M., 1981. The influence of base isolation on the seismic response of light secondary equipment, Earthquake Engineering, Report No UCB/EERC-81/17.
- Kelly J., M., 1990. Base isolation: Linear Theory and Design, Earthquake Spectra, Mayıs, 6, 2.
- Kelly J., M., 1999. The role of damping in seismic isolation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28, 3-20.
- Kelly, J., M. ve Naeim, F., 1999. Design of Seismic Isolated Structures-From Theory to Practice, John Willey and Sons, Inc., USA.
- Kelly, J., M. ve Konstantinidis, D., A., 2011. Mechanics of Rubber Bearings for Seismic and Vibration Isolation, John Willey and Sons, Inc., USA.
- Kikuchi, M. ve Aiken I.,D., 1997. An analytical hysteresis model for elastomeric seismic isolation bearings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26, 2.
- Komodromos, P., 2000. Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures, WIT Press, UK.
- Lee, D., M., 1980. Base Isolation for Torsion Reduction in Asymmetric Structures under Earthquake Loading, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 8, 349-359.
- Malangone, P. ve Ferraioli, M., 1998. A Model Procedure for Seismic Analysis of Non-Linear Base-Isolated Multistorey Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 17, 397-412.
- Matsagar, V., A. ve Jangid, R., S., 2003. Seismic Response Of Base-Isolated Structures During Impact With Adjacent Structures, Engineering Structures, 25, 1311-1323.
- Mirkelam Z., A., 2006. Katları Arasında Yalıtım Elemanları Kullanılan Çok Katlı Binalarda Taban Yalıtımı Etkinliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Mokha, A., Constantinou, M., C., Reinhorn, A., M. ve Zayas, V., A., 1991. Experimental study of friction-pendulum isolation system, Journal of Structural Engineering, 117, 4, 1201-1217.

- Mokha, A., S., Constantinou, M., C. ve Zayas, V., 1996. Seismic Isolation Retrofit of Large Historic Building, Journal of Structural Engineering, 122, 3.
- Moroni, M., O., Sarrazin, M. ve Boroschek, R., 1997. Experiments on a Base Isolated Building in Santiago-Chile, Engineering Structures, 20, 720-725.
- Mostaghel, N., Hejazi, M. ve Tanbakuchi, J., 1983. Response of Sliding Structures to Harmonic Support Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 355-366.
- Milli Eğitim Bakanlığı, 2006. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.
- Nagarajaiah, S., Reinhom, A., M. ve Constantinou, M., C., 1993. Torsion in Base-Isolated Structures with Elastomeric Isolation Systems, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119, 10, 2932-2951.
- Özdemir, G., 2010. Response Of Isolated Structures Under Bi-Directional Excitations Of Near-Field Of Ground Motions, Doktora Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özgür, M., 2010. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan İzolasyon Sistemlerinin Sismik Performanslarının Karşılaştırılması Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkaya, C., 2010. Development Of A New Seismic Isolator Named Ball Rubber Bearing Doktora Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Pan, T., C. ve Kelly, J., M., 1983. Seismic Response of Torsionally Coupled Base Isolated Building, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11, 749-770.
- Pan, T., C., Ling, S., F. ve Cui, W., 1995. Seismic Response of Segmental Buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 24, 1039-1048.
- Pınarbaşı, S. 2007. A New Formulation For The Analysis Of Bonded Elastic Layers, Doktora Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Purnachandra, S. ve Jangid, R., S., 2008. Comparative Performance of Isolation Systems for Benchmark Cable-stayed Bridge, International Journal of Applied Science and Engineering, 6, 2, 111-139.
- Şahin, N., 2001. Yapılarda Sismik İyileştirme İçin Sismik İzolasyonun Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, F., 2008. Sönümün Sismik Taban İzolasyonu ve Sönümleyicilerin Kullanıldığı Binaların Deprem Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Soyluk, A., 2010. Sismik Taban İzolatörü Kullanımının Mimari Tasarıma Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Bölümü, Ankara
- T.C. Resmi Gazete, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Esasları. (26617), 18.08.2007, 6 -9.
- Temiz, H. 2002. Bolu viyadüğünün sismik performansının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Tezcan, S., S. ve Cimilli, S., 2002. Seismic Base Isolation, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı, Yayın No: KT 004/02, İstanbul.
- Tezcan, S., S. ve Erkal, A., 2002. Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı, Yayın No: KT 005/02 İstanbul.
- Tolay, A., 2006. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Maliyet Analizi Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Yozgat, E. ve Husem, M., 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılabilen Sismik Kontrol Yöntemlerinin İncelenmesi, İMO İzmir Şubesi, Şubat, 20, 121.
- Yurdakul, M., 2011. Üç Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Yapıların Dinamik Davranışına Zemin Eğilebilirliğinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

ÖZGEÇMİŞ

Serhan KARSLIOĞLU 1988 yılında Ankara’da doğdu. Lise öğrenimini Ankara’da Atatürk Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2006-2007 eğitim öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında lisans öğrenimini onur derecesiyle tamamladıktan sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 2012 yılında yüksek lisans öğrenci değişimi programı kapsamında Brno University of Technology’ de (Çek Cumhuriyeti) öğrenim görme hakkı kazandı. 2013 yılında İstanbul-İzmir otoyolu projesi kapsamında Makyol-Göçay âdi ortaklığı bünyesinde teknik ofis mühendisi olarak çalışmaya başladı. İyi derecede İngilizce bilen KARSLIOĞLU halen Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisidir.