

**SİSMİK TABAN İZOLATÖRÜ KULLANIMININ MİMARİ
TASARIMA ETKİSİ**

Asena SOYLUK

**DOKTORA TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MART 2010
ANKARA**

Asena SOYLUK tarafından hazırlanan “SİSMİK TABAN İZOLATÖRÜ KULLANIMININ MİMARİ TASARIMA ETKİSİ” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mimarlık Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

Mimarlık Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ergin ATIMTAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Ali İhsan ÜNAY

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Meral BEGİMGİL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih 11 / 03 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Asena SOYLUK

**SİSMİK TABAN İZOLATÖRÜ KULLANIMININ MİMARİ TASARIMA
ETKİSİ
(Doktora tezi)**

Asena SOYLUK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mart 2010**

ÖZET

Yapı sistemlerinin deprem dayanımını arttırması bakımından inşaat teknolojisindeki en yeni gelişmelerden biri sismik izolasyon teknolojisidir. Bu tez çalışması sismik taban izolasyonu teknolojisinin dünyada yaygın olarak kullanıldığı iki yapı türü olan tarihi yığma binalar ve betonarme binaları kapsamaktadır.

Bu çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan; düşeyde ve planda düzensizlik durumlarının tümünü içeren L şeklinde kalıp planına sahip düzensiz bir betonarme yapı üç şekilde modellenmiştir. Bunlar; ankastre tabanlı, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli modellerdir. Bu modellerin dışında ayrıca; L şeklinde kalıp planına sahip, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te bulunan A3. Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği dışında hiçbir düzensizliğe sahip olmayan ve çalışmada düzenli bina olarak nitelendirilen yapıda modellenmiştir. Çalışmada maksimum yer ivmesi 0,52 g olan Erzincan deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucu dört yapı modelinin periyot değerleri ile sismik tepkileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada ayrıca tarihi yığma binalar da sismik izolasyon uygulaması da incelenmiştir. Mimar Sinan'ın çıraklık eseri olarak nitelenen Şehzade Mehmet Cami SAP 2000 bilgisayar programı ile modellenmiştir. Bu yığma sistemin ankastre mesnetli, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli üç modelinin dinamik davranışları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada dinamik analiz maksimum yapı tepkilerini veren Davranış Spektrum yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak sismik taban izolatörlerinin düzensiz betonarme binanın ve tarihi yığma caminin dinamik davranışlarını iyileştirdiği gözlenmiştir. Sismik taban izolasyonu tasarımda serbestlik sağlamasına rağmen bu sonuç mimarları düzensiz yapılara yönlendirmemelidir. Ayrıca tarihi yapılarda orijinal dokuyu bozmadan güçlendirme özelliği sismik izolatörlerle sağlanabilecektir.

Bilim Kodu : 804. 1. 151
Anahtar Kelimeler : Yapı ve yapım teknolojisi, sismik izolasyon
Sayfa Adedi : 350
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

EFFECT OF SEISMIC BASE ISOLATION USAGE ON THE ARCHITECTURAL DESIGN

(Phd. Thesis)

Asena SOYLUK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

March 2010

ABSTRACT

Seismic isolation technology is one of the novel developments in the construction technology to increase the earthquake resistance of structural systems. This thesis includes the application of the seismic isolation technique on reinforced concrete and historical masonry systems for which the seismic isolation technique is most widely used.

In this study, an irregular reinforced concrete structure with an L plan shape which includes all the irregularities in the plane and vertical defined in the Turkish Earthquake Code 2007 is modeled for three different base conditions. These base conditions are the fixed base and seismically isolated bases with lead rubber bearing and high damping rubber bearing. Besides these models, a regular structure is also considered in this study which excludes all the irregularities except the A3 irregularity defined in the Turkish Earthquake Code 2007. For the reinforced concrete system, time history analysis is performed by considering the Erzincan earthquake in 1992 with a maximum acceleration of 0.52g. Structural periods and seismic responses obtained from these analyses are compared with each other for the considered models.

In this analysis historical masonry systems are also considered for the application of the base isolation systems. As a historical masonry system,

Sehzade Mehmet Mosque which is considered as the apprenticeship of Mimar Sinan is modeled by SAP2000 structural analysis program. This masonry system is investigated for fixed base and seismically isolated bases with lead rubber bearing and high damping rubber bearing. Dynamic analyses of these systems are performed with the response spectrum method and the resulting structural responses are compared with each other.

Results obtained from the study show that seismic base isolation technique applied at the reinforced concrete and historical masonry systems improve the dynamic behavior of these systems. Although the seismic base isolation technique provides freedom in design, this outcome should not direct the architects to irregular structures. It is also possible to strengthen the historical systems without damaging the original historical texture with seismic base isolation technique.

Science Code : 804. 1. 151

Key Words : Structure and construction technology, seismic isolation

Page Number: 350

Adviser : Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA'ya yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Prof. Dr. Ergin ATIMTAY ve Prof. Dr. Tekin GÜLTOP'a, değerli desteğiyle beni yalnız bırakmayan Prof. Dr. Sare SAHİL'e, bilimsel destekleri nedeniyle eşim Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK, manevi destekleri nedeni ile canım kızım Emine Ela SOYLUK, annem Ülkü DUR'a, güçlü kişiliği ile her zaman örnek aldığım ve beni her zaman destekleyen yengem Emine DEMİRCİ ve kuzenim Arş. Gör. Elif DEMİRCİ'ye, arkadaşlarım Arş. Gör. Arzu ÖZEN YAVUZ ve Dr. İdil AYÇAM'a ayrıca her zaman kalbimde yaşayan ve üzerimde büyük emeği olan babam İhsan DUR'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca sismik izolasyon teknolojisi hakkında geniş bir bilgisi olan ve sorularıma titizlikle cevap veren Em-ke İnşaatın genel müdürü Mehmet Emre ÖZCANLI'ya ve mimarlık bölümüne yeni gelen ama gerektiği her zaman yanımda olan Arş. Gör. Zeynep Yeşim HARMANKAYA'ya teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ	xxvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxx
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Binalarda Sismik Taban İzolatörü Kullanımı Konusunda Yapılmış Çalışmalar	6
2.2. Düzensiz Binalarda Sismik Taban İzolatörü Kullanımı Konusunda Yapılmış Çalışmalar	14
2.3. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar	21
2.4. Tarihi Yapıların Sismik İzolatörlerle Güçlendirilmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar	24
3. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER	27
3.1. Deprem Yönetmeliğinde Belirtilen Düzensizlikler	28
3.2. Konfigürasyon Hataları	35
3.3. Betonarme Binalarda Kullanılan Geleneksel Taşıyıcı Sistemler	37
4. SİSMİK TABAN İZOLASYONU	40
4.1. Elastometrik Mesnetli Sistemler	44

Sayfa

4.1.1. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler.....	45
4.1.2. Kurşun çekirdekli mesnetler	46
4.1.3. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet.....	47
4.2. Kauçuk İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri	48
4.2.1. Kurşun çekirdekli mesnetlerin mekanik modeli.....	52
4.3. Kayma Esaslı İzolatörler	54
4.3.1. Sürtünmeli sarkaç modeli.....	55
4.3.2. Fransız elektrik kurumu sistemi	57
4.3.3. Tass sistemi	58
4.3.4. Elastik sürtünmeli taban izolasyon sistemi	58
4.3.5. EERC birleşik sistem	59
4.4. Sismik İzolasyon Uygulanacak Yapılarda Uyulması Gereken Koşullar	59
4.5. Taban İzolatörlerinin Uygulanmasına Yönelik Örnekler.....	60
4.6. Dünyada Sismik Taban İzolasyonu Uygulamaları.....	63
4.6.1. Yeni Zelanda	63
4.6.2. ABD	64
4.6.3. İtalya.....	73
4.6.4. Japonya.....	75
4.6.5. Çin	77
4.6.6. Ermenistan.....	78
4.6.7. Türkiye'deki sismik taban izolasyonu uygulamaları	79
4.7. Tarihi Yapılarda Taban İzolasyonu Kullanımı	85
4.7.1. Salt Lake belediye binası.....	86

	Sayfa
4.7.2. The Ninth Circuit U.S. temyiz mahkemesi	91
4.7.3. San Francisco belediye binası	92
4.7.4. Oakland belediye binası	94
4.7.5. Pasadena belediye binası	97
4.7.6. Yeni Zelanda Hükümeti Parlamenter binası	100
4.8. Sismik Taban İzolasyonunda Yönetmelik Şartları.....	100
4.8.1. Sismik tasarım düzeyi	101
4.8.2. Statik analiz	101
4.8.3. Dinamik Analiz	113
4.8.4. UBC-97 statik analiz şartları kullanılarak taban izolasyon tasarımı ...	114
5. SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ	118
5.1. Genel Tanımlama	118
5.2. Sonlu Eleman Çeşitleri.....	119
5.3. Statik Analiz.....	125
5.4. Dinamik Analiz	126
5.5. Sap 2000 Bilgisayar Programında Sismik İzolasyon Modellenmesi	130
5.5.1. “Nlprop” özellikleri.....	131
6. DÜZENSİZ YAPI SİSTEMİNE SİSMİK İZOLASYON UYGULAMASI.....	136
6.1. L Kalıp Planına Sahip Bina Sisteminin Temel Özellikleri	136
6.1.1. Bina modelleri.....	136
6.2. Çalışmada Kullanılan Deprem Girdisi	166
6.3. İzolatörlerin Boyutlandırılması	167
6.3.1. Yüksek sönümlü kauçuk mesnedin lineer olmayan modeli	170

Sayfa

6.3.2. Kurşun Çekirdekli kauçuk mesnedin lineer olmayan modeli	172
6.3.3. Taban izolasyonu mesnet özellikleri	173
6.4. Araştırma Bulguları.....	176
6.4.1. Yapı sistemine ait periyot değerlerinin karşılaştırılması.....	176
6.4.2. Yapı Sistemine ait ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması	191
6.4.3. Kesit tesirlerinin karşılaştırılması.....	216
7. ŞEHZADE MEHMET CAMİ’NİN SİSMİK İZOLASYON İLE GÜÇLENDİRİLMESİ	221
7.1. Tarihi yapıların korunması, onarımı ve güçlendirilmesi.....	222
7.2. Mimar Sinan.....	225
7.3. Şehzade Mehmet Cami	226
7.3.1. Şehzade Mehmet Cami’nin tarihçesi.....	226
7.3.2. Şehzade Mehmet Camisinin konumu.....	227
7.3.3. Şehzade Mehmet Cami’nin mimari özellikleri	228
7.3.4. Şehzade Mehmet Cami üst yapısı	230
7.3.5. Şehzade Mehmet Camisi’nde kullanılan yapı malzemesi.....	237
7.3.6. Şehzade Mehmet Camisi’nin sonlu eleman modeli	238
7.3.7. Şehzade Mehmet Cami’de kullanılan sismik izolatörler	240
7.3.8. Şehzade Mehmet Cami’nin dinamik analizi	243
7.3.9.Şehzade Mehmet Camisi’ne taban izolasyonu uygulaması	261
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	269
KAYNAKLAR	276
EKLER.....	287

	Sayfa
EK-1. Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı	288
EK-2. Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı	302
ÖZGEÇMİŞ	316

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. UBC-97 sismik bölge faktörler	103
Çizelge 4.2. UBC 97 zemin tipleri	104
Çizelge 4.3. UBC 97 kaynak tipleri	105
Çizelge 4.4. Aktif fay yakınlık faktörü	106
Çizelge 4.5. Aktif fay yakınlık faktörü	106
Çizelge 4.6. MCE tepki katsayısı	107
Çizelge 4.7. Sismik katsayı	108
Çizelge 4.8. Sismik katsayı	108
Çizelge 4.9. Sismik katsayı	108
Çizelge 4.10. Sismik katsayı	109
Çizelge 4.11. Sönüm katsayıları	109
Çizelge 4.12. Karşılaştırmalı süneklik katsayısı tablosu.....	113
Çizelge 4.13. Yönetmelik minimum değerleri	114
Çizelge 6.1. Sonlu eleman modeli için kullanılan malzeme özellikleri.....	137
Çizelge 6.2. Düzenli sistemde kullanılan kolon boyutları	138
Çizelge 6.3. U_1 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü	147
Çizelge 6.4. U_2 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü	148
Çizelge 6.5. U_1 doğrultusunda rijitlik düzensizliği kontrolü	148
Çizelge 6.6. U_2 doğrultusunda rijitlik düzensizliği kontrolü	149
Çizelge 6.7. U_1 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü	160
Çizelge 6.8. U_2 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü	161

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.9. Zayıf kat kontrolü	162
Çizelge 6.10. U_1 doğrultusunda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği.....	162
Çizelge 6.11. U_2 doğrultusunda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği.....	163
Çizelge 6.12. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_1 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü.....	165
Çizelge 6.13. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_2 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü.....	165
Çizelge 6.14. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_1 doğrultusunda yumuşak kat kontrolü.....	166
Çizelge 6.15. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_2 doğrultusunda yumuşak kat kontrolü.....	166
Çizelge 6.16. Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetlerin özellikleri	174
Çizelge 6.17. Kurşun kauçuk mesnetlerin özellikleri	175
Çizelge 6.18. Periyot değerlerinin karşılaştırılması	179
Çizelge 7.1. Sonlu eleman modeli için kullanılan malzeme özellikleri.....	238
Çizelge 7.2. Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetlerin özellikleri	241
Çizelge 7.3. Kurşun kauçuk mesnetlerin özellikleri	242

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışması durumu	29
Şekil 3.2. A2 türü düzensizlik durumları	30
Şekil 3.3. A3 türü düzensizlik durumları	31
Şekil 3.4. Binada deprem sırasında oluşan deplasman ve plastik mafsallık	33
Şekil 3.5. B3 türü düzensizlik durumları	35
Şekil 4.1. Sismik kontrol sistemi sınıflandırması	40
Şekil 4.2. Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmiş ivme -periyot grafiği.....	41
Şekil 4.3. Kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu.....	42
Şekil 4.4. Kuvvetli yer hareketi yer değiştirme spektrumu.....	42
Şekil 4.5. Periyotda ki artışla artan deplasmanların sönümle azaltılması	43
Şekil 4.6. a)Ankastre mesnetli yapı b) Sismik izolasyonlu yapı.....	43
Şekil 4.7. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sisteminin kesiti.....	47
Şekil 4.8. Salt eğilme etkisi altında olan rijit tabakalar arasındaki kauçuk izolatör ..	51
Şekil 4.9. Kuvvet-yerdeğiştirme histeresis eğrisi üzerindeki temel parametreler.....	53
Şekil 4.10. Sürtünmeli sarkaç mesnetin kesiti	55
Şekil 4.11. Sürtünme sarkaç sisteminin ana ilkesi	56
Şekil 4.12. Fransız elektrik sistemi detayı	57
Şekil 4.13. Elastik sürtünmeli taban izolasyon mesnedi detayı	59
Şekil 4.14. Sismik izolatörler temelin altında, alt kolonların üstünde, alt kolonların ortasında	61

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Sismik izolatörler ilk kat kolonlarının altında, temelin üstünde, temelin üstündeki kolonların ortasında	61
Şekil 4.16. Sismik izolatörlerin yeni inşa edilecek binalar için birleşim önerisi	62
Şekil 4.17. Sismik izolatörlerin yeni inşa edilecek binalar için birleşim önerisi	62
Şekil 4.18. USC tıp merkezi sismik taban izolasyonu yerleşimi	67
Şekil 4.19. De Young temel planında sönümleyicilerin yerleşimi	71
Şekil 4.20. Foothill Communities Law and Justice Center'in kesiti.....	72
Şekil 4.21. Temel planında sönümleyicilerin yerleşimi.....	76
Şekil 4.22. Zemin yalıtımının tarihi kagir duvarlarda uygulanmasının şematik anlatımı	86
Şekil 4.23. Mevcut temele dış duvarda izolatör yerleştirilmesi	89
Şekil 4.24. Dış duvarda izolatörlerin yerleştirme görünümü	90
Şekil 4.25. Dış duvarda izolatörlerin yerleştirme görünümü	90
Şekil 4.26. Bodrum kat planı izolatör yerleşimi	91
Şekil 4.27. İzolatör yerleştirilmesi	94
Şekil 4.28. İzolatör yerleştirilmesi	96
Şekil 4.29. Pasadena binasının kesidi	98
Şekil 4.30. UBC 97 spektrum eğrisi	106
Şekil 4.31. Dışmerkezliği dikkate alan toplam yerdeğiştirme hesabı için plan boyutları	112
Şekil 5.1. Bir boyutlu çubuk eleman.....	120
Şekil 5.2. İki boyutlu düzlem eleman	120
Şekil 5.3. Üç boyutlu katı eleman	120
Şekil 5.4. Bir boyutlu çubuk eleman.....	121

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5.Üç boyutlu bir elemanın gerilmeleri	122
Şekil 5.6. Üç boyutlu problemler için katı eleman.....	123
Şekil 5.7. Kabuk eleman	124
Şekil 5.8. Katı elemana ait gerilme durumları	125
Şekil 5.9. Deformasyon bileşenleri	132
Şekil 5.10. Rubber isolator özelliği.....	134
Şekil 6.1. Düzenli taşıyıcı sisteme ait üç boyutlu görünüm.....	139
Şekil 6.2. Düzenli sistemin normal kat planı	140
Şekil 6.3. 1-1 aksı kesiti	140
Şekil 6.4. 2-2 aksı kesiti	141
Şekil 6.5. 3-3 aksı kesiti	141
Şekil 6.6. 4-4 aksı kesiti	142
Şekil 6.7. 5-5 aksı kesiti	142
Şekil 6.8. 6-6 aksı kesiti	143
Şekil 6.9. A-A aksı kesiti	143
Şekil 6.10. B-B aksı kesiti.....	144
Şekil 6.11. C-C aksı kesiti.....	144
Şekil 6.12. D-D aksı kesiti,E-E aksı kesiti, F-F aksı kesiti	145
Şekil 6.13. G-G aksı kesiti	145
Şekil 6.14. H-H aksı kesiti	146
Şekil 6.15. Düzensiz sistemde 7.kat planı.....	150
Şekil 6.16. Düzensiz sistemde 6, 5, 4 ve 3. kat planı	151
Şekil 6.17. Düzensiz sistem 1-1 aksı kesiti	151

Şekil	Sayfa
Şekil 6.18. Düzensiz sistem 2-2 aksı kesiti	152
Şekil 6.19. Düzensiz sistem 3-3 aksı kesiti	152
Şekil 6.20. Düzensiz sistem 4-4 aksı kesiti	153
Şekil 6.21. Düzensiz sistem 5-5 aksı kesiti	153
Şekil 6.22. Düzensiz sistem 6-6 aksı kesiti	154
Şekil 6.23. Düzensiz sistem A-A aksı kesiti	154
Şekil 6.24. Düzensiz sistem B-B aksı kesiti	155
Şekil 6.25. Düzensiz sistem C-C aksı kesiti	155
Şekil 6.26. Düzensiz sistem D-D aksı kesiti	156
Şekil 6.27. Düzensiz sistem E-E aksı kesiti	156
Şekil 6.28. Düzensiz sistem F-F aksı kesiti	157
Şekil 6.29. Düzensiz sistem G-G aksı kesiti	157
Şekil 6.30. Düzensiz sistem H-H aksı kesiti	158
Şekil 6.31. Düzensiz taşıyıcı sisteme ait üç boyutlu görünüm	159
Şekil 6.32. Erzincan depremi ivme-zaman kaydı	167
Şekil 6.33. Kauçuk mesnede ait kuvvet-deplasman ilişkisi	172
Şekil 6.34. YKM-DZS sisteminde yerleştirilen yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetlerin konumu	174
Şekil 6.35. KKM-DZS sisteminde yerleştirilen kurşun kauçuk mesnetlerin konumu	175
Şekil 6.36. Taban izolasyonlu binanın üç boyutlu görünümü	176
Şekil 6.37. Mod 1 periyot	177
Şekil 6.38. Mod 2 periyot	177
Şekil 6.39. Mod 3 periyot	178

Şekil	Sayfa
Şekil 6.40. Düzenli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1 ($T=0,57539$, x ötelenmesi)	179
Şekil 6.41. Düzenli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=0,57539$, x ötelenmesi)	180
Şekil 6.42. Düzenli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=0,43009$, y ötelenmesi)	180
Şekil 6.43. Düzenli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=0,43009$, y ötelenmesi)	181
Şekil 6.44. Düzenli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3 ($T=0,14598$, burulma)	181
Şekil 6.45. Düzenli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3 ($T=0,14598$, burulma)	182
Şekil 6.46. Düzensiz sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1 ($T=0,67258$, x ötelenmesi)	182
Şekil 6.47. Düzensiz sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=0,67258$, x ötelenmesi)	183
Şekil 6.48. Düzensiz sistemin modal analizi üç boyutlu , Mod 2 ($T=0,60920$, y ötelenmesi)	183
Şekil 6.49. Düzensiz sistemin modal analizi üstten görünüm , Mod 2 ($T=0,60920$, y ötelenmesi)	184
Şekil 6.50. Düzensiz sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm; Mod 3 ($T=0,47327$, burulma)	184
Şekil 6.51. Düzensiz sistemin modal analizi üstten görünüm; Mod 3 ($T=0,47327$, burulma)	185
Şekil 6.52. Kurşun kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1 ($T=2,45652$, x ötelenmesi)	185
Şekil 6.53. Kurşun kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=2,45652$, x ötelenmesi)	186
Şekil 6.54. Kurşun kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=2,12288$, y ötelenmesi)	186

Şekil	Sayfa
Şekil 6.55. Kurşun kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 2 ($T=2,12288$, y ötelenmesi)	187
Şekil 6.56. Kurşun kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3 ($T=1,01435$, burulma)	187
Şekil 6.57. Kurşun kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 3 ($T=1,01435$, burulma)	188
Şekil 6.58. Yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1 ($T=2,41374$, x ötelenmesi).....	188
Şekil 6.59. Yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=2,41374$, x ötelenmesi)	189
Şekil 6.60. Yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=2,09413$, y ötelenmesi).....	189
Şekil 6.61. Yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 2 ($T=2,09413$, y ötelenmesi)	190
Şekil 6.62. Yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3 ($T=0,99826$, burulma)	190
Şekil 6.63. Yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 3 ($T=0,99826$, burulma)	191
Şekil 6.64. Sistemlerde kullanılan noktalar.....	192
Şekil 6.65. 1A düşey aksı x yönü mutlak ivme değerleri	193
Şekil 6.66. 1H düşey aksı x yönü mutlak ivme değerleri	194
Şekil 6.67. 2B düşey aksı x yönü mutlak ivme değerleri.....	194
Şekil 6.68. 1A düşey aksı y yönü mutlak ivme değerleri	195
Şekil 6.69. 1H düşey aksı y yönü mutlak ivme değerleri	195
Şekil 6.70. 2B düşey aksı y yönü mutlak ivme değerleri.....	196
Şekil 6.71. Düzenli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi.....	197
Şekil 6.72. Düzensiz sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi	197

Şekil	Sayfa
Şekil 6.73. Kurşun kauçuk mesnetli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi	198
Şekil 6.74. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi	198
Şekil 6.75. Düzenli sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi.....	199
Şekil 6.76. Düzensiz sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi ..	199
Şekil 6.77. Kurşun kauçuk mesnetli sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi	200
Şekil 6.78. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi	200
Şekil 6.79. 1A düşey aksı x yönü mutlak hız değerleri.....	202
Şekil 6.80. 1H düşey aksı x yönü mutlak hız değerleri.....	202
Şekil 6.81. 2B düşey aksı x yönü mutlak hız değerleri.....	203
Şekil 6.82. 1A düşey aksı y yönü mutlak hız değerleri.....	203
Şekil 6.83. 1H düşey aksı y yönü mutlak hız değerleri.....	204
Şekil 6.84. 2B düşey aksı y yönü mutlak hız değerleri.....	204
Şekil 6.85. Düzenli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi.....	205
Şekil 6.86. Düzensiz sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi	206
Şekil 6.87. Kurşun kauçuk mesnetli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi	206
Şekil 6.88. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi	207
Şekil 6.89. Düzenli sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi.....	207
Şekil 6.90. Düzensiz sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi	208
Şekil 6.91. Kurşun kauçuk mesnetli sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi	208

Şekil	Sayfa
Şekil 6.92. YKM-düzensiz sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi	209
Şekil 6.93. 1A düşey aksı x yönü mutlak yerdeğiştirme değerleri	210
Şekil 6.94. 1H düşey aksı x yönü mutlak yerdeğiştirme değerleri	211
Şekil 6.95. 2B düşey aksı x yönü mutlak yerdeğiştirme değerleri.....	211
Şekil 6.96. 1A düşey aksı y yönü görelî kat yerdeğiştirme değerleri	212
Şekil 6.97. 1H düşey aksı y yönü görelî kat yerdeğiştirme değerleri	212
Şekil 6.98. 2B düşey aksı y yönü görelî kat yerdeğiştirme değerleri.....	213
Şekil 6.99. Düzenli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi	214
Şekil 6.100. Düzensiz sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi	214
Şekil 6.101. Kurşun kauçuk mesnetli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi	215
Şekil 6.102. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi	215
Şekil 6.103. 1A düşey aksı 3-3 eğilme momenti değerleri	217
Şekil 6.104. 1H düşey aksı 3-3 eğilme momenti değerleri	217
Şekil 6.105. 2B düşey aksı 3-3 eğilme momenti değerleri	218
Şekil 6.106. 1A düşey aksı 2-2 kesme kuvveti değerleri	219
Şekil 6.107. 1H düşey aksı 2-2 kesme kuvveti değerleri	219
Şekil 6.108. 2B düşey aksı 2-2 kesme kuvveti değerleri	220
Şekil 7.1. Şehzade Mehmet Cami vaziyet planı.....	227
Şekil 7.2. Şehzade Mehmet Cami kesit planı.....	229
Şekil 7.3. Şehzade Mehmet Cami planı	230

Şekil	Sayfa
Şekil 7.4. Caminin tabaka plan izlerini gösteren kesit	231
Şekil 7.5. Şehzade Mehmet Cami 1. tabaka planı.....	232
Şekil 7.6. Şehzade Mehmet Cami 2. tabaka planı.....	233
Şekil 7.7. Şehzade Mehmet Cami 3. tabaka planı	234
Şekil 7.8. Şehzade Mehmet Cami 4. tabaka planı	235
Şekil 7.9. Şehzade Mehmet Cami 5. tabaka planı.....	236
Şekil 7.10. Şehzade Mehmet Cami fil ayakları.....	237
Şekil 7.11. Şehzade Mehmet Camii'nin 3D görünümü	239
Şekil 7.12. Şehzade Mehmet Camii'nin üstten görünümü.....	239
Şekil 7.13. Şehzade Mehmet Camii'nin önden görünümü	240
Şekil 7.14. Taban izolatörlerin yerleşim planı	243
Şekil 7.15. Spektrum katsayısı	244
Şekil 7.16. Modal analiz, Mod 1 ($T=0.49293$, x ötelenmesi)	244
Şekil 7.17. Modal analiz, Mod 2 ($T=0.46531$, y ötelenmesi)	245
Şekil 7.18. Modal analiz, Mod 3 ($T=0.44023$, sıkışma)	245
Şekil 7.19 Modal analiz, Mod 4 ($T=0.37941$, burulma)	246
Şekil 7.20. Modal analiz, Mod 5 ($T=0.31444$, açılma).....	246
Şekil. 7.21. Mod 1	247
Şekil 7.22. Mod 2	248
Şekil 7.23. Mod 3	248
Şekil 7.24. Mod 4	249
Şekil 7.25. Mod 5	249
Şekil 7.26. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (önden görünüş) ...	250

Şekil	Sayfa
Şekil 7.27. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (3D görünüş)	250
Şekil 7.28. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekline ait eşyükselti çizgileri	251
Şekil 7.29. Belli noktalarda spektrum analizi ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri	251
Şekil 7.30. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (3D görünüş- izolatörlü sistem)	252
Şekil 7.31. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (önden görünüş- izolatörlü sistem)	252
Şekil 7.32. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekline ait eşyükselti çizgileri (YKM sistem)	253
Şekil 7.33. Belli noktalarda spektrum analizi ile elde edilen rölatif yerdeğiştirme değerleri (YKM sistem)	253
Şekil 7.34. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekline ait eşyükselti çizgileri (KKM sistem)	255
Şekil 7.35. Belli noktalarda spektrum analizi ile elde edilen rölatif yerdeğiştirme değerleri (KKM sistem)	255
Şekil 7.36. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (ANM sistem)	256
Şekil 7.37. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S22 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (ANM sistem)	256
Şekil 7.38. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (YKM sistem)	257
Şekil 7.39. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S22 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (YKM sistem)	257
Şekil 7.40. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (KKM sistem)	258
Şekil 7.41. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S22 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (KKM sistem)	258

Şekil	Sayfa
Şekil 7.42. Spektrum analizi ile elde edilen katı (solid) elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (ANM sistem)	259
Şekil 7.43. Spektrum analizi ile elde edilen katı (solid) elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (YKM sistem)	260
Şekil 7.44. Spektrum analizi ile elde edilen katı (solid) elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (KKM sistem)	261
Şekil 7.45. Tabliyenin kaldırılma işlemi	264
Şekil 7.46. Mevcut fil ayaklarının ve sütunların kazık yerleşim yerleri planı	265
Şekil 7.47. Temel kesiti.....	266
Şekil 7.48. Cami kesiti	267
Şekil 7.49. Yeni temeller üzerinde izolatörlerin yerleştirme planı	268

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Yumuşak kat düzensizliği sebebiyle oluşan göçme.....	33
Resim 3.2. Dolgu duvarlı iki katlı betonarme çerçeve.....	36
Resim 3.3. Betonarme kolonda kısa kolon etkisi nedeniyle kesme kırılması detayı.....	36
Resim 3.4. Kuvvetli giriş zayıf kolon hasarı.....	37
Resim 4.1. Doğal kauçuk mesnet.....	45
Resim 4.2. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet.....	46
Resim 4.3. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet.....	48
Resim 4.4. Sürtünmeli sarkaç sistemin uygulanması.....	56
Resim 4.5. a. William Clayton binası b. Kullanılan kurşun kauçuk mesnet.....	63
Resim 4.6. Te Papa müzesi, Wellington, Yeni Zelanda.....	64
Resim 4.7. Trafik yönetim merkezi, Kearny Mesa, Kaliforniya.....	65
Resim 4.8. Acil iletişim merkezi, San Diego.....	66
Resim 4.9. USC tıp merkezi, Los Angeles	67
Resim 4.10. a. Hayward belediye binası b. Sürtünme sarkaçlı mesnet.....	68
Resim 4.11. Our Lady of Angels katedrali	69
Resim 4.12. a. San Francisco Uluslararası havaalanı terminali b.Sürtünmeli sarkaç mesnet	69
Resim 4.13. Seahawk futbol stadyumu	70
Resim 4.14. De Young müzesi.....	71
Resim 4.15. Foothill Communities Law and Justice Center'in cepheden görünüşü.....	72

Resim	Sayfa
Resim 4.16. Yeni itfaiye merkezi.....	73
Resim 4.17. 297 yüksek sönümleyici kauçuk mesnet, inşaat başlangıcı 1988	74
Resim 4.18. Ankona’da bulunan Telekom İtalya binaları, dikdörtgen ve kemer plana sahip binalar.....	74
Resim 4.19. Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı bilgisayar merkezi	76
Resim 4.20. Sismik taban izolasyonu uygulanan bina sistemleri	77
Resim 4.21. Shan Tou şehir müzesi	77
Resim 4.22. Hamamdaki izolasyon sistemi	78
Resim 4.23. Bolu viyadükleri.....	79
Resim 4.24. Atatürk havalimanı’nın dışarıdan görüntüsü	80
Resim 4.25. Atatürk havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı	81
Resim 4.26. Antalya havalimanı	81
Resim 4.27. Tarabya oteli	82
Resim 4.28. Erzurum devlet hastanesi nisan 2006 görünümü	83
Resim 4.29. Erzurum devlet hastanesi sonlu elemanlar modeli.....	84
Resim 4.30. Erzurum devlet hastanesi taban izolasyon yerleşim planı	84
Resim 4.31. Erzurum devlet hastanesinin temellerine yerleştirilen kurşun kauçuk mesnetin boyutları ve yerleştirme detayı.....	85
Resim 4.32. Salt Lake belediye binası	87
Resim 4.33. Binanın yatay hareketi için istinat duvarının yerleştirilmesi	88
Resim 4.34. The Ninth Circuit U.S. temyiz mahkemesi.....	91
Resim 4.35. San Francisco belediye binası.....	93
Resim 4.36. Oakland belediye binası.....	95

Resim	Sayfa
Resim 4.37. Pasadena belediye binası.....	97
Resim 4.38. Hendek açılması için kazı işlemlerinin başlaması ve I kirişler kullanılarak iksalanan hendek	98
Resim 4.39. Bodrum kat döşemesinin kaldırılması ve mevcut temellerin kazılarak ortaya çıkarılma işlemi	99
Resim 4.40. Mevcut temellerin yanlarında yeni betonarme temel ve sismik izolatörlerin yerleştirilmesi ve yeni bodrum kat döşemesinin oluşturulması	99
Resim 4.41. Kolonların askıya alınıp kesilmesi işlemi	99
Resim 4.42. Parlamenter binası.....	100
Resim 7.1. Şehzade Mehmet Cami genel görünüm	226
Resim 7.2. Şehzade Mehmet Cami merkezi kubbe.....	228
Resim 7.3. Fil ayaklarına pendentiflerle bağlanan kubbe	231

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Kauçuğun en kesit alanı
B	Sönüm azaltma katsayısı
$[C]$	Sönüm matrisi
C_{VD}, C_{VM}	Sismik katsayılar
EI	Eğilme rijitliği
D	Tasarım yerdeğiştirmesi
D_D	Temel deprem dizaynı düzeyine göre izolasyon seviyesinde yerdeğiştirme
D_M	Maksimum deprem dizaynı düzeyine göre izolasyon seviyesinde yerdeğiştirme
D_V	Akma yerdeğiştirmesi
DBE	Temel deprem dizaynı düzeyi
f_{u1}, f_{u2}, f_{u3}	İç yay kuvvetleri
f_{r1}, f_{r2}, f_{r3}	Yay momentleri
$\{F\}$	Kuvvet vektörü
g	Yerçekimi ivmesi
G	Kayma modülü
$\{t\}$	Doğrultu vektörü
I	Bina önem katsayısı
$[K]$	Rijitlik matrisi
K_{eff}	Efektif rijitlik
K_H	Yatay rijitlik
K_V	Düşey rijitlik
K_1	Elastik rijitlik

Simgeler	Açıklama
K_2	Plastik rijitlik
N_a, N_v	Aktif fay yakınlık faktörü
MCE	Maksimum deprem dizaynı düzeyi
M_M	Tepki katsayısı
$[M]$	Kütle matrisi
Q	Karakteristik dayanım
R_l	Süneklik faktörü
S	Şekil faktörü
S_{11}	Yerel 1 ekseninde 2-3 düzleminde kabuk elemanlar ve katı elemanlar için gerilme
S_{22}	Yerel 2 ekseninde 1-3 düzleminde kabuk elemanlar ve katı elemanlar için gerilme
$S(T)$	Spektrum katsayısı
t	Tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı
t_r	Kauçuğun toplam kalınlığı
T_D, T_M	İzolasyon periyotları
$\{u\}$	Yerdeğiştirme vektörü
$\{\ddot{u}\}$	İvme vektörü
$\ddot{u}_g(t)$	Yer hareketi ivmesi
V_s	Taban kesme kuvveti
W	Yapının ağırlığı
W_D	İzolatör modelinde bir tam periyotta dağıtılan enerji
ε	Şekildeğiştirme
ω	Doğal frekans
α	Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı
β	Sönüm faktörü
Z	Sismik bölge faktörü
Δ	Basınç altında meydana gelen kısalma miktarı
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı

Simgeler**Açıklama** η_{ci}

Dayanım düzensizliği katsayısı

 η_{ki}

Rijitlik düzensizliği katsayısı

Kısaltmalar**Açıklama****ANM**

Ankastre mesnetli cami modeli

CQC

Tam karesel birleştirme kuralı

DZL

Düzenli ankastre model

DZS

Düzensiz ankastre model

FCLJC

Foothill Communities Law and Justice Center

KK

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet

KKM-DZS

Kurşun kauçuk mesnet ile tasarlanmış düzensiz model

KKM

Kurşun kauçuk mesnetli cami modeli

M

Magnetüt

K

Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet

RUB

Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet

SAP 2000

Structural analysis programme

UBC-97

Uniform Building Code

USC

Southern Kaliforniya üniversite hastanesi

YKM-DZS

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli düzensiz model

YKM

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli cami modeli

1. GİRİŞ

Türkiye Deprem bölgeleri haritasına göre yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olması nedeniyle, özellikle bina sistemlerinde mimari tasarım nedeniyle bir takım düzensizliklerin bulunması durumunda ve tarihi yapıların deprem etkisinden korunması kapsamında önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu tez çalışmasında düzensiz bina sistemlerinin depreme karşı dinamik davranışlarının iyileştirilmesi ve tarihi yapıların orjinalliğini ve dokusunu bozmadan güçlendirilmesi amacıyla sismik taban izolasyon sisteminin uygulanması hedeflenmiştir. Depremlerden sonra yapı sistemlerinde oluşan hasarların değerlendirmesi sonucu, taşıyıcı sistem düzensizliklerinden dolayı pek çok binada hasar olduğu tespit edilmiştir. Bu durum nedeni ile deprem tehlikesi olan ülkelerin deprem yönetmeliklerinde düzensizlikler için özel şartlar konulmuştur.

Çalışmada öncelikle Türkiye gibi aktif deprem kuşakları üzerinde bulunan ülkelerde mimari tasarımı kısıtladığı düşünülen depreme dayanıklı yapı için öne sürülen temel ilkelerin, inşaat teknolojisinde ki gelişmeler ile rahatlıkla aşılabileceğini ve mimari tasarımda özgürlük sağlayacağını karşılaştırmalı olarak ortaya konulmaktadır. Yapı sistemlerinin deprem dayanımını arttırması bakımından inşaat teknolojisindeki en yeni gelişme Türkiye'de uygulaması mimarlık disiplini tarafından çokta iyi bilinmeyen sismik izolatörlerdir. Sismik izolasyon teknolojisi ile, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine binaya gelen sismik kuvvetler yapının periyodu uzatılarak azaltılmaktadır. Sismik izolasyon esas olarak üst yapı ve temelin, tabana yerleştirilen kayıcı ve esnek sistemlerle ayrılmasıdır. Bu tez çalışmasında mimari tasarım serbestliği elde etmek için, dünyada son yıllarda yapılarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan sismik izolatörler dikkate alınacaktır. Böylece sismik izolatörlerin depreme dayanıklı yapı tasarımına getirebileceği yeni bakış açıları ortaya konacaktır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda sismik izolasyonun sismik performans etkileri üzerinde durulmuş ve izolatörlerin mekanik özellikleri ile yapılara etkileri detaylı olarak araştırılmıştır. Ancak bu çalışmalar, mimari tasarım boyutunda ele alınmamış ve mimara sağlayacağı tasarım özgürlüğü göz önünde tutulmamıştır. Bu çalışmada deprem yönetmeliğinde belirtilen düzensizliklerin

bulunduğu binalarda, geleneksel taşıyıcı sistemlerle (perde duvarlı, çerçeve, karma) ve sismik taban izolatörlü taşıyıcı sistemlerle çözümler yapılacaktır. Böylece dikkate alınan sistemlerin sismik performans açısından karşılaştırmaları yapılarak bu kriterler ışığında en uygun sistemin önerilmesine çalışılacaktır. Mimari tasarımı öne çıkaran bu tür bir çalışmanın, mimarlık disiplinine depreme dayanıklı yapı tasarımı için yeni bir bakış açısı kazandıracağına inanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında ayrıca, sismik izolasyon tekniğinin tarihi yapılarda uygulanmasının sistemin deprem performansını ne oranda iyileştireceği üzerinde durulacaktır. Tarihi yapılarda deprem tehlikesi nedeniyle tek ölçüt ‘ne olursa olsun yapı güvenliği’ değildir. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmede ana ilke, yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır [1]. Bu bakımdan sismik taban izolasyonu yapının orijinalliğini ve dokusunu bozmaması açısından alternatif bir metottur ve bu çalışmada türünün tek örneği olan ve değeri ölçülemeyen anıt yapılarda deprem güvenliği açısından belirtilen metodun uygulanması değerlendirilecektir.

Sismik izolasyon teknolojisinin doğru kullanılması yapılarda deprem etkilerini azaltması açısından olumlu katkı sağlayacaktır. Dünyada ki uygulamalardan görüleceği üzere, sismik taban izolasyon sisteminin uygulandığı yapılar iki ana kategoriye ayrılmaktadır: Tarihi binalar ve deprem sırasında veya sonrasında işlevine devam etmesi gereken yapılar.

Bu tez çalışmasının kapsamı da sismik izolasyon teknolojisini mimarlık bilim dalına tanıtmak amacıyla geniş tutulmuş ve taban izolatörlerinin dünyada yaygın olarak kullanıldığı iki yapı türü tarihi yığma binalar ve betonarme binalar incelenmiştir.

Romalı Mimar Vitruvius’tan günümüze kadar mimari tasarımın ayrılmaz parçaları işlev, biçim, strüktür, konstrüksiyon, estetik ve ekonomi olmuştur. Bu faktörler çerçevesinde tasarımını yapan mimar, aynı zamanda yapı için sağlanması gereken en önemli kriterin can güvenliği olduğunu bilmektedir. İtalyan Mimar-Mühendis Nervi’nin [2] de dediği gibi ‘Güzel olan her yapı aynı zamanda emniyetlidir.’ Bu

durum da özellikle depremselliği yüksek ülkelerde çalışan mimarların da depreme dayanıklı yapı tasarımının temel sorunlarını bilmesi ve anlaması gerekmektedir. Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımının yapı mühendisliği sorumluluğu altında olduğu düşünülmektedir [3]. Oysaki mimari projeleri devralan inşaat mühendisi mimari tasarıma uygun yapı taşıyıcı sistemini; yapıya etkiyen yükler ve kullanılacak malzeme özellikleri ışığında seçmekte, konfigürasyona karışmamaktadır.

Diğer yandan, ülkelerin eğitim düzeyinin yüksekliğini, toplumsal ve ekonomik yapısının gelişmişliğini gösteren önemli kriterlerden biri, kültürel mirasına verdiği değerdir. Mimari mirasın korunması düşüncesi, genel olarak Avrupa uygarlığının bir ürünü olarak kabul edilmektedir [4]. Medeniyetler beşiği olan ülkemizde çok sayıda tarihi yapı bulunmaktadır ve bu yapılar kültürel mirasımızın önemli bir parçasıdır. Bizden önceki nesillerin ulaştığı sosyolojik, ekonomik ve teknik hakkında bilgi sahibi olmak ve bir belge olarak gelecek nesillere aktarmak için tarihi yapıların en iyi şekilde korunup değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tarihi ve anıtsal yapıların korunması çağdaş bir bilim dalı olarak Avrupa’da 19. yüzyılda başlamış, kuramsal gelişimi, kurumlaşması ve üniversitelerin ders programlarına girmesi yakın geçmişte gerçekleşmiş ve özellikle İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra planlamada büyük bir önem kazanmıştır. Türkiye ve İslam ülkelerinde ise yaklaşık olarak yirmi yıldan bu yana mimar ve şehir plancılar geleneksel çevrenin korunmasıyla içtenlikle ilgilenmektedirler [5]. Tarihi yapılarda olduğu gibi tarihsel kent çekirdekleri de koruma altına alınmıştır. Bu kentlere İtalya’daki tarihi şehirleri, Amsterdam’daki 17. yüzyıl ve sonrasında kalan evleri ve çevreleri, Suudi Arabistan’da Medine, Cezayir’de Kazbah, Fas’ta Cidde ve Türkiye’de Safranbolu, Gaziantep ile Bodrum gibi bazı kentler için yapılan ve kentin tamamını ele alan büyük ölçekli planlarla koruma örnek olarak verilebilir [6].

Sismik taban izolasyon uygulaması ile yapı maliyetinin artacağı açıktır. Ancak, bina fonksiyonunun önemi ve özellikle tarihi değeri dikkate alındığında, bu maliyet

deprem sonrası oluşacak can kaybı ve tarihi mirasın yok olması yanında oldukça önemsiz kalacaktır.

Bu tez çalışmasında mimari tasarım serbestliği elde etmek için, dünyada son yıllarda yapılarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan sismik izolatörler dikkate alınacaktır. Böylece sismik izolatörlerin depreme dayanıklı yapı tasarımına getirebileceği yeni bakış açıları ortaya konacaktır. Bu çalışmada deprem yönetmeliğinde belirtilen düzensizliklerin bulunduğu binalarda, geleneksel taşıyıcı sistemlerle ve sismik taban izolatörlü taşıyıcı sistemlerle çözümler yapılacaktır. Böylece dikkate alınan sistemlerin sismik performans açısından karşılaştırmaları yapılarak bu kriterler ışığında en uygun sistemin önerilmesine çalışılacaktır. Bu tez çalışmasında ayrıca, sismik izolasyon tekniğinin tarihi yapılarda uygulanmasının sistemin deprem performansını ne oranda iyileştireceği üzerinde durulacaktır. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmede ana ilke, yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır. Bu bakımdan sismik taban izolasyonu yapının orjinalliğini ve dokusunu bozmaması açısından alternatif bir metottur ve bu çalışmada türünün tek örneği olan ve değeri ölçülemeyen anıt yapılarda deprem güvenliği açısından belirtilen metodun uygulanması değerlendirilecektir.

Bu amaçlarla çalışmanın ikinci bölümünde düzensiz yapı sistemleri ve tarihi yapılarda sismik taban izolatörü kullanımına ilişkin olarak yapılmış çalışmalar verilmiştir.

Üçüncü bölümde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007’de tanımlanan yapısal düzensizliklerden ve konfigürasyon hatalarından bahsedilmektedir.

Dördüncü bölümde sismik taban izolatörleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra, sismik taban izolatörlerinin gerek Dünya ve gerekse Türkiye’de kullanıldığı geniş açıklıklı (konser salonları, tiyatrolar, kapalı stadyumlar, müzeler, çok amaçlı salonlar, kültür merkezleri, alışveriş merkezleri) yapı örnekleri ile konut ve ofis binaları ile sismik izolasyonun en yaygın olarak kullanıldığı hastane binalarından

örnekler verilmektedir. Bu bölümde ayrıca tarihi yapılardaki taban izolasyonu uygulamalarına ait örnekler de sunulduktan sonra, Uniform Building Code-97 kapsamında taban izolasyonu için tasarım koşulları özet olarak verilmektedir.

Beşinci bölümde çalışmada uygulanacak olan sonlu eleman formülasyonu genel olarak verildikten sonra, dikkate alınan yapısal elemanların modellenmesinde kullanılan sonlu elemanları sunulmaktadır. Bu bölümde ayrıca çok serbestlik dereceli sistemlerin statik ve dinamik durumlardaki analizlerinden de bahsedilmektedir.

Altıncı bölümde L kalıp planına sahip 7 katlı deprem yönetmeliğinde tanımlanan düzensizlikleri içeren bir betonarme bina sistemi hem tabanın ankastre olması hem de sismik taban izolatörleri kullanılması durumunda çözümlenmekte ve karşılaştırmalar yapılmaktadır. Çalışmada izolasyon sistemi olarak kurşun kauçuk ve yüksek sönümleyici kauçuk izolatör modelleri dikkate alınmaktadır.

Yedinci bölümde Mimar Sinan'ın çiraklık eseri olarak nitelenen Şehzade Mehmet Cami dikkate alınmaktadır. Önce zemine ankastre mesnetli olarak çözümlenen Cami, daha sonra sismik taban izolatörü kullanılmak suretiyle güçlendirilerek çözümlenmektedir. Şehzade Mehmet Cami'nin dinamik çözümlemelerinde Davranış Spektrum Yöntemi kullanılmaktadır. Bu bölüm sonunda ayrıca camii sistemine hasar vermeden izolatörlerin yerleştirilebilmesi için geliştirilen bir yöntemden bahsedilmektedir.

Bu çalışmanın sekizinci ve son bölümünde tarihi yığma bina ve betonarme binalarda sismik taban izolasyonu kullanımında elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bu sonuçlara göre önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Binalarda Sismik Taban İzolatörü Kullanımı Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Lee (1980), kesme kuvvetlerini azaltarak ve her iki yatay yönde 1940 El-Centro iki yönlü zemin hareketine maruz kalmış simetrik olmayan tek katlı sistemde oluşan devrilme momentlerinde bilineer histeritik izolasyon sistemlerinin etkinliğini çalışmıştır. Yapısal devrilme momentleri, yapıda eksantrisine büyük olsa bile taban izolasyonu ile düşmüştür. Bu düşüş izolasyon sisteminin rijitlik merkezinin yapının kütle merkezi ile çakıştığına en yüksek değere ulaşmıştır. Ayrıca Lee, üst yapıda bulunan eksantrisitenin izolatör yerdeğiştirme büyüklüğüne küçük bir etkisi olacağı sonucuna varmıştır [7].

Wan (1997), elastometrik mesnetler, viskoz sönümleyiciler ve ayarlı kütle sönümleyicilerin performans karşılaştırmasını yapmıştır. Bu üç koruyucu sistem yerleştirilmiş L şeklinde 6 katlı bina, El Centro 1940, Orion Blvd 1971 ve Capitol 1989 deprem kayıtlarındaki zemin hareketlerine maruz bırakılmıştır. Deterministik ve stokastik deprem zemin etkileri göz önüne alınmıştır. Pasif koruyucu sistemlerin performansları ve etkileri frekans alanında bazı sınırlamalar yapmak suretiyle zaman tanım alanı analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak taban izolasyonlu sistemlerin yapının sismik tepkisini azaltmakta çok başarılı olduğu görülmüştür. Deprem hareketleri ile oluşan strüktürel tepkiyi azaltmada, ayarlı kütle sönümleyiciler viskoz sönümleyicilerden daha az etkili olmuştur. Ayrıca sonuçlar göstermiştir ki deprem hareketlerinin karakteristikleri üç pasif deprem kontrol sistemlerinin performansını etkileyen en önemli faktördür [8].

Tuna (1998), yaptığı araştırmada köprülerin depreme dayanıklı projelendirilmesinin can güvenliği esasına yönelik olduğunu açıklamaktadır. Hasar oluşumunun kabul edildiğini, ancak çökmenin oluşmamasının istendiğini belirtmektedir. Sismik izolasyon mesnetlerin kullanılarak oluşacak deprem kuvvetlerinin şiddetinin kontrol edilebildiğini açıklamaktadır. Bu mesnetler, köprünün doğal periyodunu büyütmede

ve çok daha küçük deprem kuvvetleri oluşturmaktadır. Ayrıca, köprü ayakları arasında kesme kuvvetlerinin dağılımını da kontrol etmek mümkün olmaktadır [9].

Fujita (1998), binalarda sismik izolasyon uygulamasının en geniş çapta uygulandığı ülkenin Japonya olduğunu belirtmektedir. 17 Ağustos 1995 Hanshin Awaji depreminde sismik izolasyonun etkisi görüldükten sonra taban izolatörlü binalar Japonya’da daha da popüler olmuştur. Japonya’da geliştirilen ve kullanılan sismik izolasyon sistemlerinden bahsedilmektedir [10].

Kelly (1998), zemin hakim titreşim frekanslarının deprem enerjisinin en güçlü olduğu frekans aralığında bulunan ve bu nedenle zemin titreşimlerini büyüüten alçak ve orta yükseklikteki yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında problem yaşandığını belirtmektedir. Bunun için deprem tasarımı yapılan binada oluşacak ivmelenmeyi zemin ivme seviyesinden aşağıya düşürmek gerektiğini açıklamıştır. Bu koşulun sağlanması için binada esneklik olması gerekmektedir. Ancak esnek binalarda yapısal olmayan elemanların hasar görebildiği geçmiş depremler sırasında görülmüştür. Yapısal olmayan elemanlarda kat ivmelenme değerlerini düşüren en etkin sistemin sismik izolasyon olduğunu belirtip Amerika’da hem yeni binalarda hem de tarihi yapıların güçlendirilmesinde bu sistemlerin kullanıldığını örneklerle açıklamıştır [11].

Moroni ve arkadaşları (1998), yaptıkları çalışmada, deney düzeneği olarak Santiago, Şile’de 1992 yılında yüksek sönümleyici kurşun izolatörle mesnetlenmiş 4 katlı binayı ele almışlardır. Bu yapının yanında ayrıca aynı özellikte ankastre mesnetli 4 katlı bina daha vardır. Binalara dijital ivme ölçerler yerleştirilmiştir. Son üç yılda, kayıt sistemi ile değişik şiddette en az 24 adet deprem kayıt edilmiştir. Ayrıca binalara uygulanan çekme testi ile mesnetlerin karakteristikleri değerlendirilmiştir. Deprem kayıtlarından elde edilen bilgiye göre ve maksimum zemin ivmesi ile deprem hareketlerinin karakteristiklerine bağlı olarak kurşun kauçuk izolatörlü yapının çatı düzeyindeki maksimum ivmenin azalışının diğer binaya göre 1 ve 3,5 katı kadar olduğunu belirtmişlerdir [12].

Chung ve arkadaşları (1999), farklı deprem etkilerine maruz bırakılan taban izolasyonlu yapıların sismik performans değerlendirmesi için sarsma tablası ve pseudo dinamik testler yapmışlardır. Bu çalışmanın amaçları: 1. Sarsma tablası deneylerinde şiddetli deprem yüklerine karşı alçak yapılarda taban izolasyon sistemlerinin etkilerini değerlendirmek 2. Taban izolasyonlu yapılarda üst yapıya uygulanan pseudo dinamik test sonuçları ile sarsma tablası deney sonuçlarını karşılaştırmak 3. Taban izolasyonlu sistemlerin deprem tepkilerini tahmin etmek için bir analitik metot geliştirmektir. Sarsma tablası deneyinde $\frac{1}{4}$ ölçeğinde lamine kauçuk mesnetli üç katlı yapı denenmiştir. Pseudo dinamik testte sadece lamine kauçuk mesnetli yapının üst yapısının sismik tepkileri düzlemsel sayısal integrasyon kullanılarak hesaplanan altyapı tekniği ile denenmiştir. Taban izolasyonlu yapıların dinamik tepkilerini tanımlamak için kullanılan pseudo dinamik testler sarsma tablası deneylerinden daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Taban izolatörleri için bilineer histeritik modelli analitik metot taban izolasyonlu sistemlerin deprem tepkilerini tahmin etmek için uygun bulunmuştur [13].

Robinson (2000), 1968 yılından beri sismik izolasyon sistemlerinin Yeni Zelanda'da bulunup, geliştirilip, uygulanmakta olduğunu belirtmiştir. Deprem zemin hareketlerinden binayı ayıran sismik izolasyonun yeni ve eski binaların, köprülerin korunmasında kullanılacak noktaya geldiğini açıklamaktadır. Wellington'da 1918 yılında yapılan "the Old Parliament Building" ve 1898 yılında tamamlanmış "the Assembly Library"nin güçlendirilmesi kurşun kauçuk mesnetlerle yapılmıştır [14].

Ramirez (2001), pasif enerji sönümleyen sistemli binalar için analiz ve tasarımın basitleştirilmiş metotlarının gelişmesini ve değerlendirmesini sunmuştur. İçerik olarak; %5 kritik sönümlü tepki spektrumunun modifikasyonu için genişletilmiş sönümleme katsayılarının gelişimi, enerji sönümleyici cihazlarla esnek sistemlerin elastik ve elastik olmayan yerdeğiştirme ilişkilerinin gelişimini, viskoz sönümleyici sistemler ile esnek yapıların süneklik talebini, sönümleyici binalar için eşdeğer yatay kuvvet ve model analiz prosedürlerinin gelişimini, lineer viskoz, non-lineer viskoz, katı viskoelastik, esnek sönümleyici sistemli 3 ve 6 katlı yapının gelişmiş analiz prosedürlerinin geçerliliğinin sınanmasını içermektedir [15].

Süt (2001), çalışmasında taban izolasyonlu yapı sistemlerinin deprem davranışını incelemiştir. Taban izolasyonlu yapıların deprem etkisindeki davranışlarının etkisini görmek amacıyla 6 katlı plan ve düşeyde simetrik bir binanın taban izolasyonlu ve izolasyonsuz dinamik analizleri yapılmıştır. Taban izolasyonu olarak yüksek sönümlü kauçuk mesnet kullanılmış ve lineer olmayan bir davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Dinamik etki olarak, 1992 Erzincan depremi ve 1999 Düzce depremi Bolu ivme kayıtları kullanılmıştır. Dinamik analizlerde 5 mod kullanılmış ve her bir mod için %5 sönüm oranının olduğu kabul edilmiştir. Tepki büyüklükleri olarak, binanın üst kat yerdeğiştirmeleri, kolon kesme kuvvetleri ve izolasyon sisteminin yer değiştirmeleri seçilmiştir. Sonuç olarak izolasyonlu sistemin katlararası yer değiştirmelerinin, izolasyonsuz sisteme nazaran oldukça düşük olduğu görülmüştür. Buna paralel olarak sistemin düşey taşıyıcı elemanlarındaki kesit tesirlerinin azaldığı saptanmıştır. Dolayısıyla izolasyonlu sistemin kat kesme kuvvetleri, izolasyonsuz sistemdeki kat kesme kuvvetlerinden daha küçük olarak elde edilmektedir. Kat kesme kuvvetlerinin azalmasıyla birlikte taban kesme kuvvetlerinin de azalacak olması izolasyonlu sistemin üstünlüğünü ortaya koymaktadır. İzolasyonlu sistemde kesit tesirlerinin azalması eleman boyutlarının klasik ankastre tabanlı yapılara göre daha küçük boyutlarda yapılabileceği anlamına gelmektedir [16].

Mazzolani (2001), Avrupa'yı sismik hareketlilik yönünden ikiye bölerek incelemiştir. Kuzey bölüm jeolojik bakımdan kararlı ve temelde depremlerden etkilenmeyen bölgeler ki burada pasif kontrol teknoloji nükleer santrallerle sınırlı olmaktadır. Güney bölüm ise Akdeniz'in çevresi ve Balkan bölgesi deprem fayları üzerindedir. Avrupa'da pasif izolasyon konusunda lider olan İtalya'da izolasyon uygulanarak yapılmış yeni binalardan ve güçlendirilmiş tarihi binalardan örnekler verilmiştir. İtalya'da 1998 yılında sismik izolasyonlu yapılarla ilgili ilk standart oluşturulmuştur. Ayrıca Avrupa düzeyinde Eurocode 8'in gelişimine paralel olarak 1993 yılında teknik komite TC 167/SC1 depreme dayanıklı yapılar için mesnet araçlarını standartlaştıran CEN'i kurmuştur. Eurocode 8 (1998)'in ENV versiyonu binaların pasif kontrollü tekniklerinden bahsetmemektedir. 2000 yılında basılan ENV 1998-1-1, 1998-1-2, 1998-1-3'te Chapter 10 taban izolasyonu ile ilgilidir ama bölüm hala yeterli değildir ve üzerindeki çalışmalar devam etmektedir [17].

Zhou (2001), 2000 yılının sonuna kadar 450 binanın Çin’de sismik izolasyonla inşa edildiğini belirtmiştir. Sismik izolasyonla, binaların güvenlik düzeyi 2-8 kat arasında artmış, ayrıca maliyetlerde %3-15 arasında düşmüştür. Çin’de sismik izolasyonla yapılmış yeni ve eski binalardan örnekler verilmiştir. Üç adet standartdan bahsedilmektedir. Bunlar CECS 2000, lamine kauçuk mesnetler için ulusal standart olan JG 118-2000 ve bina tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönümleyiciler için GB50011’dir [18].

Wu ve Samali (2002), kauçuk mesnet ile izole edilmiş 5 katlı benchmark modelin sismik karakteristikleri sarsma tablası kullanarak çalışmıştır. Çarpışma tahriki; HP-VXI data elde etme sistemi ve LMS CADA-X software, kauçuk mesnetli ve mesnetsiz benchmark modelin dinamik parametrelerini tespit etmek için kullanılmıştır. Doğal frekanslar, sönüm oranları, faz şekilleri ile kütle, rijitlik, sönüm matrisleri gibi yapısal özellikler elde edilmiştir. Taban izolasyon sisteminin etkilerini ve deprem zemin hareketlerinin etkilerini değerlendirmek için izolasyon sistemli ve sistemli 4 farklı güçlü zemin hareketine (Nortridge, Hanşin, El-Centro ve Kobe) maruz kalan yapıların hem sayısal analizleri ve hem de sarsma tablası ile deneyleri yapılmıştır. Sayısal analizlerden ve sarsma tablası deneylerinden elde edilen deprem girdilerine göre sismik izolatörlerin etkinliğinin çok büyük ölçüde zemin hareketinin cinsine bağlı olduğu belirlenmiştir. Bütün katlardaki maksimum ivmelenme kurşun izolasyonun eklenmesi ile düşmüştür. Ancak kauçuk izolasyonlu modeldeki rölatif yerdeğiştirme deprem tahrikiyle ilgili olmuştur. Hanşin depremi kullanıldığında en belirgin sonuçlar elde edilmiştir. Maksimum ivme, yer değiştirmeler, rölatif kat yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ile burulma momentleri taban izolasyonlu sistemlerde izolasyonsuz sistemlere göre çok azalmıştır. Ayrıca ivmelerin titreşim genliği, rölatif kat yerdeğiştirmeleri kauçuk mesnetsizlere göre çok çabuk azalmıştır. Kullanılan taban izolasyonunun etkinliği El Centro depreminde fazla değildir [19].

Melkumyan (2002), Ermenistan’da 1994’ten beri 24 adet bina ve yapının sismik izolasyon mesnetli tasarlandığını belirtmiştir. Taban ve çatı izolasyonlu 14 adet bina yapılmıştır. Şu anda iki adet fabrika yüksek kalitede kauçuk mesnet üretmektedir. Ayrıca çalışmada Ermenistan’da sismik izolasyon uygulanan binaların etkinliği

belirtilmiş ve istatistiksel olarak gösterilmiştir. Ermenistan’da da halen bir standart olmadığını ama oluşturmak için çalışmaların olduğunu belirtip standart için minimum yatay kuvvet hakkında farklı bir yaklaşımda bulunulmuştur [20].

Çağlar (2002), çalışmasında taban izolasyon sistemlerini kauçuk sistemler ve kayıcı sistemler olarak ikiye ayırmış ve her bir sisteme ait mekanik ve matematik modellemeyi açıklamıştır. Bunlara bağlı olarak hareket denklemlerinin çıkarılışını sunmuştur [21].

Kösedağ (2002), çalışmasında depremin yıkıcı etkisini azaltan sismik izolasyon teknolojisini incelemiştir. İzolatörlerin yapı üzerindeki etkilerini sayısal olarak görmek için, 4 katlı bir model ele alınmıştır. Amerikan standardı UBC 97 ve FEMA ortak esaslarına dayandırılan hesaplarda ele alınan yapıda ilk olarak izolatörlerde boyut hesaplarının ve tahkiklerinin nasıl yapılması gerektiği anlatılmıştır. Hesapların doğal kauçuk izolatörler, kurşun çekirdekli izolatörler ve sürtünmeli sarkaç sistemi seçilmesi durumunda hesap tekniğindeki değişikliklerden söz edilmektedir. Sistemler son olarak SAP 2000 de yapının zemine ankastre olması, elastometrik izolatörler kullanılması ve sürtünmeli sarkaç türü izolatörler kullanılması durumları için ayrı ayrı karşılaştırmalar yapılmıştır. Hesaplamalardan sonra ivme zaman spektrumu kullanılarak spektral analiz yapılmış ve yapısal elemanlarda deprem etkilerinde meydana gelmiş değişiklikler incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre sismik izolasyonla mekanik davranışları değiştirilen yapıların kesit etkileri her bir izolasyon modelinde yaklaşık aynıdır. Teoride yakın sonuçlar veren bu sistemlerin kullanımda tercih neden ve önceliğinin, uygulama kolaylığı, maliyet gibi ikinci derece önemli kriterlerce tesbit edilmesi muhtemeldir [22].

Matsagar ve Jangid (2003), taban izolasyon sistemi ile mesnetlenmiş çok katlı binaların komşu yapılar ile çarpışması sırasındaki sismik tepkilerini araştırmışlardır. Çarpışma elemanı olarak yay ve amortisör formu komşu strüktürü modellemek için kullanılmıştır. İzole edilmiş bina her katta yatay serbestlik dereceli kesme tipi strüktür ile modellenmiştir. İzolasyonlu sistemler için hareketin ayrılmış diferansiyel denklemleri çıkarılmış ve Newmark’ın adım adım iterasyon metodu ile çözülmüştür.

Değişik depremler altında farklı izolasyon sistemler için çarpışma sırasında üst kat toplam ivme ve mesnet yer değiştirme değişimleri binanın çarpışma sırasındaki davranışını ve değişik izolasyon sistemlerinin karşılaştırmalı performansını çalışmak için hesaplanmıştır. İzole edilmiş binanın çarpışma tepkisi açıklığının büyüklüğü, çarpışılan elemanın rijitliği, üstyapının esnekliği, taban izolasyonlu binanın kat sayısı gibi önemli sistem parametrelerinin değişimi ile incelenmiştir. Komşu yapının çarpışma nedeni ile üst yapı ivmesi artmakta ve mesnet yer değiştirmesi komşu yapı nedeni ile azalmaktadır. Ancak çarpışma olayı bittikten sonra izolasyonsuz sisteme göre izolasyon sistemli yapı daha iyi durumda kalmaktadır. Ayrıca üstyapı ivmeleri, izolasyon açıklığının değeri belli bir değere kadar artarken artmakta ve daha sonra açıklık artsa bile ivmelenme azalmaktadır. Çarpışmanın etkileri esnek üst yapıli sistemlerde, kat sayısının artışı ve komşu yapı rijitliğinin artışı ile şiddetlenmektedir [23].

Zhou ve arkadaşları (2003), taban izolasyonlu yapılarda üst yapının koruyucuları olan kauçuk mesnetlerin kırılmalarının mutlaka önlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Çünkü kauçuk mesnetlerin kırılması üst yapıda ciddi hasara neden olabilmektedir. Bunun için en kolay yol kauçuk mesnetlerde oluşan maksimum darbeyi durdurucular ve tamponlarla sınırlamaktır (yumuşak çekiçleme koruması). Diğer bir yol korunan kauçuk mesnetlere belli bir mesafede ayaklara ek rijit bileşenler yerleştirmektir (rijitlik değişkenli koruma). Üçüncü yol ise, kauçuk mesnetlerin üstlerine yardımcı kaygan sürtünme destekleri yerleştirmektir (yumuşak iniş koruması). Çalışmada bu koruma yöntemlerinin etkinliği tartışılmıştır. Sonuç olarak yumuşak çekiçleme sistemine nazaran diğer iki metodun uygulamasının daha basit ve ucuz olduğuna karar verilmiştir [24].

Alhan ve Gavin (2004), sismik izolasyonlu sistemlerin pasif sönümleyicilerinin ve zemin hareketlerinin karakteristiklerinin strüktürel tepki hassasiyetini değerlendirmişlerdir. Benchmark problem durumunda açıklandığı üzere prototip sismik izolasyonlu yapıların zaman tanım alanı analizlerinde kullanılan yakın alan ve uzak alan hareketlerini simgeleyen deprem hareketlerinin pasif sönümleyicilerle uygun korunma düzeylerine bakılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki kat ivmeleri ve rölatif

yerdeğiştimelere bağlı üstyapı tepkileri lineer izolasyon sistemleri için çok küçülmüş ve bu küçülen değerlerin çoğu standart değerlerine uygun çıkmıştır [25].

Mezzi ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada sismik koruma yöntemlerini hesaba katan en uygun yapı konfigürasyonunu incelemişlerdir. Ayrıca binaların sismik tasarımı için hem mimari ve hem de yapısal olarak bir metot geliştirmeye çalışmaktadırlar. Çalışma 4 adımdan oluşmaktadır. Bunlar veri toplama, gerekliliklerin tanımlanması, performans analizleri ve sonuçların özeti. Amaç sismik korumaya yönelik mimari morfolojinin optimum artikülasyonu için yapısal çözümler içeren organik listeyi elde etmektir [26].

Alhan ve Gavin (2005), deprem tehlikesinde kritik ekipmanın korunması için taban izolasyonunun güvenilirliği hakkındaki çalışmalarında; hastaneler, hava trafiği kontrol merkezleri, internet merkezlerinde bulunan ve titreşim hassasiyetli ekipmanların güvenliğinin giderek büyüyen bir endişe yarattığını belirtmişlerdir. İkinci kat seviyesinde izolasyon bulunan ve ayrıca şok ve titreşim duyarlı bilgisayar ekipmanı bulunan 4 katlı kritik merkezleri simgelediği kabul edilen yapının korunması için izolasyon sistem bileşenleri için güvenilirlik gerekleri çalışılmıştır. İzolasyonun rijitliği, izolasyonun sönümü, üstyapıdaki eksantrisite, iki yönlü zemin hareketlerine maruz kalmış 3 boyutlu yapının zemin hareketi karakteristikleri gibi belirsizlikler için gerçekçi şekilde problemi ortaya koymuşlardır. Kırılma olasılıkları için Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır [27].

Bratosin (2005), taban izolasyonunun temel amacının spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodunun yapınınkinden uzak tutmak olduğunu belirtmiştir. Çalışmanın amacı taban izolasyonlu yapıların izolasyon tabakasındaki malzeme ve araçların non-lineer karakteristikleri nedeniyle periyot uzaklaştırma değerlendirilmesinin etkilerini incelemektir. Lineer tek serbestlik dereceli ankastre temelli ve nonlinear tek serbestlik dereceli taban izolasyonlu sistemlerin, nonlinear özellikli izolasyon tabakalarının altında izole edilmiş doğal periyot için optimum çözümler sunulmuştur [28].

Pavlou (2005), yaptığı çalışmada sismik koruyucu sistemli birincil ve ikincil sistemlerinin performansını incelemiştir. Binalar viskoz (lineer ve nonlinear) ve metalik akma enerji sönümleyici sistemler ile kurşun-kauçuk ve sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemleri ile korunmuştur. Çalışmanın üç amacı vardır. Bunlar, yakın alanda ve yumuşak zemin koşullarında sönümleyici sistemli binalar için basitleştirilmiş analiz metotlarının doğruluğunu ve geçerliliğini değerlendirmek, sönümleyici sistemlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanların performansını değerlendirmek ve son olarak sismik izolasyonlu yapılarda yapısal ve yapısal olmayan elemanların performansını belirlemektir. İlk olarak lineer viskoz, nonlinear viskoz ve akma sönümleyici aletli tek serbestlik dereceli sistemlerin nonlinear tepkileri ve daha sonra 2003 NEHRP Recommended Provisions kullanılarak ayrıca lineer viskoz ve nonlinear viskoz sönümleyicili üç katlı çelik moment ileten çerçeveler için yakın alan ve yumuşak zemin koşullarında basitleştirilmiş analiz metotlarının doğruluğu hakkında bilgi verilmektedir. Sonuç olarak, binalara sismik izolasyon cihazlarının yerleştirilmesi; pik kat ivmelerinde, pik kat toplam hızında ve kat spektral ivmelerinde önemli düşüşlere neden olmaktadır [29].

2.2. Düzensiz Binalarda Sismik Taban İzolatörü Kullanımı Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Pan ve Kelly (1983), tabakalı kauçuk mesnetli taban izolasyonuna sahip burulma etkisindeki bir yapı sisteminin dinamik davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada rijitlik ve kütle merkezleri arasındaki eksantrisite dikkate alınarak burulma etkileri irdelenmiştir. Ayrıca, sistem tepkileri belirlenirken Green Fonksiyonundan faydalanılmıştır [30].

Nagarajaiah ve arkadaşları (1993), 1940 El-Centro ve 1952 Taft depremlerindeki iki yönlü yatay zemin hareketleri nedeniyle oluşan doğrusal olmayan elastomer izolatör sistemli, çok katlı taban izolasyonlu yapılardaki burulmayı çalışmışlardır. Çalışmanın amacı önemli sistem parametrelerini belirlemek ve değişik sistem parametrelerinin bu tür sistemlerin yatay burulma tepkileri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır.

- a) Elastomer izolasyon sisteminde burulmalı hareketlerin ana kaynağı izolasyon sistemindeki eksantrisitedir.
- b) Üstyapıdaki asimetri ve dinamik karakteristikler izolasyon sistemindekiler kadar önemlidir.
- c) Elastomer izolasyonlu yapıda mesnet sayısının sismik tepki üzerinde çok az etkisi vardır.
- d) Elastomer izolasyonlu yapıda kesme ve devrilme momenti değerleri, ankastre yapıda oluşan kesme ve devrilme momentlerinden daha azdır [31].

Yang ve Huang (1998), taban yalıtımı ve burulma etkisinin yapı-ekipman etkileşimine etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında sismik etki altında elastik yataklarla mesnetlenmiş burulma eğilimli yapılara iliştirilmiş ekipman elemanlarının davranışını irdelemişlerdir. Burulma ve çevirim etkisini açıklamak için yapının her katını iki serbestlik derecesi ile modellemişlerdir. Ekipmanların hafif olduğunu dolayısıyla titreşim moduna katkılarının çok az olduğunu kabul etmişlerdir. Sonuçta ise tabanı yalıtılmış yapılarda iç ekipmanların sismik davranışının yalıtılmamış yapılara nazaran daha iyi performansa sahip olduğunu ve donanım için optimum bir noktanın var olduğunu göstermişlerdir [32].

Goel (2000), viskoz sönümleyicili asimetrik bir yapının sismik davranışındaki iyileşmeyi çalışma konusu yapmıştır. Çalışmasını harmonik güçlü bir yer hareketini kullanarak modal analiz ile gerçekleştirmiştir. Plan bazında optimal bir şekilde dağıtılmış viskoz sönümleyicilerin dinamik büyütme katsayısını önemli derecede düşürdüğünü, sönümleyicilerin plan bazında dağılımı ile dinamik büyütme katsayısını önemli derecede düşürdüğünü, sönümleyicilerin plan bazında dağılımı ile dinamik büyütme faktörü arasında önemli bir ilişki olduğunu saptamıştır. Bu bağıntı modal sönümleme ile doğrudan ilişki olduğunu saptamıştır. Bu bağıntı modal sönümleme ile doğrudan ilişkili olduğundan birinci modal sönümleme oranının, sönümleme merkezinin planda sağdan sola hareketiyle arttığını kaydetmiştir. Asimetrik yapının esnek kenarındaki deformasyonda en büyük azalmanın, yapısal dışmerkezliğe ters işaretli olarak sönümleme dışmerkezliğinin en büyük değerlerinde ve birinci mod içinde ortaya çıktığını belirtmiştir [33].

Lin ve Chopra (2001), yardımcı sönümleyicilerin asimetrik tek katlı bir sistemin sismik davranışı üzerine etkisi konusunu çalışmışlardır. Yardımcı sönümleyiciler simetrik yapılara göre daha korumasız olan asimetrik yapılarda deprem nedenli hasarları azaltabilirler. Fakat sönümleyici dağılımı önem kazanmaktadır. Çalışmalarında simetrik dağılıma göre asimetrik makul veya optimum denilebilecek bir dağılım iki kattan daha fazla etkili olduğunu göstermiştir [34].

Colunga ve Gomez-Soberon (2002), yapıda eksantrisite bulunduğu zaman taban izolasyonlu yapıların burulma tepkilerini çalışmışlardır. Üst yapıda kütle ve rijitlik merkezlerinin arasındaki eksantrisitenin farklı oranlarının pik tepkilerini çalışmak için nonlinear dinamik analizler kullanmışlardır. Çalışmada Meksika'nın Pasifik kıyılarındaki sert zeminlerde kayıt edilmiş tek ve iki yönlü deprem hareketleri kullanılmıştır. Çalışmada taban izolasyonlu yapılar için etkili periyod aralığı 1,5 s ve 3 s göz önüne alınmıştır. Tüm yapı ağırlığının %5'i ve %10'u akma kuvvetli ve son akma rijitliği elastik rijitliğin %10'u olan bilineer izolatör sistemler dikkate alınmıştır. Maksimum izolatör yerdeğiştirmeleri, pik yerdeğiştirme süneklik talepleri gibi pik dinamik tepkiler çalışılmış ve farklı zemin hareketleri altında simetrik sistemle karşılaştırılmıştır. Böylece eksantrisite oranının tepki değerleri üzerindeki önemi vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, simetrik olmayan sistemde simetrik sisteme nazaran eksantrisite arttıkça büyültme oranı artmaktadır. Ayrıca, büyültme oranı göz önüne alınan periyod aralığında seçilen zemin hareketleri için sabit kalmamaktadır. Burulma tepkisinin maksimum olduğu durumlarda köşelerdeki izolatörlerin yerdeğiştirmeleri önemli rol oynamaktadır [35].

Ryan ve Chopra (2002), asimetrik plana sahip taban yalıtımlı binaların analizi için yaklaşık bir yöntem konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında mod biçimlerini bulmak için Ritz vektörlerini kullanmışlar ve bu yaklaşım, titreşim özellikleri ile dış merkezlikleri benzer olan tabanı yalıtımlı ve sabit iki tek katlı sistemin analizini kısaltmıştır. Üç farklı metot geliştirmişlerdir: birincisi Rayleigh-Ritz prosedürünün doğrudan uygulanması, ikincisi etkili basitleştirme kullanılması ve üçüncüsü ise bağıl olarak üst yapının rijit olduğunun kabulüdür. Bu önerilen metotların doğruluğunu ve davranışın belirlenmesinde yapının rijitliği kabulüne

dayanan metodu, esneklik ve dışmerkezlik içeren sistem parametreleri aralığında değerlendirmişlerdir. Yapı dışmerkezliği ve yalıtım açısından eşdeğer altküme sistemleri için metotlardan ikisinin tam doğru, üçüncüsünün ise yeterli yaklaşıklıkla doğru olduğu ve üçüncünün arasından rijit yapı kabulünün tercih edilebilir olduğunu belirtmişlerdir [36].

Yoshida ve arkadaşları (2002), akıllı sönümleyiciler kullanılarak asimetrik yapıların burulma davranışının kontrol altına alınabilirliğini araştırmışlardır. MR sönümleyicilerle yarı aktif kontrol tasarımı geliştirmişler, buna asimetrik bir test yapısında uygulayarak sonuçları değerlendirmişlerdir. MR akışkan teknolojisine dayanan ucuz, minimum güç gerektiren sıcaklık farklarına duyarlı ve güvenilir sönümleyici aygıtlarla testler yapmışlardır. Sonuçta MR sisteminin pasif kontrolden daha etkili olduğunu göstermişlerdir [37].

Colunga ve Soberon (2002), üst yapıdaki asimetrik plandan dolayı burulma davranışı gösterme eğiliminde olan yapıların tabanını yalıtarak davranışındaki iyileşmeleri araştırmışlardır. Nonlinear dinamik analizi kullanarak farklı dışmerkezliklerde, tek ve iki doğrultulu seçilmiş zemin hareketiyle pik davranışları incelemişlerdir. Etkili periyot aralığı 1,5-3 saniye aralığında olan yapıları çalışmalarında dikkate almışlardır. Bilineer izolatör sistemi için akma rijitliği tam yapı ağırlığının %5 ve %10'ı kadar, akma sonrası rijitliği %10 ve elastik rijitliği $k_2/k_1=0,10$ olarak kabul etmişlerdir. Simetrik yapı ile asimetrik yapının seçilmiş izolatörlerdeki pik ötelenmeleri karşılaştırarak şu sonuçları vurgulamışlardır: 1) beklendiği gibi asimetrik sistemin davranışındaki büyütme, dış merkezliğe bağlıdır 2) büyütme oranı (seçilmiş depremler göz önüne alındığında) belli bir periyot aralığı için sabit değildir 3) bu büyütmenin karakteristiği zemin hareketinin biçimiyle ve yeriyle değişmektedir 4) burulma davranışının aşırı durumlarında, tüm köşe izolatörlerin toplam ötelenmesinin önemli bir katılımı vardır [38].

Samali ve arkadaşları (2003), kütle dışmerkezliğinden dolayı burulma davranışı gösterme eğiliminde olan taban yalıtımlı yapıların sismik davranışını ve dinamik karakteristiklerini sarsıntı tablasında yaptıkları deneylerle araştırmışlardır. Beş katlı

modelin dört farklı zemin hareketiyle sarsma tablası kullanarak simülasyonunu gerçekleştirmişler, ‘laminat kauçuk’ ve ‘kurşun tamponlu kauçuk yatakların’ verimliliğini dönme ve burulma davranışı açısından test etmişlerdir. Zemin hareketi girdileri ne olursa olsun her iki yalıtım sisteminin de önemli derecede davranışı iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Laminat kauçuk yatakların rölatif ötelenmeler, burulma dönme açısı ve ivmeler açısından kurşun tamponlu kauçuk yataklardan daha etkili olduğunu sonuçlarında göstermişlerdir. Bununla birlikte kurşun tamponlu kauçuk yatakların daha düşük dönme açısı ve daha düşük rölatif ötelenme sağladığından dolayı yapı sistemini daha stabil hale getirdiğini kaydetmişlerdir [39].

Zavoni ve Leyva (2003), tutarsız ve faz gecikmeli sismik yer hareketine maruz üç boyutlu çok katlı simetrik yapılardaki burulma davranışı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapı davranışını kesme kuvvetleri açısından değerlendirmişlerdir. Zemin seviyesinde kolon kesme kuvvetlerinin artış oranı, yumuşak zeminlerde sağlam zeminlere göre daha yüksek çıkmıştır. Burulma davranışı düşünüldüğünde, faz gecikmeli ve tutarsız yer hareketi önemli bir dönmeye neden olmamıştır [40].

Almazan ve Llera (2003), sürtünmeli sarkaçla tabanı yalıtılmış simetrik yapıların tesadüfi bir burulma etkisi ile devrilme durumunu araştırmışlardır. Araştırmacılar, sürtünme sarkacı izolatörlerin sarkaç eyleminde değişikliklere neden olabileceğini, dolayısıyla yapının, zemin hareketinin yatay unsurlara maruz kaldığında yanal burulma etkisi ile devrilebileceğini belirtmişlerdir. Bu oluşan burulmayı kontrol eden birkaç parametre tanımlamışlardır. En önemli parametrelerin, yapının plandaki en boy oranı ve yapı yetersizliği olduğunu belirtmişlerdir. Üstyapının katlar arası deformasyonu, yalıtım seviyesindeki deformasyonu ve burulma etkisinin yükseltme faktörlerini vermişlerdir. Bunun için yalıtım içeren bir model geliştirmişlerdir, yakın fay zemin hareketlerindeki vurguyu (impulse) analizlerinde değerlendirmişler, tesadüfi burulma etkisi ile burulma büyümesinin ortalama standart sapmasını %5 olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca bu değerin yalıtım sisteminin tasarımında ihmal edilebileceğini fakat tesadüfi burulma etkisinin üstyapı zayıflığına ve burulma rijitliğine bağlı olarak %50 ye varan katlar arası ötelenme büyümesine neden olabileceğini belirtmişlerdir [41].

Llera ve Almazan (2003), sürtünme sarkacı sistemi ile yalıtılmış simetrik ve rijitlik merkezi açısından simetrik üç katlı yapı modelleri ile bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yalıtım seviyesindeki deformasyonları ve tüm yapı katlarındaki ivme kayıtlarını kullanarak yapılardaki burulma etkisini araştırmışlardır. Modelleri üç boyutlu sarsıntı tablasında vurgu etkisini ve yakın fay etkisini içeren 5 farklı zemin hareketine maruz bırakmışlar, sonuçta yalıtımlı yapının sismik davranışı hakkındaki analitik tahminlerinin gerçek karmaşık inelastik davranışa yakın bir uyum içinde olduğunu göstermişlerdir. Bunun yanında yalıtımlı yapı davranışının modellenmesinde normal kuvvetin değişkenliği için yapılan hesaplamanın onemini deneysel olarak gözlemlemişlerdir. Binanın taban seviyesinde lmş burulma deformasyonunun yalıtımlı simetrik yapılar için %2,5 ve yalıtımlı asimetrik yapılar için %6 oranında değiştiğini görmüşlerdir. Her iki yalıtımlı modelde taban kesmesi için indirgeme faktörü 3,9 civarında hesaplamışlardır. Kütlesel olarak asimetrik yapılarda ‘sürtünme sarkacı sistemi’ ile yanal burulma etkisinin azaltılabileceğini göstermişlerdir [42].

Demircan (2003), çalışmasında deprem etkisindeki düşeyde düzensiz yapıların davranışını temel yalıtım sistemleri kullanmak suretiyle incelemiştir. Çalışma sonucunda Türkiye için uygun izolasyon sistemlerinin seçilmesi ve geliştirilmesi onerilirken, sismik izolasyon yönetmelik koşullarının da oluşturulması gerektiği vurgulanmaktadır [43].

Ryan ve Chopra (2004), nonlinear analiz kullanarak, tabanı yalıtılmış asimetrik yapıların sismik taleplerinin hesaplanması konusunda bir çalışma yapmışlardır. Gl zemin hareketine maruz asimetrik bir yapının bütün izolatörleri arasındaki pik deformasyonların değerlendirmesini, doğrusal olmayan analize dayanan bir prosedürle sağlamışlardır. Nonlinear prosedürle pik izolatör deformasyonlarının, ABD şartnamelerince onemli derecede eksik tahmin edildiğini göstermişlerdir [44].

Llera ve arkadaşları (2005), sürtünmeli sönümleyicilere sahip elastik asimetrik yapıların burulmasını göz nne alarak tasarımı ve deprem davranışını belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Sürtünmeli sönümleyiciler, burulma riskini kontrol

altına alabilirler. Yani yapının ampirik denge merkezi olarak adlandırılan yeri tüm kenarlara eşit uzaklıkta bir noktaya çekmek, sönümleyicilerle sağlanabilir. Bu kuralı geliştirerek lineer elastik tek katlı yapılarda uygulanabilir duruma getirmişlerdir. Deneysel ve teorik sonuçlar geliştirilen kuralın çok katlı yapılarda da geçerli olabileceğini göstermiştir. Sonuçlar, eğer sönümleyiciler uygun yerlere yerleştirilirse tüm pik kenar ötelenmelerinin geometrik merkezden eşit uzaklığa çekilebileceğini göstermiştir [45].

Derdiman (2006), çalışmasında 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 [46].

Colunga ve Rojas (2006), izolasyon sisteminde eksantrisite bulunduğu zaman taban izolasyonlu yapılardaki burulma tepkisi ile ilgili parametrik bir çalışma yapmışlardır. İzolatörlerin farklı rijitlikleri nedeniyle oluşan asimetri, izolasyon sistemindeki kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki değişik eksantrisite oranlarının pik tepkilerini çalışmak için nonlineer dinamik analizler kullanılmıştır. Çalışmada Meksika'nın Pasifik kıyılarındaki sert zeminde oluşmuş tek ve çift yönlü zemin hareketleri kullanılmıştır. Ayrıca taban izolasyonlu yapılar için etkili periyot aralığı ($1.5 \text{ s} \leq T \leq 3.0 \text{ s}$) göz önünde tutulmuştur. Maksimum izolatör yerdeğiştirmeleri, pik yerdeğiştirme duktilite talepleri gibi pik dinamik tepkiler eksantrisite değerinin önemini değerlendirmek için farklı zemin hareketleri ile simetrik referans yapılarla karşılaştırılmıştır. Genel olarak simetrik olmayan sistemlerin maksimum izolatör yerdeğiştirmeleri için büyültme katsayıları simetrik sisteme oranla eksantrisite arttıkça artmaktadır [47].

2.3.Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Tarihi yığma yapıların deprem davranışının iyileştirilmesi kapsamında güçlendirilmesiyle ilgili yapılmış oldukça fazla çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda belirtildikten sonra, tarihi yapıların sismik taban izolatörleri ile güçlendirilmesi konusunda yapılmış sınırlı sayıdaki çalışmalar verilmektedir.

Selahiye ve arkadaşları (1995), tarafından yapılan çalışmada Süleymaniye camisinin üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile yapının doğal titreşim frekansları ve modları elde edilmiştir. Aynı dinamik özellikler camiye yerleştirilen dokuz adet kuvvetli yer hareketi kaydedicisi ile 1994 yılında kaydedilen küçük şiddetli bir depremin kayıtlarından yararlanılarak tekrar bulunmuştur. Deneysel ve analitik olarak elde edilen sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum olduğu görülmektedir [48].

Erdik ve Durukal (1993), tarafından yapılan çalışmada Aya Sofya'nın deprem yükleri altındaki davranışını incelemek üzere sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. 22 Mart 1992 Karacabey depremi Aya Sofya'daki akselerometre şebekesi tarafından kaydedilmiştir. Bu kayıtlar Aya Sofya'nın gerçek deprem davranışını belirlemede önemli ipuçları vermişlerdir [49].

Bozinovski ve Velkov (1983), tarafından yapılan çalışmada iki tarihi taş bina olan Ohrid- Makedonya'daki St Sofia Kilisesi ve Dubrovnik'teki Sponza Palas üzerindeki çalışmalar anlatılmıştır. Bu çalışmalar genel olarak iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, binaların laboratuvar ortamında ve yerinde yapılan deneylerle malzeme karakteristiklerinin, şekil değiştirebilme karakteristikleri ile yapısal duvarların taşıma kapasitelerinin belirlenmesi anlatılmıştır. İkinci bölümde ise bulunan deneysel çalışmaların sonuçlarına dayanılarak, gerçek deprem etkisindeki kagir yapıların dinamik davranışını yansıtmak üzere bir mekanik model önerilmiştir [50].

Karaesmen ve Ünay (1988), Mimar Sinan'ın kubbeli yapıları hakkında ve bu yapıların yük aktarma mekanizmaları hakkında bilgi vermişlerdir. Ayrıca Şehzade

Mehmet Camii'nin malzeme ve yapısal karakteristiği ile ilgili bilgiler verilerek ana kubbe sonlu elemanlar metoduyla çözülmüştür [51].

Mark ve Westegard (1988), Ayasofya'nın ve Pantheon'un (Roma) kubbelerini sonlu elemanlar metoduyla modelleyerek karşılaştırmalar yapmışlardır. Burada Ayasofya'nın üstün özellikleri ile birlikte yapının daha iyi anlaşılabilmesi için araştırmaların derinleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır [52].

Hidaka ve arkadaşları (1989), Ayasofya'nın kubbelerini bilgisayar yardımıyla modellemiş ve karakteristiklerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada birleşim elemanı olan harç elasto-plastik olarak ele alınmıştır [53].

Mathews (1971) ve Mainstone (1997), Ayasofya ve Küçük Ayasofya Camii'ne ait açıklamalar yapılmış ve mimari plan ve yapı boyutları sunulmuştur [54, 55].

Erdik ve arkadaşları (1990), Erdik ve arkadaşları (1990), Erdik ve arkadaşları (1991), Mark ve arkadaşları (1993) ve Durukal (1992), çalışmalarında Ayasofya'da kullanılan malzemelerin karakteristiklerini, dayanımlarını, harcın özelliklerini ve çevresel titreşimleri belirlemişlerdir. Yapının sonlu elemanlarla modeli oluşturulmuş, statik ve dinamik analizi ile uzun ve kısa süreli, lineer ve non-lineer analizleri yapılmıştır. Hesaplarda bulunan frekanslarla yerinde ölçülen frekansların uyuşması için model kalibre edilmiştir [56, 57, 58, 59, 60].

Karaesmen ve arkadaşları (1992), Mimar Sinan'ın deprem kuşağı üzerinde yer alan yapılarını ele alarak, Şehzade Mehmet Camii ve Mihrimah Sultan (Edirnekapi) Camii'ni sonlu elemanlar metoduyla modellemişlerdir. Bu modelleme yardımıyla yapının deprem altındaki durumu irdelenmiştir [61].

Erdik ve Durukal (1993), yaptıkları çalışmada Ayasofya'nın deprem yükleri altındaki davranışını incelemek üzere dinamik analiz amaçlı olarak yapının üç boyutlu sonlu eleman modelini yaratmışlar ve model, yapıda gerçekleştirilen çevrel titreşim deneyleri sonuçları çerçevesinde kalibre etmişlerdir. Yine Ayasofya'nın yapısal

sistemini tanımlamak ve gelecekteki deprem güvenliği çalışmaları için gerçekçi bir model yaratmak amacıyla, binanın analitik ve ampirik davranışı ile ilgili veriler karşılaştırılmıştır [62].

Pichard (1976) ve Gavrilovic (1993), tarafından yapılan çalışmada 8 Temmuz 1975 yılındaki depremde hasar gören Pagan Platosu, Burma merkezinde yer alan tapınak ve Pagodaların tamir ve onarımları, 1979 yılındaki Montenegro Depremi ile hasar görmüş Budva Kasabası tarihi anıtların tamirâtı ile Üsküp Nerezi’de bulunan St Pantelemon manastırı ve 1963’te hasar gören Üsküp Kurşunlu Han’ın güçlendirme ve onarımları anlatılmıştır. Bu güçlendirme ve onarım için bazı yöntem ve teknikler sunulmaktadır. Genel olarak bu yollar ayrıntılı çalışmalara ve deprem riskinin bölgesel zemin koşullarının, yapının dinamik karakteristiklerinin, kullanılan malzemenin mukavemet ve rijitliğinin kestirilmesine dayanmaktadır [63, 64].

Jurokovski ve arkadaşları (1993), çeşitli modeller üzerinde yapılan sarsma tablası deney sonuçlarını vermiştir. Uygulaması yapılmış bazı yapıları temsil etmek üzere, betonarme kolonlu, basit tuğla yığma bir yapı örnek olarak boyutlandırılmıştır. Bu modelin 1/3 ölçeğindeki benzeri inşa edilmiş ve ilk modele uygulanan depremin etkisinde denenmiştir. Sonuçların tartışması, göçme modları, süneklik kapasitesi, mukavemet ve dinamik özelliklerindeki değişimi dayalı olarak yapısal davranıştaki farklılıklar üzerinde yapılmıştır. Denenmiş modellerden ikisi çimento enjeksiyonu ile onarıldıktan sonra, aynı deney düzeni içinde yeniden denenmiştir [65].

Koçak (1999), çalışmasında Küçük Ayasofya camisinin statik ve dinamik analizini yapmıştır. Çalışmada İstanbul ve çevresinde tarihi yapılarda sıkça kullanılan kireçtaşı üzerinde yapılan mekanik deneylerde sonuçlarıyla tartışılmıştır [6].

Şen (2006), çalışmasında 105 yaşında yığma bir tarihi bina olan Hemdat İsrail Sinagogunu 3D modellemek suretiyle deprem etkisi için çözümlemiştir. Çalışmada ayrıca, yığma binalarda bulunabilen geniş pencere çerçevelerinin binanın sismik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir [66].

Artar (2006), Şehzade Mehmet Camisinin statik ve dinamik olarak lineer davranışını araştırmak amacıyla üç boyutlu sonlu eleman modelini geliştirmiştir. Çalışmada modal analiz ile Şehzade Mehmet Camisinin doğal frekansları belirlenmiş ve daha sonra geliştirilen bir model ile İstanbul'da olası bir deprem senaryosu için analiz yapılmıştır [67].

2.4. Tarihi Yapıların Sismik İzolatörlerle Güçlendirilmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Depreme karşı güçlendirme işinin geleneksel tasarımlarında; perdeler, çerçeveler ve destekleyiciler gibi yeni taşıyıcı elemanların sisteme ilave edilmesi gerekmektedir. Taban yalıtımı ise, binaya aktarılan depremsel kuvvetleri azaltarak, böylesi güçlendirme işlemlerine duyulan gereksinimi en aza indirmektedir. Bundan dolayı taban yalıtımı, görünümü ve özellikleri korunmak zorunda olan tarihsel ve mimari değerleri bulunan binalar için çekici bir iyileştirme yaklaşımıdır. Ne var ki, binanın izolatörlere oturmasını sağlamak için tabanında değişiklik yapmak, izolatörler için yeni bir temel sistemi inşa etmek, temel ve yalıtım sistemlerinin inşası esnasında binayı askıya almak, zor ve pahalı bir iştir.

Bu nedenle olsa gerek dünyada sismik izolasyon uygulanmış tarihi bina sayısı oldukça azdır. Amerika Birleşik Devletlerinde taban izolasyonu ile ilk güçlendirme örnekleri 20.yy'ın başlarında inşa edilmiş yapılarda kullanılmıştır. Bunlardan birkaçı; Los Angeles City Hall, Oakland City Hall, San Francisco City Hall ve Salt Lake City Hall'dür. Yeni Zelanda'da taban izolasyonu ile güçlendirmenin en önemli örneği Parliament Buildings'tir.

Bailey ve Allen (1988), tarafından yapılan çalışmada Amerika Utah'ta bulunan Salt Lake City and County binasının taban izolasyonu ile güçlendirilmesi çalışmaları anlatılmıştır. Bina 1890 yılında tamamlanmıştır. Taşıyıcı sistemi taş yığma olan binada ayrıca 76,2 m yüksekliğinde saat kulesi bulunmaktadır. Tarihi önemi ve eşsiz mimarisi binaya anıtsal bir değer katmaktadır. Deprem güvenliği bulunmayan binanın güçlendirilmesi için çeşitli metotlar uzmanlar tarafından tartışılmıştır.

Amerikan deprem şartnamesi UBC'in 3. düzey durumuna gelebilmesi için binanın iç strüktürünün tamamen yıkılıp orjinal dış cephe içinde yeni bir bina inşa edilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak uzmanlar tarafından binanın taban izolasyonu ile güçlendirilmesine karar verilmiştir [68].

Luca ve arkadaşları (2001), Sao Vicente de Fora manastırındaki ön cepheyi birebir ölçekle laboratuvar koşullarında inşa etmişlerdir. Sistem, taban izolasyonu ile güçlendirilmiştir. Taban izolasyonlu ve sabit mesnetli iki sistemin dinamik davranışının görülmesi açısından sarsma tablası deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları taban izolasyonlu sistemin sabit mesnetli sisteme göre 2,8-24 katı kadar daha az yerdeğiştirme yapmıştır. Ayrıca deprem kuvvetleri taban izolasyonlu sistemde 1,5-15 kat kadar küçülmüştür [69].

Gavriloviç ve arkadaşları (2003), çalışmalarında taş ve tuğla malzemeli, tek kubbeli ve kare planlı dört adet kilise seçmişlerdir. İlk önce malzeme özellikleri test edilmiştir. St Nikita kilisesinin 1:2,75 ölçekli modeli inşa edilmiştir. Bu model her testten önce onarılmıştır. Deneylerde iki tip deprem etkisi kullanılmıştır. Bunlar; 1976 Friuli (İtalya), 1940 El Centro depremleridir. Yapılan sarsma tablası deneyinde 0,17 g'lik bir ivmelenmede St Nikita'nın yıkılmıştır. Çatlakların onarımından sonra duvarlara öngerilmeli çelik levhalar yerleştirilmiştir. Bu sistemde ise 0,20 g'den sonra çatlaklar oluşmuştur. 0,40'de ise sistem yıkılmıştır. Model onarıldıktan sonra, Makedonya'da üretilen neopren izolatörler ve çelik durdurucular tabana yerleştirilmiştir. Yapılan sarsma tablası deneyi sonucu 0,63 g'lik depremde bile anıt güvenlik sınırlarını aşmamıştır. Sonuç olarak tarihi, dini ve estetik olarak öneme sahip freskler Makedonya'da ki kiliselerde duvara işlenmişlerdir. Bunlar türlerinin nadir örneklerindendir ve korunmaları gerekmektedir. Bu nedenle taban izolasyonu, kiliseleri depreme karşı güçlendirmek için en uygun çözümdür. Dezavantajı ise arkeolojik öneme sahip zemin kazılacağı için arkeolojik değere sahip bu toprak kayıp olacaktır [70].

Antonucci ve Medeot (2003), İtalya’da yeni yapılarda ve tarihi yapılarda kullanılan pasif kontrol sistemleri hakkında bilgi vermiştir. Ayrıca izolasyonlu sistemler için hazırlanan standardın gelişimini anlatmışlardır [71].

Lee ve arkadaşları (2004), sismik yönden tehlike arz eden bölgelerde değerli eski eserlerin ve önemli ekipmanların tabanlarına uygulanacak ‘sürtünme sarkacı sistemine’ benzeyen yalıtımla korunması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Yuvarlanmalı bir tipteki taban yalıtımı ile sarsıntı tablasında yapılan denemeler sonucunda depremde oluşan ivmelerin %80’den fazla azaltılabileceğini ve önemli ekipmanların korunabileceğini göstermişlerdir [72].

3. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

Önemli ve aktif fay hatlarının bulunduğu bir bölgede yer alan ülkemizin depremselliği oldukça yüksektir. Bu nedenle ülkemizde yapılacak olan herhangi bir yapı için en önemli ölçülerden biri deprem dayanımıdır. Günümüze kadar meydana gelen deprem hasarlarından, mimari tasarımın; yapının depreme dayanımında çok önemli bir etkisi olduğu sonucu çıkmıştır.

Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte [73], yapısal düzensizliklerden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Düzensiz binalar, deprem etkisinde oldukça olumsuz kabul edilebilecek zorlamalara maruz kalmaktadırlar. Bu bakımdan, yapı planında basit ve düzenli geometri tercih edilmelidir, plan geometrisi olabildiğince simetrik olmalıdır [74].

Deprem yönetmeliğinde düzensizlik durumları planda ve düşeyde düzensizlik durumları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [73].

A)Planda Düzensizlik Durumları

A1 - Burulma düzensizliği

A2 - Döşeme süreksizliği

A3 - Planda çıkıntılar bulunması

B) Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

B1 - Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf kat)

B2 - Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)

B3 - Taşıyıcı sistemin düşey elemanların süreksizliği

Tasarım sırasında yapılan bazı temel hatalarda aşağıda belirtilmiştir:

- *Güçlü kiriş-zayıf kolon
- *Kısa kolon
- *Kolon konfigürasyonu
- *Perde konfigürasyonu
- *Perde yeri
- *Kirişin kirişe bağlanması
- *Süreksiz kiriş

3.1. Deprem Yönetmeliğinde Belirtilen Düzensizlikler

A1 - Burulma düzensizliği

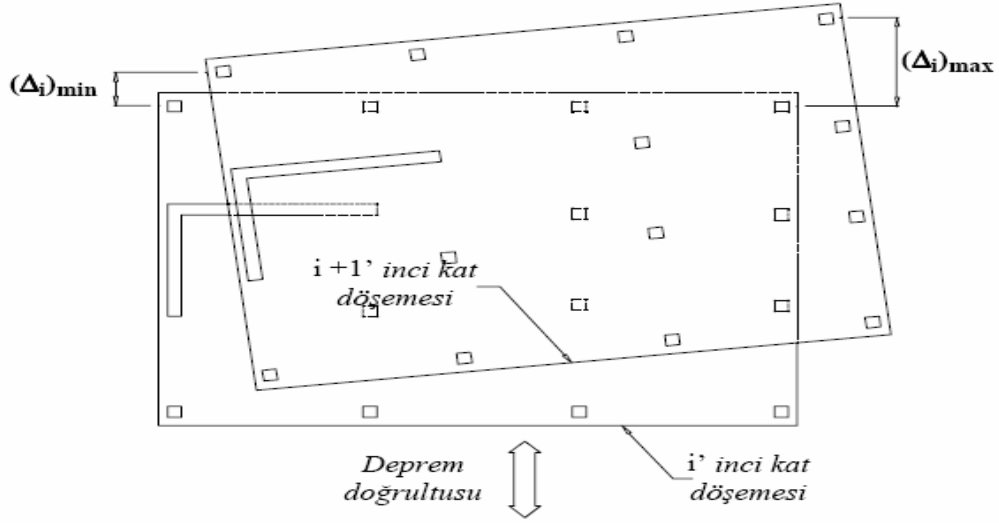
Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumudur (Şekil 3.1) [73].

$$[\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1,2] \quad (3.1)$$

Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak, yapılmalıdır. Burada, $(\Delta_i)_{\max}$: Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre bulunan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri,

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}] / 2 \quad (3.2)$$

Eş. 3.2'de verilen ve döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda geçerli olan ortalama görelî kat ötelemesidir. $(\Delta_i)_{\min}$: Hesapla bulunan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en küçük değeridir.



Şekil 3.1. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışması durumu [73]

Deprem etkisinde kalan bir yapıda burulma oluşmaması için kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışması gerekmektedir. Kütle merkezinin belirlenmesinde, döşeme, kiriş, kolon, duvar ve diğer sabit yükler ile hareketli yüklerin ağırlıkları alınmaktadır. Deprem kuvvetleri, kütle merkezinden geçen birbirine dik eksenlerden etmektedir. Rijitlik merkezi, yapının taşıyıcı elemanlarının rijitlik merkezidir. Deprem kuvvetlerinin etkisinden dolayı düşey taşıyıcılarda oluşan kesme kuvvetlerinin bileşkesinin geçtiği noktadır [75]. Bu nedenle yapıların projelendirilmesi aşamasında, yapı planı simetrik, kare veya dikdörtgen şekilde olmalıdır [74, 76]. Kat planında rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki eksantirisite minimum olmalıdır. Aksi halde kat burulma momenti kolonlarda ek kesme kuvvetlerine neden olmakta ve bu durumda yapıyı dayanım açısından zorlamaktadır. Buna karşılık, mimarisinde kare, dikdörtgen yada dairesel gibi asal geometrik planlı yapılar dışında değişik geometrik biçimlerle dengelenmiş tasarımlar estetik olarak beğenilmekte ve desteklenmektedir [77].

Özmen (2001), yaptığı çalışmada rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapılarda, burulma düzensizliğinin çok yüksek düzeylerde olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca hem rijitlik bakımından ve hem de geometrik olarak düzensiz yapılarda bu düzensizliğin çok daha yüksek düzeylerde olacağını açıklamıştır [78].

A2 - Döşeme süreksizlikleri

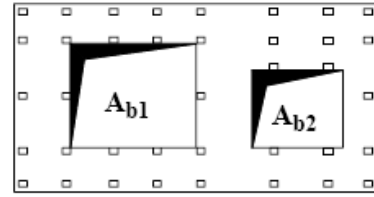
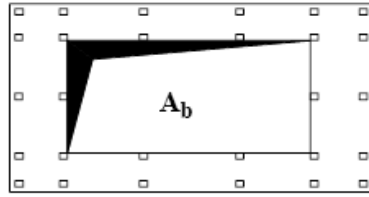
Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 3.2);

I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu

Döşemede boşluklar bulunması durumunda, döşemelerin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmalar meydana gelmektedir [79].



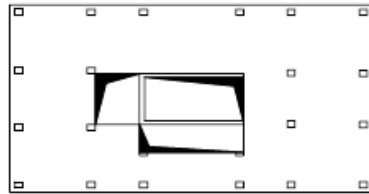
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu - I

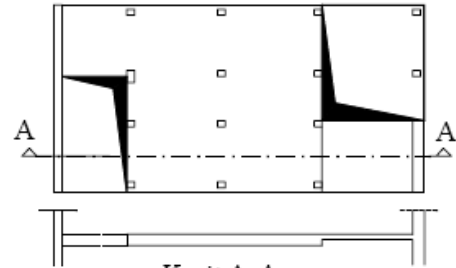
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II



Kesit A-A

A2 türü düzensizlik durumu - II ve III

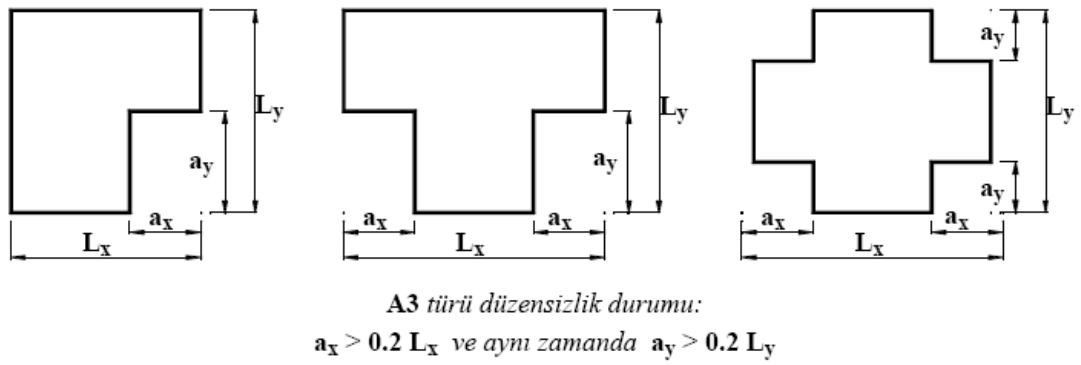
Şekil 3.2. A2 türü düzensizlik durumları [73]

Yapılara depremden dolayı etkiyecek olan yükler ağırlıkla orantılı olduğundan ve yapı ağırlığının da büyük bir kısmı kat seviyelerinde toplandığından, döşeme

düzlemleri içinde etkiyen yatay kuvvetlerin etkisinde kalmaktadır. Döşemeler rijit ise diğer bir deyişle rijit diyafram olarak çalışıyor ise yatay yükler altında, kendi içinde deforme olmadan rijit bir kütle gibi ötelenme yapacaktır [76].

A3 - Planda çıkıntılar bulunması

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. A3 türü düzensizlik durumları [73]

B1 - Katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf kat)

Her katta, depremin her iki doğrultusu için, Dayanım Düzensizliği Katsayısı belirlenmelidir.

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0,80 \quad (3.3)$$

olması durumunda düzensizlik vardır. Burada, $\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0,15 \Sigma A_k$, herhangi bir kattaki etkili kesme alanını, ΣA_w , herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları toplamını, ΣA_g , herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının

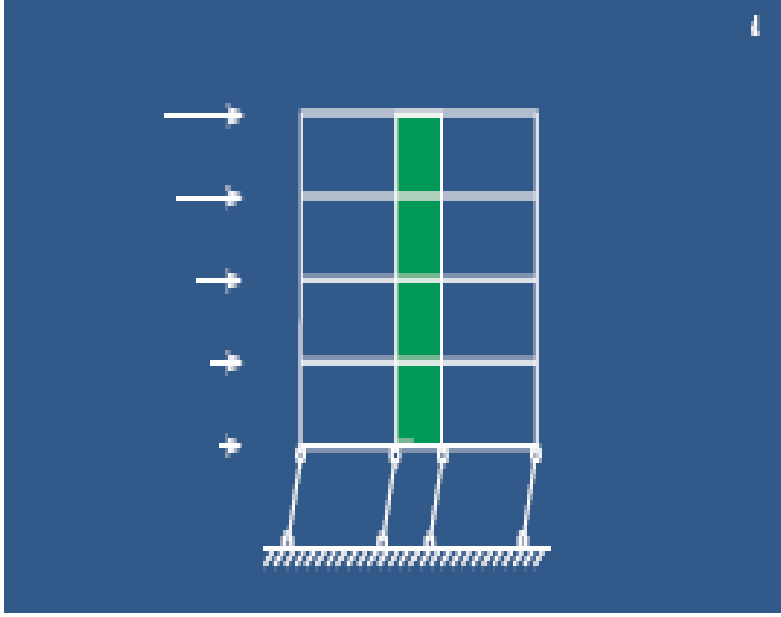
enkesit alanlarının toplamını ve ΣA_k , herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamını göstermektedir.

B2 - Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin $(\Delta_i)_{ort}$ bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı $(\Delta_{i+1})_{ort}$ olarak tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 1,5'tan fazla olması durumunda düzensizlik vardır [73].

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1,5 \quad (3.4)$$

Yumuşak kat etkisi, binaların kısmen veya tamamen çökmesine neden olan önemli hasar kaynaklarından biridir (Resim 3.1). Yapı sisteminde katın yada katların yatay rijitliklerinin diğer katlara göre daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle Türkiye'de zemin kat rijitliği diğer katlara göre daha küçük olmakta ve yumuşak kat düzensizliği oluşturmaktadır. Örneğin, üst katlarda dolgu duvar olmasına rağmen zemin katlarda görsel işlevlerden dolayı daha saydam yada yüksek olarak düzenlenen giriş katları olan karmaşık işlevli yapılarda yumuşak kat denilen zayıf bölgeler oluşmaktadır. Yapıda zeminden birinci kata geçişte büyük rijitlik artışı sebebiyle zemin kat kolonlarında büyük kesit tesirleri oluşmaktadır. Sonuç olarak Şekil 3.4'de görüldüğü gibi yanal ötelenmelerin büyümesi ile kolon uçlarında plastik mafsallar oluşmaktadır [2, 3, 76, 79].



Şekil 3.4. Binada deprem sırasında oluşan deplasman ve plastik mafsall



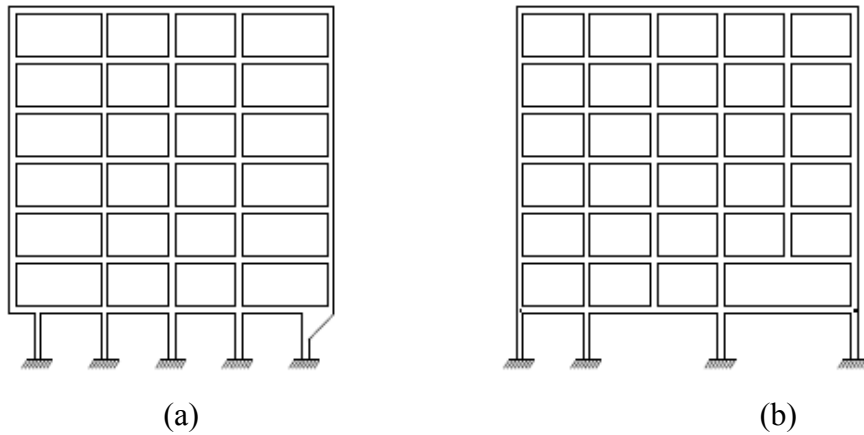
Resim 3.1. Yumuşak kat düzensizliği sebebiyle oluşan göçme

Yumuşak kat sadece zemin katlarda değil mimari nedenlerle ara katlarda da oluşabilmektedir. Özellikle öğrenci yurtları, hastane gibi binalarda ara katlarda yemekhane, dinlenme salonları olması mimarları küçük kesitli kolonlara yöneltmekte ve ara duvarların örülmesine mani olmaktadır [77].

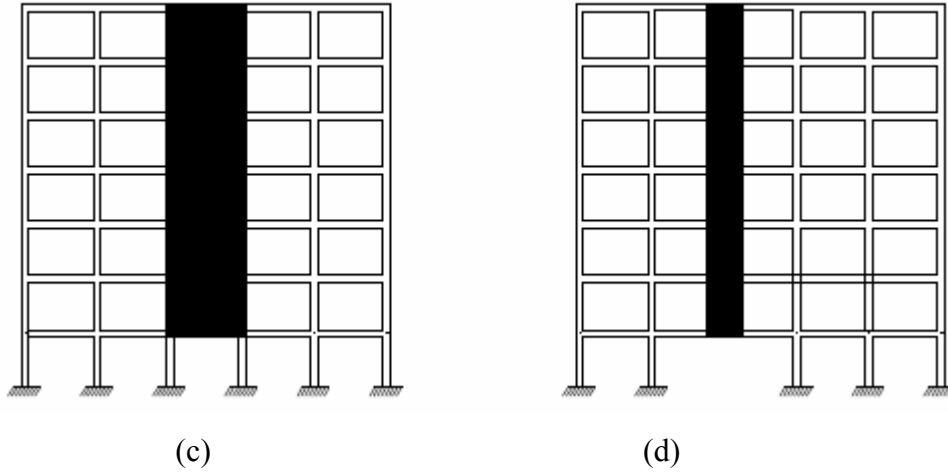
B3 - Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon ve perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların ucuna oturtulması yada üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumudur [73].

- a) Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 3.5.a).
- b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır (Şekil 3.5.b).
- c) Üst kattaki perdenin her iki ucundan altta kolonlara oturtulması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 arttırılacaktır (Şekil 3.5.c).
- d) (d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 3.5.d).



Şekil 3.5. B3 türü düzensizlik durumları



Şekil 3.5. (Devam) B3 türü düzensizlik durumları [73]

3.2. Konfigürasyon Hataları

Kısa kolon durumu

Arazinin eğimli olması yada asma kat bulunması gibi durumlarda kısa kolon tasarımına gidilmektedir. Ayrıca herhangi bir katın kolonları arasındaki dolgu duvarların eksik örülmesi, tesisat havalandırma vb. nedenlerle herhangi bir katın diğerine nazaran daha kısa yükseklikte tasarlanması kısa kolon davranışını ortaya çıkarmaktadır. Böyle bir durumla karşılaşıldığında deprem hesabında dinamik yöntemleri kullanmak ve boyutlandırmada çok dikkatli olmak gerekmektedir [74]. Çünkü kolon ne kadar kısa ise depremden dolayı kolonda oluşacak kesme kuvveti, boyunun üçüncü kuvveti ile artmaktadır. Bu kesme kuvvetine göre tasarımı yapılan kolonun boyutları ve yerleştirilen donatı miktarı artacak, dolayısı ile yapı maliyeti de artacaktır. Resim 3.2 ve Resim 3.3'te görüldüğü gibi geçmişteki depremlerde kısa kolon davranışı nedeniyle bir çok yapı hasar görmüştür.



Resim 3.2. Dolgu duvarlı iki katlı betonarme çerçeve



Resim 3.3. Betonarme kolonda kısa kolon etkisi nedeniyle kesme kırılması detayı

Kuvvetli kolon- zayıf kiriş

Kirişlerin kolonlardan daha güçlü olması durumunda, plastik mafsallar kiriş yerine kolonlarda oluşmakta bu da yapıyı sünek olmayan bir davranışa sevk etmektedir.

Kolonların kirişlerden daha güçlü olmasının kanıtı, kolon taşıma gücü momentinin kiriş taşıma gücü momentinden büyük olmasıdır. Deprem yönetmeliğinde kolon taşıma gücü momentinin kiriş taşıma gücü momentinden en az 1,2 kat daha büyük olması öngörülmektedir [73].

Ülkemizde güçlü kolon yerine güçlü kiriş tasarımı oldukça yaygındır. Bu nedenle birçok yapı yıkılmış yada hasar görmüştür (Resim 3.4). Bunda kiriş boyutlarının kullanım alanını kolonlar kadar daraltmamasının payı büyüktür. Kolonlar mimari açıdan çoğu zaman istenmeyen elemanlar olarak görülüp ya boyutları küçültülmekte veya tamamen ortadan kaldırılmaktadır [80].



Resim 3.4. Kuvvetli kiriş zayıf kolon hasarı

3.3. Betonarme Binalarda Kullanılan Geleneksel Taşıyıcı Sistemler

Betonarme binalarda kullanılan taşıyıcı sistemler dört sınıfa ayrılabilir [74]. Bunlar;

1. Çerçevelerden oluşan sistemler
2. Perde duvarlardan oluşan sistemler
3. Perde ve çerçevelerden oluşan karma sistemler
4. Kapalı tüp sistemler

Çerçeve sistemler elastik enerji tüketme güçleri az olan sistemlerdir. Göçme konumuna kolon veya kirişlerde yeterli sayıda plastik mafsallın oluşması ile oluşur. Plastik mafsall, o bölgedeki donatının akma konumuna ulaşması ve büyük dönmeler meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Enerji tüketiminin çoğunluğu bu plastik mafsallarda meydana gelmektedir. Plastik mafsalların kolonlar yerine kirişlerde oluşması için yönetmelikte ‘kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu getirilmiştir’. Çerçeve sistemlerin en büyük dezavantajı yanal ötelenmelerin büyük olmasıdır. Bu da yapı elemanlarında ve yapısal olmayan elemanlarda büyük hasarlara neden olmaktadır. Deprem tehlikesinin az olduğu yerlerde sadece kolonlu çerçeveli sistemler yapılabilmektedir [75, 79, 81].

Salt perdeli betonarme yapılar, düktilitesi çok az, elastik davranışı çerçeveli yapılara göre çok yüksek yapılardır. Çok katlı ve yüksek yapılarda yatay yüklere mukavemet için perdeler kullanılmaktadır. Kat yükseklikleri arttıkça kesit tesirlerinin artması ile kolon boyutları da büyümektedir. Büyük kolon boyutları ekonomik olmayıp mimari açıdan sakıncalıdır. Bu durumda perdeler oluşturulur. Taşıyıcı perdeler düşey yüklerle beraber perde düzlemi içinde etkiyen yatay yükleri de taşırlar ve yatay ötelenmeleri kısıtlamaktadırlar. Perde Duvarlı-çerçeveli yapılar, perde duvarlar çerçevelerin yatay ötelenmelerini sınırlarken çerçeve sistemi de üst katlarda perde rölatif deplasmanlarını dengelemektedir [74, 75, 79, 81].

1989 Lome Prieta, 1994 Northridge, 1995 Great Hanshin depremlerinden sonra dünya çapında performans tabanlı deprem dayanımına büyük önem verilmektedir. Bu depremlere kadar, genel olarak sismik tasarımın amacı yapıların çökmesine ve can kayıplarına karşı can güvenliğini sağlamaktı. Ancak bu depremlerden sonra depreme dayanıklı yapı tasarımı amacı yapıların çökmemesi ve can güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra yapının fonksiyonunu kaybetmemesi ve yapısal olmayan hasarların dahi minimuma inmesi için gereken tasarım tekniklerinin geliştirilmesi olmuştur.

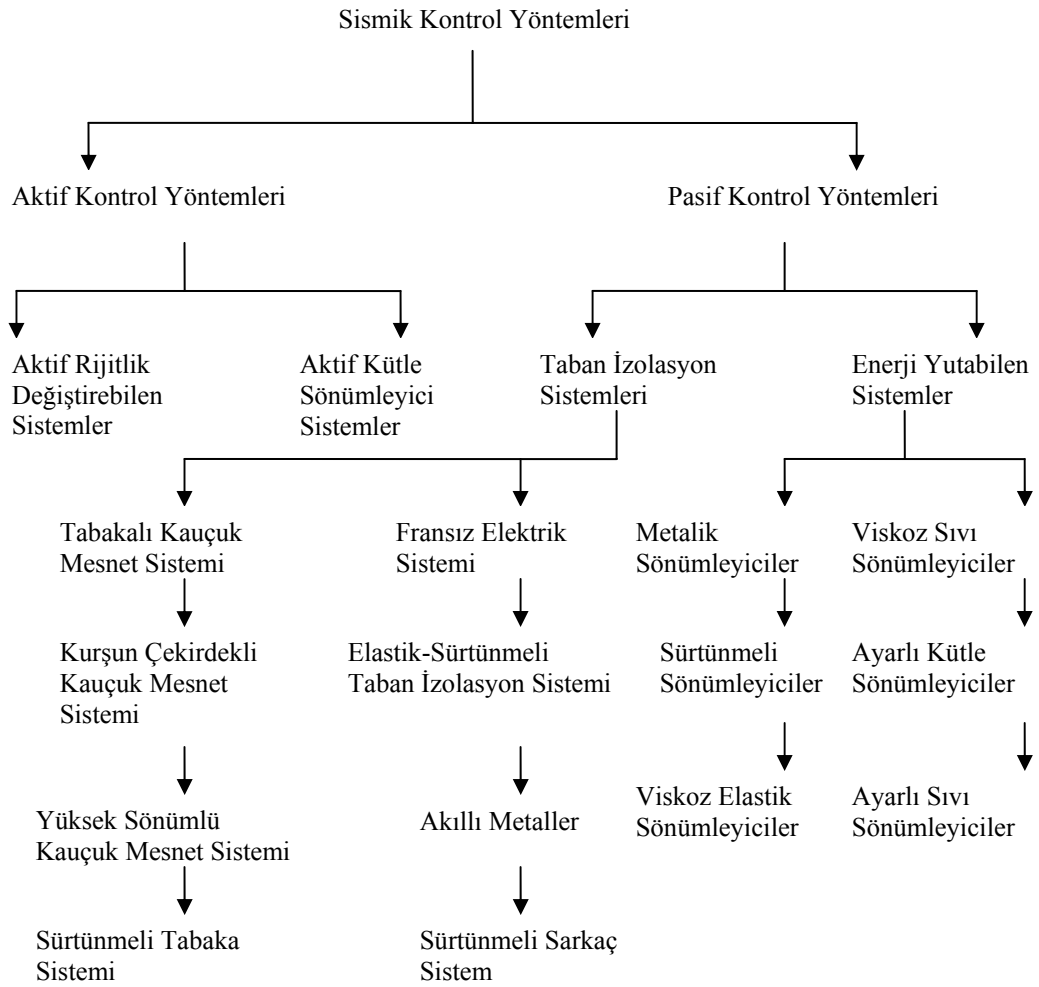
Temel performans kriteri bütün yapılar için can güvenliğidir. Bununla beraber yapının fonksiyonuna bağlı olarak yapının birçok farklı performans gereklerine de

uyması gerekmektedir. Örneğin hastane gibi deprem anında ve sonrasında işlevini koruması gereken kritik binalar depolardan çok daha farklı kriterlere göre dizayn edilmelidir.

Bu performans hedefi nedeni ile inşaat teknolojisinin depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak yeni yapı kontrol sistemleri ortaya çıkmıştır.

4. SİSMİK TABAN İZOLASYONU

İnşaat teknolojisinin depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak yeni yapı kontrol sistemleri aktif ve pasif olmak üzere Şekil 4.1'deki gibi ikiye ayrılabilir [14,82].

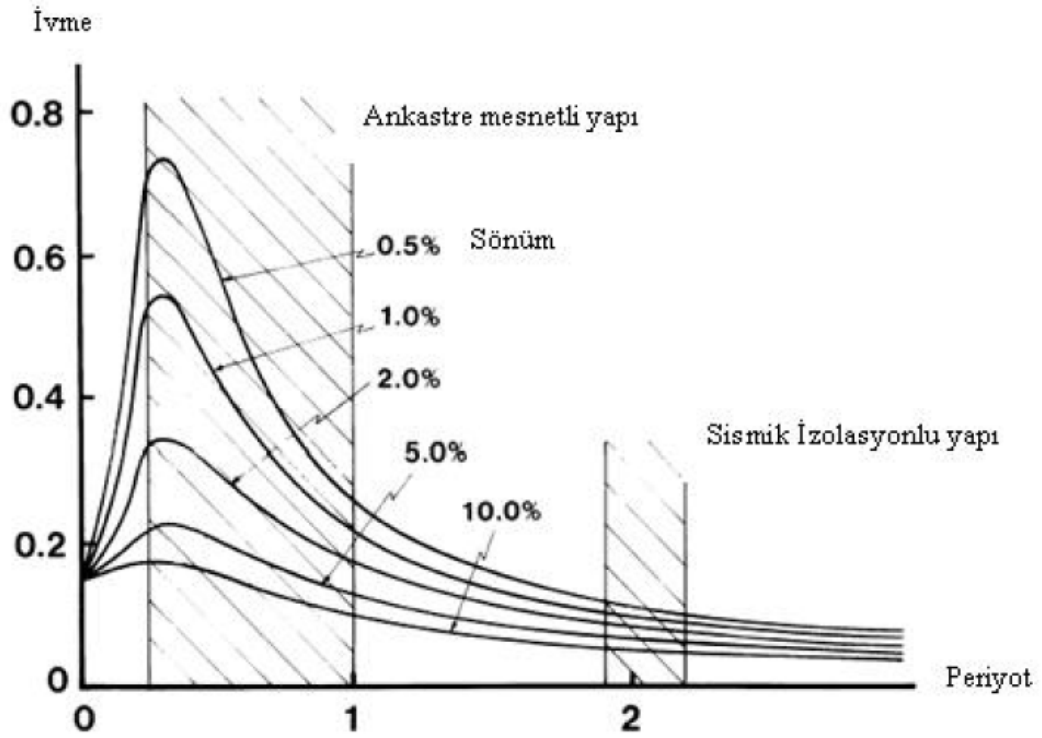


Şekil 4.1. Sismik kontrol sistemleri sınıflandırması

Pasif kontrol sistemleri, dışarıdan herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymadan çalışmaktadırlar. Değişken dinamik etkilere adaptasyon kabiliyeti olmayan bu sistemler çalışma prensipleri ve malzeme özellikleri itibari ile farklılıklar göstermektedir. Bu sistemler taban izolasyon sistemleri ve enerji yutabilen sistemler olarak ikiye ayrılabilir. Bu çalışmada taban izolasyon sistemlerinden kurşun

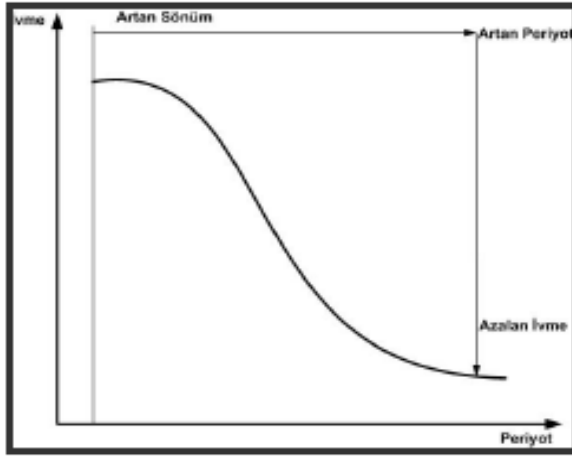
çekirdekli kauçuk mesnet sistemi ve yüksek sönümlü kauçuk mesnet sistem dikkate alınacağından, bu bölümde elastomerik tabanlı yataklar olarak da adlandırılan bu sistemlerden bahsedilecektir.

Taban izolasyon sistemlerinin çalışma prensibi üstyapı ile temel arasına yanal rijitliği düşük elemanlar koyarak deprem nedeniyle oluşan deplasmanların temel ile üst yapı arasında olmasını sağlamak ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi binaya ankastre temelli durumundaki periyodundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyod vermektir [14].



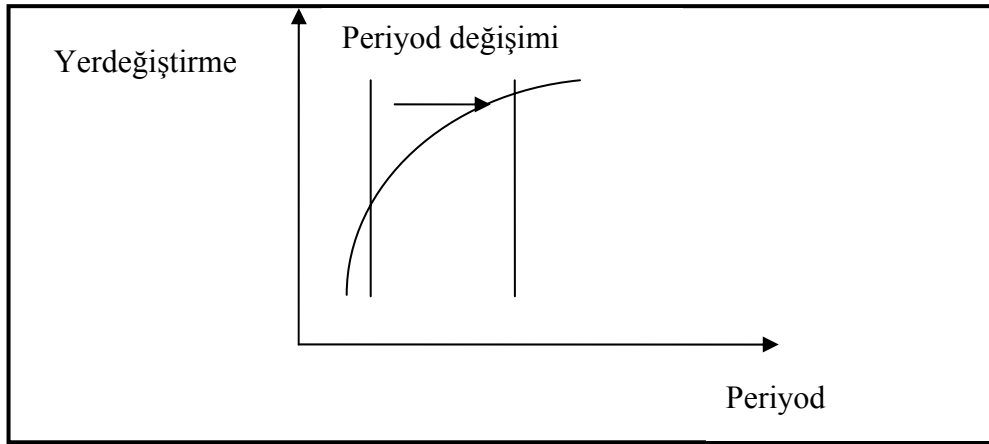
Şekil 4.2. Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmiş ivme-periyot grafiği

Rijit bir sistemde periyot artışı etkiyen ivmelerin azalmasına neden olmaktadır. İvme zaman eksenli spektrumda görüldüğü üzere yapının periyodu artırıldığında yapıya etkiyen düşey eksendeki ivmelerin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.3).



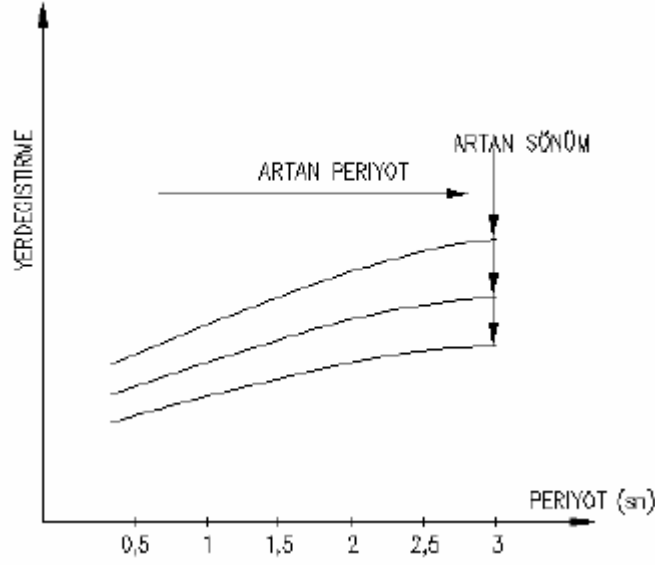
Şekil 4.3. Kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu [22]

Şekil 4.4.'de yapıda periyod artışıyla orantılı olarak artan izolasyon seviyesindeki yer değiştirmeler görülmektedir.



Şekil 4.4. Kuvvetli yer hareketi yer değiştirme spektrumu [22]

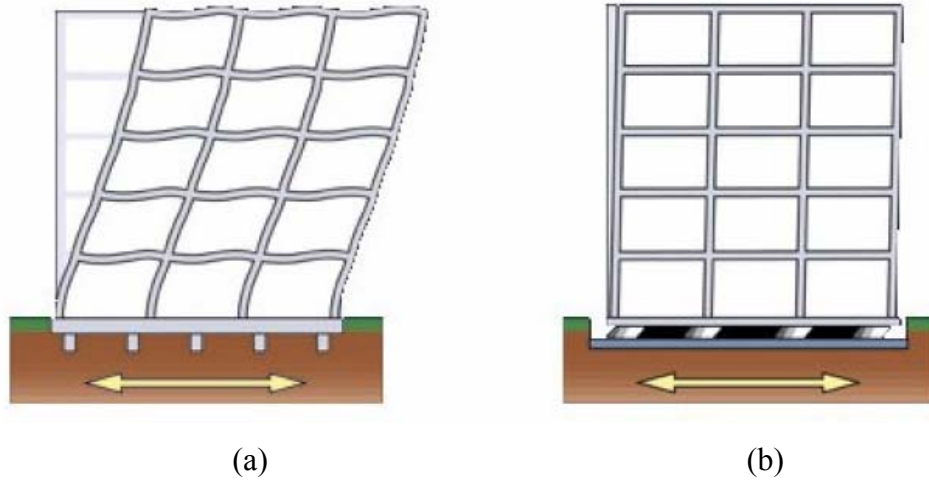
Şiddetli yer hareketlerinde izolasyon seviyesinde gözlenebilecek aşırı yüksek yer değiştirmeleri önlemek için izolasyon sistemine sönüm de mutlaka dahil edilmektedir. Şekil 4.5'te görülen üç farklı sönüm değeri için kuvvetli yer hareketi yer değiştirme spektrumudur. Sistemde sönümün yüksek olması daha küçük yer değiştirmelerle yer hareketinin sönümlenebileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 4.5. Periyotda ki artışla artan deplasmanların sönümle azaltılması

İzolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0,9-1,0 civarında olmaktadır. İzolasyonsuz yapı ise yer hareketini 3,0 -6,0 kat büyötmektedir [14, 17].

Sismik izolasyonun doğru şekilde uygulanması yıkıcı depremler sırasında bile yapıların elastik davranmalarını sağlamaktadır. Şekil 4.6.a’da göröldüğü gibi sismik izolasyonlu yapılarda rölatif kat yerdeğıştirmeleri sıfıra yakın olmaktadır. Ankastre mesnetli yapıda ise üst katlara doğru deplasman farkları artmaktadır (Şekil 4.6.b).



Şekil 4.6. Ankastre mesnetli yapı ve sismik izolasyonlu yapıda kat yerdeğıştirmeleri

Taban izolasyon sistemi iki ana grupta toplanabilmektedir: Elastomer esaslı sistemler ve kayıcı mesnetli izolasyon sistemleri [21].

Binalarda kullanılan sismik izolasyon birimleri genellikle aşağıdaki özellikleri içermektedir. Bunlar;

- Yüksek düşey rijitlik: Üstyapının ağırlığını bozulmadan taşıyabilmek için
- Düşük yatay rijitlik: Sismik izolasyonlu yapının frekansının eşleniği olan ankastre temelli frekansından ve pek çok şiddetli depremin baskın frekansından çok daha düşük olabilmesi için
- Düşey yük taşıyabilme
- Enerji yutumu: Sistemdeki yerdeğiştirmelerin kabul edilebilir düzeyde kalabilmesi ve olası bir rezonans durumunu bastırabilmek için
- Deprem sonrası yeniden merkezlenme: Üstyapının hemen hareket öncesindeki orijinal pozisyonuna geri dönebilmesi için
- Deprem harici yatay yükler (rüzgar gibi) karşısında yüksek yatay rijitlik

Ayrıca yalıtım birimleri en büyük deplasman ve düşey yük birimleri altında kararlı olmalı, artan yanal deplasmanlarla artan direnç göstermeli ve tekrarlı yükler altında fiziksel özelliklerinde ki değişimler sınırlı kalmalıdır.

4.1. Elastomerik Mesnetli Sistemler

Taban izolasyonu sisteminde kullanılan izolatör tipleri, şekilleri, büyüklükleri ve yapıldıkları malzemeler bakımından farklılık teşkil ederler. İzolatörlerin büyük çoğunluğu elastomer malzemeden yani doğal yada sentetik kauçuktan üretilmektedir. Elastomer malzeme kalıba kolayca dökülebildiği için istenilen şeklin verilmesi bakımından oldukça avantajlıdır. Ayrıca metallerle aderansı oldukça güçlüdür.

Elastomerik mesnetler; düşük sönümlü doğal veya sentetik kauçuk mesnetler, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetler olarak üçe ayrılabilir.

Depremden korunmak için ilk kauçuk mesnet 1969 yılında Yugoslavya’da Skopje şehrinde uygulanmıştır. Uygulama üç katlı betonarme bir okul binasıdır. Modern kauçuk izolatörlerin ilkel hali olan sisteme “Swiss Full Base Isolation-3D” denmiştir. İzolatörlerde tamamen doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Kauçukların içerisine çelik plaklar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenilen rijitlik elde edilememiş ayrıca bu bloklar sabit yükler altında yanlara doğru şişmiştir. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğine eşit olduğundan deprem esnasında yapı yatay yönde salınırken düşey yönde de sıçrayabilmektedir [83, 84, 85].

Bu yapı tamamlandıktan günümüze kadar doğal kauçuk yataklar üzerine birçok yapı inşa edilmiştir. Ancak bunlar çelik plakalarla güçlendirilmiş, bunun sonucu olarak ta düşey rijitlik arttırılmış, yanal şişme ise azaltılmıştır. İç çelik plaklar yatay rijitliğe nazaran çok büyük düşey rijitlik sağlamaktadırlar.

4.1.1. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler

İzolatörde altta ve üstte iki adet kalın tabaka ve iki tabaka arasında birçok ince çelik levha bulunmaktadır. Kauçuk- çelik yüksek ısı ve basınç altında preslenmiştir. Üst üste tabakalar halinde yerleştirilen çelik levhalar kauçuk tabakanın şişmesini önlemektedir (Resim 4.1). Düşeyde çelik levhalar yüksek rijitlik sağlamalarına rağmen yatay rijitliğe etkileri olmamaktadır [8, 21, 82, 83, 84, 85, 86].



Resim 4.1. Doğal kauçuk mesnet

Yatay rijitlik kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik, tabaka kalınlığı sabit tutularak kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Ancak yüksekliğin artması mekanizmada burkulmaya sebep olacağından yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmaktadır. Malzeme davranışları kaymada oldukça doğrusaldır ve sönüm oranı kritik sönümün %2-3 oranındadır.

Düşük sönümlü bu kompozit elemanların avantajları, kolay modellenebilmeleridir. Üretimleri basittir. Mekaniksel davranışı, zamandan, hızdan bağımsızdır ve çevresel şartlardan az etkilenmektedirler. Ancak -17 derecede sertleşmeye başlar. Üst sınır ise 82 derece olarak tasarlanmıştır. Dezavantajı ise ek sönümleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

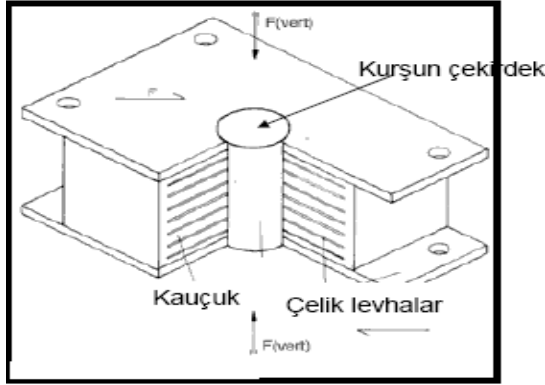
4.1.2. Kurşun çekirdekli mesnetler

Kurşun çekirdekli izolatör modeli, 1975 yılında Yeni Zelanda'da geliştirilmiş olup, Japonya ve ABD'de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Model olarak düşük sönümlü kauçuk mesnetlere benzemektedirler. Farkı ortasında bulunan kurşun çekirdektir (Resim 4.2, Şekil 4.7). Bu çekirdek kauçuğun yüksek kayma deformasyonunu engellemektedir [8, 16, 21, 82, 83, 86]. Kurşun çekirdeğin boyutları, başlangıç rijitliğine, yükün büyüklüğüne göre sistemin ihtiyaç duyduğu şekilde belirlenmektedir.



Resim 4.2. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet



Şekil 4.7. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sisteminin kesiti

Uygulamalarda düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet ile kurşun çekirdekli mesnetlerin beraber kullanılmasına çok sık rastlanmaktadır. Bu tür uygulamalarda kurşun çekirdekli izolatörler iç kısımlara sönümleyici ve dış kısımlara da doğal kauçuk izolatörler dengeleyici olarak yerleştirilmektedir [22].

4.1.3. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin ek sönümleyici ihtiyacını ortadan kaldırmak için Malezya kauçuk üreticileri birliği tarafından (MRPRA) 1982’de yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler geliştirilmiştir (Resim 4.3.).

Sönüm, ilave edilen ekstra kaliteli karbon bloklar, yağlar, reçine gibi dolgu maddeleri ile arttırılarak sönüm %100 kayma deformasyonları altında %10-20 oranında artırılmıştır [8, 16, 21, 82, 83, 84, 86]. Sönümün düşük sertliğe karşı gelen (50-55 durometer) küçük değerlerinde kayma modülü 0,34 Mpa civarında olmaktadır. Bununla birlikte, sönümün yüksek katılığa karşılık gelen (70-75 durometer) büyük değerlerinde ise kayma modülü de yükselmekte ve 1,40 Mpa değerine ulaşmaktadır.



Resim 4.3.Yüksek sönümlü kauçuk mesnet

4.2. Kauçuk İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri

Tabakalı elastomer mesnetlerin mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar uzun yıllardır sürmektedir. Doğrusal olmayan tekniklere dayalı kesin analizlerin uygulanmasında ki güçlüklerle karşılaştıkça, elastik teoriye dayalı basit yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, laboratuvar testleri ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılan analizler ile doğrulanmıştır. Elastomer mesnetlerin en önemli özelliği yatay rijitlikleridir. Elastomer mesnetlerin yatay ve düşey rijitlikleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır [83].

$$K_H = \frac{GA_1}{t_r} \quad (4.1)$$

$$K_V = \frac{E_c A_2}{t_r} \quad (4.2)$$

Burada;

K_H : izolatörün yatay rijitliği

K_V : izolatörün düşey rijitliği

G : kauçuğun kayma modülü

A_1 : kauçuk mesnetin enkesit alanı

A_2 : mesnetteki çelik levhaların enkesit alanı

E_c : kauçuk ve çelik kompozit malzemenin basınç modülüdür.

t_r : mesnetteki toplam kauçuk kalınlığı

Tekil bir elastomer plaka için E_c değeri şekil faktörü “S”e bağlı olarak tanımlanmaktadır. Tanım olarak yüklenen alanın, yanal şişmeye serbest yan yüzey alanına oranı olarak ifade edilir [87]. $S = \text{Yüklenmiş alan} / \text{Kuvvet uygulanmayan alan}$

Çapı Φ yada yarıçapı R ve kalınlığı t olan dairesel bir tabaka için şekil faktörü aşağıdaki ifadelerle bulunmaktadır [83].

$$S = \frac{\Phi}{4t} \text{ yada } S = \frac{R}{2t} \quad (4.3)$$

Kenar boyutu a ve kalınlığı t olan kare bir tabaka için şekil faktörü ise

$$S = \frac{a}{4t} \quad (4.4)$$

Tam dairesel tek kauçuk tabakası için basınç modülü

$$E_c = 6GS^2 \quad (4.5)$$

Kare kauçuk tabaka için basınç modülü

$$E_c = 6,73GS^2 \quad (4.6)$$

ifadeleriyle bulunmaktadır [83].

“S” şekil değiştirmenin büyük olduğu durumlarda, yükleme modülü “ E_c ”yi hesaplarken, hacimsel elastisite modülü “ K ”nın da dikkate alınması önerilmektedir.

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_c'} + \frac{1}{K} \quad (4.7)$$

Denklem düzenlendiğinde,

$$E_c = \frac{E_c' K}{E_c' + K} \quad (4.8)$$

halini alır. Dairesel kesitli kauçuk mesnetler için yükleme modülü $E_c' = 6GS^2$ olarak hesaplanmıştı. Bu değerle birlikte dairese kesitler kullanıldığı zaman yükleme modülü;

$$E_c = \frac{6GS^2 K}{6GS^2 + K} \quad (4.9)$$

olarak bulunur.

Basınç yükleri altında çelik plakalar tarafından sınırlandırılan kauçukta γ_c ile gösterilen kayma şekil değiştirmeleri oluşmaktadır. Buna göre;

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta}{t_r} \quad (4.10)$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \quad (4.11)$$

ile ifade edilmektedir [83]. Burada;

Δ : düşey yerdeğiştirme

ε_c : basınç şekil değiştirmesi

γ_c : basınç kuvveti altında oluşan maksimum kayma şekil değiştirmesidir.

Kauçuk şekil değiştirmeye hassas bir malzeme olduğu için farklı şekil değiştirme seviyelerinde G değeri değişiklik göstermektedir. Ortalama şekil değiştirmeyi elde etmek için kullanılan G değeri mesnette depolanmış elastik enerjiden hesaplanmaktadır. Ortalama kayma şekil değiştirmesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\gamma_c = \sqrt{6S\epsilon_c} \quad (4.12)$$

Kauçuk mesnet tabakasının eğilme rijitliği de yer değiştirme değerleriyle benzer bir yaklaşımla hesaplanır. Kauçuk tabakasının salt eğilmeye maruz kaldığı ve mesnedin alt ve üstüne yapıştırılmış levhalarda yer değiştirmenin dönme olduğu Şekil 4.8.'de gösterildiği gibi kabul edilmiştir. Üst ve alt levhalar arasındaki rölatif açı α ile gösterilmektedir.

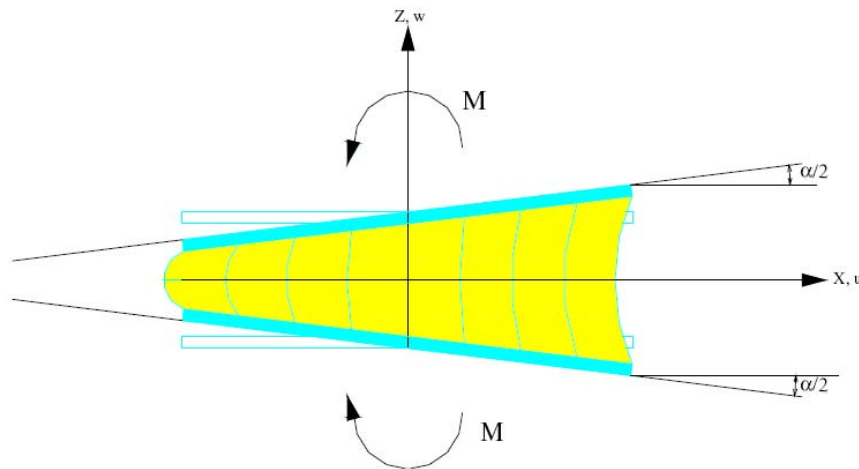
Yerdeğiştirme tarafından meydana getirilen eğrilik yarıçapı ρ , α ile aşağıda gösterildiği gibi ilişkilidir [83, 88].

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha}{t} \quad (4.13)$$

Eğilme rijitliğinden [83];

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (4.14)$$

Burada M; Eğilme momentini, t ise tek kauçuk tabakasının kalınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.8. Salt eğilme etkisi altında olan rijit tabakalar arasındaki kauçuk izolatör [139]

Kauçuk izolatörlerin eğilme rijitliği için kullanılan genel formül

$$M = EI_{eff} \frac{\alpha}{t} \quad (4.15)$$

Eğilme tam anlamıyla lineer olmadığı için $(EI) = E_c(0,329I)$ olacak şekilde bir efektif eğilme rijitliği belirlenmiştir. Eğilme nedeniyle oluşan kayma şekil değiştirmeleri aşağıdaki gibi verilmektedir [83].

$$\gamma_b^{ort} = \frac{\sqrt{2}}{4} S \varepsilon_b \quad (4.16)$$

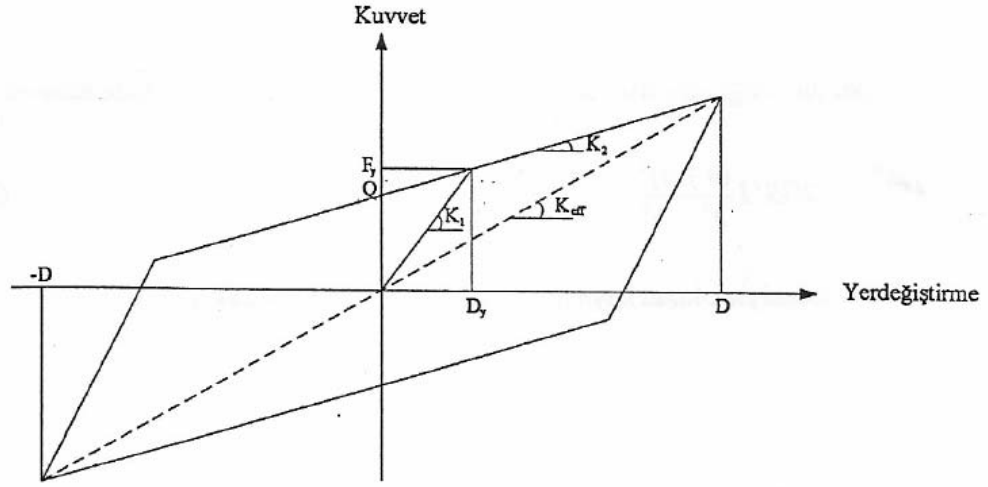
Burada ε_b eğilmeden dolayı oluşan kısalmadır.

$$\varepsilon_b = R \frac{\alpha}{t} \text{ dir.} \quad (4.17)$$

R: Kauçuk boyudur.

4.2.1. Kurşun çekirdekli mesnetlerin mekanik modeli

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler yapısında bulunan kurşun malzemeden dolayı bilineer davranış gösterirler. Bu tip izolatörlerin karakteristikleri üç parametreye bağlı olmaktadır: K_1 , K_2 ve Q (Şekil 4.9). Burada K_1 elastik rijitlik değeri olup tespiti oldukça zor olmakla birlikte akma sonrası rijitlik değeri olan K_2 'nin bir katı olarak ifade edilmektedir. K_2 ise kauçuk malzemenin kayma modülü dikkate alınarak doğru bir şekilde ifade edilmektedir. Q , karakteristik dayanım, değeri histeretik eğrinin kuvvet eksenini kestiği noktadır [9]. Bu değer kurşunun akma değeri (10,3 MPa) ile kurşun malzeme alanı çarpılarak hesaplanabilmektedir [83].



Şekil 4.9. Kuvvet-yerdeğiştirme histeresis eğrisi üzerindeki temel parametreler [83]

Kurşun kauçuk modelin efektif rijitliği, K_{eff} , kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinde ki parametrelerin maksimumları alınarak hesaplanmaktadır.

Sistemde yapılan maksimum yatay yerdeğiştirme “D”, akma yerdeğiştirmesi “Dy” den daha büyüktür.

$$K_{eff} = K_2 + Q/D \quad D > D_y \quad (4.18)$$

İzolatör doğal titreşim frekansı “ ω ” ise efektif rijitlik yardımıyla

$$\omega = \sqrt{K_{eff} / W / g} = \sqrt{w_0^2 + \mu(g / D)} \quad (4.19)$$

şeklinde ifade edilir. “W” sistemde taşınan yük olmak üzere formülde ki katsayılar, $\mu = Q/W$ ve $\omega_0^2 = \sqrt{K_2 g / W}$ değerlerini almaktadır. İzolatöre ait efektif periyot

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (4.20)$$

Kurşun çekirdekli döngüsel davranış eğrisinin içinde kalan alan “ W_D ”, aynı zamanda kurşun başlıklı izolatörün bir tam döngüsünde dağıttığı enerjiye eşittir. Öyleyse, bir tam periyot zamanında dağıtılan enerji;

$$W_D = 4Q(D - D_Y) \quad (4.21)$$

haline gelir.

Sistemde genel olarak efektif sönüm;

$$\beta_{eff} = \frac{W_D}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (4.22)$$

Bulunan değerler yerine konulduğu zaman kurşun çekirdekli modelde efektif sönüm;

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_Y)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (4.23)$$

halini alır. Uygulamada elastik rijitlik (K_1), plastik bölgedeki rijitliğin (K_2) yaklaşık 10 katı alınır. $K_1 = 10 K_2$ değişikliğinden sonra efektif sönüm

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - \frac{Q}{9K_2})}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (4.24)$$

olmaktadır [83].

4.3. Kayma Esaslı Sistemler

Önerilen en eski ve en basit sismik izolasyon sistemi tamamen kayma esasına dayalı bir sistemdir. Bu türden bir sistem 1909 yılında İngiltere’de Johannes Avetican Calantarients adında bir tıp doktoru tarafından önerilmiştir. Calantarients talktan oluşan bir tabakayla yapıyı temelden ayırmayı önermiştir [83].

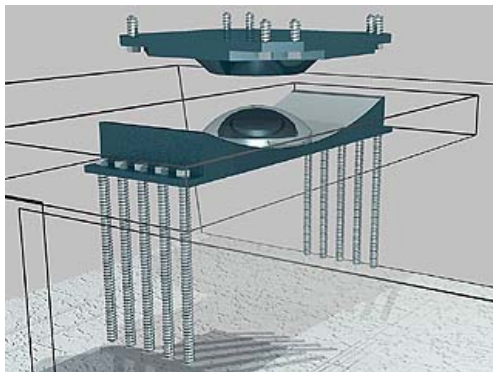
Sürtünme esaslı kayma yalıtım sistemleri yapıya, depremde oluşan taban kesme kuvvetinin belirli bir seviyede iletilmesine olanak veren ve bunun ötesinde kayarak kuvvet iletimini önleyen sistemlerdir. Bu tür sistemler küçük sürtünme katsayıları kullanılarak, çok küçük kesme kuvvetlerini iletebilecek şekilde tasarlanabilmektedir.

Çok yaygın olarak kullanılan kayma yalıtım sistemlerindeki kayma yüzeyi paslanmaz çelik veya teflondur. Şiddetli depremler sırasında yapıya aktarılan kuvvet, sürtünme katsayısına bağlı olduğundan, aktarılan kesme kuvvetinin büyüklüğü depremin şiddetinden bağımsız olarak oluşmaktadır. Bu nedenle bu tür sistemler şiddetli depremlerin yapı üzerindeki etkilerinin azaltılmasında çok etkilidir.

Kayıcı sistemler; sürtünmeli sarkaç mesnetler, elastik sürtünmeli taban izolasyon mesnetleri, Fransız elektrik kurumu sistemi, Tass sistemi ve EERC birleşik sistemi olarak ayrılabilir.

4.3.1. Sürtünmeli sarkaç modeli

Sürtünmeli sarkaç sistemler, konkav küresel bir kaygan tava (pot) yüzey parçası içinde kayar bir bilyeden oluşan çok yönlü kayar çelik mesnetler (Şekil 4.10), çelik malzemeler arasında meydana gelen bir sürtünme ile deprem enerjisini sönmölemektedir. Bu yöntemde izolatörün rijitliği ve yapının titreşim periyodu, sürtünen eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilmektedir [8, 16, 21, 82, 86, 89].



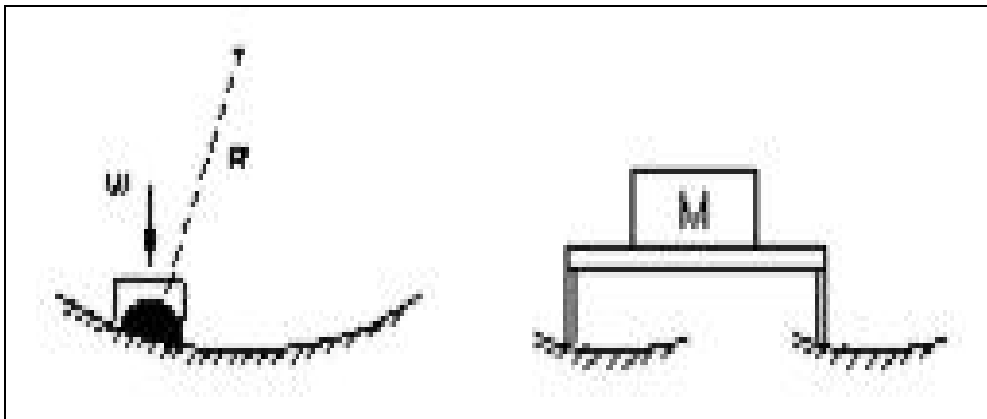
Şekil 4.10. Sürtünmeli sarkaç mesnetin kesiti

Resim 4.4’de bir köprü ayağı için uygulanan sürtünmeli sarkaç sistemi örnek olarak gösterilmektedir. Deprem hareketi sırasında bilye kaygan tava üzerinde kayarak kütlelenin yükselmesine neden olmaktadır. Üst yapının yavaşça yükselmesi kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürmektedir. Sistem dinamik hareket ortadan kalktıktan sonra denge konumuna ulaşınca kadar hareketini yenilemektedir. Sürtünmeli sarkaç modelinde kauçuk bileşiminin yangına karşı korunması gerekmektedir [82].



Resim 4.4. Sürtünmeli sarkaç sistemin uygulanması

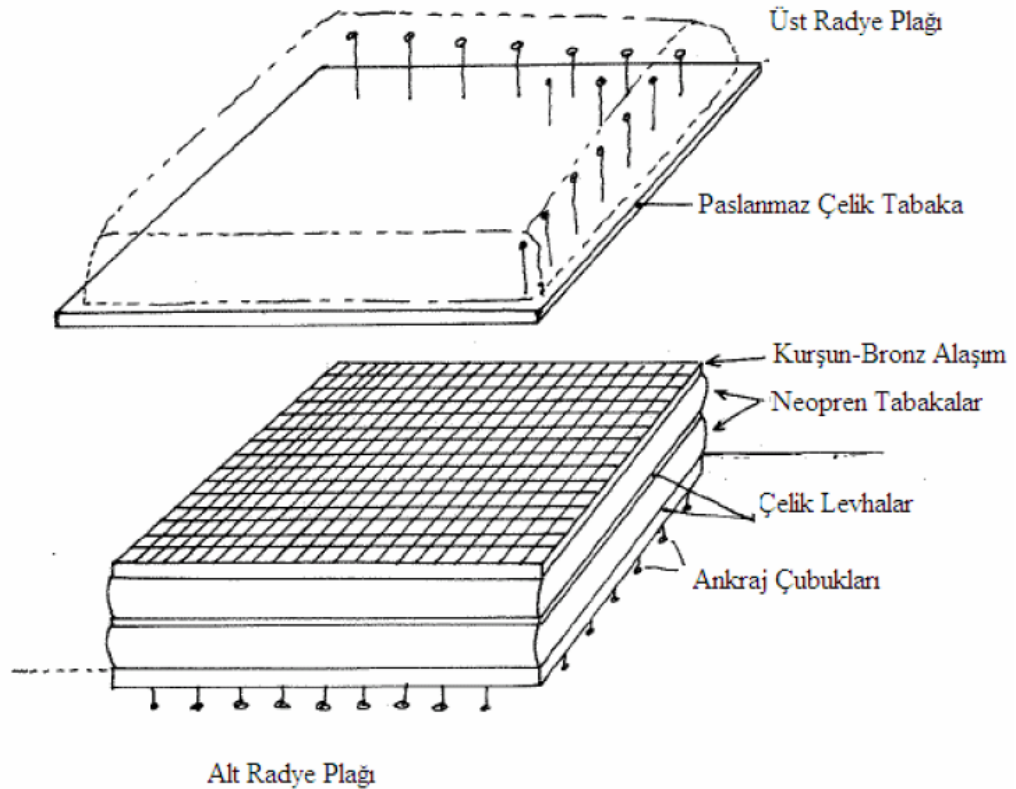
Kayma yüzeylerinde farklı malzemeler kullanılarak ve yüzey geometrisinin değişimleri ile hem sürtünmeden hem de sarkaç davranışından esinlenerek farklı tasarımlar ortaya çıkarılmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Sürtünme sarkaç sisteminin ana ilkesi

4.3.2. Fransız elektrik kurumu sistemi

Bu sistem 1970’li yılların başlarında nükleer güç santrali tesislerine uygulanmak için Fransız Elektrik Kurumu’nun desteği ile geliştirilmiştir. Bu sistemin kesiti tabakalı kauçuk mesnetin kesiti ile aynıdır. Sistem, kompozit neopran mesnetleri paslanmaz çelikle temas halindeki kurşun-bronz alaşımıyla birleştirilerek elastomer mesnetler üzerine oturtulmuş kayma yüzeyleri meydana getirir. Kayma yüzeyinin sürtünme katsayısı, izolatörün servis ömrü boyunca 0,2 olarak düşünülmüştür. Neopran tabakanın ± 5 cm’den fazla olmayan çok düşük deplasman kapasitesi bulunmaktadır. Bu değeri aşan yer değiştirmeler olduğunda, kayıcı elemanlar devreye girerek gerekli harekete olanak sağlar. Sistemin en büyük dezavantajı, izolatörün sınır yerdeğiştirme değeri aşıldıktan sonra sistemi eski denge konumuna geri getiren bileşenler bulunmadığından kalıcı deplasmanlar oluşmaktadır. Bu sistem sadece bir kere Güney Afrika’daki Koeberg nükleer santraline uygulanmıştır (Şekil 4.12) [83].



Şekil 4.12. Fransız elektrik sistemi detayı

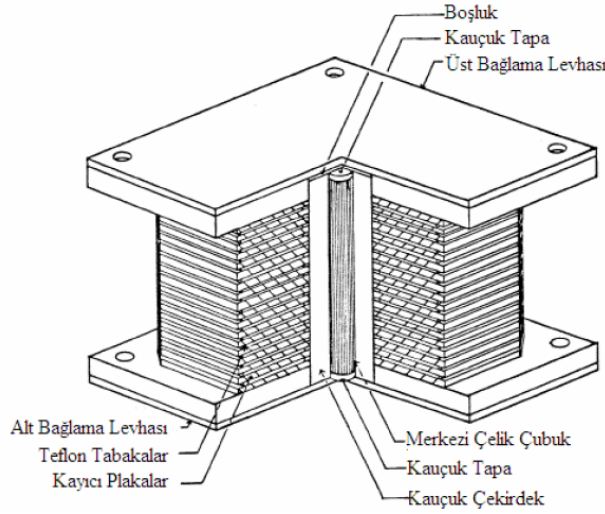
4.3.3. Tass sistemi

Tass sistemi Japonya’da ‘TAISEI’ şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde tüm düşey yük paslanmaz teflon-çelik elemanlar tarafından taşınmaktadır ve ek olarak yük taşımayan tek görevi merkezleyici olan neopren mesnetler kullanılmaktadır. Teflon kayıcı yüzey 10 Mpa’lık bir basınca sahiptir ve sürtünme katsayısı düşük kayma hızlarında 0,05 ile yüksek kayma hızlarında 0,15 aralığında değerler almaktadır. Sistemin dezavantajları; elastomer mesnetleri düşey yük almadıkları için yatay yükler altında gerilmeye maruz kalırlar ve kalıcı yüzeylerde sürtünme hızları çok hassas olarak ayarlandığı için sistem genelinde model kurması diğerlerine göre daha zordur [83].

4.3.4. Elastik sürtünmeli taban izolasyon sistemi

Bu model, yüksek sürtünme katsayısına sahip teflon kaplı tabakaların yüksek hızlarda sürtünmesi sırasında oluşan problemin, bir izolatörün birçok kayan ara yüzey kullanılması ile üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır (Şekil 4.13). Böylece en alttaki ve en üstteki hızlar, tabakalara ayrılır. Bu nedenle her tabakaya düşen hız düşük olur.

Sürtünen elemanlara ek olarak, ortada düşey yük taşımayan, dengeleyici kauçuk çekirdek mevcuttur. Yapılan deneylerde kauçuk çekirdeğin, ara yüzlerdeki yer değiştirmenin homojen dağılmasını önleyemediği için kauçuk çekirdeğin merkezine bir de çelik çubuk ilavesi yapılmıştır. Bu ilave yer değiştirmeleri kayan yüzeyler arasında dağıtma işlevi görmektedir [83].



Şekil 4.13. .Elastik sürtünmeli taban izolasyon mesnedi detayı

4.3.5. EERC birleşik sistem

Elastomerik ve kayıcı sistemlerin birleşimi olan bu yöntem EERC tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde yapının iç kolonları kayıcı mesnetlerle, dış kolonları ise düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerle taşınmıştır. Sürtünmeli yüzeyler, iç kolonların altında olan teflon yüzeyler ve altında paslanmaz çelik elemanlarla oluşturulmuştur.

Yapının burulmasını kontrol eden elastomerik izolatörler aynı zamanda dengeleyici rol oynarken; kayıcı sistem sönüme çalışmaktadır [83].

4.4. Sismik İzolasyon Uygulanacak Yapılarda Uyulması Gereken Koşullar

Sismik izolasyon uygulanacak yapıda, sağlanması gereken bazı koşullar bulunmaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde belirtilmektedir. Özellikle bu şartların mimarlarca bilinmesi tasarımda sismik taban izolatörü kullanımında etkili olacaktır.

- Sismik izolasyon uygulanmış yapı yatay yönde belli bir miktar deplasman yapmaktadır. Bu nedenle yapının etrafında izolatörlerin yer değiştirme

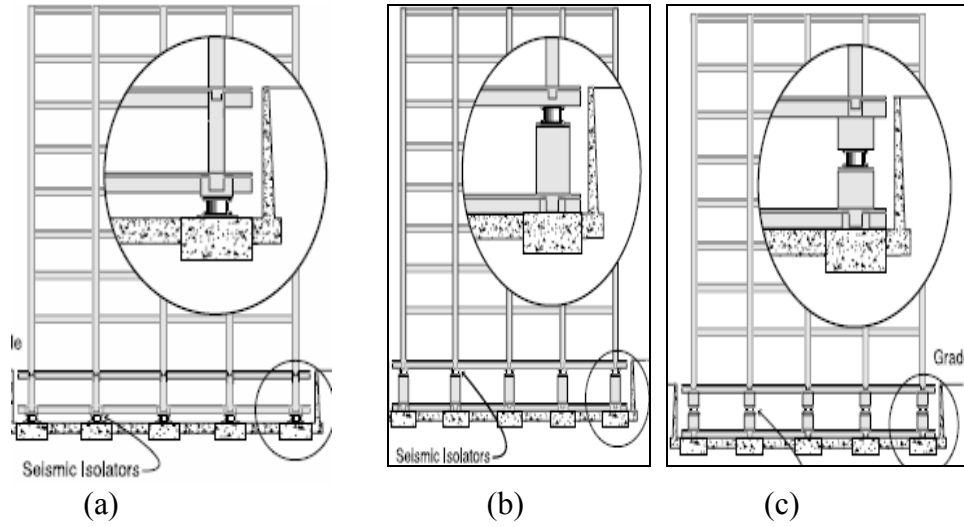
kapasitesi kadar boşluk olmalıdır. Örneğin deprem derzine sahip olmayan bitişik nizam yapılarda, taban izolasyonu tekniğini uygulamak mümkün değildir. Çünkü bu tür yapılarda deprem enerjisini sönmüleyecek boşluk olmadığı (yapının salınımına izin verilmediği) için izolasyon uygulamakta mümkün olamamaktadır [84].

- Bu boşluğun üzerinin insanlar ve diğer canlılar için tehlike yaratmaması için mutlaka kapatılması gerekmektedir
- Yapının tesisat bağlantıları düzenlenmelidir. Depremler sırasında yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan elemanların, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz vs. bağlantıların yapının deprem hareketiyle yapacağı yer değiştirme sonrasında herhangi bir tahribat göstermemeleri gerekmektedir. Bu nedenle tesisat ekipmanlarının hepsinin deplasman için bırakılan boşluk kadar esneme kapasitesine sahip olması gerekmektedir [84].
- Süneklik düzeyi yüksek yapılar için sismik izolasyon gerekli olmamaktadır. Bunun en önemli nedeni, bu tür yapıların sahip oldukları etkin periyotları genellikle rezonans frekansı sınırları dışında kalmaktadır. Sismik izolasyonun başlıca özelliği olan yapı periyodunu uzatarak katlara etkiyen ivmelerin azaltımı ve zeminin baskın frekansı ile üst üste düşen yapı etkin titreşim frekansının neden olduğu rezonanstan kaçınmak için bu tür sünek yapılarda sismik izolasyon önemli bir etki alanına sahip değildir.
- Taban izolasyonu, etkin frekansı depremin baskın frekans sınırları içerisinde düşen orta yükseklikteki (10-12)katlı yapılar için uygundur [84].
- Yapıların periyotlarının uzatılması yumuşak zeminler üzerine inşa edilmiş yapılar için zararlı olmaktadır. Yer hareketinin uzun periyotlardaki bileşenlerinin daha büyük olabildiği yumuşak zeminlerde sismik izolasyon konularak yapı periyodunun artırılması halinde yapıya gelecek deprem yükü artacaktır [90].

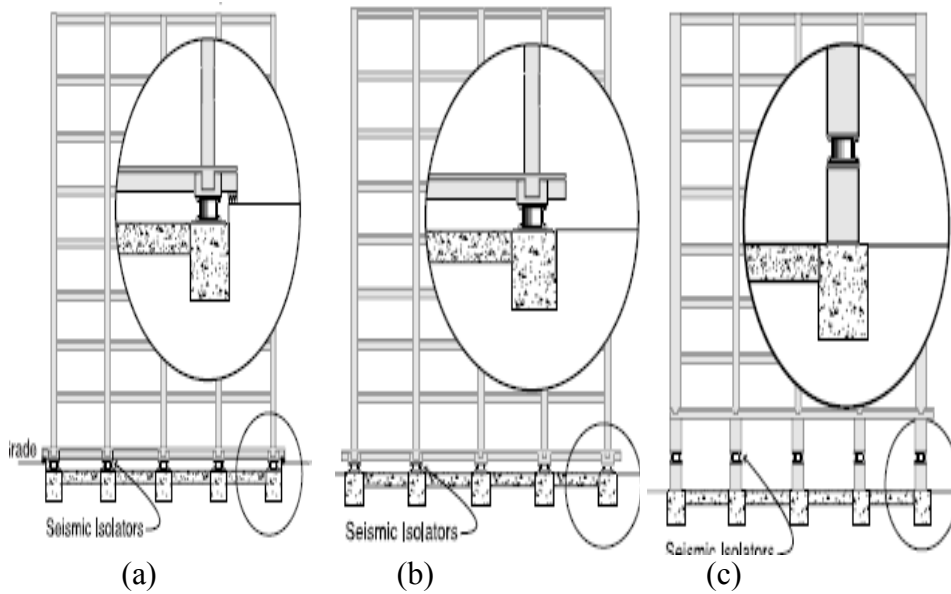
4.5. Taban İzolatörlerinin Uygulamasına Yönelik Örnekler

Bu bölümde taban izolatörlerinin bir yapı sistemine yerleşim alternatiflerine ait örnekler verilmektedir. Şekil 4.14'te sismik izolatörler temel altında, alt kolonların

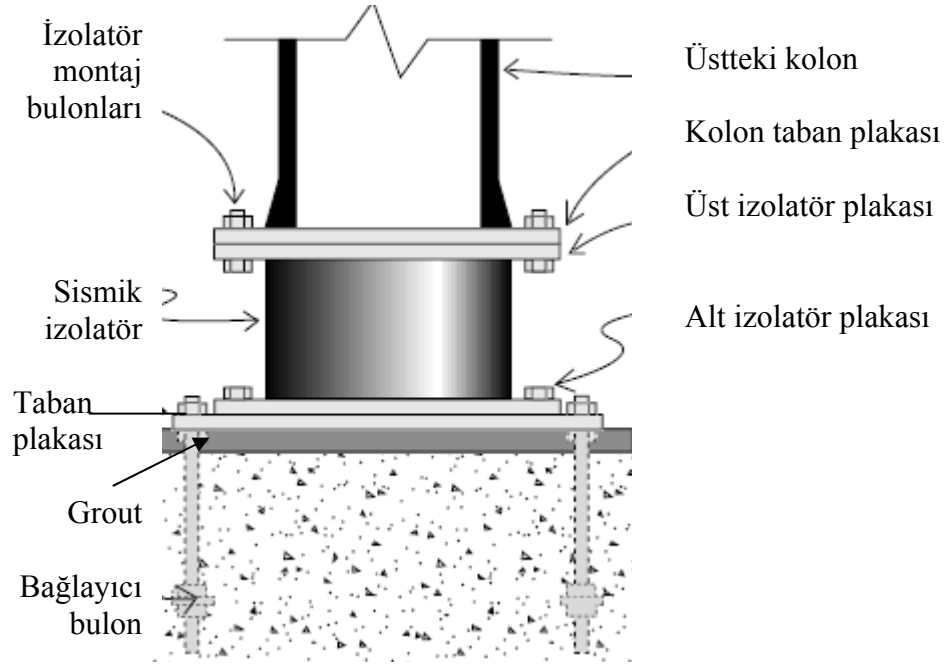
üstünde, alt kolonların ortasında yerleşimi gösterilmiştir. Şekil 4.15'te ise sismik izolatörler ilk kat kolonlarının altında, temelin üstünde, temelin üstündeki kolonların ortasında yerleşim detayı verilmiştir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de sismik izolatörlerin yeni inşa edilecek binalar için birleşim önerileri verilmiştir. Bu bölümdeki detayların tümü DIS-inc'den alınmıştır.



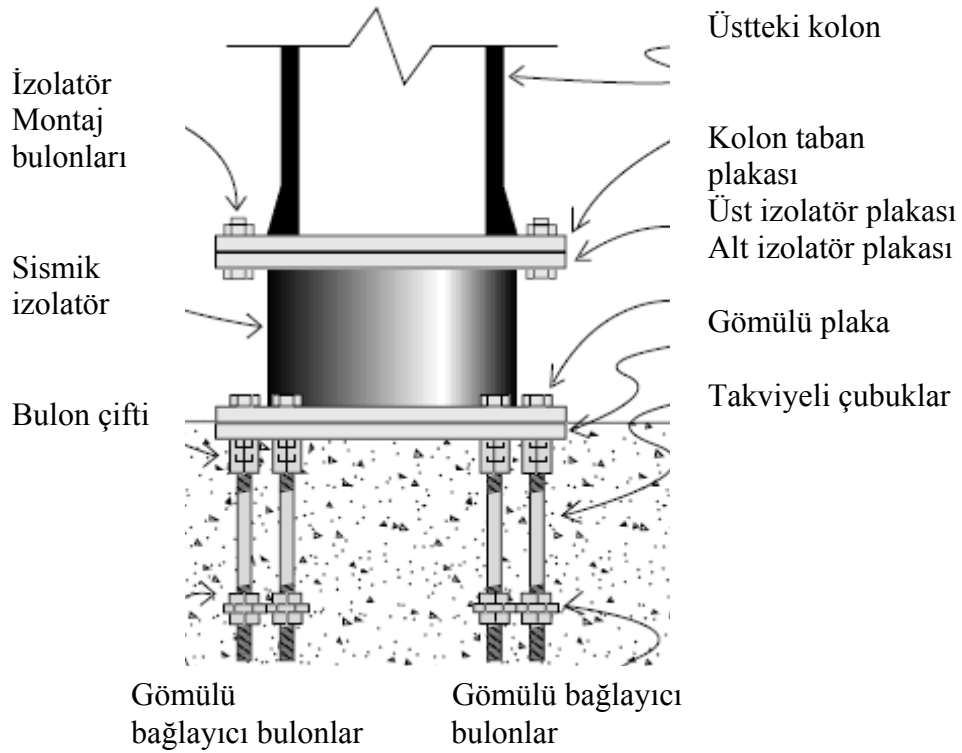
Şekil 4.14. Sismik izolatörler temelin altında, alt kolonların üstünde, alt kolonların ortasında yerleşimi



Şekil 4.15. Sismik izolatörler ilk kat kolonlarının altında, temelin üstünde, temelin üstündeki kolonların ortasında yerleşimi



Şekil 4.16. Sismik izolatörlerin yeni inşa edilecek binalar için birleşim önerisi



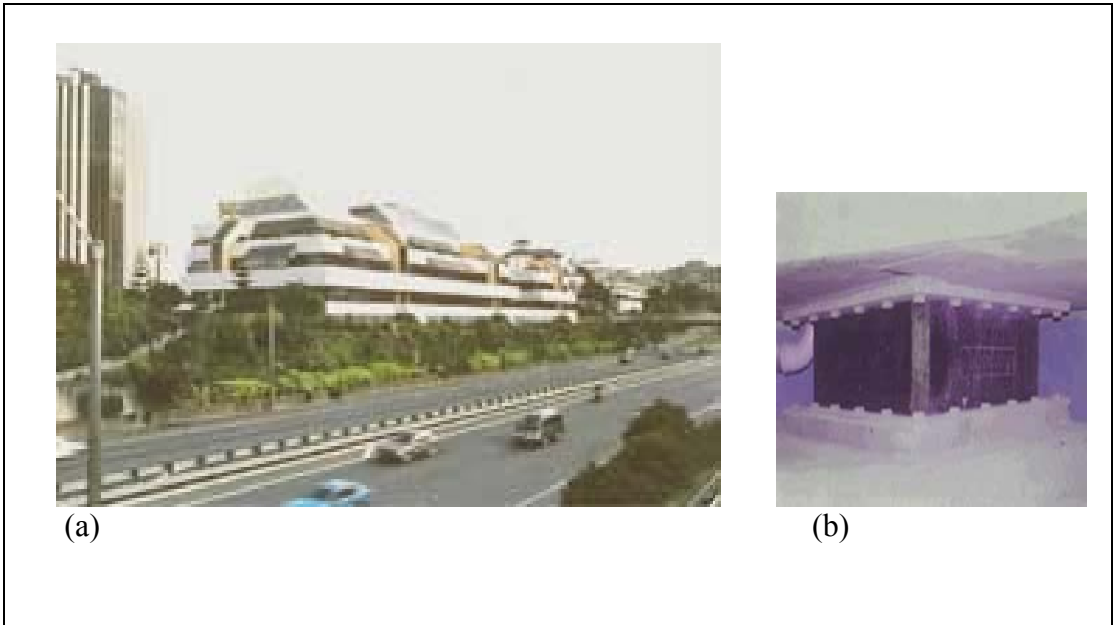
Şekil 4.17. Sismik izolatörlerin yeni inşa edilecek binalar için birleşim önerisi 2

4.6. Dünyada Sismik Taban İzolasyonu Uygulamaları

4.6.1. Yeni Zelanda

Yeni Zelanda’da Materials Science ve Engineering Seismology gruplarının birleşimi ile sismik izolasyon çalışmaları 1968 yılında başlamıştır. Araştırma üç ana bölümden meydana gelmektedir. Bunlar; deneysel, teorik ve sismik izolasyon sistemlerinin uygulamasıdır. Bu çalışmalardan sonra geliştirilen birçok çeşit pasif titreşim kontrol cihazı Yeni Zelanda’da tasarlanıp, üretilip, ihraç edilmektedir.

Dünyada kurşun-kauçuk mesnetle izole edilip depreme karşı güçlendirilmiş ilk bina 1981’de Wellington’da tamamlanan William Clayton binasıdır (Resim 4.5.a). Bu bina 80 adet kurşun kauçuk mesnet üzerine oturmaktadır (Resim 4.5.b). İzole edilmiş binanın doğal periyodunun 2,5 s olduğu hesaplanmıştır [14]. İzolasyon seviyesinde yatay yönde 150 mm yerdeğiştirme yapacak şekilde bina tasarlanmıştır [84].



Resim 4.5. a)William Clayton binası b)Kullanılan kurşun kauçuk mesnet [83,84]

Bunun yanında sismik taban izolasyonu yapılan diğ er bir örnek ise Te Papa Müzesidir (Resim 4.6). Kat alanı 35 000 m², yüksekliği 23 m ve 5 katlı olan betonarme müzede 142 adet kur  un kauçuk mesnet ile perde duvarların altına teflon kayıcı mesnet yerleştirilmiştir [133].



Resim 4.6. Te Papa müzesi, Wellington, Yeni Zellanda

4.6.2. A.B.D

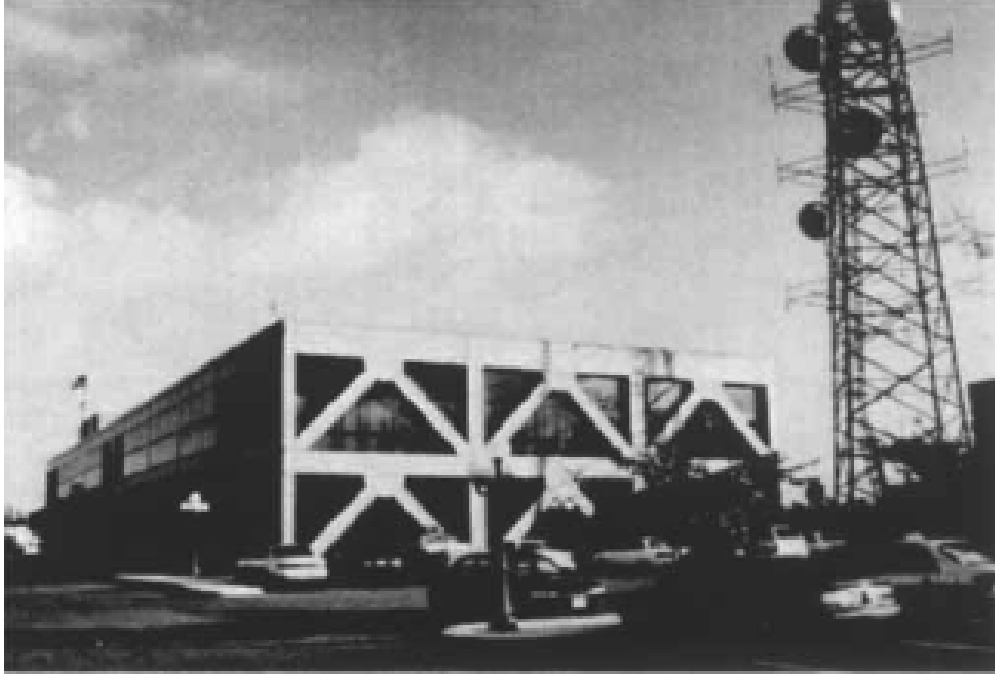
Amerika Birleşik Devletlerinde taban izolasyonu uygulanmış binalar genel olarak Kaliforniya Eyaletinde bulunmaktadır. Ancak Utah, Oregon, Washington, Nevada ve Tennessee eyaletlerinde de uygulama örnekleri bulunmaktadır [91].

Sivil Savunma, işletme ve kamu kontrol binaları

Trafik yönetim merkezi, Kearny Mesa, Kaliforniya

İki katlı olan merkezin üst yapısı  elik çerçeveden oluşmaktadır (Resim 4.7). İzolasyon sistemi 40 adet 600 mm çaplı yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetten oluşmaktadır. İzolasyon periyodu 2,5 sn civarındadır. Maksimum izolatör

yerdeğiştirmesi 254 mm'dir. Bu bina Uniform Building Code yönetmeliğine göre değil performans esaslı tasarlanmıştır [11].



Resim 4.7. Trafik yönetim merkezi, Kearny Mesa, Kaliforniya

Acil iletişim merkezi, San Diego

İki katlı acil iletişim merkezi, 3 500 m² kat alanına sahip çelik çerçeve taşıyıcı sistemlidir (Resim 4.8). Her biri 700 mm çapında 432 mm yüksekliğinde 27 adet kurşun kauçuk mesnet üzerine oturmaktadır. Bina oldukça düzensizdir ve birçok köşesi bulunmaktadır. Tasarım sırasında yapı mühendisi özellikle köşe izolatörlerde uplift olabileceğini düşünmüştür. Bina çerçevesi yatay yükleri köşe kolonlarda dağıtacak şekilde yerleştirilmiştir. MCE tasarım düzeyinde izolatörlerin 460 mm maksimum yerdeğiştirme yapacağı hesaplanmıştır. Ancak testler sonucu maksimum yerdeğiştirme 610 mm olmuştur [11].



Resim 4.8. Acil iletişim merkezi, San Diego

Sismik izolasyon uygulanan diğer savunma binaları ise şu şekildedir: San Francisco’da bulunan Acil İletişim Merkezi, Camp Murray’da bulunan Washington State Acil Operasyon Merkezi, Long Beach Acil Servis Merkezi, Berkeley’de bulunan Kamu Güvenlik Binası ve Memphis’te bulunan Oto Bölge Merkezi [11, 91].

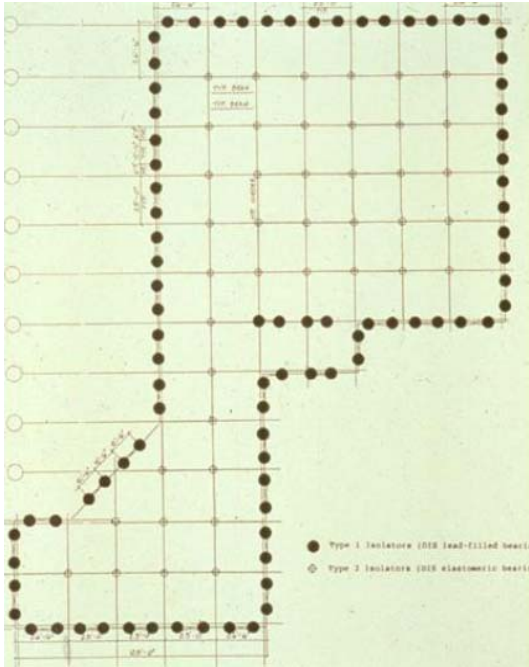
Tıp merkezleri

USC tıp merkezi, Los Angeles

17 Ocak 1994 yılında Norridge depreminde 31 hastane çok ciddi hasar görmüş, 9 hastane tamamen veya kısmen boşaltılmıştır. Los Angeles ta bulunan 1991 yılında inşası tamamlanan USC hastanesi ise hasar görmemiştir (Resim 4.9). Bu sekiz katlı çelik çerçeve taşıyıcı sistemli bina 68 kurşun kauçuk mesnet ile 81 elastomer mesnet üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 4.18). Bu yapının önemi dünyada ilk taban izolasyonu kullanılan hastane olmasıdır [84]. 316 000 m² kat alanına sahip ve 283 yatak kapasiteli bina temel seviyesinde taban izolasyonu kullanılarak inşa edilmiştir.



Resim 4.9. USC tıp merkezi, Los Angeles



Şekil 4.18. USC tıp merkezi sismik taban izolasyon yerleşimi

Sismik izolasyon kullanılarak inşa edilen diğer sağlık merkezleri ise şu şekildedir: Willowbrook'taki M.L. King, Jr- Drew Diagnostics Trauma Merkezi ve Colton'da bulunan San Bernardino Tıp Merkezi [91].

Belediye Binaları

Hayward belediye binası

Aktif bir fay hattına yakın inşa edilen ve Ocak 1998 yılında inşası tamamlanan 9290 m² kat planına sahip dört katlı Hayward Belediye Binası önemli bir devlet binasıdır (Resim 4.10.a). Bina Hayward fayında olabilecek büyük bir depremde bile işlevini yitirmemek üzere tasarlanmıştır. Bina 53 sürtünme sarkaçlı mesnet ve 15 viskoz sönümleyici ile güçlü yer hareketlerinden korunmuştur [140]. Mesnetlerin yatay hareketi için her yönden 61 cm boşluk (moat) bırakılmıştır. Mesnetler bodrum kat kolonlarının üzerine yerleştirilmiştir (Resim 4.10.b).



Resim 4.10. a. Hayward belediye binası b) Sürtünme sarkaçlı mesnet

Dini yapılar

Our Lady of Angels katedrali

Los Angeles'ta inşa edilen betonarme Our Lady of Angels Katedrali kat alanı 18 116 m² olup, 5 katlı bir sistemdir (Resim 4.11). Katedral'de 200 adet yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile düz kayıcı mesnetler kullanılmıştır [134].



Resim 4.11. Our Lady of Angels katedrali

Diğer kamu binaları

San Fransisko uluslararası havaalanı terminali

Bu bina geniş açıklıklar içermektedir (Resim 4.12.a). Bina 24 m yüksekliğinde kolonlar ve 21 m uzunluğunda çatı kirişleri ile cam dış cephe duvarları gibi mimari özelliklere sahiptir. Bina San Andreas kırığında oluşabilecek 8 büyüklüğündeki depremlere karşı koyabilecektir. 267 adet sürtünme sarkacı binayı şiddetli zemin hareketlerinden korumak için konulmuştur (Resim 4.12.b) [135]. 62 300 m² iç alanı ile dünyadaki en büyük izole edilmiş binadır. Sürtünme sarkaçlı mesnetler binanın periyodunu 3 s'ye çıkarmıştır. Binaya gelen taban kesme kuvvetlerini %70 azaltmıştır.



Resim 4.12.a. San Fransisko uluslararası havaalanı terminali b.Sürtünmeli sarkaç mesnet

Seahawks futbol stadyumu

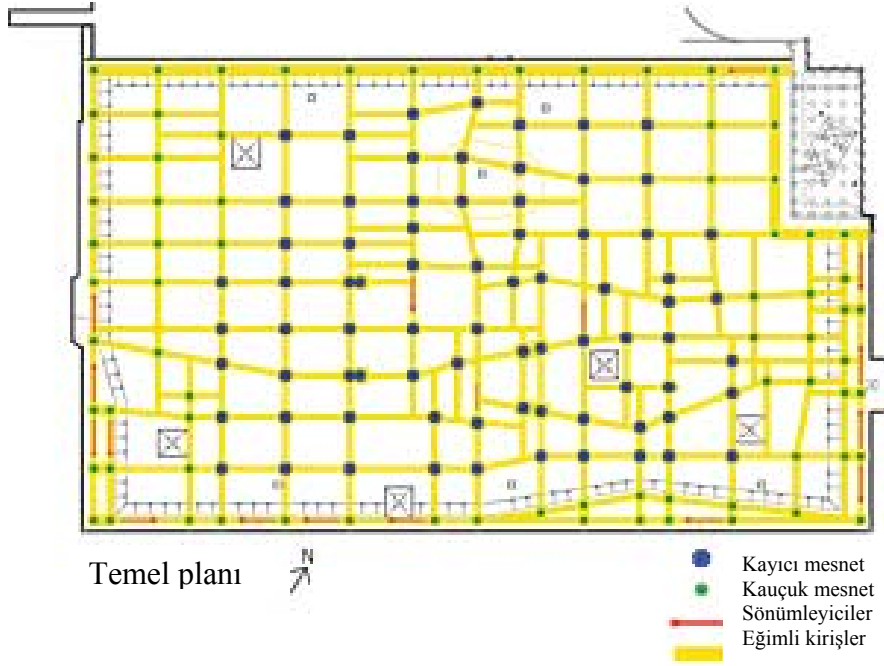
Seattle Washington’da inşa edilen 7 000 koltuk kapasiteli Seahawks futbol stadyumu 2002 yılında tamamlanmıştır. Açık hava stadyum deprem anında çatı kafes kirişlerinde hasar oluşmaması için sürtünme sarkaçlı mesnetler ile izole edilmiştir. Bu mesnetler 4 çatı destek kulesinin üstüne yerleştirilmiştir. Böylece çatı kafesinin uzun yönünde sismik ve termal hareketler için serbestlik sağlamıştır. Her mesnet 29 400 N’luk yatay yüke karşı gelmektedir (Resim 4.13) [135].



Resim 4.13. Seahawk futbol stadyumu

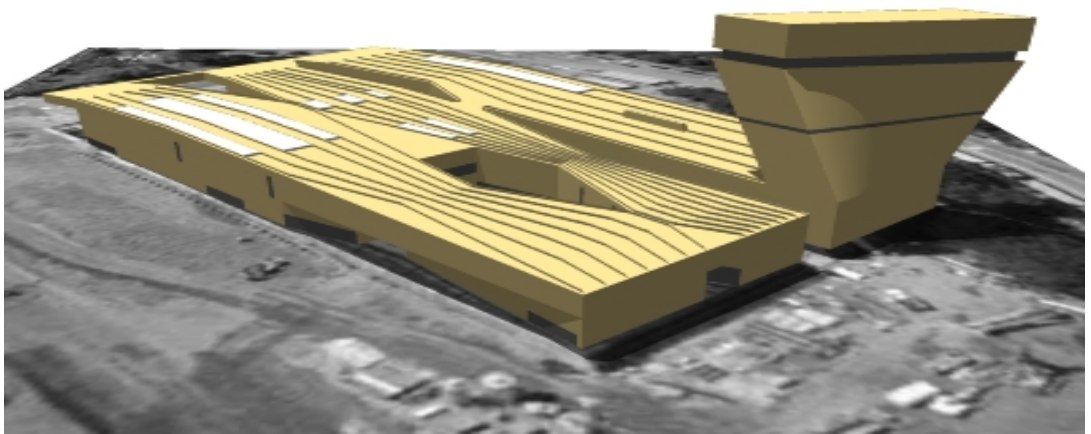
De Young müzesi

San Fransisko’da inşa edilen De Young Müzesi 128 m x 23 m boyutlarında bir elin parmakları şeklinde düzenlenmiş olup, 3 katlı bir yapı sistemidir. Bu binada 76 adet yüksek sönümleyici mesnet, 76 adet özel kayıcı mesnet ve 24 adet doğrusal olmayan viskoz sönümleyici kullanılmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. De Young müzesi temel planında sönümleyicilerin yerleşimi [136]

Binanın kütlesi, ışık, avlu ve teraslarla kesilmektedir. Arsa bu sayede doğanın formu ile uyum sağlamaktadır. Sergi salonları üç katlıdır ve sismik izolatörler kullanılmıştır. Yalnızca kule 9 katlı ve ankastre tabanlıdır. Taban izolasyonu bina güvenliği dışında, üst yapı için mimari serbestlik sağlamıştır. Müşterinin düzensiz kolon ızgarasında olabildiğince geniş mekanlar istemesi, 6 m derinliğinde makaslar ve en uzun 27 m olan uzun açıklıklara yol açmıştır (Resim 4.14) [136].



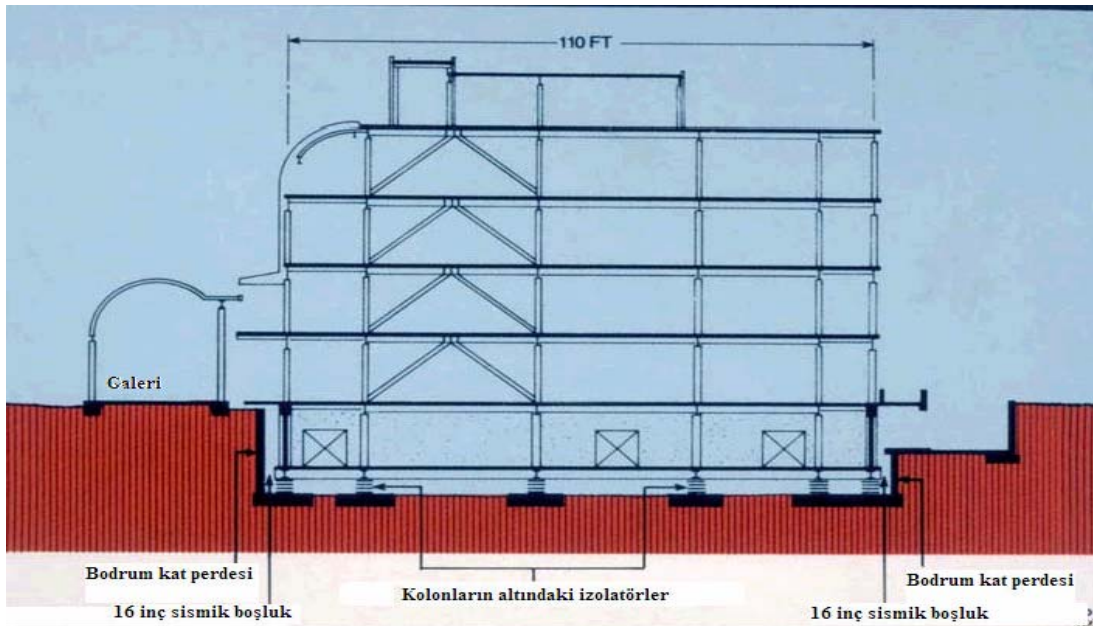
Resim 4.14. De Young müzesi

Foothill Communities adliye binası

ABD'nin ilk taban izolasyonlu binası olan Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJCN)'nin inşası 1985 yılında tamamlanmıştır (Şekil 4.20). FCLJC yüksek sönümlü kauçuk mesnet kullanılarak inşa edilen ilk binadır. Binanın sismik izolasyonu için 98 adet yüksek sönümleyici kauçuk mesnet kullanılmıştır [84]. Toplam 15 794 m² alan üzerine oturtulan ve dört kattan oluşan bina 8,3 büyüklüğünde depremlere dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır (Resim 4.15) [83].



Resim 4.15. Foothill Communities Law and Justice Center'in cepheden görünüşü



Şekil 4.20. Foothill Communities Law and Justice Center'in kesiti

4.6.3. İtalya

Yeni itfaiye merkezi, Naples

İtalya’da sismik izolasyon uygulanan ilk bina Naples’da bulunan yeni itfaiye merkezidir (Resim 4.16) [92]. Çelik-betonarme karma taşıyıcı sistemlidir [93]. Düşey yük taşıyıcı sistemi merdiven ve asansörlerin bulunduğu betonarme kuleler ve üst grid’den asılı çelik iskelete sahiptir. Bu çözüm mimari nedenler yüzünden yapılmıştır. Zemin katın otopark olması nedeni ile tamamen kolonsuz olması istenmektedir [71]. İlk tasarımda deprem yükleri göz önüne alınmamıştır. Fakat 1980 Campano-Lucana depremi meydana gelmiş ve Naples deprem bölgesi kabul edilmiştir. Bu da orijinal tasarımda değişiklik gerektirmiştir. Yeni deprem yönetmeliğine uymak için askılı yapının tipolojisini değiştirmeden güçlendirici değişiklikler yapılmasına karar verilmiştir. Enerji sönümleyiciler betonarme kulelerle üst çelik grid arasına yerleştirilmiştir. Bunun nedeni yatay kuvvet sebebi ile oluşabilecek çekiçleme etkisinden yapıyı korumaktır.



Resim 4.16. Yeni itfaiye merkezi

Telekom merkezi, Ankona

Taban izolasyonu, beş adet betonarme binadan oluşan ve Ankona'da bulunan Telekom binalarında kullanılmıştır. Her bina 4 ile 7 kat arasında değişmektedir (Resim 4.18). Maksimum bina yüksekliği 25 m'dir. Binalar temel üzerine yerleştirilen yüksek sönümleyicili kurşun kauçuk mesnet ile izole edilmiştir (Resim 4.17). İzolasyondan önce 0,25 s periyoda sahip izolasyondan sonra 1,68 s periyoda sahip olmuştur. Tasarım yerdeğiştirmesi ise 140 mm'dir [92, 93].



Resim 4.17. 297 yüksek sönümleyici kauçuk mesnet, inşaat başlangıcı, 1988



Resim 4.18. Ankona'da bulunan Telekom İtalya binaları, dikdörtgen ve kemer plana sahip binalar

Basilicata üniversitesi

Basilicata Üniversitesi Matematik bölümüne ait olan A binasının kat planı 60,5 x 41 m ve 8,4 x 9 m'lik üç kule betonarme plaklarla ana bloğa bağlanmaktadır. Çevre fakültesine ait B-E binaları beş ayrı bloktan oluşmaktadır. Dört binaya sismik izolasyon uygulanmıştır. Bunlardan ikisinin kat planı 54 x 18 m, diğer ikisinin ise 41,4 x 18 m'dir. 5 ve 6 katlı betonarme binalardan A binası 2200 m², B ve C binaları 800 m² ve diğer ikisi 600 m²'dir. A binasında 89 adet yüksek sönümleyici kurşun kauçuk kullanılırken, B- E binalarında 132 adet yüksek sönümleyici kurşun kauçuk mesnet kullanılmıştır [92].

4.6.4. Japonya

Kauçuk mesnetler ve modern sismik izolasyon teknolojileri hakkında ki araştırma ve geliştirme çalışmaları 1980-1981 yıllarında üniversiteli araştırmacılar tarafından başlatılmıştır. 1986 yılında birkaç taban izolasyonlu bina araştırma ve sergileme amaçlı olarak inşaat şirketleri tarafından inşa edilmiştir. Bu süre zarfında birçok inşaat şirketi araştırma ve geliştirme çalışmalarına başlamışlardır. Japonya'da 1986 yılından itibaren taban izolasyonlu binalar yapılsa da sayıca hızlı bir çıkış yakalanamamıştır. 1994 yılının sonuna doğru çoğunluğu Tokyo'da olmak üzere 80 adet taban izolasyonlu bina inşa edilmiştir. 17 Ocak 1995 yılında Hanshin Awaji depremi meydana gelmiştir. Deprem hareketlerinin en güçlü hissedildiği Kobe şehrinde iki adet taban izolasyonlu bina bulunmaktadır. Bunlardan biri 'Computer Center of the Ministry of Post and Telecommunications' diğeri ise bir inşaat şirketine ait olan laboratuvar binasıdır. Her iki binada hasar görmemiş ve yüksek sismik performans göstermişlerdir. Böylece Eylül 1995 yılından 1996 yılına kadar taban izolasyonlu bina sayısı 207'ye ulaşmıştır. Deprem öncesinde izolasyon uygulanan binalar iş dünyasına ait laboratuvarlar, ofisler ve bilgisayar merkezleri iken depremden sonra izolasyon uygulanan binaların yarısı apartman şeklinde kamu binalarıdır.

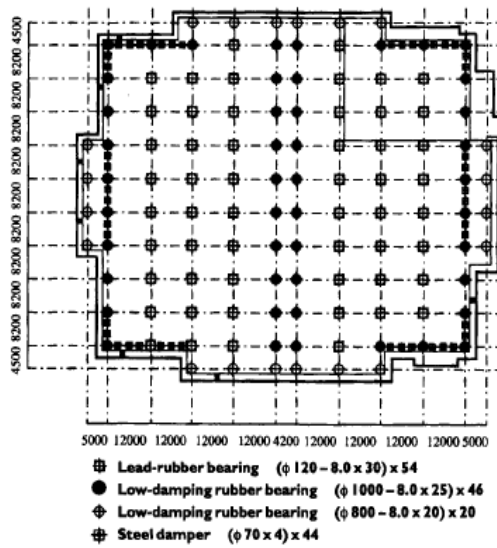
Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı bilgisayar merkezi

6 katlı Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı bilgisayar merkezi, betonarme taşıyıcı sistem olarak inşa edilmiştir (Resim 4.19).



Resim 4.19. Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı bilgisayar merkezi

Binada, 2 m çapında 54 adet kurşun kauçuk mesnet, 46 adet 1,0 m çapında ve 20 adet 0,8 m çapında düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet ile 44 çelik sönümleyici kullanılmıştır (Şekil 4.21). Yapı 1995 yılında Hykogen Nanbu depremine maruz kalmıştır. Sismik izolatörler maksimum yatay ivmeyi x yönünde yaklaşık 1/3 ve y yönünde ise 1/4 oranında azaltmıştır [10, 84].



Şekil 4.21. Temel planında sönümleyicilerin yerleşimi [10]

4.6.5. Çin

Mayıs 2005 yılına kadar çoğu konut binası olmak üzere 490 adet bina pasif sismik titreşim kontrollü yapılmıştır (270 adeti yığma bina) (Resim 4.20). Ayrıca sismik izolasyon teknolojisi köprülerde ve viyadüklerde de kullanılmıştır [18, 93].



Resim 4.20. Sismik taban izolasyonu uygulanan bina sistemleri

Shan Tou şehir müzesi

Betonarme ve 13 katlı olan Shan Tou şehir müzesine ait kat planı 28 000 m²'dir (Resim 4.21). Kauçuk mesnetler, bodrum kat olmaması nedeniyle ilk katta kolonların üzerine yerleştirilmiştir. Geleneksel anti-sismik yöntemlerine göre taban kesme kuvvetleri 1/4 oranında azalmıştır. Üst yapı bu sayede tekrar tasarlanmış ve kesitler küçültülmüştür. Geleneksel anti sismik yöntemlere göre maliyet %2 artmış, ancak güvenlik düzeyi 4 kat artmıştır [18, 93].



Resim 4.21. Shan Tou şehir müzesi

4.6.6. Ermenistan

1988 Spitak depreminden sonra hem yeni binaların hem de varolan yapı stoğunun deprem güvenliği konusuna önem verilmiştir. Ermenistan'da sismik izolasyonla ilgili çalışmalar 1993 yılında başlamıştır. Az sayıda nüfusa sahip olması ve gelişmekte olan bir ülke olmasına rağmen 1994 yılından beri sismik izolasyon kullanımında oldukça ileri düzeydedir ve 21 adet bina sismik izolasyonla inşa edilmiştir.

Ermenistan'da taban izolasyon sisteminin ilk uygulamasının basit bir yapıda tek katlı bir hamam'da olması kararlaştırılmıştır (Resim 4.22). Bu yeni sistemin evrimselleşmesi, basitten komplikeye her adımda yeni bir tecrübe edinerek ilerlenmesi sayesinde başarılmıştır [20].



Resim 4.22. Hamamdaki izolasyon sistemi ve kesiti [20]

Ermenistan'da düşük sönümlü kauçuk mesnetler yerel olarak tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Sismik izolasyon teknolojisi yığma binaların deprem güvenliğinde de kullanılmaya başlanmıştır. Ermenistan şu anda yüksek sönümleyici kauçuk mesnetleri üretmekte hatta Suriye'ye köprü ve viyadüklerin yapımında kullanılması için ihraç etmektedir.

4.6.7. Türkiye’deki sismik taban izolasyonu uygulamaları

2007 yılı itibari ile pasif titreşim kontrol uygulanmış yapı sayısı dünyada yaklaşık 5000 civarındadır. Sadece bina tipi yapılar göz önüne alınırsa 2005 yılında Japonya’da 2700, Rusya’da 550, Çin’de 490, ABD’de 100, İtalya’da 31, Tayvan’da 24, Ermenistan’da 19 ve Yeni Zelanda’da 11 uygulama bulunmaktadır. Dünyada bu kadar yaygın olarak kullanılan bu sistemin; hemen her noktası deprem riski altında olan yurdumuzda kullanıldığı yapı sayısı ise iki elin parmaklarının sayısından bile azdır. İlk olarak Türkiye’de Adana-Gaziantep otoyolunda yatay yer ivmesi katsayısı 0,4 alınarak birçok viyadük projelendirilmiş ve proje gereği çeşitli deprem izolatörleri kullanılmıştır [94]. Ülkemizde halen 6 binada (Tarabya Oteli, Kocaeli Devlet Hastanesi, Erzurum Devlet Hastanesi, Atatürk Havalimanı Terminal Binası, Antalya Havalimanı Terminal Binası, Ankara Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi) ve 2 köprüde (Bolu Viyadükleri, Gülburnu Köprüsü) ve Egegaz Çandarlı LNG depolama tanklarında olmak üzere 9 adet uygulama bulunmaktadır [95].

7,6 büyüklüğündeki Kocaeli depreminden önce pasif sismik titreşim kontrolü ile ilgili Türkiye’de bulunan tek uygulama İstanbul- Ankara karayolu üzerinde bulunan Bolu viyadüğünde kullanılan İtalya’da üretilen elasto-plastik enerji sönümleyicilerdir (Resim 4.23) [96].



Resim 4.23. Bolu Viyadükleri

İstanbul’da bulunan Atatürk uluslararası havalimanı terminali 300 milyon dolara mal olmuş büyük bir yapıdır. 235 000 m² arazi üzerinde kurulan havalimanının ana bölümü, 225 x 250 m² boyutunda olup, piramit şeklinde uzay kafes çatıya sahip ve çatısında üçgen şeklinde cam pencereler bulunan bir yapıdır (Resim 4.24). Bu yapı Kocaeli depremi sırasında hasar görmüştür. Bu nedenle havalimanının 4 tonluk çelik çatısına sürtünmeli sarkaç mesnetler ile hareket serbestliği kazandırılmıştır. Güçlendirme tekniği olarak taban izolatörlerinin kullanılmamasının nedeni yapılan ekonomik analizler sonucu inşaatın ileri bir seviyede olmasından dolayı çok yüksek maliyete sebep olacağındandır. Bu narin çatı yapısı 130 sürtünmeli sarkaç mesnetle desteklenmiştir [97]. Resim 4.25’de gösterilen bu izolatörler 7 m uzunluğunda kolonlar ile çatı arasında bulunmaktadır. Mesnetler olabilecek 8 büyüklüğünde bir depreme karşı güvenlikle tasarlanmışlardır. Sürtünmeli sarkaç kullanılarak geliştirilen bu sistem Türkiye’deki sismik izolasyon uygulamalarının başlangıcını oluşturmaktadır.



Resim 4.24. Atatürk Havalimanı’nın dışarıdan görüntüsü



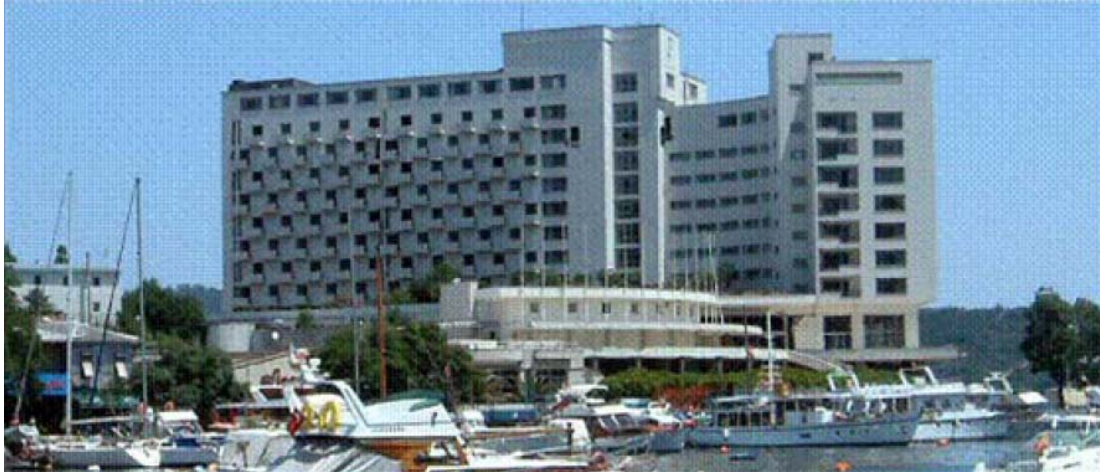
Resim 4.25. Atatürk havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı

Temmuz 2004- Temmuz 2005 tarihleri arasında Antalya havalimanı uluslar arası dış hatlar terminalinin sismik izolasyon projesi gerçekleştirilmiştir (Resim 4.26). Sismik izolasyon uygulaması süresince terminal binası tüm hizmet ve fonksiyonlarına kesintisiz olarak devam etmiştir. 50 000 m² alana sahip terminal binasında 411 adet kolon kesilerek kurşun çekirdekli kauçuk mesnet yerleştirilmiştir [98].



Resim 4.26. Antalya Havalimanı

17 Ağustos depreminde zarar gören büyük Tarabya oteli, bir depremde yıkıldığı takdirde Boğaziçi öngörünüm bölgesindeki kesin imar yasağı nedeniyle yenisi yapılamayacaktır. Otel kompleksi Resim 4.27’de gösterildiği gibi 10-11 katlı otel bloklarından ve daha az katlı servis binalarından oluşmaktadır. 35 000 m² toplam oturma alanı olan binalarda yapısal sistem düşük düktiliteli betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Yapılan incelemeler doğrultusunda perde duvar ilavesi ve yapısal elemanların mantolanması gibi konvaksiyonel yöntemlerle yapılacak yapısal güçlendirmenin binanın mimari özelliğini bozacak ve otel fonksiyonunu kaybetmesine yol açacak ölçüde yoğun bir yapısal müdahale gerektireceğini ortaya koymuştur. Bina ile ilgili tüm yapısal bulgular, mimari fonksiyon sınırlamaları ve istenen performans kriterleri kapsamında en rasyonel güçlendirme çözümü sismik izolasyon uygulamaktır. Deprem yalıtımı için 139 adet sürtünmeli sarkaç tipinde mesnet kullanılmıştır. Kullanılan izolatörlerin sürtünme katsayısı %4 olarak seçilmiş ve üst yapının toplam deplasmanı $d_{max}=28$ cm olarak tasarlanmıştır. Güçlendirme öncesi hesap edilen en büyük doğal titreşim periyodu $T_1=1,5$ s iken güçlendirme sonrası bu değer $T_1= 2,67$ s mertebelerine ötelenmiştir [95].



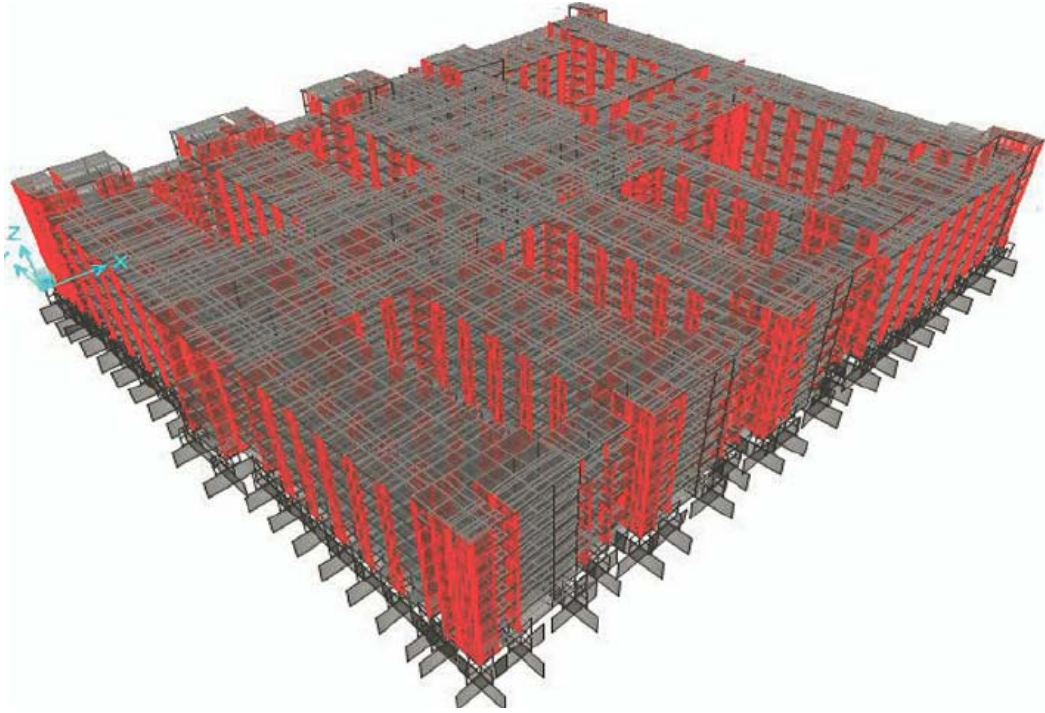
Resim 4.27. Tarabya oteli

Erzurum Devlet Hastanesi Türkiye’de deprem yalıtımı tekniği kullanılarak tasarlanmış ve inşa edilmiş hastanelerden ikincisidir (Resim 4.28). Hastanenin plan boyutları 160m x 140 m ve toplam yüksekliği 29 m’dir (Resim 4.29).

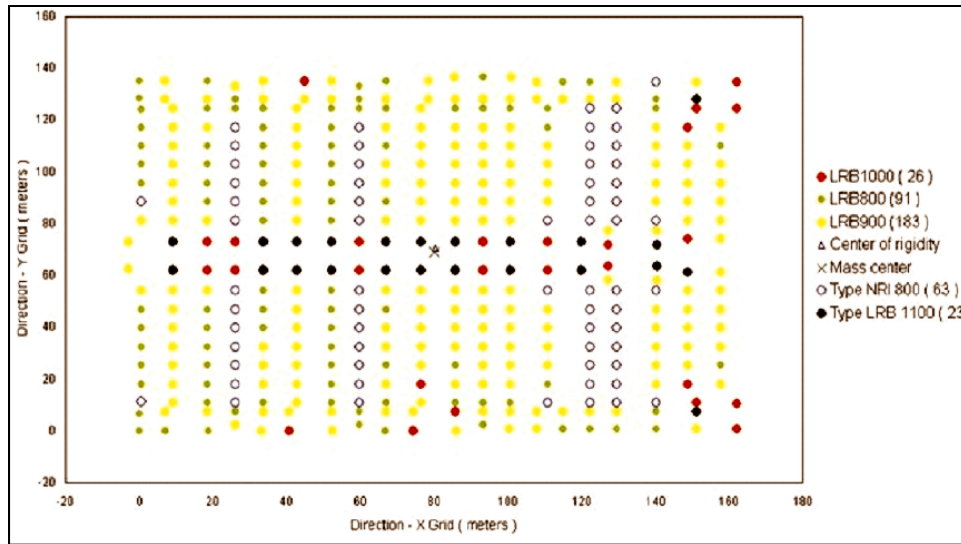
Hastanenin en büyük deprem tehlikesi altında bile kullanılabilir olması istenmiştir. Hastanenin deprem yalıtımı için 386 adet kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kullanılmıştır. Mesnetlerin çapları 80cm, 90cm, 100cm ve 110 cm'dir (Resim 4.30-Resim 4.31). Deprem yalıtımı uygulanmış binanın MCE depremi deplasmanları seviyesi altında ilk üç modal titreşim periyotları sırasıyla 2,78 s, 2,75 s ve 2,72 s olarak bulunmuştur. Yapının DBE depremi seviyesinde mesnet sistemi rijitlik merkezindeki yatay deplasman 18 cm hesaplanmıştır [95].



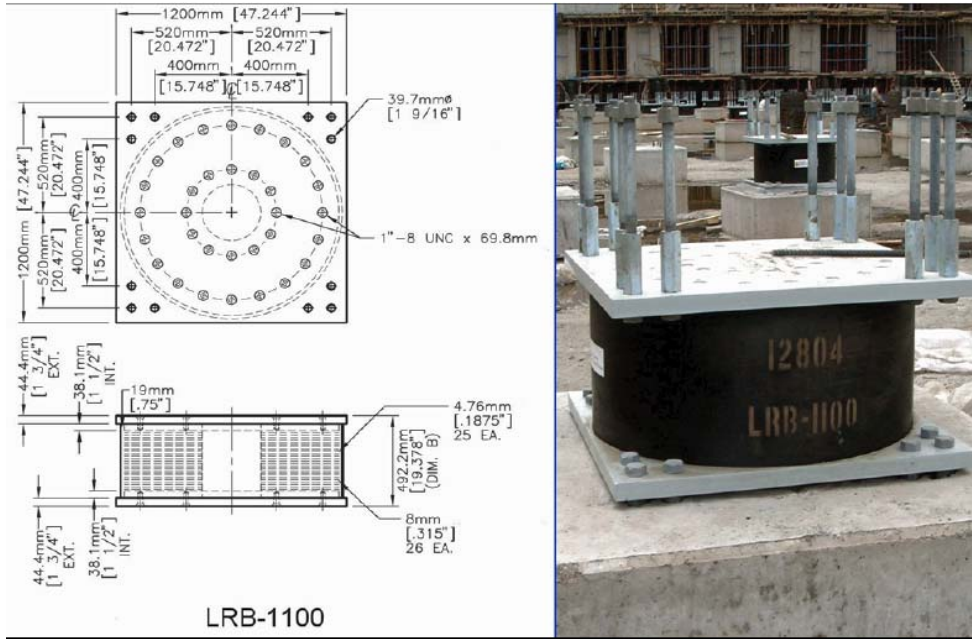
Resim 4.28. Erzurum Devlet Hastanesi Nisan 2006 görünümü



Resim 4.29.Erzurum Devlet Hastanesi sonlu elemanlar modeli [95]



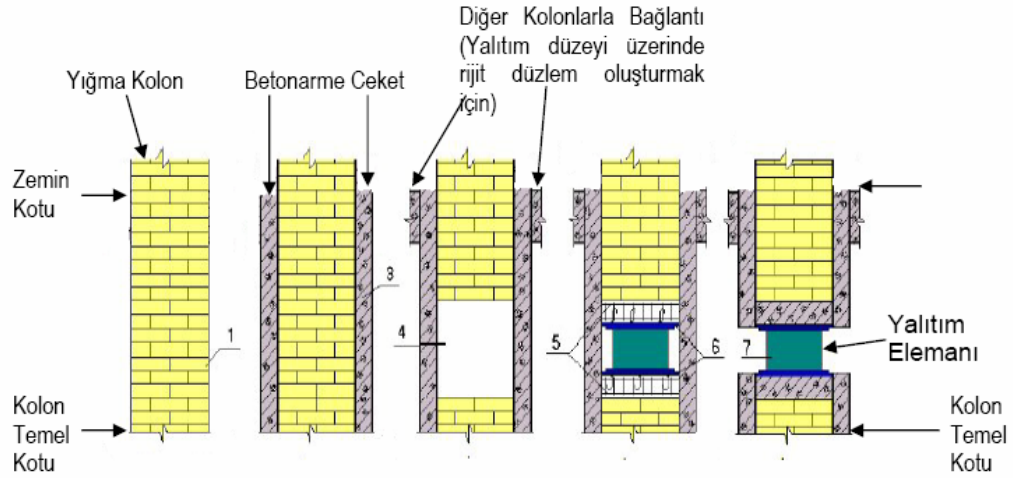
Resim 4.30.Erzurum Devlet Hastanesi taban izolasyon yerleşim planı [95]



Resim 4.31. Erzurum devlet hastanesinin temellerine yerleştirilen kurşun kauçuk mesnetin boyutları ve yerleştirme detayı [95]

4.7. Tarihi Yapılarda Taban İzolasyonu Kullanımı

Sismik izolasyon teknolojisinin doğru uygulanması, yapıların şiddetli depremler sırasında elastikçe yakın davranmasını sağlar, yapıya gelen kuvvetler azalır, kat ivmeleri küçülür, katlar arası göreceli deplasmanlar küçülür. Böylece sadece can güvenliği değil, aynı zamanda üst yapının yapısal elemanlarının hasarı ve yapısal olmayan diğer eleman ve ekipmanların maddi hasarları minimuma indirilebilir [99]. Bu tür avantajları nedeniyle zemin yalıtımı uygulamaları, tarihi değer taşıyan yapıların deprem hasarlarından korunması konusunda alternatif bir yöntem olarak görülmektedir. Tarihi ve diğer mevcut binalara yalıtım uygulanmasında taşıyıcı duvarlar ve/veya kolonlar kesilerek değişik uygulama konfigürasyonlarına başvurulabilmektedir. Zemin yalıtımın kagir yapılarda uygulanması şematik olarak Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Zemin yalıtımının tarihi kagir duvarlarda uygulanmasının şematik anlatımı [137]

Amerika Birleşik Devletlerinde taban izolasyonu uygulanmış bazı tarihi yapılardan uygulama örnekleri aşağıda belirtilmiştir.

4.7.1. Salt Lake belediye binası

Utah'ta bulunan binanın inşası 1891 yılında başlamış ve 1893 yılında bitmiştir. Mimarları Manheim ve Bird'dür. Bina Richardson Romanesque tarzında tasarlanmıştır. Salt Lake City and County binası uzun yıllar Utah'ın en yüksek binası olmuştur. Bugün bile eşsiz mimarisi ve şehir parkındaki merkezi konumu ile şehir silüetinin göze çarpan parçasıdır. Bu binanın deprem mühendisliği açısından önemi dünyada ilk sismik izolasyonla güçlendirilen binası olmasıdır [68].

Bina 5 katlı taş yığma bir yapıdır (Resim 4.32). 76 m yüksekliğinde bir saat kulesi bulunmaktadır. Bina dikdörtgen bir plana sahiptir ve ofislere ve mahkeme salonlarına geçişi sağlayan iki paralel koridorla, 4 kuadranta bölünmüştür. Üst katlara geçişi sağlayan geniş anıtsal merdivenleri binanın batı tarafında bulunmaktadır.



Resim 4.32. Salt Lake belediye binası

Binanın dış çehresi tuğla ve kumtaşından oluşmuş ve harçla bağlanmıştır. İçteki taşıyıcı duvarlar ise tuğla ve kil bloklardan yapılmıştır. İkinci ve üçüncü katlar 19.yy'da kullanılan tipik yangına karşı koruma yöntemi olan tuğla kemerli çelik kirişlerden oluşmaktadır. Diğer katlar ve çatı ahşaptan yapılmıştır. Katlar, duvarlar ve çatı arasında ankraj bulunmamaktadır.

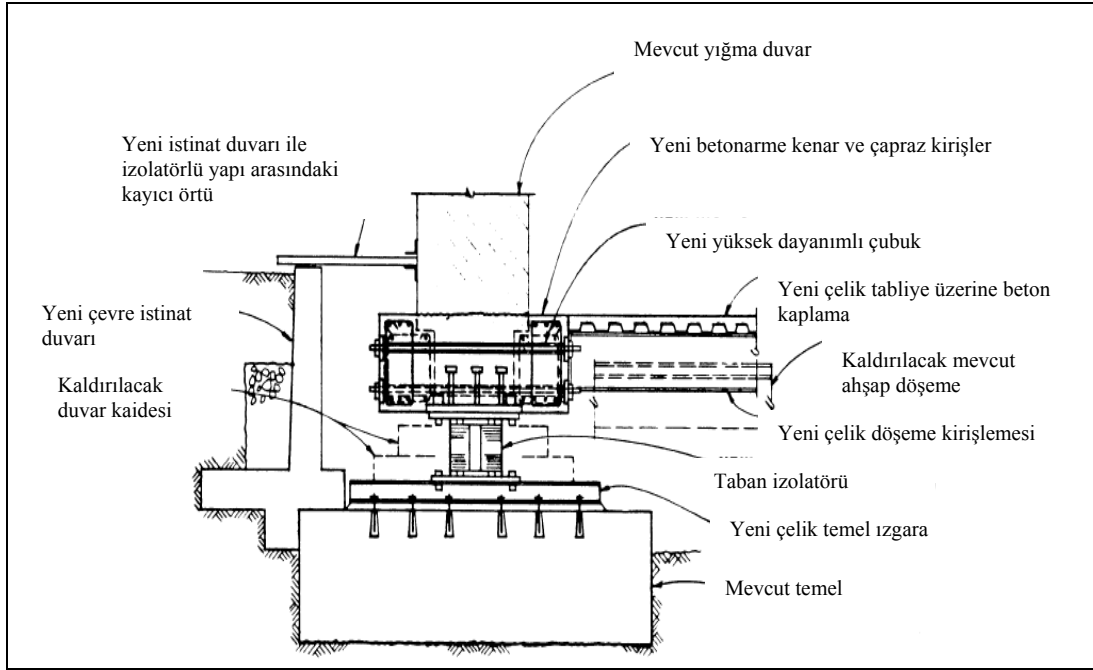
Önerilen ilk taban izolasyonlu güçlendirme mevcut temellerin altında yeni bir temel inşa edilmesi ve bu temellerin üzerine 500 adet izolatörün yerleştirilmesi şeklindeydi. Mevcut temellerin altında ve izolatörlerin üstünde, binanın ağırlığını izolatörlere iletmesi için betonarme kirişler yerleştirilecekti. Bu kirişler payandalarla rijit bir şekilde bağlanacak izolasyon sisteminin üstünde rijit bir kat elde edilecekti.

Mesnetlerin düzgün çalışabilmesi için bina çevresinin zeminden yatayda izole edilmesi gerekmekteydi. Bunun için binanın dış çevresinde 30 cm boşluklu (seismic gap) istinat duvarı inşa edilmiştir (Resim 4.33) [68, 84]. Bilgisayar analizleri olası bir tasarım depreminde binanın 13 cm salınım yapacağı sonucunu çıkarmıştır.



Resim 4.33. Binanın yatay hareketi için istinat duvarının yerleştirilmesi [68]

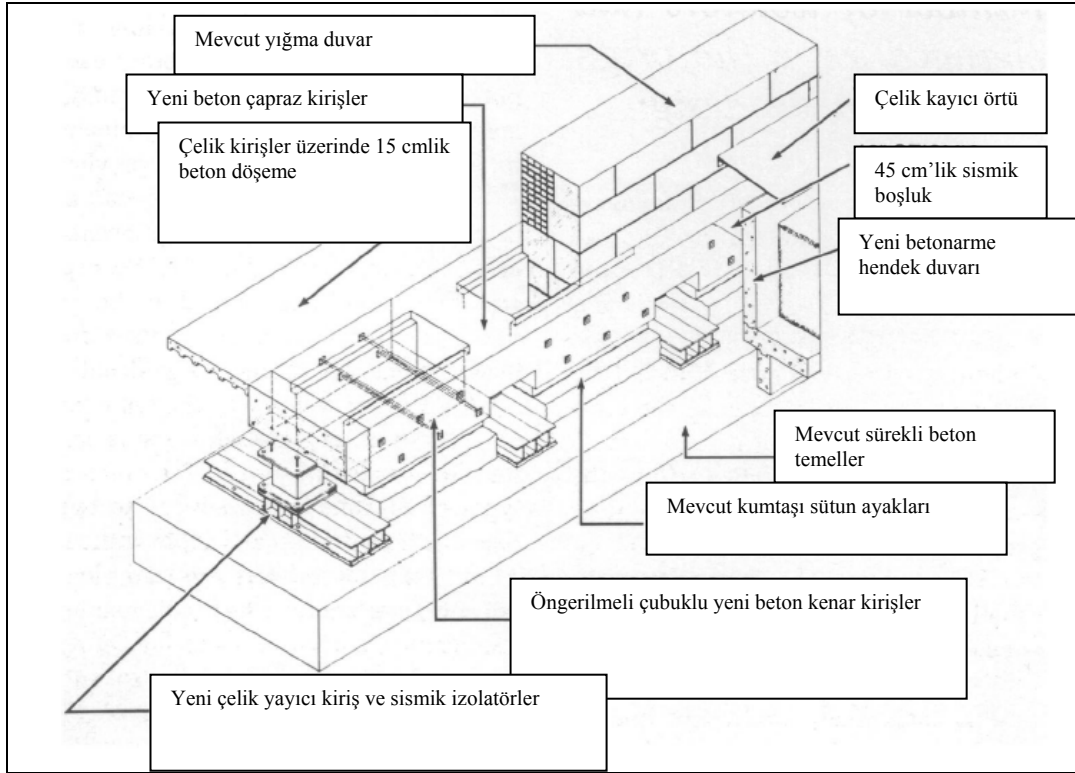
Temelin çevresinde açılan etüt çukurları, çizimlerle temeller arasında fark bulunduğunu göstermiştir. Gerçek temeller çizimlerden %50 daha geniş ve kalın beton ayaklıklara sahiptir. Daha da önemlisi mevcut temellerde kullanılan kumtaşının çok sert olduğu ve büyük zorluklarla kesileceğini ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla önceki önerilen taban izolasyonlu güçlendirme inşası uygulanamazdı. Bu durumda sismik izolatörlerin mevcut temellerin üstüne yerleştirilmesine karar verilmiştir. Ancak bu durumda da ilk kat döşemesi 36 cm yukarı kalkmak zorunda kalıyordu. İzolatörlerin mevcut temellerin üstüne yerleştirilmesi çok sayıda tünel açma ve zemini açma işlemini elimine etmesine rağmen şimdide duvarlarda çok sayıda diğ açılması gerekmiştir (Şekil 4.23).



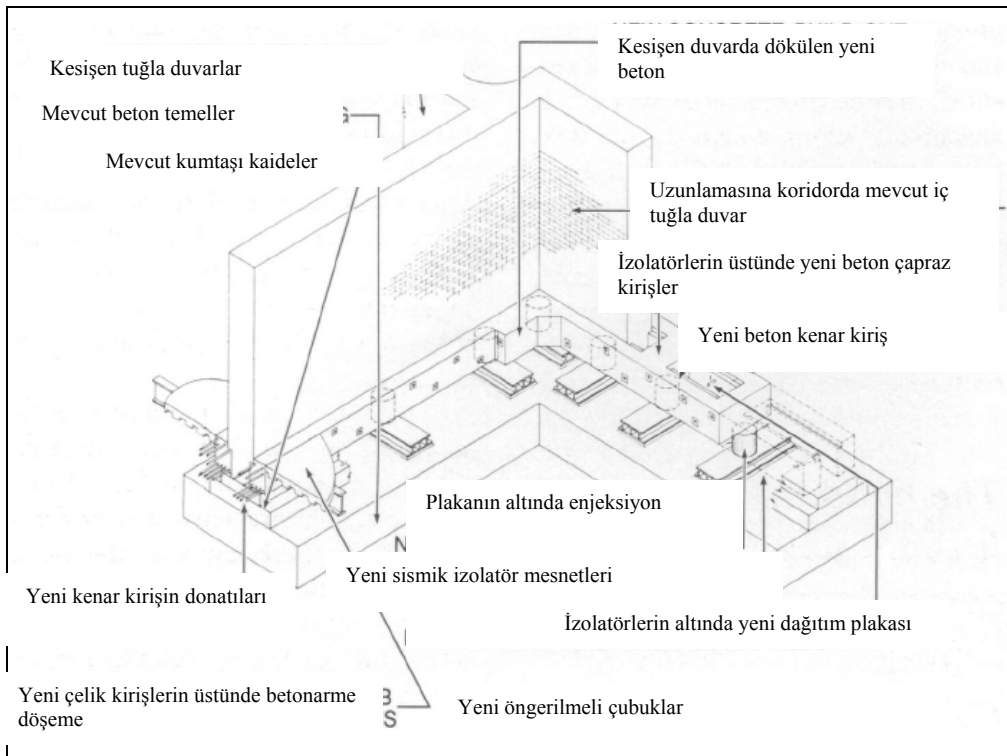
Şekil 4.23. Mevcut temele dış duvarda izolator yerleştirilmesi [68]

Son tasarımda 447 adet mesnet mevcut temelin üstüne yerleştirilmiştir (Şekil 4.26). Bu durumda yeni strüktür aşağıdaki elemanları içermektedir [68]:

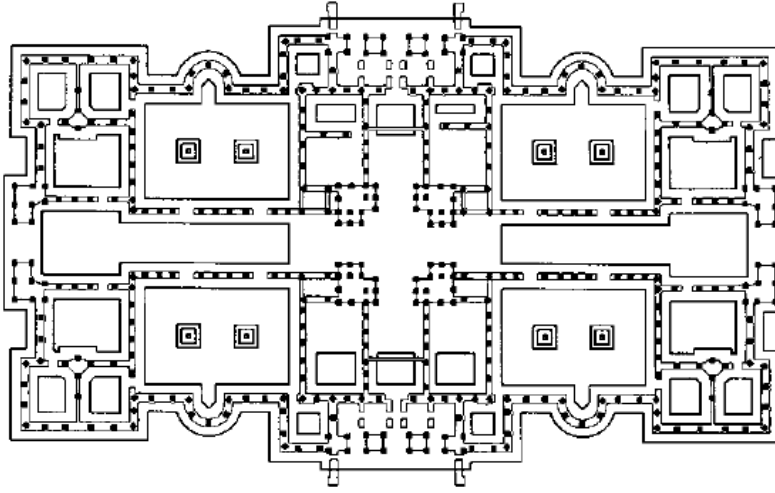
1. Yeni betonarme kirişler yığma duvarların her iki yanına döküldü. Duvarların bu kirişlerle çalışması için duvarlarda 10 cm'lik dişler açıldı. Duvarlar delinerek öngerilmeli çubuklar geçirildi ve yığma malzemeyle yeni kirişler perçinlendi.
2. İzolatörleri yerleştirmek için bütün duvar malzemesi kaldırıldı. İzolatörlerin üstüne yeni betonarme çapraz kirişler döküldü ve iki kenar kirişi bağladı. Bu çapraz kişiler kenar kirişlerden duvar yükünü alıp izolatörlerin üzerine dağıttı (Şekil 4.24).
3. İzolatörlerin altında küçük flanş kirişler kaynaklanarak bir temel ızgarası oluşturmasıyla düşey yükleri izolatörlerden mevcut temele dağıttı (Şekil 4.25).
4. Yeni bir betonarme döşeme izolatörlerin üstüne inşa edilip kenar kirişlerle bağlandı.



Şekil 4.24. Dış duvarda izolatörlerin yerleştirme görünümü [68]



Şekil 4.25. Dış duvarda izolatörlerin yerleştirme görünümü [68]



Şekil 4.26. Bodrum kat planı izolatör yerleşimi [68]

4.7.2. The Ninth Circuit U.S. temyiz mahkemesi

1890 yılında James Knox Taylor tarafından tasarlanan bu etkileyici yapı San Francisco’da 7th ve Mission sokaklarının kesiştiği yerde bulunmaktadır. 1906 San Francisco depreminden kurtulan nadir yapılardan biridir. Bina tarihi ve mimari özellikleri ile anıtsal değerdedir ve ‘Tarihsel yerlerin ulusal kaydında’ yer almaktadır (Resim 4.34). 1989 yılında Lome Prieta depreminden çok ciddi zarar görmüş ve kapatılmıştır. 1993 yılında rehabilitasyon projesine başlanmış ve sürtünmeli sarkaç sistem ile yalıtım tercih edilmiştir.



Resim 4.34. The Ninth Circuit U.S. Temyiz Mahkemesi

Binanın boyutları 100 m x 81 m ve toplam kat alanı 32 500 m²'dir. Beş katlı bina 24,4 m yüksekliğindedir. Taşıyıcı sistemi çelik olan bina; beton döşeme, donatısız yığma granit dış duvarlar ve boşluklu tuğla iç duvarlara sahiptir. Binanın toplam ağırlığı 534 MN'dur [138].

Binanın tarihi ve estetik değerleri nedeniyle izolatörlerin yerleştirilmesine özel bir önem verilmiştir. Mevcut kolonlar betonla kaplanmış, 2 m genişliğinde ve 2,4 m uzunluğunda ve sürtünmeli sarkaçların bulunduğu yerde bitmiştir. Sürtünmeli sarkaçın yerleştirilmesi aşağıdaki adımlarla olmuştur.

Kolonların betonla kaplanmasından sonra 4 adet simetrik yerleştirilmiş hidrolik kriko beton bloğun altına yerleştirilmiştir. Krikolar 1,83 m ara ile yerleştirilmiştir. Deformasyon saati, beton bloğun sonlarında ve kolonun üstüne yerleştirilmiştir. Kolonlara gelecek tahmin edilen yüke göre krikolara hidrolik basınç yüklenmiştir. Kolonun askıya alınması işlemi kolonun altındaki deformasyon saatinin kolonun askıya alındığını gösterene kadar devam etmiştir. Bu aşamada 4 kriko bilezik somunlar kullanılarak kitlenmekte ve hidrolik basınç bırakılmaktadır. Bu krikolar tahmin edilen yükün 3 kat daha fazlasını taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Mevcut kolon daha sonra beton bloğun altından yaklaşık 20 mm 'torch flame' kullanılarak kesilmiştir. Kolonun kesilen parçası alınmış ve beton blokla temel arasına izolatör yerleştirilmiştir [138].

4.7.3. San Francisco belediye binası

San Francisco belediyesine ait tarihi bölgede bulunan bu bina ABD'de en önemli klasik mimarlık örneklerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Bina 1906 yılında olan San Francisco depreminde yıkılan belediye binası yerine 1912 yılında tasarlanmıştır. 1915 yılında inşa edilen bu bina 'Tarihsel Yerlerin Ulusal Kaydında' yer almaktadır (Resim 4.35).



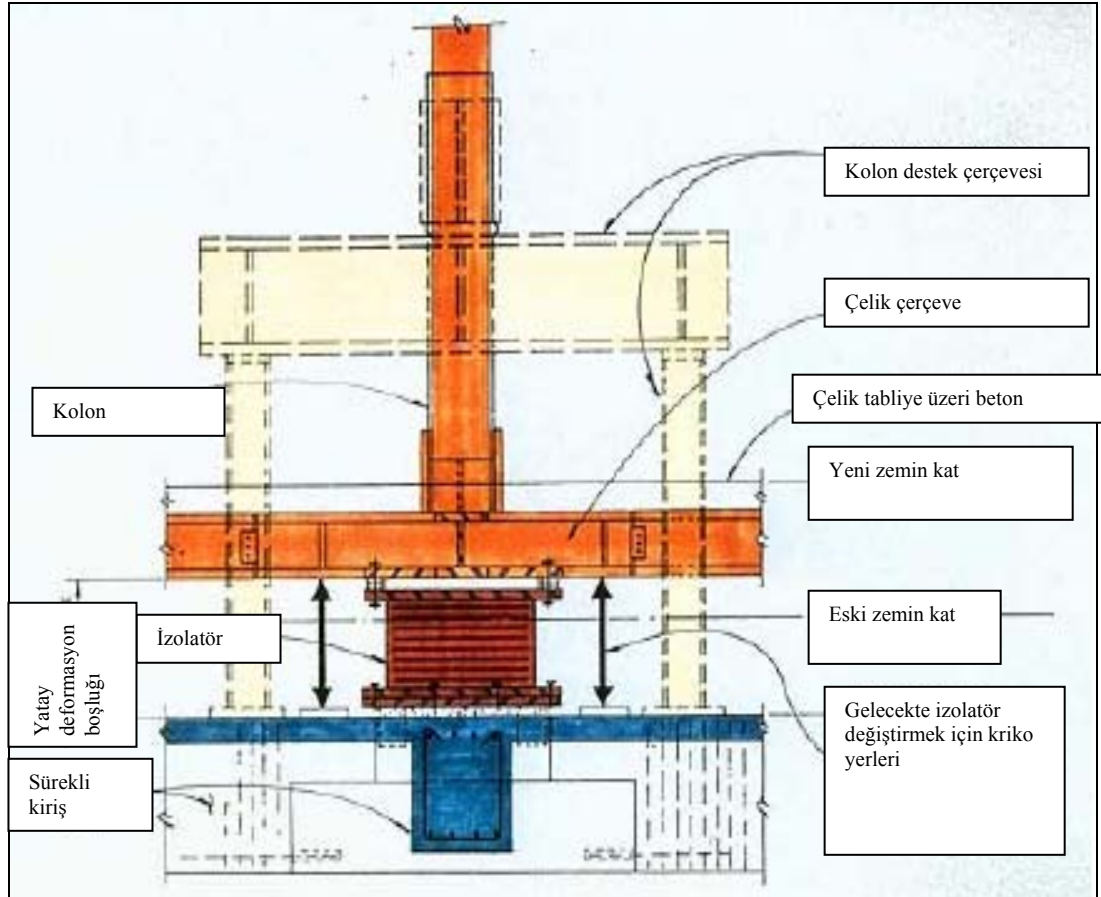
Resim 4.35. San Francisco Belediye Binası

Kubbesi yer döşemesinden 91,4 m yukarıda olan beş katlı binanın plandaki boyutları 94,2 m ve 124,4 m olup iki bloktan oluşmaktadır. Merkezi rotundanın çapı 27 m'dir. Rotundan'ın her iki yanında ikinci katın üstüne açılan geniş ışıklıklar bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem çelik çerçeve ve beton döşemelerden oluşmaktadır. Beton döşemeler, dış cephede granit kaplı donatısız kagir malzeme ile birleştirilmiştir. İç bölme duvarlar içi boş kil tuğladan inşa edilmiştir [84].

Bina 1989 yılında büyük hasar görmüş ve depreme karşı güçlendirilmesi gerekmiştir. Birçok güçlendirme projesi arasından taban izolasyonlu güçlendirme projesi; performans kriteri, fonksiyon gereklilikleri ve binanın tarihi dokusuna zarar vermemesi açısından seçilmiştir. Bu güçlendirmenin yanı sıra ışıklıkların çevresine perde duvarlar, kubbede ve kasnaklara çelik gergiler eklenerek gerekli yatay dayanım sağlanmıştır. Sismik izolasyonlu güçlendirmenin seçilmesinin nedeni 1,2 s olan bina periyodunun 3 s'ye çıkarılması içindir.

Seçilen yalıtım sistemi kurşun çekirdekli kauçuk mesnettir. 530 adet izolatör kullanılmıştır. Mesnetlerin yüksekliği 53,3 cm olup; çapları 78,7 cm ile 91,4 cm

arasında değişmektedir. İzolatörler mevcut temelin üstünde kolon ve yığma duvarların altındadır [100]. Mevcut temeller yeni sürekli kirişlerle geliştirilmiştir. Yatay yükleri izolatörlere uniform olarak dağıtabilmesi için yeni bir zemin kat izolatörlerin üstünde oluşturulmuştur (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. İzolatör yerleştirilmesi [100, 101]

4.7.4. Oakland belediye binası

Oakland Belediye Binası 1910 yılında tasarlanmış ve 1914 yılında tamamlanmıştır (Resim 4.36). Bina A.B.D’de ilk yüksek katlı hükümet binası olup ‘Tarihi Yerler Resmi Kaydında’ arşivlenmiştir. 18 katlı bina cadde seviyesinden 99 m yüksekliktedir. Podyum olarak bilinen binanın en düşük ve geniş bölümü 3 kat yüksekliğinde olup merkezi rotundaya, konsey dairelerini ve belediye başkanı

yönetim ofisini kapsamaktadır. Podyumun üstünde 10 katlı ofis kulesidir. Ofis kulesinin üstünde iki katlı saat kulesi bulunmaktadır [83].

1989 yılında geçirdiği Loma Prieta depremi sonrası belediye binası ciddi hasar görmüştür [100].

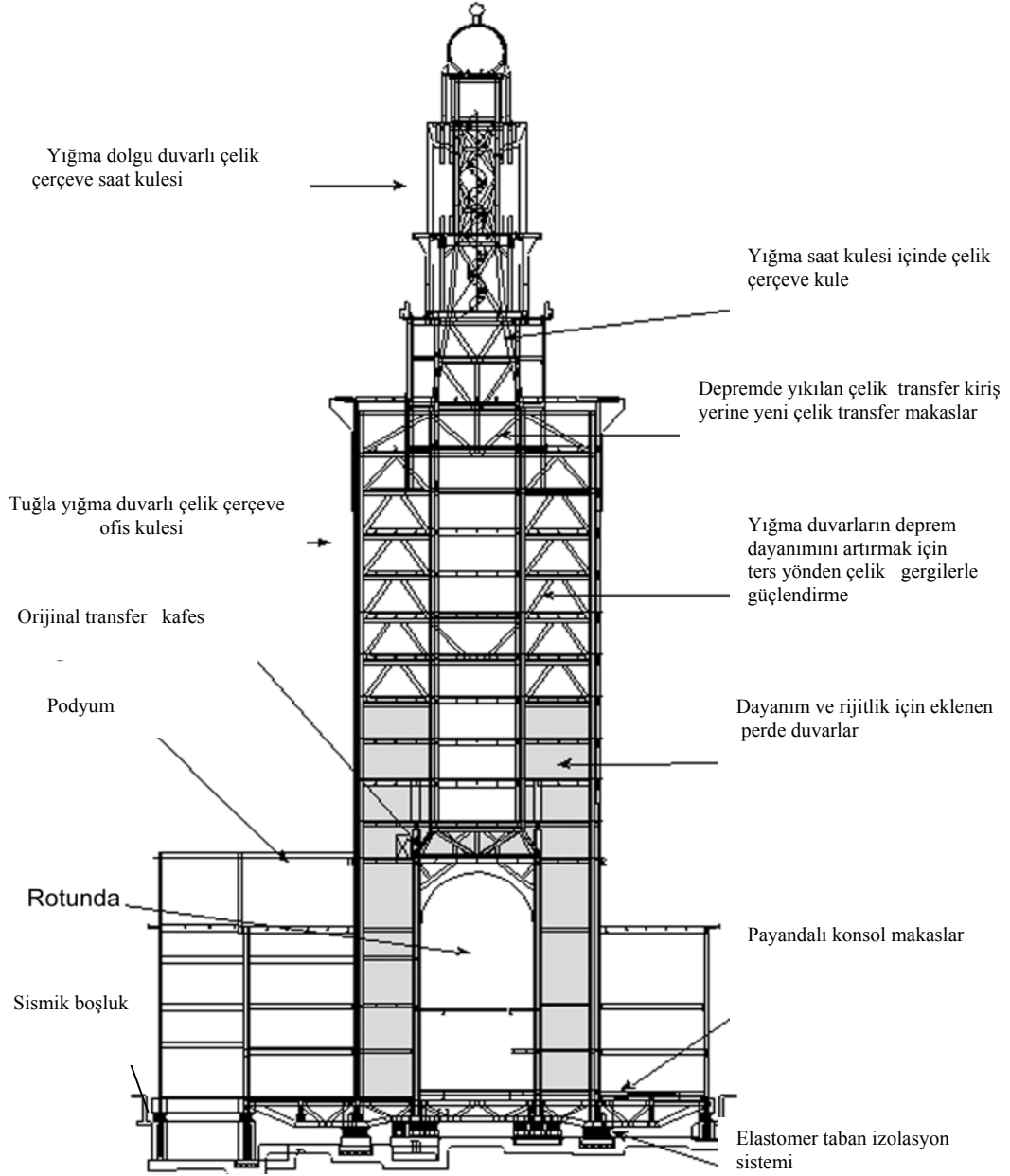
Binanın taşıyıcı sistemi; tuğla, granit ve pişmiş kilden oluşan yığma dolgu duvarlı çelik çerçeveden oluşmaktadır. Binaının temeli betonarme radye temeldir [102].



Resim 4.36. Oakland Belediye Binası

1992'den 1994'e kadar 42 adet kurşun kauçuk ve 69 kauçuk izolatör binanın altındaki kolonlara yerleştirilmiştir. İzolatörlerin çapları 73 cm-99 cm arasında değişmekte ve 48 cm yüksekliğindedir. Ofis kulesinin altındaki kolonlar çok ağır yük taşımak zorunda oldukları için bu kolonların altına 2 ile 4 arasında değişen izolatör

yerleştirilmiştir. Sismik izolatörlerin üzerindeki temel kalınlığı pabuçların çevresi betonlanarak artırılmıştır (Şekil 4.28) [102].



Şekil 4.28. İzolatör yerleştirilmesi [90, 102]

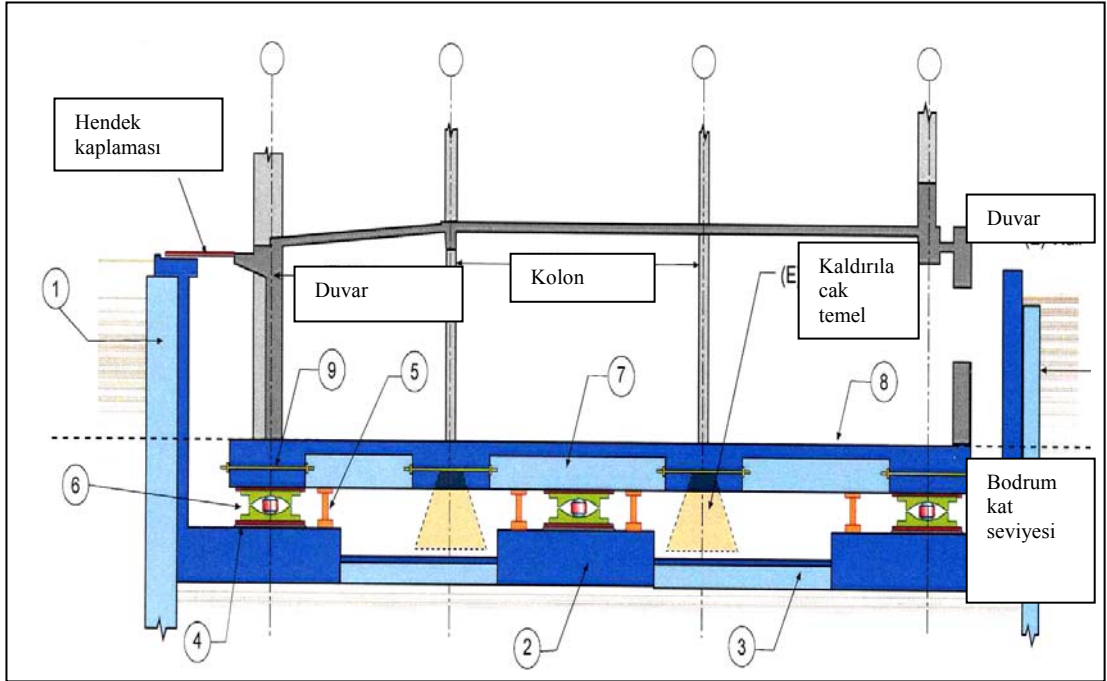
4.7.5. Pasadena belediye binası

1927 yılında inşa edilen Pasadena belediye binası anıtsal bir kamu binasıdır (Resim 4.37). ‘U’ şeklinde olan bina avlu ve çeşmesiyle önemli bir kent simgesidir. Binanın zeminden 61 m yüksekliğinde bir kulesi vardır. Ofislerin bulunduğu iki uzun kanat ve geniş merdiven kuleleri avlunun dört kenarında yerleşmiştir. Üç katlı olan binanın plan ölçüleri 79 m x 106 m’dir. Bina kubbede dahil olmak üzere yerinde dökme betondur. Ancak kubbenin bulunduğu kulenin bazı parçaları çelik çerçevedir [101].



Resim 4.37. Pasadena Belediye Binası

Şekil 4.29’den da görüldüğü üzere izolatörler bodrum seviyesinde kolon ve duvarların altına yerleştirilmiştir. Daha açıklayıcı olması açısından Pasadena Belediye Binası sismik izolatör yerleştirme işlemi Resim 4.38 ile Resim 4.41 arasında gösterilmektedir.



Şekil 4.29. Pasadena Binasının kesidi

1. İksa 2. Yeni temel 3. Bağ kiriş 4. Beton destek 5. Geçici askı
6. Sürtülmeli sarkaç mesnet 7. Betonarme transfer kiriş 8. Betonarme döşeme 9. Kenetleme donatısı



Resim 4.38. Hendek açılması için kazı işlemlerinin başlaması ve I kirişler kullanılarak iksalanan hendek



Resim 4.39. Bodrum kat döşemesinin kaldırılması ve mevcut temellerin kazılarak ortaya çıkarılma işlemi



Resim 4.40. Mevcut temellerin yanlarında yeni betonarme temel ve sismik izolatörlerin yerleştirilmesi ve yeni bodrum kat döşemesinin oluşturulması



Resim 4.41. Kolonların askıya alınıp kesilmesi işlemi

Yeni Zelanda da tarihi binaların güçlendirilmesinde sismik izolasyonun kullanılması 2000'li yıllarda başlanmıştır.

4.7.6. Yeni Zelanda Hükümeti Parlamenter binası

1989 yılında Yeni Zelanda hükümeti Parlamenter kompleksinin üç ana binasından ikisini güçlendirmeye karar vermiştir. Bunlar 1922 yılında inşa edilmiş Parlamenter Binası ve 1898 yılında inşa edilmiş Assembly Kütüphanesidir. Parlamenter binası 5 katlı yığma bir binadır (Resim 4.42). Tasarımda binaya etkiyen yükler ve binanın geometrisi göz önüne alınarak %80 yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ve %20 kurşun kauçuk mesnetin kullanılmasına karar verilmiştir. Bina deprem sırasında yatay yönde 300 mm hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Güçlendirme 1996 yılında tamamlanmıştır. Bu güçlendirme sayesinde bina periyodu 0,45 s'den 2,5 s'ye çıkmıştır [103].

Yeni Zelanda'da taban izolatörleri ile güçlendirilmiş tarihi diğer binalar; Maritime Müzesi ve BNZ binalarıdır [14].



Resim 4.42. Parlamenter Binası

4.8. Sismik Taban İzolasyonunda Yönetmelik Şartları

Ülkemizde henüz sismik izolasyon uygulanmış binalar için geliştirilen mevcut bir standartın olmaması nedeniyle çalışmalar Uniform Building Code-97 [104]'e göre yapılacaktır. UBC-97'nin temel izolasyonu için tasarım koşullarının kısa bir özeti aşağıda verilmektedir.

4.8.1. Sismik tasarım düzeyi

Hesaplanacak tasarım düzeyi, oluşabilecek deprem tehlikesi için iki seviyeli olarak yapılmaktadır [83, 84]. Bunlar;

Temel deprem dizaynı (DBE): 50 yılda bir %10 aşılma olasılıklı ve 475 yılda bir dönüş periyodu olan zemin sarsıntıları düzeyini temsil etmektedir.

Maksimum deprem kapasitesi (MCE): Binanın bulunduğu alanda beklenebilecek en yüksek seviyedeki deprem hareketidir. 100 yılda bir %10 aşılma olasılıklı ve 1000 yılda bir dönüş periyodu olan zemin sarsıntıları düzeyini temsil etmektedir.

Tüm sismik izolasyon tasarımları için statik analiz yapmak zorunludur. Statik analiz sayesinde dizayn deplasmanları ve taban kesme kuvvetleri için minimum koşullar saptanmaktadır. Bu bakımdan statik analiz ön boyutlama ve tasarım öngörüsü için gerekli olmaktadır.

4.8.2. Statik analiz

Statik analiz formülleri, 1-3 sn periyod aralığında sabit hız spektrasına göre hesaplanan yerdeğiştirme ve kuvvetleri kapsamaktadır. UBC-94 ve OSHPD-96'da sabit hız spektrumu, 'Applied Technology Council ATC-3-06'koşulundan belirlenmiş $Z=0,40$, zemin faktörü $S=1$ ve %5 sönüm için $0,60\text{m/s}$ 'dir [83].

$$SD = \frac{S_v}{\omega} = \frac{T}{2\pi} \frac{Z}{4} (0,60) \approx 0,25 Z T \text{ m} \quad (4.25)$$

Spektrum, zemin ve sönüm faktörleri ile diğer sismik bölgeler içinde düzenlenerek gereken tasarım yerdeğiştirmesi D elde edilmektedir.

Aşağıda belirtilen yerdeğiştirmenin üç düzeyi de hesaplanmalıdır [83].

- D tasarım yerdeğiştirmesi olarak adlandırılan, DBE düzeyinde rijitlik merkezindeki yerdeğiştirme
- D_T , toplam tasarım yerdeğiştirmesi olarak adlandırılan D yerdeğiştirmesi yönündeki burulma yerdeğiştirmesi bileşenlerini de içeren, binanın köşesindeki bir mesnetin yerdeğiştirmesi
- D_{TM} , toplam maksimum yerdeğiştirmesi olarak adlandırılan, MCE düzeyinde hesaplanan toplam tasarım yerdeğiştirmesi hesabını da zorunlu kılmaktadır.

Tasarım yerdeğiştirmesi D, UBC 94 ve OSHPD-96 ‘da tüm tasarım sürecinin başlangıcıdır ve dinamik analiz gereksin veya gerekmesin hesaplanmalıdır.

Tasarım yerdeğiştirmesi D, üstyapıdaki deformasyonların ihmal edilebilirliğı yaklaşımına dayanmaktadır ve aşağıdaki formülden hesaplanabilmektedir [83].

$$D = \frac{0.25ZNS_1T_1}{B} \text{ m} \quad (4.26)$$

Burada; Z, sismik bölge faktörünü, N aktif fay yakınlık faktörünü, S_1 zemin katsayısını, T_1 saniye cinsinden efektif periyotu, B ise sönüm katsayısını ifade etmektedir.

Konsept aynı olmasına rağmen, UBC- 97 formülasyonu daha karışıktır. Yönetmeliğe birçok yeni terim eklenmiştir. Örneğin, şimdi hesaplanacak 6 farklı yerdeğiştirme vardır. Zemin profil çeşidi sayısı, çok sert kaya, kaya ve yumuşak kaya olmak üzere 6 ya çıkmıştır.

Şu anda bütün izolasyon projelerinde dinamik analizler kullanılmasına rağmen, statik analizce belirtilen minimum düzeylerin bilinmesi açısından hala statik analiz gerekmektedir.

UBC 97'e göre DBE ve MCE düzeyine göre izolasyon sisteminin rijitlik merkezinden hesaplanan sırasıyla D_D ve D_M yerdeğiştirmeleridir. Bunlar aşağıda belirtilen formüller kullanılarak bulunmaktadır [83, 84].

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \text{ mm} \quad (4.27)$$

$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \text{ mm} \quad (4.28)$$

Burada; g yerçekimi ivmesi, C_{VD} ve C_{VM} sismik katsayılar, T_D ve T_M izolasyon periyotları, B_D ve B_M sönüm katsayılarıdır.

Sismik bölge faktörü

UBC 97 bölgelerin sismik aktivitesine göre ABD ve ABD dışındaki yerleri 5 tip sismik bölgeye ayırmıştır. UBC 97'de İstanbul'un sismik bölgesi 4 olarak verilmiştir [104]. Sismik bölge faktörünün değeri Z , Çizelge 4.1'den de görülebileceğı gibi, bölgenin sismik aktivitesi yükseldikçe artan bir katsayıdır. Bu faktör 1. bölge için 0,075 ile 4. bölge için 0,4 arasında değerler almaktadır. (UBC -97'de Tablo 16-I).

Çizelge 4.1. UBC-97 sismik bölge faktörleri [83]

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

Zemin profil tipi

Bu faktör, zeminin üst 30,5 m'sinde ortalama kayma dalgasının hızına göre belirlenmektedir (UBC-97, TABLO 16-J) [104]. Bu hız yumuşak zeminlerde (S_E) 180 m/s'den küçük, sert kaya zeminlerde (S_A) ise 1500 m/s'den fazla olmaktadır

(Çizelge 4.2). Örneğin S_F tipi zeminler özel arazi etütleri gerektirmektedir, ortalama kayma hızına göre değerlendirilmemektedir. Bu tip zeminler genel olarak sıvılaşmaya eğilimli zeminlerdir [83, 104].

Çizelge 4.2. UBC 97 zemin tipleri

Zemin Profil tipi	Zemin Profil tanımı	Zemin yüzeyinden 30,5 m içindeki tabakanın ortalama zemin özellikleri		
		Kayma Dalgası Hızı v_s (m/s)	Standart Penetrasyon Test, N (Darbe/30 cm)	Drenajsız Kesme Direnci, S_u (kPa)
S_A	Sert Kaya	>1500	-	
S_B	Kaya	760-1500	-	
S_C	Sıkı Toprak ve Yumuşak kaya	360-760	>50	>100
S_D	Sert Toprak	180-360	15-50	50-100
S_E	Yumuşak toprak	<180	<15	<50
S_F	Yerel zemin sınıfına bağlı değerlendirme gerektirir. Sıvılaşma tehlikesi bulunan zayıf zeminleri temsil eder.			

Sismik fay tipleri

Taşıdıkları risklere göre üç kategoriye ayrılmaktadır (Çizelge 4.3). A tipi faylar yüksek sismik aktiviteli, büyük magnetütlü ($M \geq 7$) depremler üretebilme riskine sahip ve sismik aktivitenin yüksek oranda (yıllık ortalama sismik yırtılmanın ($SR \geq 5$ mm yada daha fazla) olduğu faylar, C tipi faylar orta magnetütlü depremler oluşturabilecek ($M < 6.5$), düşük sismik aktiviteli ($SR < 2$ mm) fayları temsil etmektedir [83, 104]. A ve C tipine uymayan fay tipleri ise B tipine girmektedir.

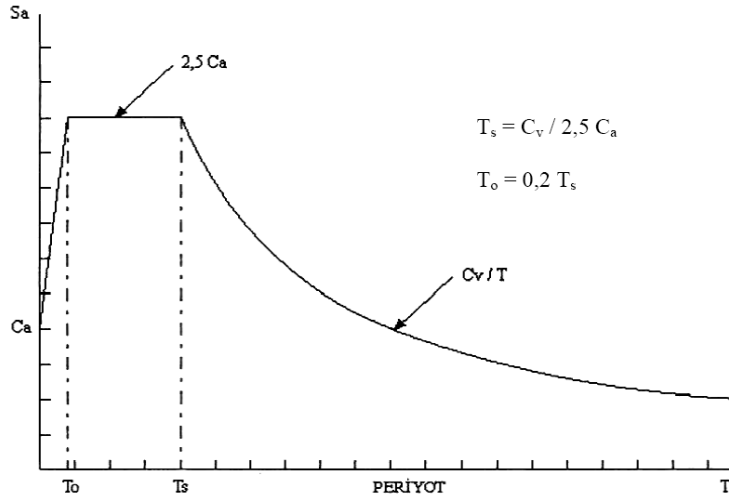
Çizelge 4.3. UBC 97 kaynak tipleri

Sismik Kaynak Tipi	Açıklama	Sismik Kaynak Tanımlaması	
		Maksimum Deprem Şiddeti(M)	Kayma oranı (SR) (mm/yıl)
A	Çok şiddetli deprem üretebilen ve yüksek oranda sismik aktivite içeren faylar	$M \geq 7$	$SR \geq 5$
B	A ve C tipi dışındaki tüm faylar	$7 > M \geq 6.5$	$2 < SR < 5$ $SR < 2$
C	Çok şiddetli deprem üretemeyen ve göreceli olarak düşük sismik aktivite içeren faylar	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

Yakın kaynak faktörleri

Yakın kaynak etkisi ile zemin hareketinin büyütülmesi için iki faktör kullanılmaktadır. Bunlardan N_a , tepki spektrasının (Şekil 4.30) sabit ivmeli kısmına karşılık gelen kısa periyot aralığında uygulanır. İkinci faktör N_v , tepki spektrumunun sabit hızlı kısmına karşılık gelen orta periyotlu kısmı için uygulanır ki, sismik izolasyon uygulamalarında öncelikli olarak kullanılan kaynak yakınlık faktörüdür.

Yakın kaynak faktörleri, en yakın fay hattının mesafesi ile sismik fay tipinin fonksiyonlarıdır.



Şekil 4.30. UBC 97 spektrum eğrisi [104]

UBC 97, aktif faya olan uzaklığı, uygulanacak yapı ile fayın düşeydeki izdüşümü arasındaki en yakın uzaklık olarak tanımlar (Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5). 10 km'nin daha derinindeki kırıklar için kaynak yakınlığı faktörü etkisi ihmal edilir.

Çizelge 4.4. Aktif fay yakınlık faktörü (N_a)

Sismik kaynak tipi	N_a		
	$\leq 2\text{km}$	5km	$\geq 10\text{km}$
A	1,5	1,2	1,0
B	1,3	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0

Çizelge 4.5. Aktif fay yakınlık faktörü (N_v)

Sismik kaynak tipi	N_v			
	$\leq 2\text{km}$	5km	10km	$\geq 15\text{km}$
A	2,0	1,6	1,2	1,0
B	1,6	1,2	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

MCE tepki katsayısı

MCE tepki katsayısı M_M temel deprem dizaynı sarsıntı karakteristiklerinden kaynaklanan MCE tepkisini tahmin etmek için kullanılır. M_M , ZN_V 'nin fonksiyonu olup $ZN_V=0,075$ için 2,67'den $ZN_V \geq 0,50$ için 1,20'ye değişir (Çizelge 4.6)

Çizelge 4.6. MCE Tepki Katsayısı M_M [83]

DBE Deprem Şiddeti (ZN_V)	MCE Tepki Katsayısı(M_M)
0,075	2,67
0,15	2,00
0,20	1,75
0,30	1,50
0,40	1,25
$\geq 0,50$	1,20

Spektral deprem katsayıları

Bu katsayılar tasarımda kullanılacak minimum spektral ordinatları tanımlamak için kullanılır. C_{VD} , C_{AD} terimleri DBE spektrum düzeyinin sabit hız ve sabit ivme bölgelerine karşılık gelmektedir. C_{VM} ve C_{AM} aynı fonksiyonları MCE spektrumu için de yapar. Aslında sismik izolasyonlu yapılar için tanımlanan C_{VD} ve C_{AD} katsayıları ankastre yapılar için tanımlanan C_V ve C_A katsayıları ile aynıdır.

C_{VD} ve C_{AD} sismik bölge faktörü ve zemin profil tipinin fonksiyonu olarak Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmektedir. Bu değerler görüldüğü üzere N_v ve N_a 'nın uygun değerleriyle çarpılmasıyla bulunmaktadır.

Çizelge 4.7. Sismik Katsayı C_{VD} [83]

Zemin Tipi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
S _A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32N _v
S _B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40N _v
S _C	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56N _v
S _D	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64N _v
S _E	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96N _v
S _F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analizler sonucunda karar verilir.				

Çizelge 4.8. Sismik Katsayı C_{AD} [83]

Zemin Tipi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
S _A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32N _a
S _B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40N _a
S _C	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40N _a
S _D	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44N _a
S _E	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36N _a
S _F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analizler sonucunda karar verilir.				

C_{VM} ve C_{AM} için benzer bilgi Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Sismik Katsayı C_{AM} [83]

Zemin Tipi	MCE Sarsıntı Şiddeti ($M_M Z N_a$)				
	$M_M Z N_a=0,075$	$M_M Z N_a=0,15$	$M_M Z N_a=0,20$	$M_M Z N_a=0,30$	$M_M Z N_a \geq 0,40$
S _A	0,06	0,12	0,16	0,24	0.8 $M_M Z N_a$
S _B	0,08	0,15	0,20	0,30	1.0 $M_M Z N_a$
S _C	0,09	0,18	0,24	0,33	1.0 $M_M Z N_a$
S _D	0,12	0,22	0,28	0,36	1.1 $M_M Z N_a$
S _E	0,19	0,30	0,34	0,36	0.9 $M_M Z N_a$
S _F	Yapı bölgesinde yerel zemin incelemesi gereklidir.				

Çizelge 4.10. Sismik Katsayı C_{VM} [83]

Zemin Tipi	MCE Sarsıntı Şiddeti ($M_M ZN_v$)				
	$M_M ZN_v=0,075$	$M_M ZN_v=0,15$	$M_M ZN_v=0,20$	$M_M ZN_v=0,30$	$M_M ZN_v \geq 0,40$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,8 M_M ZN_a$
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_a$
S_C	0,13	0,25	0,32	0,45	$1,4 M_M ZN_a$
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	$1,6 M_M ZN_a$
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	$2,4 M_M ZN_a$
S_F	Yapı bölgesinde yerel zemin incelemesi gereklidir.				

Sönüm katsayıları

Sistemdeki efektif sönüm (β_{eff}), DBE tepki düzeyi için β_D ve MCE tepki düzeyi için β_M olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır. Sönüm katsayıları B_D ve B_M , β_D ve β_M efektif sönüm oranlarına bağlı olarak Çizelge 4.11’den alınabilir.

Çizelge 4.11.Sönüm katsayıları

Efektif Sönüm Oranı (β_D ve β_M)	Sönüm Katsayıları(B_D, B_M)
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

Tablo değerlerine oldukça yakın bir yaklaşım şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{B_D} = 0,25(1 - \ln \beta_{eff}) \quad (4.29)$$

Efektif sistem titreşim periyotları

T_D ve T_M , DBE ve MCE tepkilerinin karşılığı olarak aşağıda verilmiştir.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D_{\min}} g}} \quad (4.30)$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{M_{\min}} g}} \quad (4.31)$$

Burada, W yapının ağırlığı, g yerçekimi ivmesidir.

$$K_{D,\text{eff}}: (F_D^+ - F_D^-)/(D_D^+ - D_D^-) \quad (4.32)$$

$$K_{M,\text{eff}}: (F_M^+ - F_M^-)/(D_M^+ - D_M^-) \quad (4.33)$$

$K_{D,\min}$: Test sonucu hesaplanan D_D yerdeğiştirmesindeki, $K_{D,\text{eff}}$ değerinin minimumu

$K_{D,\text{mak}}$: Test sonucu hesaplanan D_D yerdeğiştirmesindeki, $K_{D,\text{eff}}$ değerinin maksimumu,

$K_{M,\min}$: Test sonucu hesaplanan D_M yerdeğiştirmesindeki, $K_{M,\text{eff}}$ değerinin minimumu

$K_{M,\text{mak}}$: Test sonucu hesaplanan D_M yerdeğiştirmesindeki, $K_{M,\text{eff}}$ değerinin maksimumu

$K_{D,\min}$, $K_{D,\text{mak}}$, $K_{M,\min}$, $K_{M,\text{mak}}$ değerleri ön boyutlama aşamasında bilinmezler.

K_{eff} için test ve malzeme özellikleri kullanılarak bir değer atanır ve öntasarıma başlanır. Ön boyutlama tamamlandıktan sonra prototipler üretilir ve test edilir. Prototiplere uygulanan bu testlerin sonucu olarak $K_{D,\min}$, $K_{D,\text{mak}}$, $K_{M,\min}$, $K_{M,\text{mak}}$ değerleri bulunur. F_D^+ , F_D^- , D_D^+ , D_D^- , F_M^+ , F_M^- , D_M^+ , D_M^- terimleri, sistemin mekanik karakteristiklerini belirleyen, prototip mesnetlerdeki DBE ve MCE tepki düzeylerine karşılık gelen maksimum ve minimum kuvvet ve yerdeğiştirmelerdir. Dinamik analiz için statik analizin bu sonuçları minimum değerleri oluşturmaktadır [83].

Toplam tasarım yerdeğiştirmeleri

Burulma etkilerini de içeren toplam tasarım yerdeğiştirme ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$D_{TD} = D_D [1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2}] \quad (4.34)$$

$$D_{TM} = D_M [1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2}] \quad (4.35)$$

Burada e dışmerkezlikle, %5 ek dış merkezliğin toplamı, y deprem doğrultusuna dik kenar uzaklığıdır. d binanın deprem yönüne dik olan boyutu, b ise binanın deprem yönündeki boyutudur. Bu formül $K_{eff}D$ yatay deprem yükünün rijitlik merkezinden e mesafedeki kütle merkezine etkilediği düşünölmektedir (şekil 4.31). Boyutları bxd olan ve izolatörlerin düzgün yerleştirildiği dikdörtgen bir planda burulma rijitliği ve dönme aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [83].

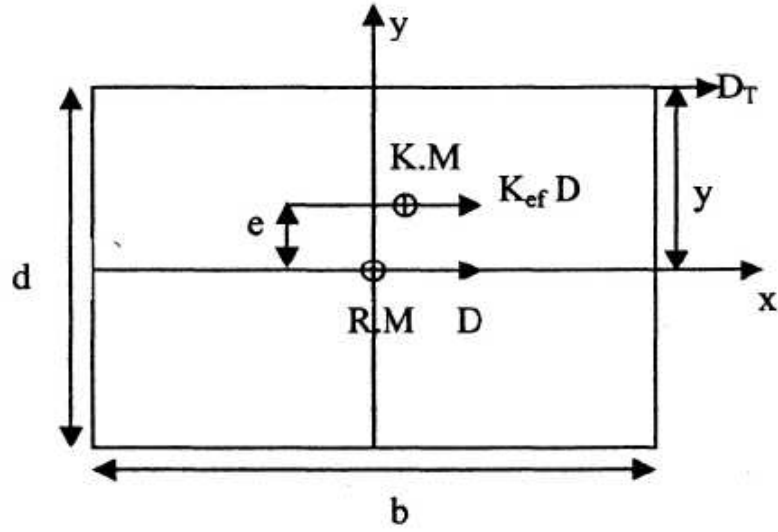
$$K_{burulma} = K_{eff} (b^2 + d^2) / 12 \quad (4.36)$$

$$\theta = \frac{K_{eff} D_e}{K_{eff} [(b^2 + d^2) / 12]} = \frac{12 D_e}{b^2 + d^2} \quad (4.37)$$

Dönme etkisiyle oluşan ek yerdeğiştirme,

$$[12 D_e / (b^2 + d^2)] y \quad (4.38)$$

Yukarıdaki toplam yerdeğiştirme eşitliklerinde yer alan terimdir. Eğer sistemin gerçek burulma rijitliği hesaplanırsa ek yerdeğiştirme Eş. 4.34 ve Eş. 4.35 nolu formüllerle verilen değerlerden küçük kalırsa, bu hesaplanan değer kullanılabilir; fakat bu değer 1,1 D_D ve 1,1 D_M 'den küçük olamaz. Toplam maksimum yerdeğiştirme D_{TM} , izolasyon sisteminin stabilitesini belirlemek için gereklidir.



Şekil 4.31. Dışmerkezliği dikkate alan toplam yerdeğiştirme hesabı için plan boyutları [104]

Tasarım kuvvetleri

İzolasyon sisteminin altında kalan elemanların tasarımında kullanılacak olan kuvvetler, D yerdeğiştirmesine bağlı olarak aşağıda verilmiştir [84].

$$V_b = K_d, \text{mak} D_D \quad (4.39)$$

İzolasyon sisteminin üstünde bulunan elemanların tasarımında kullanılacak, tasarım kuvvetleri de aşağıda belirtilmektedir.

$$V_s = K_d, \text{mak} D_D / R_I \quad (4.40)$$

Burada ki R_I süneklik faktörüdür ve aşağıdaki tabloda ankastre mesnetli yapılarındaki ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Karşılaştırmalı süneklik katsayısı tablosu

Taşıyıcı Sistem	R_i	R
Moment aktaran çerçeve	2,0	8,5
Perde duvar	2,0	5,5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1,6	5,6
Dışmerkez çaprazlı çerçeve	2,0	7,0

Yatay deprem yüklerinin katlara dağılımı

Deprem yüklerinin yapı yüksekliğince katlara dağılımı aşağıdaki gibidir [84].

$$F_x = V_s \frac{h_x w_x}{\sum w_i h_i} \quad (4.41)$$

Burada;

F_x : x katındaki yatay kuvvet

V_s : İzolasyon sistemi üstündeki elemanların tasarımında kullanılacak olan taban kesme kuvveti

w_x ve w_i : x. ve i. katın ağırlıkları

h_x ve h_i : İzolasyon seviyesinden itibaren ölçülen kat yükseklikleridir.

4.8.3.Dinamik analiz

Yönetmelik zemin koşullarına bağlı olarak;

- İzole edilecek yapı aktif fay hattına en fazla 10 km uzakta ise
- Yapının maksimum olabilecek deprem yükü altında periyodu 3 sn'den büyükse
- Yapı yumuşak zemin üzerindeyse

spektral analizi şart koşmaktadır [104].

Ayrıca tepki spektrum analizi; bina 4 kattan fazla veya 19,8 m'den yüksek ise, üstyapı yatayda veya düşeyde düzensiz ise, temel deprem yükü altında yapının periyodu, elastik ankastre tabanlı yapının periyodundan üç kat küçük ise zorunludur [84]. Zaman tanım alanında analiz davranış spektrum analizi gerektiren durumlar için zorunludur.

Dinamik analiz sonucunda bulunan değerler eşdeğer statik yöntemle göre bulunan tasarım kuvvetlerinin ve tasarım yerdeğiştirmelerinin altında kalabilir. Bu durumda yönetmelik tasarım değerlerini şu şekilde sınırlandırmaktadır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Yönetmelik minimum değerleri [83]

Parametre	Statik Analiz	Tepki Spektrumu Analizi	Zaman Tanım Alanında Analiz
D_{TD}	$D_{TD} > 1,10 D_D$	$0,90 D_{TD}$	$0,90 D_{TD}$
D_{TM}	$D_{TM} > 1,10 D_M$	$0,80 D_{TM}$	$0,80 D_{TM}$
V_b	$V_b = KD \max D_D / R_I$	$> 0,90 V_b$	$> 0,90 V_b$
V_s (düzenli yapı)	$V_s = KD \max D_D / R_I$	$> 0,80 V_s$	$> 0,60 V_s$
V_s (düzensiz yapı)	$V_s = KD \max D_D / R_I$	$> 1,0 V_s$	$> 0,80 V_s$
Görelî Yerdeğiştirme	$0,010 / R_I$	$0,015 / R_I$	$0,020 / R_I$

4.8.4. UBC-97 [104] statik analiz şartları kullanılarak taban izolasyon tasarımı

Öntasarım adımları [83]

1. Sismik bölge faktörü (Z): Sismik bölge faktörü, UBC-97'den Şekil 16-2 den belirlenir ve buna karşı gelen sismik bölge faktörü UBC-97 Tablo 16-1'den alınır.
2. Zemin profil tipi kategorisi: UBC-97, tablo 16-J'den seçilir.
3. Sismik fay tipi: UBC-97, tablo 16-U'dan seçilir.
4. Yakın kaynak faktörleri (N_a ve N_v): Belirlenen sismik fay tiplerine göre UBC-97, tablo 16-S ve 16-T'den bulunur.

5. Maksimum deprem tepkisi katsayısı (M_M): Z ve N_v değerleri çarpılarak elde edilen ZN_v değerine göre UBC-97 Tablo A-16-D'den elde edilir.
6. Sismik katsayılar (C_{VD} ve C_{AD}): Sismik bölge faktörü ve zemin profil tipine bağlı olarak UBC-97 tablo 16-R ve tablo 16-Q'dan elde edilir.
7. Sismik katsayılar (C_{VM} ve C_{AM}): $M_M ZN_v$ çarpımı kullanılarak kullanılarak C_{VM} UBC-97 Tablo A-16-G'den; $M_M ZN_A$ kullanılarak C_{AM} UBC-97 Tablo A-16-F'den hesaplanır.
8. Strüktür sistem azaltma faktörü (R_I): UBC-97 Tablo A-16-E kullanılarak izolasyon seviyesinin üzerindeki taşıyıcı sisteminin tipine göre azaltma faktörü belirlenir.
9. İzolasyon mesnet tiplerinin ve sönüm katsayılarının seçimi (B_D ve B_M): İzolatör tipi (yüksek sönümlü kauçuk, kurşun-kauçuk, kayıcı mesnet) seçilerek bu izolasyon tipine bağlı olarak yaklaşık sönüm değerlerine göre UBC -97 Tablo A-16-C kullanılarak ilgili sönüm katsayıları bulunur. (B_D ve B_M için aynı değerler atanır.)
10. İstenen izolasyon sistemi periyodu (T_D): Tasarım yerdeğiştirmesinde izolasyon sistemi hakim periyodu için n bir değer atanır. Genel olarak taban izolasyonlu sistemler için bu değer 2-3 s alınmaktadır. Sürtünmeli sarkaç izolatörler için ise eğrilik yarıçapları R ile tayin edilmektedir.
11. İzolasyon sistemi efektif rijitliği (K_{eff}): Seçilen izolasyon periyoduna göre efektif rijitlik belirlenir.
12. Minimum tasarım yerdeğiştirmesi (D_D): Minimum tasarım yerdeğiştirmesinin ilk değeri Eş. 4.27'de ki ifadeyle hesaplanır. Eğer bu değer sistem için izin verilen değerden fazla ise onuncu adıma geri dönülüp sistemi daha rijit (periyodu küçük) hale getirmek gerekir.
13. Minimum tasarım yatay kuvvetleri (V_b , V_s): Eş. 4.39 ve Eş. 4.40 kullanılarak izolasyon düzleminde ve aşağısındaki yapılar için V_b , izolasyon düzleminin altında kalan elemanlar için de V_s minimum taban kesme değerleri hesaplanır.
14. Üstyapı elemanları için ntasarım: Hesaplanan V_s , Eş. 4.41 kullanılarak her bir kata dağıtılır.

15. İzolasyon sisteminin tasarımı ve plan üzerindeki yerleşimlerinin planlanması: Hesaplanan yerdeğiştirme, rijitlik, kuvvet ve sönüm özellikleri kullanılarak düşey yüklere, yatay yüklere ve yerdeğiştirmelere karşı koyabilecek izolatörler tasarlanır. Her bir izolatöre ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri izolatör üreticilerinden sağlanabilir. Bu eğriler üretici firmaların uyguladığı testler sonucunda elde edilmiştir.

Kesin tasarım [83]

16. İzole edilmiş yapının matematik modelinin oluşturulması: UBC-97 Bölüm 1659-5 şartları doğrultusunda, üreticiden sağlanacak kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisine bağlı olarak yapının ankastre mesnetli ve izolasyonlu matematik modelleri oluşturulur. Bu modelleme SAP 2000 ve ETABS bilgisayar programlarında yapılabilir.
17. Tasarım spektrumu yaklaşımı: Tasarım spektrumu ve ilgili parametreler kullanılarak yapılmaktadır.
18. Tasarım yerdeğiştirmesi ve izolasyon periyodunun kesinleşmesi: Bilgisayar programı kullanılarak üç boyutlu analizler yapıldıktan sonra yerdeğiştirme ve sistem periyodu belirlenmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta, hesaplanan yerdeğiştirmenin öntasarım değerleriyle aynı olmamasıdır. Öntasarımda alınan değerlerin minimum değerler olduğu unutulmamalıdır.
19. Efektif rijitliğin kesinleşmesi: Bilgisayar analizleri sonucunda çok farklı pozitif ve negatif tepki değerleri veren durumlar dışında aşağıda belirtilen ifadeler kullanılarak hesaplanmaktadır [83].

$$K_{D,mak} = K_{D,min} = \frac{DBETabanKesmeKuvveti}{D_D} \quad (4.42)$$

$$K_{M,mak} = K_{M,min} = \frac{MCETabanKesmeKuvveti}{D_M} \quad (4.43)$$

20. Modelleme sonucu elde edilen periyodun değerlendirilmesi: Matematik modelleme sonucu elde edilen periyod değeri minimum değerler kullanılarak elde edilen periyodla karşılaştırılır.
21. Modelleme sonucu elde edilen sönüm seviyesinin değerlendirilmesi: Modelleme sonucu elde edilen sönüm değeriyle, öntasarım sırasında alınan sönüm değeri karşılaştırılır.
22. Tasarım yerdeğiştirmeleri ve tasarım kuvvetlerinin yönetmelik minimum değerleriyle karşılaştırılması: Hesaplanan yerdeğiştirme değeri yönetmelik minimum koşullarına uymuyorsa, kuvvet ve deformasyonlar yönetmelik minimum değerine çıkarılmalıdır.

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

5.1. Genel Tanımlama

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Bu yöntemde yapı, sonlu boyutta çok sayıda elemana bölünerek analizler yapılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar daha sonra düğüm noktası adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. İncelenen probleme bağlı olarak binlerce denklem takımı elde edilebilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımı zorunlu kılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla çoğu mühendislik problemlerinin çözümünde karşılaşılan çözüm bölgesinin düzensiz geometriye sahip olması, karışık ve süreksiz sınır koşullarının varlığı, yüklemenin düzgün olmaması, süreksiz ve tekil yüklerin varlığı, malzemenin heterojen (beton gibi) olması, anizotrop (ahşap gibi) olması gibi problemler kolaylıkla çözülebilir. Sonlu elemanlar yöntemi lineer ve lineer olmayan sistemlere, statik ve dinamik problemlere uygulanabilir. Yukarıda sayılan önemli üstünlükler yanında yöntemin genellikle kapasiteli bilgisayarlara ve özellikle amaca yönelik ya da genel bilgisayar programlarına gereksinimi olduğu unutulmamalıdır. Zaten sonlu elemanlar yönteminin gelişmesi ve yaygın olarak kullanılabilmesi, teorisi eski olsa bile ancak bilgisayar kapasitelerinin artması ile mümkün olmuştur.

Sonlu elemanlar yönteminde, çözümü aranan sistem bir ağ ile idealleştirilir. Bu ağı belirleyen çizgiler arasında kalan iki veya üç boyutlu sonlu büyüklükteki elemanlara sonlu eleman denir. Elemanların birbirlerine sınırları üzerinde yerleşmiş olan düğüm noktaları ile bağlı oldukları varsayılır. Her bir eleman için gerekli eleman denklemleri elde edildikten sonra bu eleman problemin tanım bölgesini tamamlayacak şekilde birleştirilir. Böylece problemin bütünü ile ilgili denklem sistemleri elde edilir. Bu geçişte kullanılan ve temel değişkenin belirli düğüm noktalarındaki noktasal değerlerini bu düğüm noktaları ile tanımlanan bölge içindeki sürekli bir değişime çeviren ve bu bölge içinde tanımlanmış olan yardımcı

fonksiyonlara şekil fonksiyonu adı verilmektedir. Dolayısı ile sonsuz sayıdaki sonsuz küçük elemanların bir bütünü olarak düşünülebilecek sürekli ortam sonlu sayıda ve sonlu büyüklükteki elemanların oluşturduğu yarı sürekli bir ortam şekline dönüşür. Sonlu elemanlara ayrılmış problemin tanım bölgesi sonlu eleman ağı olarak tanımlanır [6].

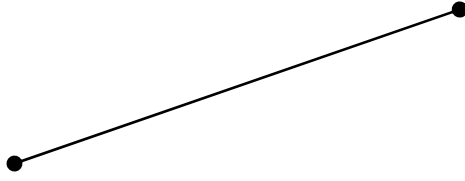
Sonlu eleman analizinde izlenen yol aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çözüm aranan bölgenin sonlu elemanlara bölünmesi.
2. Şekil fonksiyonlarının seçilmesi.
3. Eleman rijitlik matrisinin oluşturulması.
4. Eleman denklemlerinin bir araya getirilip sistem rijitlik matrisinin belirlenmesi $[K]$ ve sınır koşullarının uygulanması.
5. Tüm sistemin çözülerek bilinmeyenlerin elde edilmesi.
6. Tasarım veya kontrol amacına yönelik olarak diğer büyüklüklerin düğüm nokta bilinmeyenlerinden hareketle hesabı.

5.2. Sonlu Eleman Çeşitleri

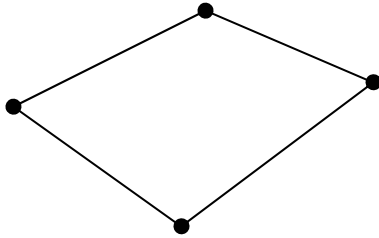
Sonlu elemanlar yönteminin esası çözüm aranan yapıyı, bölgeyi veya cismi çok sayıda küçük sonlu elemanlara bölmektir. Bir, iki veya üç boyutlu olabilen bu elemanlar düğüm ya da düğüm noktası adı verilen noktalarda birbirlerine bağlanmaktadır. Doğru eleman tipini seçmek, analiz işleminin çok önemli bir parçasıdır. Çözümü istenen cismin geometrisi, analizin tipi (dinamik analiz, ısı transferi, nonlineer analiz vb) ve sınırları eleman tipinin seçimini belirler. Aşağıdaki kullanılabilecek sonlu eleman türleri genel olarak verilmektedir [105].

Bir boyutlu (1-D) çubuk eleman: Yay, kafes, kiriş, boru, vb gibi elemanlar bir boyutlu çubuk elemanlardır (Şekil 5.1).



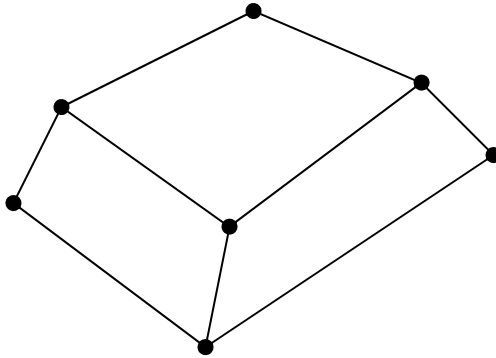
Şekil 5.1. Bir boyutlu çubuk eleman

İki boyutlu (2-D) düzlem eleman: Membran, plak, kabuk, vb gibi elemanlar iki boyutlu düzlem elemanlardır (Şekil 5.2).



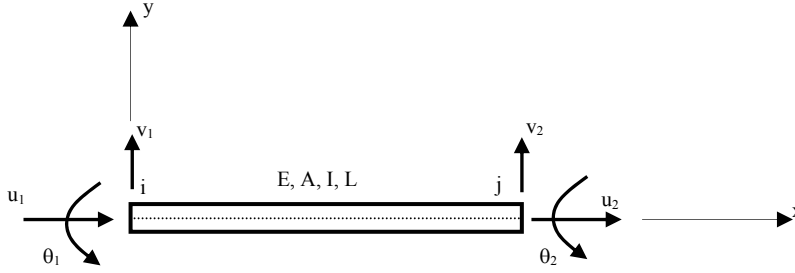
Şekil 5.2. İki boyutlu düzlem eleman

Üç boyutlu (3-D) katı eleman: Asimetrik yüklü zeminler, kütle betonları, vb gibi elemanlar üç boyutlu katı elemanlardır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Üç boyutlu katı eleman

2D problemler için kiriş eleman: Şekil 5.4'te verilen çubuk elemanın serbestlik dereceleri aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Bir boyutlu çubuk eleman

L : Çubuk uzunluğu

I : Kesit atalet momenti

E : Elastisite modülü

A : Kesit alanı

u, v, θ : i ve j düğüm noktalarındaki serbestlik dereceleri

2D problemler için düzlem elemanlar:

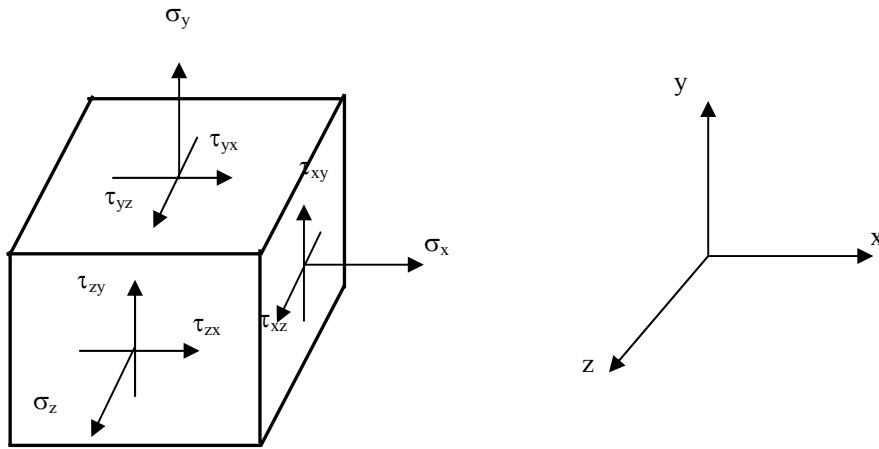
Bir elemandaki gerilme ve şekildeğiştirmeler için genellikle 6 bileşen söz konusudur:

Gerilmeler için Şekil 5.5'ten de görülebileceği gibi

$$\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad (5.1)$$

Şekildeğiştirmeler için,

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (5.2)$$



Şekil 5.5. Üç boyutlu bir elemanın gerilmeleri

Belirli şartlarda gerilme ve şekildeğiştirme durumu basitleştirilebilir. Bu durumda 3D bir analiz, 2D analize indirgenebilir.

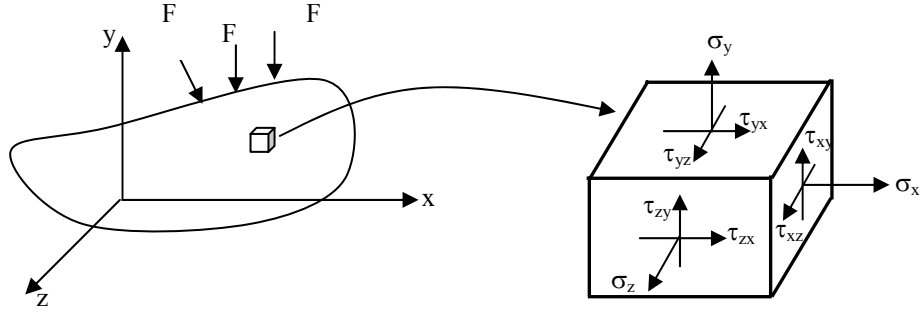
Düzlem gerilme durumunda:

$$\sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad (\varepsilon_z \neq 0) \quad (5.3)$$

Düzlem şekildeğiştirme durumunda:

$$\varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0 \quad (\sigma_z \neq 0) \quad (5.4)$$

3D problemler için katı eleman Şekil 5.6'da görülmektedir.

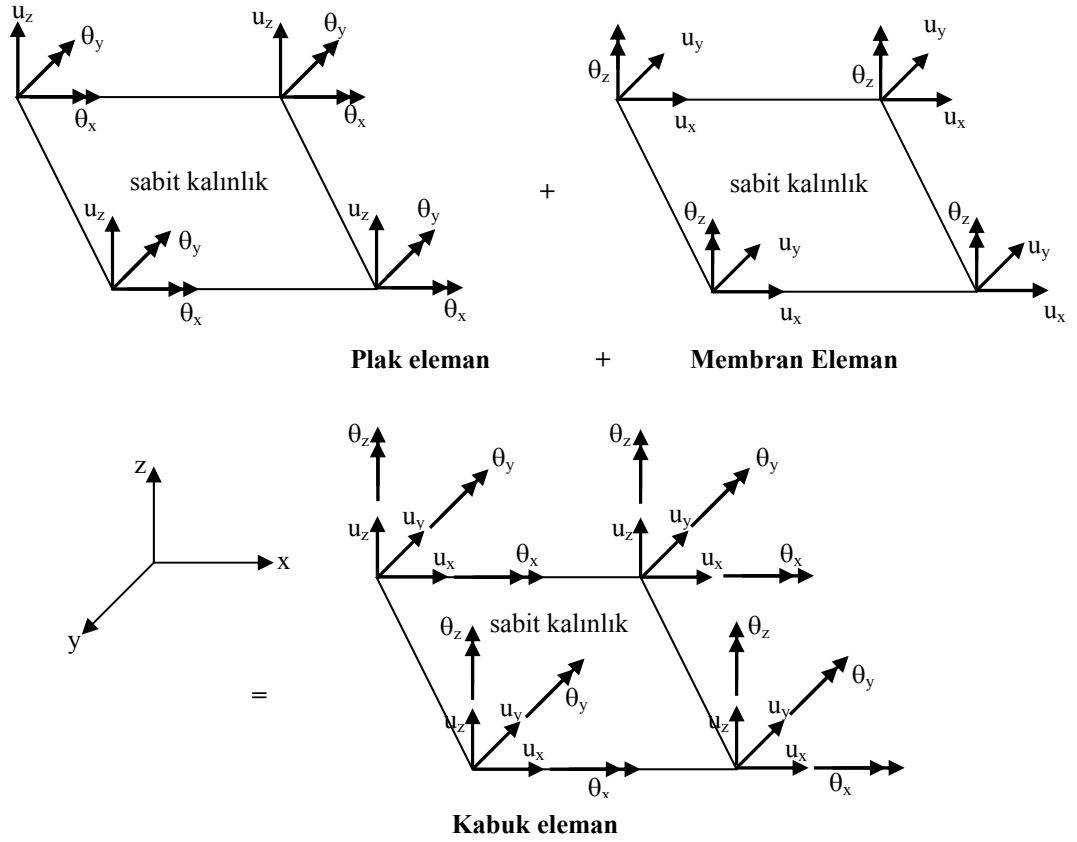


Şekil 5.6. Üç boyutlu problemler için katı eleman

Bu tez çalışmasında dikkate alınan düzensiz bina sistemi ve tarihi Şehzade Mehmet Camii için SAP2000 [106] bilgisayar programı ile sonlu eleman modeli oluşturulurken, çubuk eleman (frame), kabuk eleman (shell) ve katı (solid) eleman kullanılmıştır.

İki boyutu üçüncü boyutunun yanında küçük olan çubuk elemanlar SAP 2000’de çubuk (frame) eleman türü ile tanımlanmıştır. Bu bakımdan, düzensiz bina sistemine ait kolon ve kirişler çubuk (frame) eleman ile modellenmiştir.

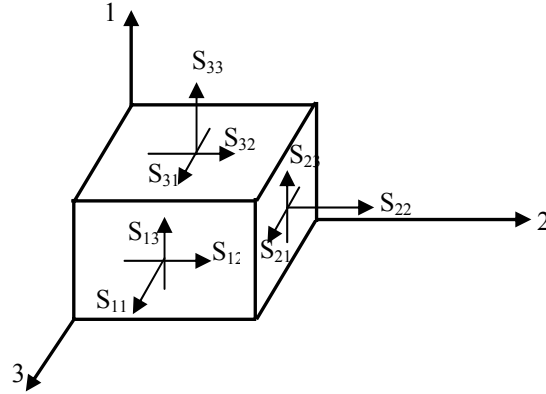
Bunun yanında düzensiz bina sistemine ait döşeme ve perdeler ile tarihi camiye ait ana kubbe, pendentifler ve yarım kubbeler kabuk eleman “shell” ile modellenmiştir. Shell eleman yüzey taşıyıcı elemanları modellemek için kullanılan bir elemandır. Shell eleman, yalnız düzlemine dik yüklü yüzeysel taşıyıcı sistemleri modellemek için kullanılan plak eleman ile yalnız düzlemi içinde yüklü yüzeysel taşıyıcı elemanları modellemek için kullanılan membran elemanın birleşiminden oluşmaktadır.



Şekil 5.7. Kabuk (shell) eleman

Shell eleman için her bir düğüm noktasında üç ötelenme ve üç dönme serbestliği olmak üzere toplam altı serbestlik derecesi mevcuttur.

Ayrıca, tarihi Şehzade Mehmet Camii'ne ait kemerler ve ayakları modellemek için katı (solid) eleman kullanılmıştır. Bu çalışmada üç boyutlu katı elemanları modellemek için kullanılan solid elemanlar altı ve sekiz noktalı katı elemanlardır. SAP2000 [106] programında kullanılan sekiz noktalı solid elemana ait gerilme durumu Şekil 5.8'de verilmektedir.



Şekil 5.8. Katı elemana ait gerilme durumları

5.3. Statik Analiz

Statik analizde zaman bağımsız bir değişken olarak göz önüne alınmaz. Deformasyonların sabit veya yavaşça değiştiği kabul edilir. Bazı problemlerde titreşim frekansı çok düşük olabilmektedir (en düşük doğal frekansın 1/3'ünden daha küçük). Bu durumlarda problem "quasi-statik" olarak düşünülebilir. Yani atalet kuvvetleri hesaplanarak, bunlar sanki birer statik yükmüş gibi yapıya uygulanarak, yapı statik olarak analiz edilebilir [105].

Bir statik analiz için aşağıdaki adımların yerine getirilmesi gerekmektedir:

1. Sonlu elemanlar modelinin hazırlanması
 - Yapının sonlu elemanlara bölünerek ayrık hale getirilmesi.
 - Yapıya etkiyen yüklerin tanımlanması.
 - Yapının mesnetlenme şeklinin tanımlanması.
2. Hesaplamalar gerçekleştirilir.
 - Rijitlik matrisi $[K]$ her bir eleman için hesaplanır.

- Elemanlar birbirleriyle birleştirilerek, tüm sistem için sistem rijitlik matrisi $[K]$ elde edilir.
 - Yük vektörü, $\{F\}$, oluşturulur.
 - Mesnet koşulları uygulanır.
 - Denklem takımı $[K] \{U\} = \{F\}$, çözülerek bilinmeyen $[U]$ değerleri belirlenir.
- Burada;

$[K]$: Sistem rijitlik matrisi

$\{U\}$: Yerdeğiştirme vektörü

$\{F\}$: Kuvvet vektörü

Daha sonra hesaplanan $\{U\}$ yerdeğiştirme vektörüne bağlı olarak iç kuvvetler belirlenir.

Genel olarak rijitlik matrisi $[K]$ bir eleman için aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$[K] = \int_V [B]^T [D] [B] dV \quad (5.5)$$

Burada $[B]$ şekil değiştirme-deplasman matrisi, $[D]$ sabitler matrisi olup, malzeme özelliklerini göstermektedir. dV ise elemanter hacim elemanıdır. Rijitlik matrisi eleman tipine bağlı olarak, eleman deplasman alanını tarif eden şekil fonksiyonları kullanılarak her tip eleman için ayrı ayrı hesaplanabilirler.

5.4. Dinamik Analiz

Yükün periyodunun sistemin periyodundan küçük olduğu deprem etkisi gibi durumlarda dinamik hesap yapılmalıdır. Dinamik analizde de statik analizde olduğu gibi rijitlik matrisi kullanılmakta, fakat bir kütle ve sönüm matrisine de analiz için gerek duyulmaktadır. Eğer bir sisteme etkiyen yük, dinamik özelliğe sahipse zamana bağlı olarak meydana gelecek kütlelerin yer değiştirmelerinin ivmeleri, atalet kuvvetleri meydana getirecektir. Bu durumda sistem iki tür yükün etkisi altında düşünülebilir. Bunlardan biri harekete neden olan dış yük, diğeri ise hareketin

ivmelenmesine karşı duran atalet kuvvetleridir. D’Alambert prensibine göre; bu kuvvetler her an denge halinde olmalıdır. Oluşan iç kuvvetleri hesaplayabilmek için, atalet kuvvetlerinin belirlenmiş olması gerekir. Atalet kuvvetleri de, yerdeğiştirmelere ve dolayısıyla iç kuvvetlere bağlıdır. Bu problemi çözebilmek, sistemin hareketi için yazılacak diferansiyel denklemin uygun sınır ve başlangıç koşulları altında çözülmesi ile mümkün olur [107].

Dinamik yükleme etkisindeki çok serbestlik dereceli bir sisteme ait hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F(t)\} \quad (5.6)$$

şeklindedir. Bu denklemde,

$[K]$ rijitlik matrisini,

$[C]$ sönüm matrisini,

$[M]$ kütle matrisini,

$\{u\}$ yerdeğiştirme vektörünü,

$\{\dot{u}\}$ hız vektörünü

$\{\ddot{u}\}$ ivme vektörünü ve

$\{F(t)\}$ kuvvet vektörünü temsil etmektedir.

Dinamik yüklemenin deprem hareketi olması durumunda çok serbestlik dereceli bir sisteme ait hareket, denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = -[M]\{\ddot{u}_g(t)\} \quad (5.7)$$

şeklindedir. Bu denklemde,

$\{u\}$ doğrultu vektörünü ve

$\ddot{u}_g(t)$ yer hareketi ivmesini göstermektedir.

Yerdeğiştirme vektörü $\{u\}$ 'nun çözümü için yaygın olarak Modların Süperpozisyonu Yöntemi uygulanır. Bu yöntemde önce sistemin sönümsüz serbest titreşimi ele alınır.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = 0 \quad (5.8)$$

Çözümün basit harmonik olduğu kabul edilip Eş. 5.8'de yerine yazılırsa,

$$([K] - w^2 [M])\{\phi\} = 0 \quad (5.9)$$

denklemini elde edilir. Bu sistemin sıfırdan farklı çözümü ancak katsayılar matrisinin determinantının sıfır olması ile mümkündür.

$$|[K] - w^2 [M]| = 0 \quad (5.10)$$

Elde edilen bu denkleme frekans denklemi adı verilir ve çözümü ile serbest titreşim frekansları belirlenir. Daha sonra Eş. 5.9. homojen denklemi her w serbest titreşim frekansı için çözümlenerek, söz konusu w için $\{\phi\}$ serbest titreşim mod şekli hesaplanır.

Serbest titreşim frekansları ve bunlara karşılık gelen mod vektörleri bulunduktan sonra, sistemin sönümlü ve zorlanmış davranışı ele alınarak, çözüm vektörünün, mod vektörlerinin uygun katsayılarla çarpılıp toplanmasından oluştuğu kabul edilir.

$$\{u(t)\} = [\Phi]\{Y(t)\} \quad (5.11)$$

Burada $[\Phi]$ modal matris ve $\{Y(t)\}$ katsayıları da normal koordinat olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayılar mod şekillerinin çözüme olan katkılarını göstermektedir. Genellikle bu katkı, karşı gelen titreşim frekansı arttıkça azalır. Bu nedenle, sayısal çözümlerinde ilk birkaç modla hesap yapmak yeterli yaklaşım sağlayabilir. Yerdeğiştirme için yapılan Eş. 5.11 kabulü, Eş. 5.7 denkleminde yerine

yazılır, denklem $\{\phi_j\}^T$ ile çarpılır ve mod vektörlerinin ortogonalite bağıntıları kullanılırsa,

$$M_n = \{\phi\}_n^T [M] \{\phi\}_n \quad (5.12)$$

$$P_n(t) = \{\phi\}_n^T \{P(t)\} \quad (5.13)$$

sırasıyla genelleştirilmiş kütle ve genelleştirilmiş yükü, ve ξ_n modal sönüm oranını göstermek üzere,

$$\ddot{Y}_n(t) + 2\xi_n w_n \dot{Y}_n(t) + w_n^2 Y_n(t) = \frac{P_n(t)}{M_n} \quad (5.14)$$

modal denklemi elde edilir. Böylece çok serbestlik dereceli sistemin tepkisi, N adet ayrık modal denklemin çözümünün süperpozisyonu ile belirlenmiş olmaktadır. Aslında Eş. 5.14 denklemi tek serbestlik dereceli sisteme ait hareket denkleminin karşılığı gelmektedir ve çözümü aşağıdaki gibi elde edilebilir [108].

$$Y_n(t) = e^{-\xi_n w_n t} \left[Y_n(0) \cos w_{Dn} t + \frac{\dot{Y}_n(0) + Y_n(0) \xi_n w_n}{w_{Dn}} \sin w_{Dn} t \right] + \frac{1}{M_n w_{Dn}} \int_0^t P_n(\tau) e^{-\xi_n w_n (t-\tau)} \sin w_{Dn} \tau d\tau \quad (5.15)$$

Burada,

$$w_{Dn} = w_n \sqrt{1 - \xi_n^2} \quad (5.16)$$

$$Y_n(0) = \frac{\{\phi\}_n^T [M] \{u(0)\}}{M_n} \quad (5.17)$$

$$\dot{Y}_n(0) = \frac{\{\phi\}_n^T [M] \{\dot{u}(0)\}}{M_n} \quad (5.18)$$

5.5. SAP 2000 Bilgisayar Programında Sismik İzolasyon Modellenmesi

SAP 2000 bilgisayar programında, nonlinear versiyonda, nonlinear elemanları Damper, Gap, Hook, Plastik1, Isolator1 ve Isolator2 olarak tanımlanabilmektedir [106]. Bu tanımlamalar sismik izolasyon tasarımı büyük kolaylık sağlamaktadır. Sap 2000 programında sismik izolasyon opsiyonları Nllink element ve Nlprop properties olarak adlandırılmaktadır [106]. Burada yapı modelinin lineer olan ve olmayan özellikleri kullanılır. İlk aşamada modelleme için aşağıdaki özellikler kullanılır. Modellemede kullanılan elemanlar

- Viscoelastic damping
- Gap (sadece basınç) and hook (çekme)
- Tek eksenli plastisite
- Sismik izolatörün iki eksenli plastisitesi
- Sürtünmeli sarkaç sismik izolatör

İkinci aşamada elemanın bilinen özellikleri alınmaktadır. Nllink eleman adı verilen elemanlar lineer davranışı gösterir. Her elemanın altı ayrı yaydan oluştuğu ve her yay için bir serbestlik derecesi düşünüldüğünde altı serbestlik dereceli olduğu varsayılmaktadır. Bu yayların hepsi lineer analizde kullanılan lineer efektif rijitlik ve efektif sönümlenme özelliği ile nonlinear zaman tanım analizlerinde kullanılan lineer olmayan kuvvet-deformasyon ilişkisi özelliklerine sahiptir. Nllink eleman lineer olmayan zaman tanım alanı analizi dışında diğer tüm analizlerde lineer davranışı düşünülerek çözümlenir. Lineer efektif sönümlenme özelliği sadece davranış spektrumu analizi ve zaman tanım alanında lineer analizde kullanılır.

Bütün altı serbestlik derecesinin özellikleri 'Nlprop' adı verilen seçenek içinde sunulmuştur. Her 'Nlprop' kütle, ağırlık ve 6 adete kadar lineer ve nonlinear kuvvet-

deformasyon ilişkilerinden oluşur. Kuvvet-deformasyon özellikleri tanımlamak için her elemanın kendi lokal koordinat sistemi bulunmaktadır.

5.5.1. 'Nlprop' özellikleri

Nlprop, Nllink elemanların davranışını tanımlaması için kullanılan yapısal özellikler grubudur.

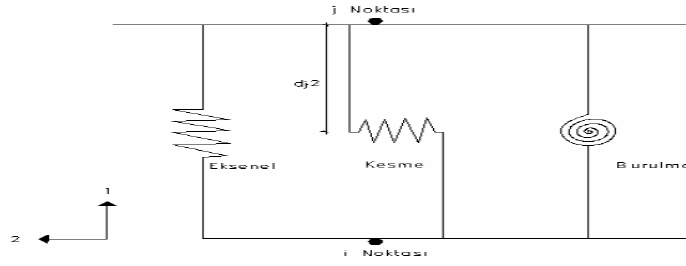
Her Nlprop altı adet iç deformasyon için lineer olmayan kuvvet-deformasyon ilişkisini belirtir. Bu lineer olmayan özellikler sadece zaman tanım alanında nonlinear analizlerde kullanılır. Efektif rijitlik ve efektif sönüm özellikleri de açıkça belirtilmelidir. Bu özellikler lineer olan analizlerden statik analiz, P-delta analiz, modal analiz, hareketli yük analizi, davranış spektrumu analizi, zaman tanım alanında lineer analiz gibi analizlerde kullanılabilir.

Efektif rijitlik, tüm serbestlik dereceleri için zaman tanım alanında nonlinear analizde kullanılabilir. Efektif sönümlenme özelliği ise asla lineer olmayan zaman analizinde kullanılmaz.

İç Nonlinear Yaylar

Her bir Nlprop altı adet dahili nonlinear yaydan oluşur. Bu yayların kuvvet-deformasyon ilişkisi birleşik veya birbirinden bağımsız olabilir.

Şekil 5.9'da yayların üç deformasyon bileşeni görülmektedir. Bu deformasyonlar; eksenel, 1-2 düzleminde kesme ve 1-2 düzleminde eğilmedir.



Şekil 5.9. Deformasyon bileşenleri

Yay kuvvet-deformasyon ilişkisi

Eleman davranışında altı adet kuvvet-deformasyon ilişkisi mevcuttur. Bunlar;

- Eksenel: f_{u1}, d_{u1}
- Kesme: $f_{u2}, d_{u2}, f_{u3}, d_{u3}$
- Burulma: f_{r1}, d_{r1}
- Eğilme: $f_{r2}, d_{r2}, f_{r3}, d_{r3}$

Burada f_{u1}, f_{u2} ve f_{u3} iç-yay kuvvetleri; f_{r1}, f_{r2} ve f_{r3} iç-yay momentleridir.

Lineer kuvvet-deformasyon ilişkisi

Her bir yayın lineer davranış gösterdiği farz edilirse, yayların kuvvet-deformasyon ilişkisi aşağıdaki matris formunda ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} f_{u1} \\ f_{u2} \\ f_{u3} \\ f_{r1} \\ f_{r2} \\ f_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{u1} \\ d_{u2} \\ d_{u3} \\ d_{r1} \\ d_{r2} \\ d_{r3} \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Burada ku_1 , ku_2 , ku_3 , kr_1 , kr_2 , kr_3 yayların lineer rijitlik katsayılarıdır. Aynı ilişki lineer sönümleme özelliği içinde yazılabilir. Ancak rijitlik terimleri sönümleme katsayıları ile, yerdeğiştirmeler de bağlı oldukları hız ile değiştirilmelidir.

Lineer efektif rijitlik

Her bir Nlprop için altı adet lineer efektif rijitlik katsayısı (k_{eff}) belirlenebilir. Lineer efektif rijitlik bütün lineer analizlerde kullanılan 'Nlink element'ın toplam elastik rijitliğini temsil eder. Lineer analizlerde plastik rijitliğin belirtilmesine gerek yoktur. Efektif rijitlik özellikleri, zaman tanım alanında nonlinear analizde, nonlinear serbestlik dereceleri için direk olarak kullanılmazlar. Ancak bu analizlerde, efektif rijitliğe dayanan titreşim modları kullanılır.

Analizde lineer efektif rijitliğin (k_{eff}) ve nonlinear rijitliğin (k) seçimindeki temel kurallar aşağıda belirtilmiştir.

- Gap ve hook elemanın efektif rijitliği genellikle sıfır olarak kullanılır.
- Damper elemanlar için efektif rijitlik sıfır alınmak zorundadır.
- Diğer elemanlar için rijitlik sıfır ve k arasında alınmalıdır.
- Eğer k için büyük yapay değerler seçilirse, k_{eff} için çok çok küçük değerler seçilmek zorundadır ki zaman tanım alanında nonlinear analizde numerik problemler ortaya çıkmaz.

Lineer efektif sönümleme

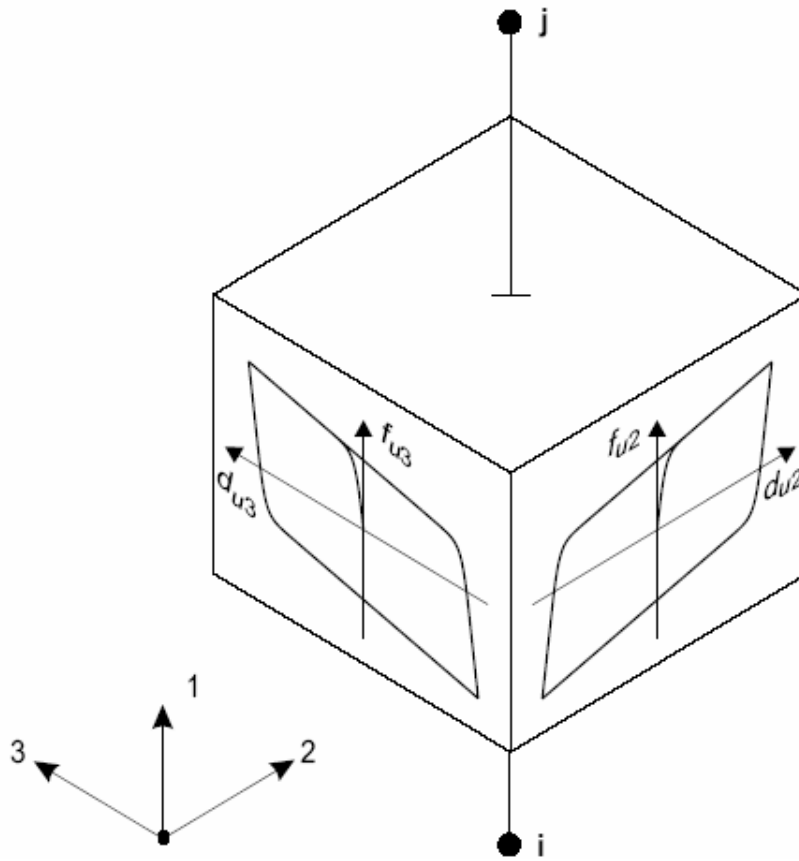
Her bir Nlprop için altı adet lineer efektif sönümleme katsayısı (c_e) seçilebilir. Nlink eleman için, efektif lineer sönüm, toplam lineer viskoz sönüm olarak ifade edilebilir ve bunlar periyodik zaman tanım analizinde ayrıca spektrum analizinde kullanılırlar. Efektif sönüm, plastik yada sürtünmeden dolayı tanımlanan enerji dağılımında kullanılır. Nlprop'lar için efektif kuvvet-deformasyon ilişkisi ku_1 , ku_2 , ku_3 , kr_1 , kr_2 , kr_3 için hesaplanan uygun ' c_e ' değerleri ve ilgili deformasyonlar Eş. 5.19'dan alınır.

Nonlineer özellikler

Her bir Nlprop 6 adet nonlineer özelliklerinden birine sahiptir. Bunlar; damper, gap, hook, plastic1, isolator1 ve isolator 2 özellikleridir. Bu çalışmada yapılan üç boyutlu modellemede isolator1 özellikleri opsiyonu kullanılmıştır.

Isolator 1 özelliği

Bu tip iki eksenli histeretik izolatördür ve iki adet kayma deformasyonları için çift plastisite özelliği; diğer deformasyonlar için ise lineer efektif rijitlik özelliği gösterir.



Şekil 5.10. Rubber Isolator özelliği

Her kayma deformasyon serbestlik derecelerinin ikisi de nonlinear ise, kuvvet-deplasman ilişkisi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$f_{u2} = \text{ratio}_2 k_2 d_{u2} + (1 - \text{ratio}_2) \text{yield}_2 z_2 \quad (5.20)$$

$$f_{u3} = \text{ratio}_3 k_3 d_{u3} + (1 - \text{ratio}_3) \text{yield}_3 z_3 \quad (5.21)$$

Burada k_2 ve k_3 elastik yay katsayıları, yield_2 ve yield_3 akma kuvvetleri, ratio_2 ve ratio_3 elastik rijitlikten elde edilmiş akma rijitlikleri oranı, z_2 ve z_3 histeretik iç değerlerdir. Bu değerler aşağıdaki denklem aralığında yer almaktadır.

$$\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1 \quad (5.22)$$

z_2 ve z_3 'ün ilk değerleri sıfırdır ve diferansiyel denklemlere bağlı olarak değerleri değişir.

6. DÜZENSİZ YAPI SİSTEMİNE SİSMİK İZOLASYON UYGULAMASI

6.1. L Kalıp Planına Sahip Bina Sisteminin Temel Özellikleri

Bu tez çalışmasında ‘L’ şeklinde kalıp planına sahip 7 katlı betonarme bir bina sistemi (alışveriş merkezi) dikkate alınmıştır. Düzenli ve deprem yönetmeliğinde [73] belirtilen bütün düzensizliklere sahip olarak tasarlanan binalara ait tüm kiriş boyutları sabit tutulmuş ve 25x50 cm alınmıştır. Tüm döşeme kalınlıkları 15 cm ve perde kalınlıkları 20 cm olarak seçilmiştir. Sistemin aks aralıkları her yönde 6 m’dir. Kat yükseklikleri en alt katta 4 m ve 5 m iken, üst katlarda 3 m’dir

Düzenli sistemde tüm katlardaki döşemelerin yatay yöndeki rijitlikleri sonsuz alınırken, düzensiz sistemde en üst katta kat planının 1/3’ünden fazla boşluk olduğu için döşemenin rijit diyafram özelliği dikkate alınmamıştır. Dikkate alınan bina sistemi öncelikle Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak çözümlenmiş ve binadaki düzensizlikler belirlenmeye çalışılmıştır. Bina sisteminin Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile çözümünde aşağıda belirtilen özellikler dikkate alınmıştır.

- Deprem Bölgesi : 1. Derece Deprem Bölgesi
- Bina Önem Katsayısı (I) : 1,2
- Yerel Zemin Sınıfı : Z3
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 7
- Toplam yapı yüksekliği : 23 m

6.1.1. Bina modelleri

‘L’ şeklinde kalıp planına sahip bina sistemi 4 farklı durum için modellenmiştir. Modellerin dinamik yükler altındaki davranışının belirlenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Zaman ve ekonomi yönünden tercih edilen bu yöntemde çeşitli yapı eleman modellerini bir arada kullanmak (çubuk, levha, plak, kabuk, katı vb.) mümkün olmakta, yakınsama kriterleri ile yapının üç boyutlu analizi yapılabilmektedir.

Betonarme binanın sonlu elemanlar metodu ile analizi SAP 2000 bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Betonarme binaların sonlu elemanlar modelinde taşıyıcı elemanlar; kolonlar, kirişler, döşeme ve perdelerden oluşmaktadır.

Betonarme binanın sonlu elemanlar modellerinde kullanılan betonun malzeme özellikleri ve elemanlar Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Sonlu eleman modeli için kullanılan malzeme özellikleri

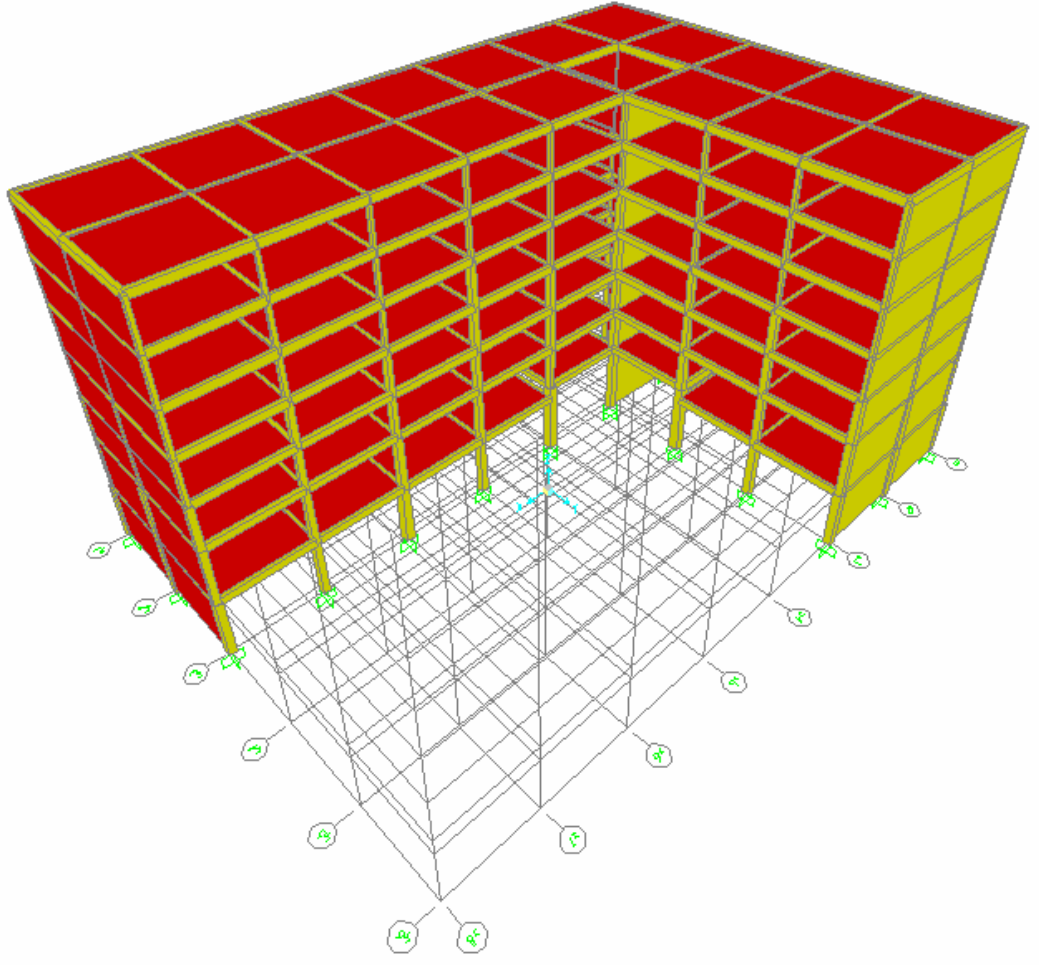
	Eleman cinsi	Elastisite Modülü (GPa)	Birim ağırlık (KN/m ³)	Poisson oranı	Kalınlık (m)
Döşeme	Kabuk (Shell)	24,82	23,56	0,20	0,15
Perde	Kabuk (Shell)	24,82	23,56	0,20	0,20
Kolon	Çubuk(Frame)	24,82	23,56	0,20	0,25 0,40 0,50 0,60 0,70 0,80
Kiriş	Çubuk(Frame)	24,82	23,56	0,20	0,25

Düzenli sistem (DZL)

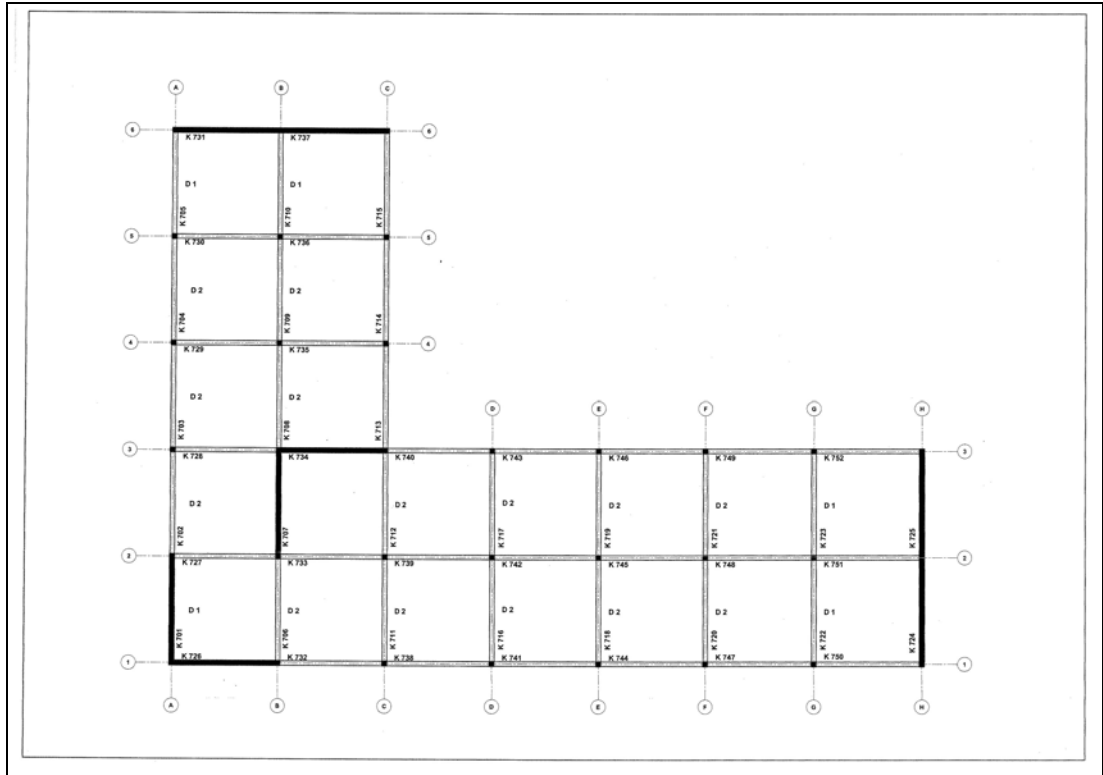
‘L’ kalıp planına sahip, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [73]’ te belirtilen düzensizlikleri içermeyen yapı sistemidir (Şekil 6.1). Sistemin tüm kiriş boyutları 25x50 cm alınırken, tüm döşeme kalınlıkları 15 cm ve perde kalınlıkları 20 cm olarak seçilmiştir (Şekil 6.2). DZL sisteminde tüm döşemeler rijit diyafram olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm kolonların kesitleri kare seçilmiştir. Ancak Çizelge 6.2’de gösterildiği boyutları binanın katlarına göre değişiklik göstermektedir. Düzenli sistemin aks aralıkları boyunca kesit düzlemi Şekil 6.3-Şekil 6.14 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Düzenli sistemde kullanılan kolon boyutları

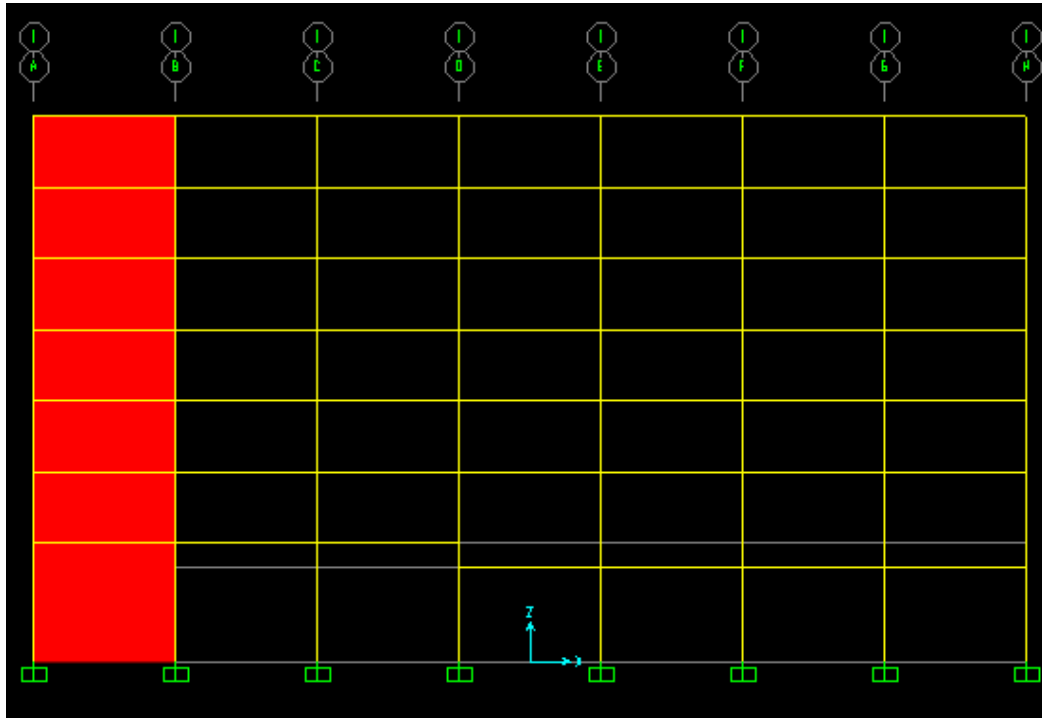
Aks	Kat Sayısı						
	7	6	5	4	3	2	1
1A	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	40/40
2A	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50	50/50
3A	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50
4A	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	60/60
5A	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50
6A	25/25	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50
1B	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50	50/50
2B	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	50/50	60/60
3B	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50	50/50	60/60
4B	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50	60/60	70/70
5B	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	40/40	50/50
6B	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	60/60	60/60
1C	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50
2C	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	50/50	50/50
3C	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50	50/50
4C	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	60/60
5C	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50
6C	25/25	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50
1D	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	60/60
2D	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50	60/60	70/70
3D	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	60/60
1E	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	40/40	50/50
2E	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50	50/50	50/50
3E	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	40/40	50/50
1F	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	60/60
2F	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	70/70	80/80
3F	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	60/60
1G	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50
2G	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50	40/40	50/50
3G	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	40/40	50/50
1H	25/25	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50
2H	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	60/60	60/60
3H	25/25	25/25	25/25	25/25	40/40	40/40	50/50



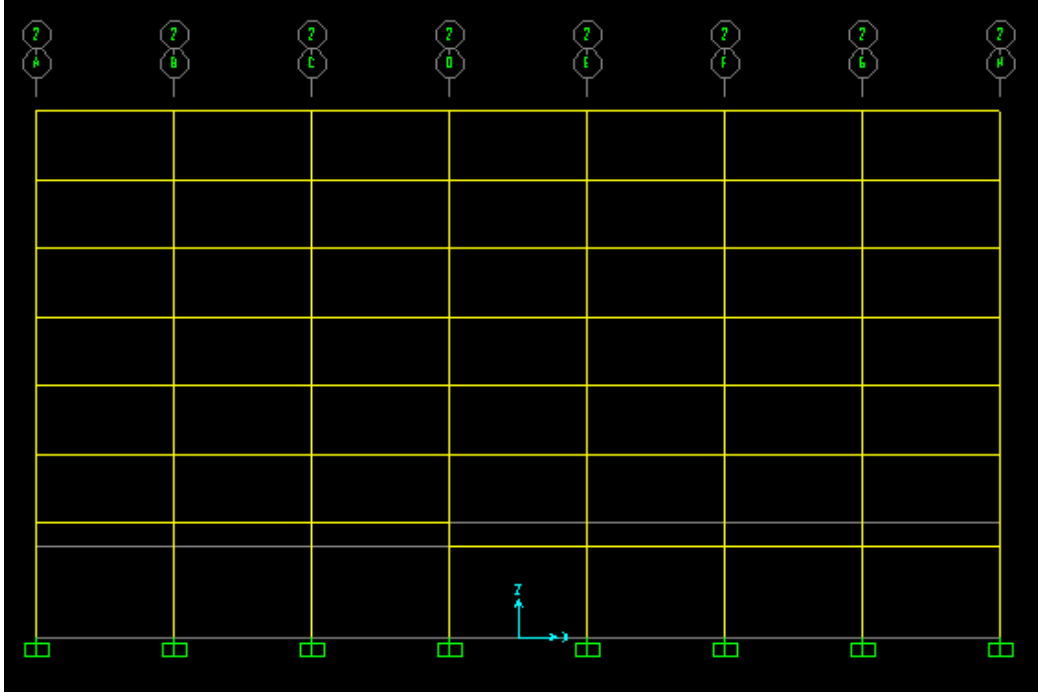
Şekil 6.1. Düzenli taşıyıcı sisteme ait üç boyutlu görünüm



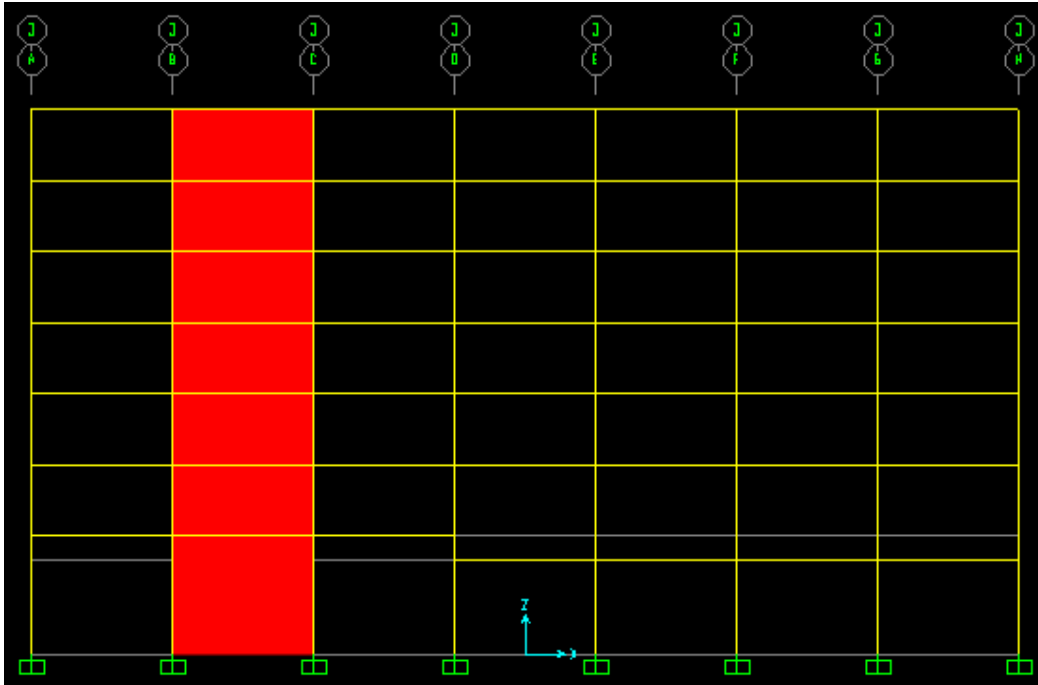
Şekil 6.2. Düzenli sistemin normal kat planı



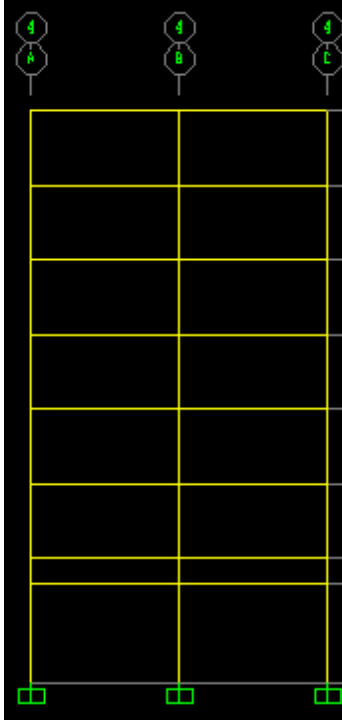
Şekil 6.3. 1-1 aksı kesiti



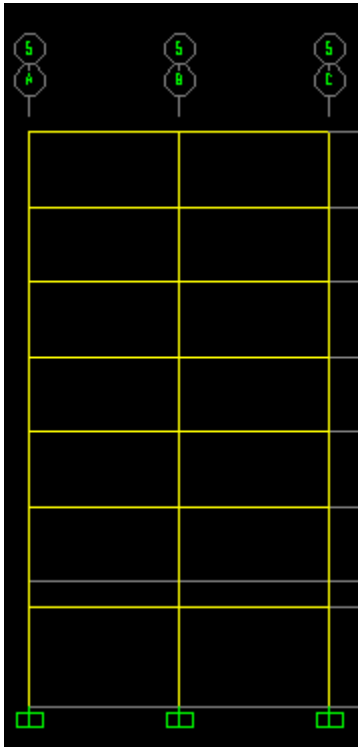
Şekil 6.4. 2-2 aksı kesiti



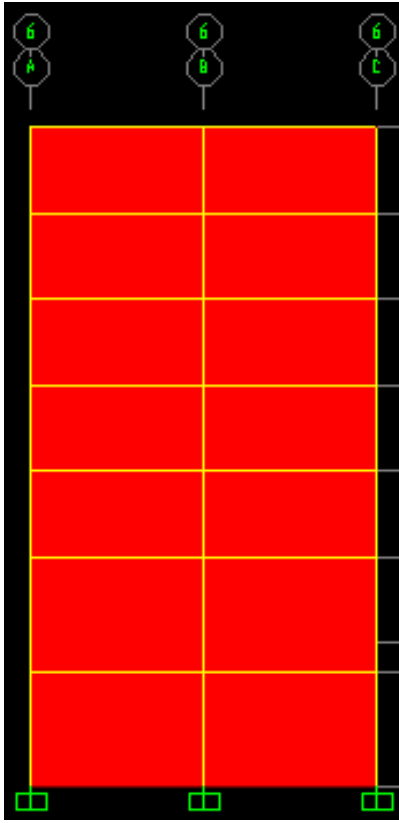
Şekil 6.5. 3-3 aksı kesiti



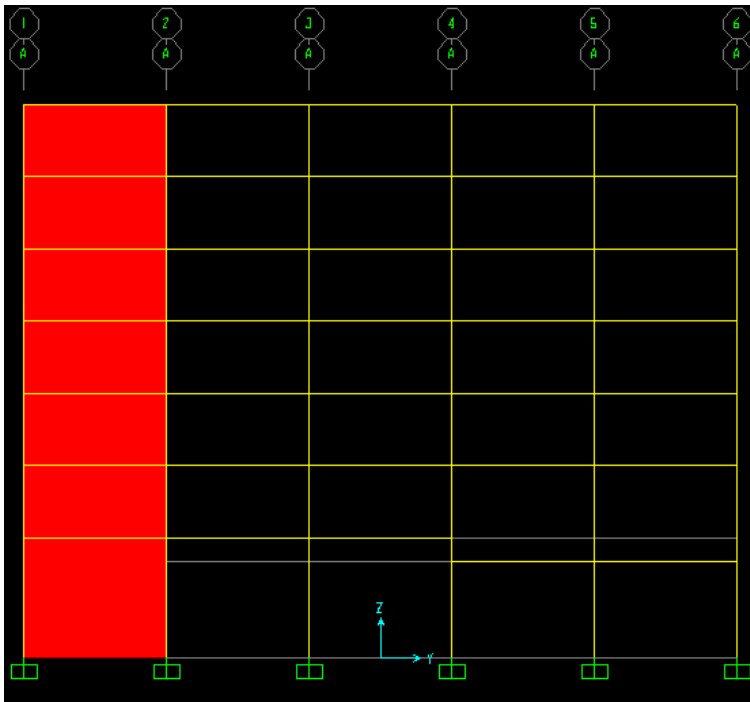
Şekil 6.6. 4-4 aksı kesiti



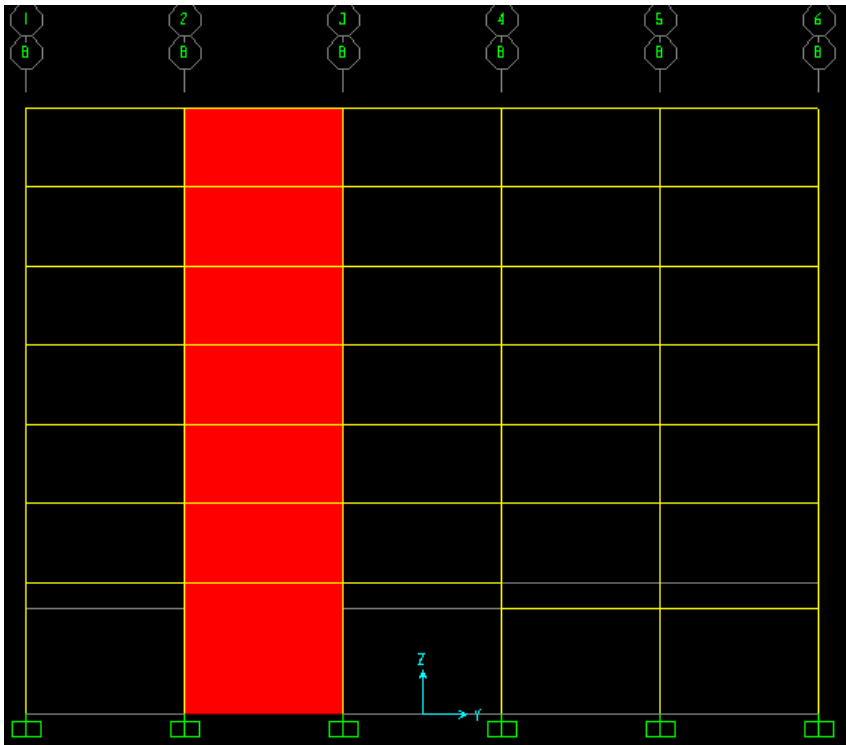
Şekil 6.7. 5-5 aksı kesiti



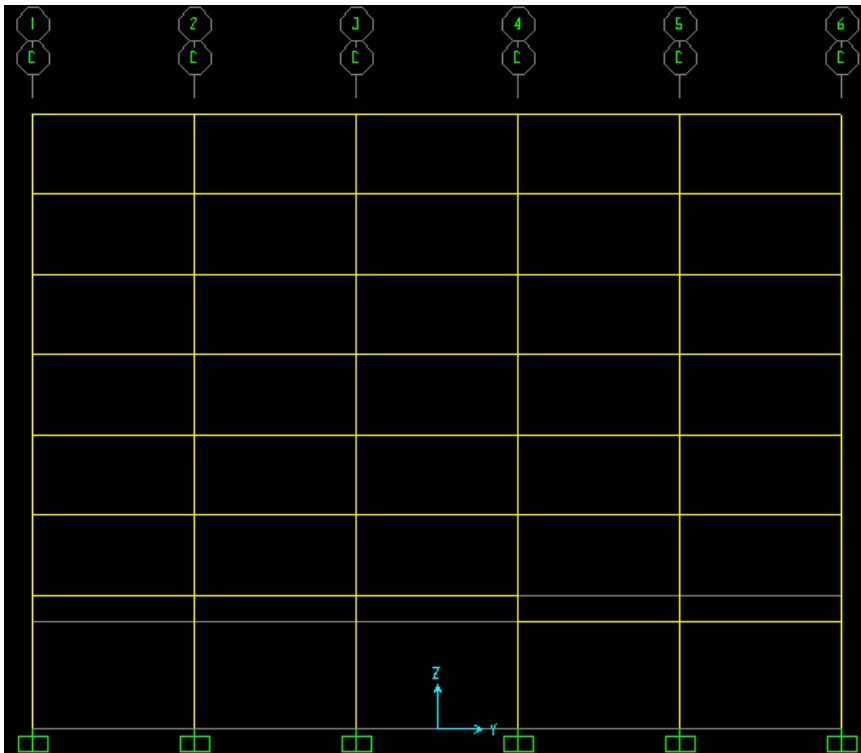
Şekil 6.8. 6-6 aksı kesiti



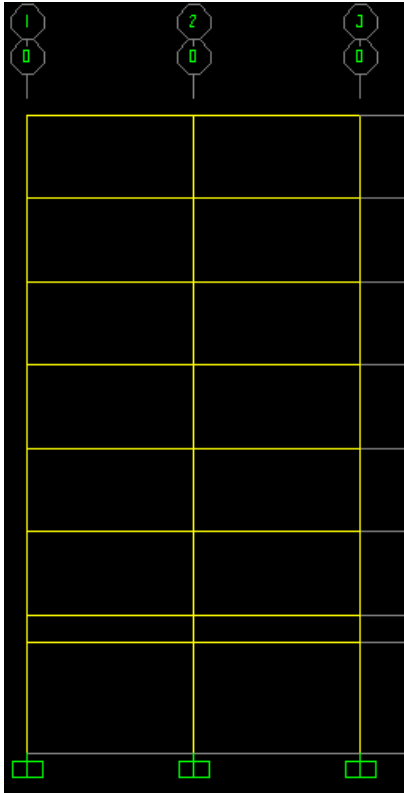
Şekil 6.9. A-A aksı kesiti



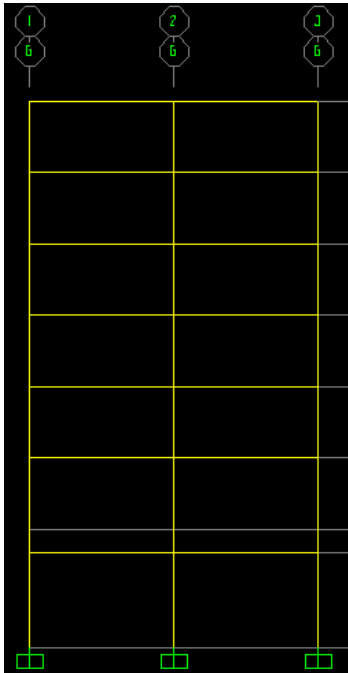
Şekil 6.10. B-B aksı kesiti



Şekil 6.11. C-C aksı kesiti



Şekil 6.12. D-D aksı, E-E aksı ve F-F aksı kesiti



Şekil 6.13. G-G aksı kesiti



Şekil 6.14. H-H aksı kesiti

Düzensizlik Tahkiki

Düzenli taşıyıcı sistem (DZL) için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [73]'te belirtilen düzensizliklerin tahkiki aşağıda belirtilmiştir.

A-Planda düzensizlik durumları

A1-Burulma düzensizliği

Düzenli sisteme ait burulma düzensizliği kontrolü U_1 doğrultusunda (Çizelge 6.3) ve U_2 doğrultusunda (Çizelge 6.4) kontrol edilmiştir. Sonuç olarak sistemin her iki doğrultusunda da burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Çizelge 6.3. U₁ doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT	d _i _{maks} (mm)	d _i _{ort} (mm)	Δi_{maks}	Δi_{ort}	$\Delta i_{maks} / \Delta i_{ort}$	Düzensizlik
7	12,789	12,472	1.898	1,728	1,09	yok
6	10,891	10,744	1,971	1,972	1,00	yok
5	8,892	8,772	2,029	2,003	1,00	yok
4	6,863	6,769	1,964	1,938	1,01	yok
3	4,899	4,831	1,802	1,778	1,01	yok
2	3,097	3,053	1,547	1,597	1,00	yok
1	1,55	1,456	1,550	1,456	1,06	yok

Çizelge 6.4. U₂ doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT	d _i _{maks} (mm)	d _i _{ort} (mm)	Δi_{maks}	Δi_{ort}	$\Delta i_{maks} / \Delta i_{ort}$	Düzensizlik
7	12,612	11,883	1,987	1,752	1,13	yok
6	10,625	10,131	1,947	1,851	1,05	yok
5	8,678	8,280	1,978	1,887	1,05	yok
4	6,700	6,393	1,917	1,829	1,05	yok
3	4,783	4,564	1,761	1,682	1,05	yok
2	3,022	2,882	1,737	1,655	1,05	yok
1	1,285	1,227	1,285	1,227	1,05	yok

A2-Döşeme süreksizlikleri

Düzenli bina sisteminde döşeme süreksizliği yoktur.

A3- Planda çıkıntılar bulunması durumu

Binanın x yönündeki uzunluğu : $L_x=42$ m

Binanın x yönündeki çıkıntısı : $a_x=30$ m

Düzensizlik koşulu : $a_x > 0,2L_x$

$30 > 42 \times 0,2$ olduğundan binada x yönündeki çıkıntıdan kaynaklanan bir düzensizlik mevcuttur. Ayrıca,

Binanın y yönündeki uzunluğu : $L_x=30$ m
 Binanın y yönündeki çıkıntısı : $a_x=18$ m
 Düzensizlik koşulu : $a_y > 0,2L_y$

$18 > 30 \times 0,2$ olduğundan binada y yönündeki çıkıntıdan kaynaklanan bir düzensizlik mevcuttur.

B-Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf Kat)

Düzenli bina sisteminde, katlar arasında etkili kesme alanında bir değişim söz konusu olmadığından zayıf kat düzensizliği söz konusu değildir.

B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat)

Komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği kontrolü U_1 doğrultusunda Çizelge 6.5'te ve U_2 doğrultusunda Çizelge 6.6'da kontrol edilmiştir.

Çizelge 6.5. U_1 doğrultusunda rijitlik düzensizliği kontrolü

KAT	$d_{i,ort}(mm)$	Δi_{ort}	$(\Delta i / h_i)_{ort}$	$(\Delta i / h_i)_{ort} / (\Delta i+1 / h_{i+1})_{ort}$ veya $(\Delta i / h_i)_{ort} / (\Delta i-1 / h_{i-1})_{ort}$	Düzensizlik
7	12,472	1,728	0,576	1,14	yok
6	10,744	1,972	0,657	1,02	yok
5	8,772	2,003	0,667	1,03	yok
4	6,769	1,938	0,646	1,09	yok
3	4,831	1,778	0,593	1,30	yok
2	3,053	1,597	0,456	1,40	yok
1	1,456	1,456	0,324		

Çizelge 6.6. U₂ doğrultusunda rijitlik düzensizliği kontrolü

KAT	$d_{i,ort}(mm)$	$\Delta_{i,ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$ veya $(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	Düzensizlik
7	11,883	1,752	0,584	1,06	yok
6	10,131	1,851	0,617	1,02	yok
5	8,280	1,887	0,629	1,03	yok
4	6,393	1,829	0,610	1,09	yok
3	4,564	1,682	0,561	1,19	yok
2	2,882	1,655	0,473	1,73	yok
1	1,227	1,227	0,273		

Düzenli bina sisteminde yumuşak kat düzensizliği yoktur.

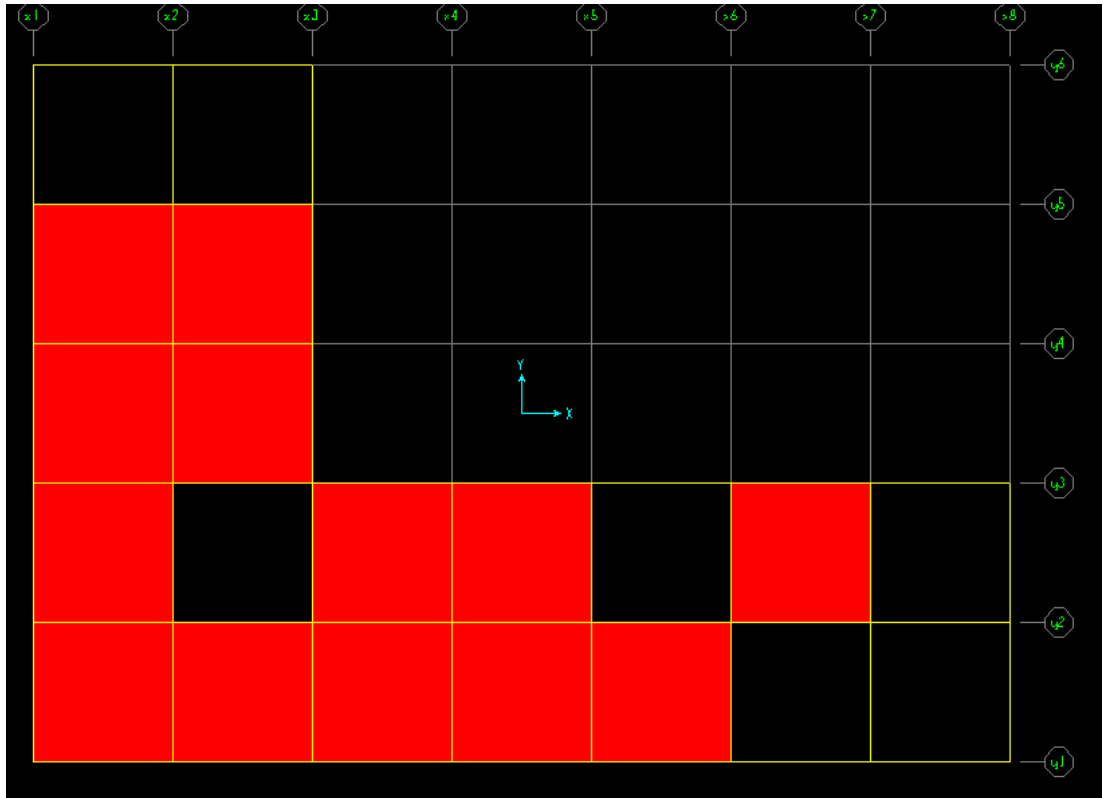
B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Düzenli taşıyıcı sistemde, düşey elemanlarda bir süreksizlik söz konusu değildir. Amaçlandığı gibi düzenli (DZL) binanın taşıyıcı sisteminde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [73]'te tanımlanan A1 (Burulma Düzensizliği), A2 (Döşeme Süreksizlikleri), B1 (Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat), B2 (Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat) ve B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizliklerinin mevcut değildir. Düzenli (DZL) binanın taşıyıcı sisteminde yalnızca A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması) düzensizliği mevcuttur.

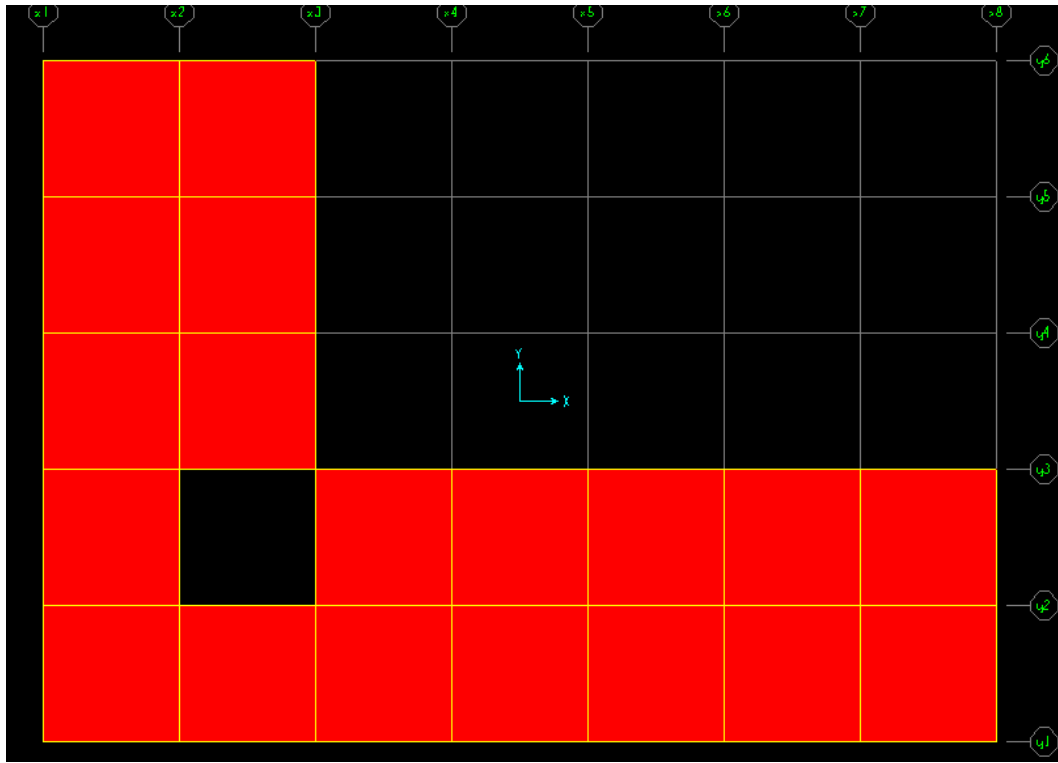
Düzensiz taşıyıcı sistem (DZS)

Düzenli (DZL) sistem yönetmelikte belirtilen Planda Düzensizlik ve Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumlarını içeren düzensiz taşıyıcı (DZS) sisteme dönüştürülmüştür (Şekil 6.31). Bu amaçla 1. katta 1E, 2E, 3E, 1G, 2G, 3G, 5A, 5B, 5C kolonları ile H-H ve 6-6 akslarındaki perdeler ile 2. katta 1G, 2G, 3G, 5A, 5B, 5C kolonları ile H-H ve 6-6 akslarındaki perdeler kaldırılmıştır (Şekil 6.31). Böylece ilk iki katta çıkarılan kolon ve perdelerle mimari tasarım için sorun teşkil eden geniş

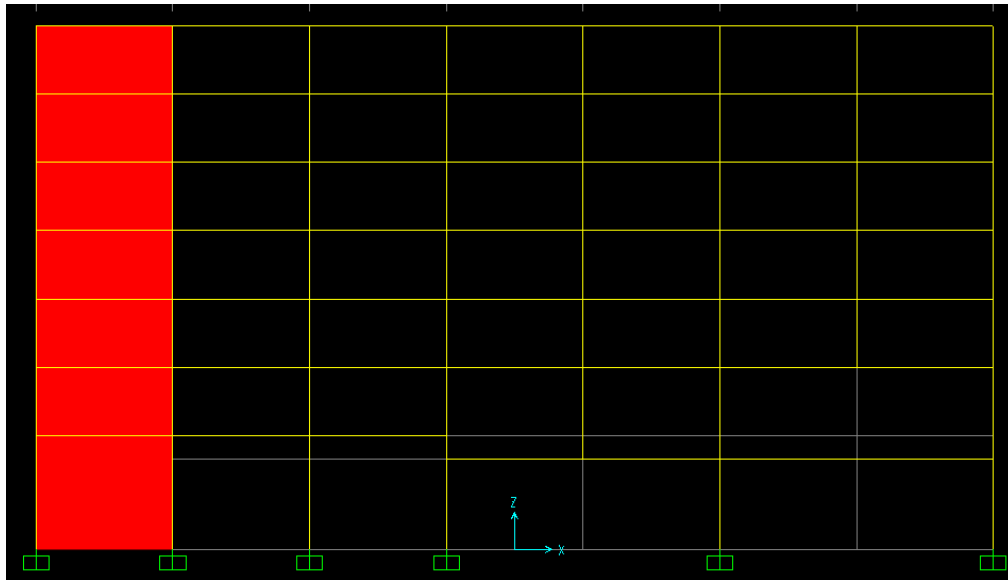
açıklıklar elde edilmiştir. Mimari tasarımda çok fazla kullanılan ve mekanın daha iyi algılanması için yapılan geniş galeri boşlukları uygulamasına benzer bir uygulama bu sistemde kullanılmıştır. En üst katta; G-G ve H-H aksları arasındaki 2 adet döşeme, 5-5 ve 6-6 aksları arasındaki 2 adet döşeme, F-F, G-G, 1-1, 2-2 aksları arasındaki 1 adet döşeme ile E-E, F-F, 2-2, 3-3 aksları arasındaki 1 adet döşeme çıkarılmak suretiyle kat planının 1/3'ünden daha büyük döşeme boşluğu oluşturulmuştur (Şekil 6.15). Böylece yapı sistemlerinin çözümünde 'döşemeler kendi düzlemleri içindeki yüklere karşı sonsuz rijittir' kabulü ve bu kabulün sonucu olarak döşemelerin bir arada tuttuğu bütün çerçevelerin yatay yük altında eşit ötelenme yapması DZS sisteminde en üst kat için uygulanamamıştır. Şekil 6.16'da 3, 4, 5 ve 6 kattaki normal kat planı gösterilmiştir. Düzensiz sistemin aks aralıkları boyunca görünimleri Şekil 6.17-Şekil 6.30 arasında gösterilmiştir.



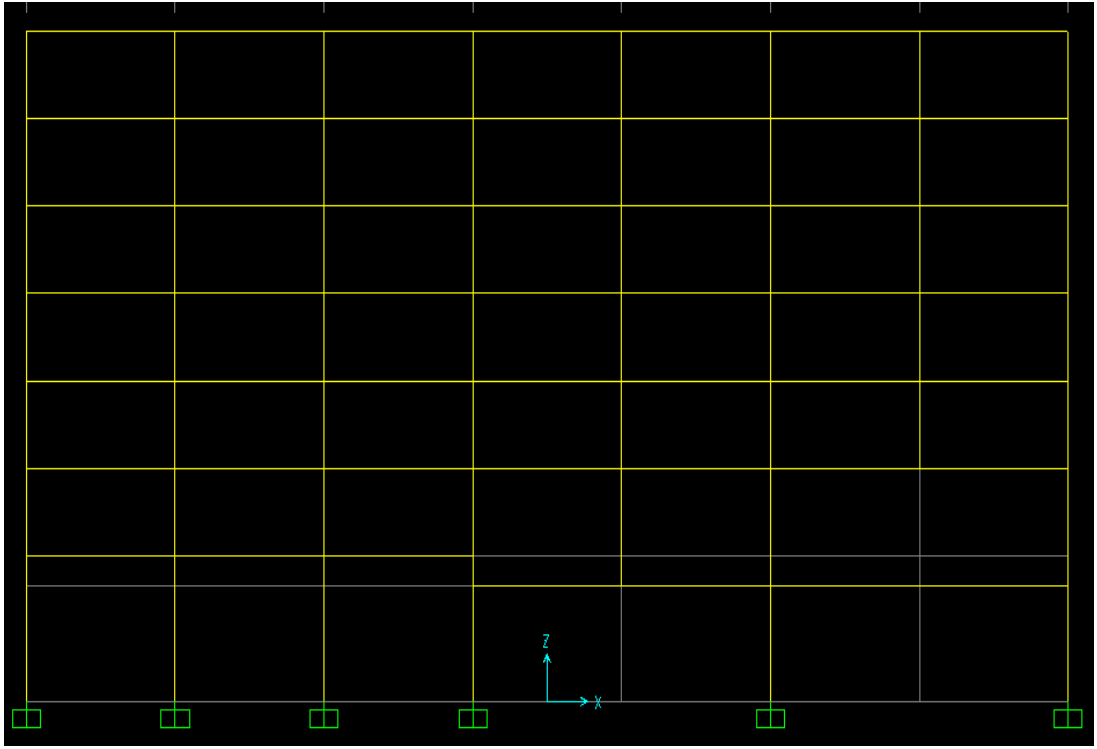
Şekil 6.15. Düzensiz sistemde 7. kat planı



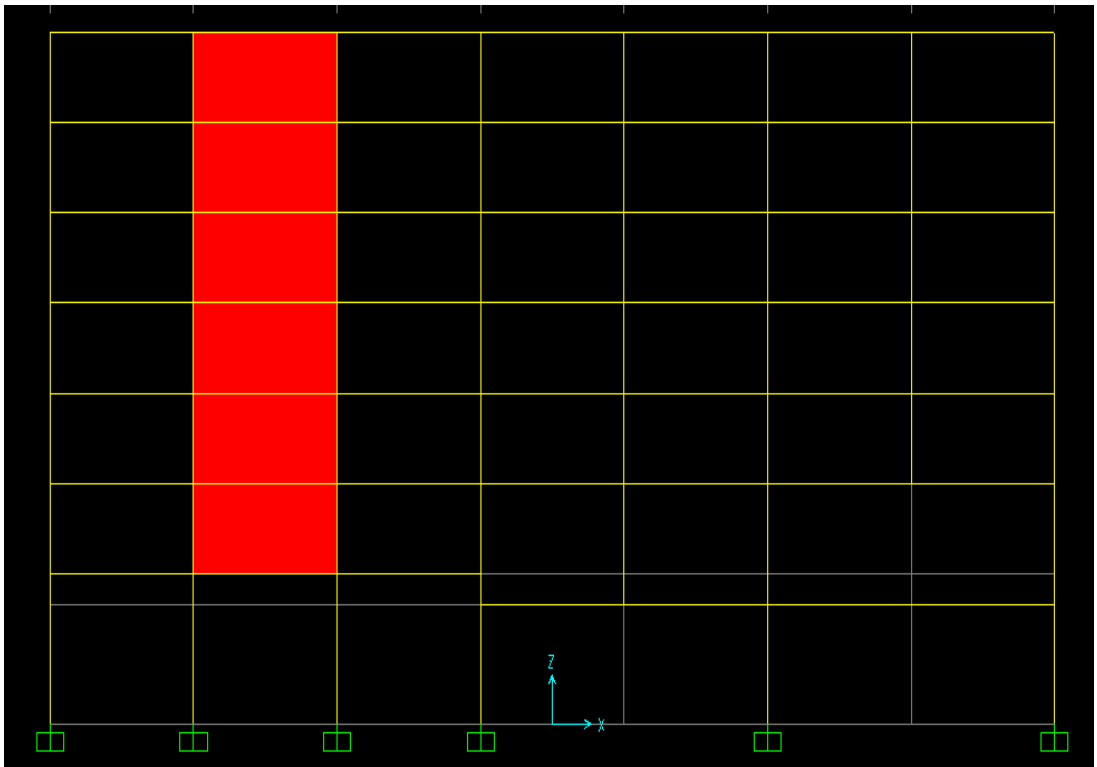
Şekil 6.16.Düzensiz sistemde 6, 5, 4 ve 3. kat planı



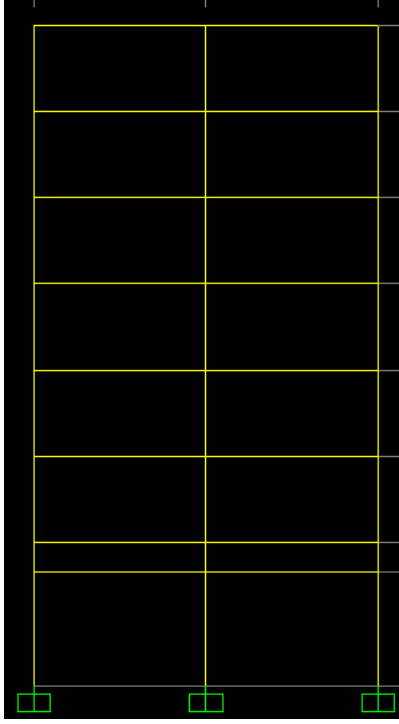
Şekil 6.17. Düzensiz sistem 1-1 aksı kesiti



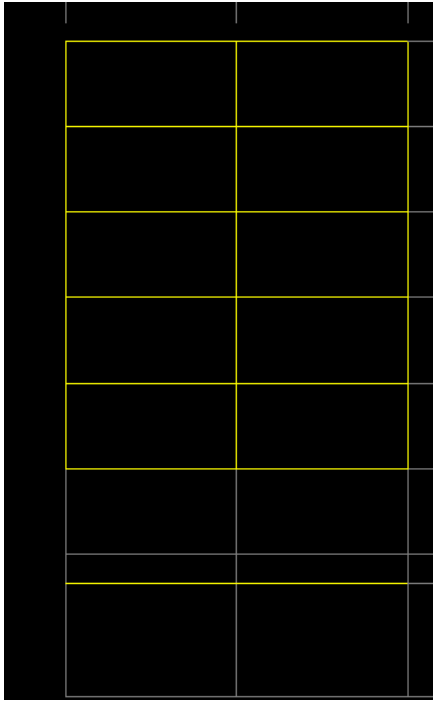
Şekil 6.18. Düzensiz sistem 2-2 aksı kesiti



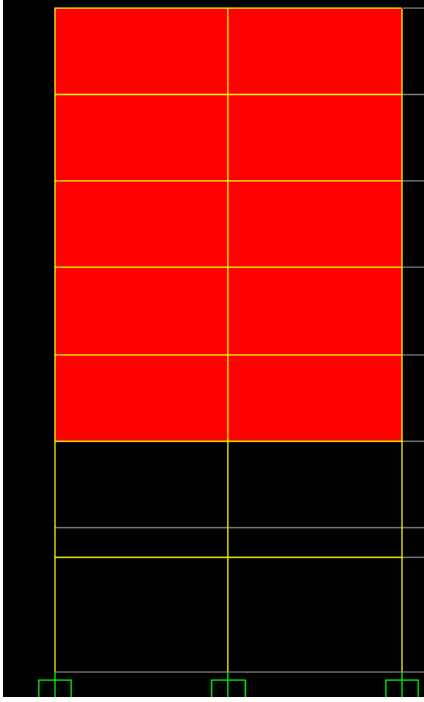
Şekil 6.19. Düzensiz sistem 3-3 aksı kesiti



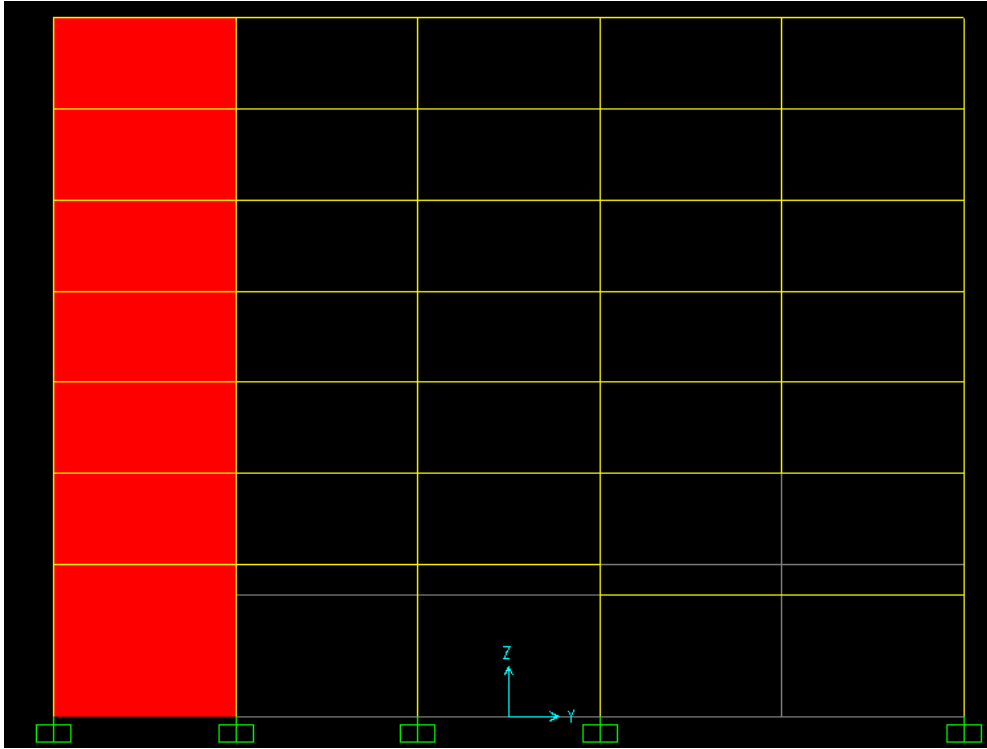
Şekil 6.20. Düzensiz sistem 4-4 aksı kesiti



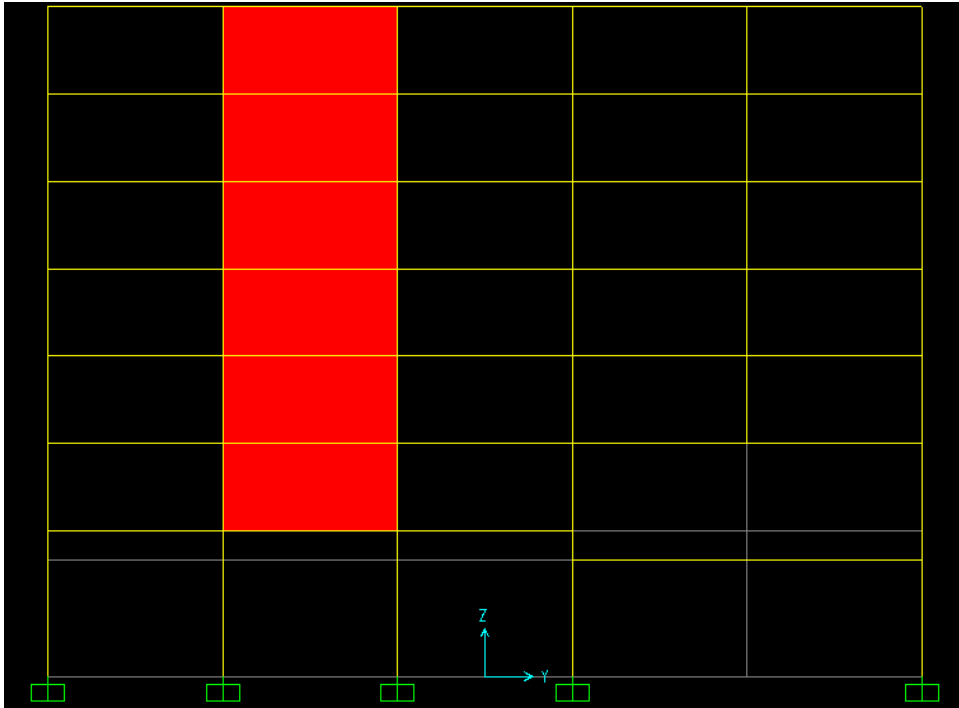
Şekil 6.21. Düzensiz sistem 5-5 aksı kesiti



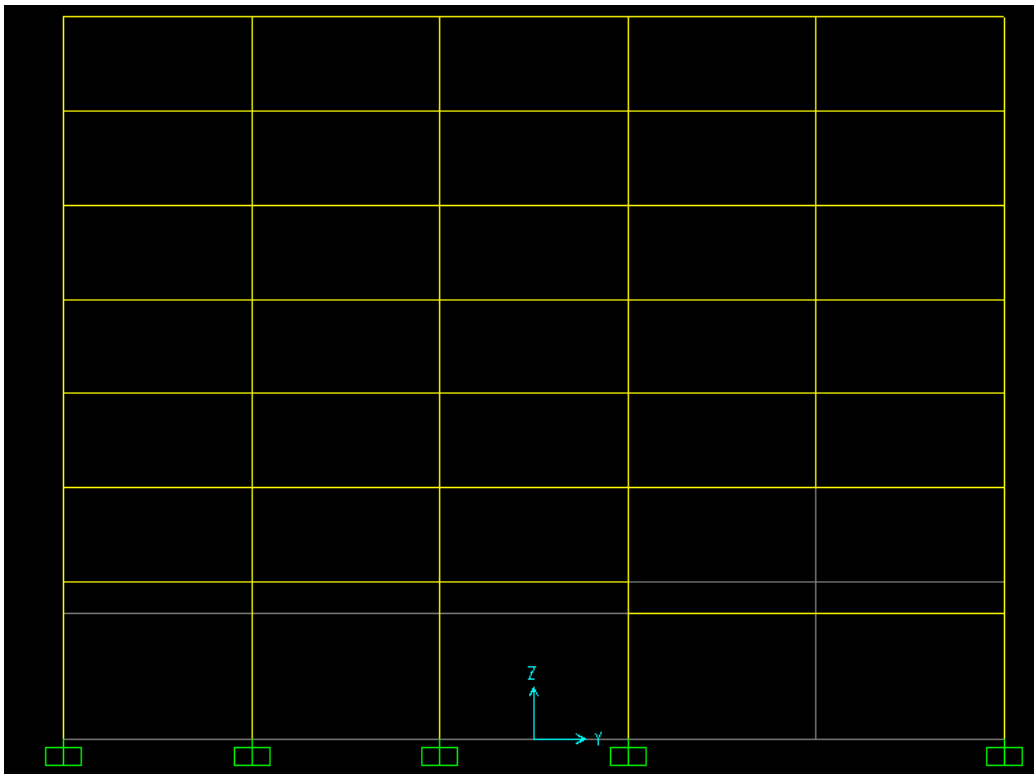
Şekil 6.22. Düzensiz sistem 6-6 aksı kesiti



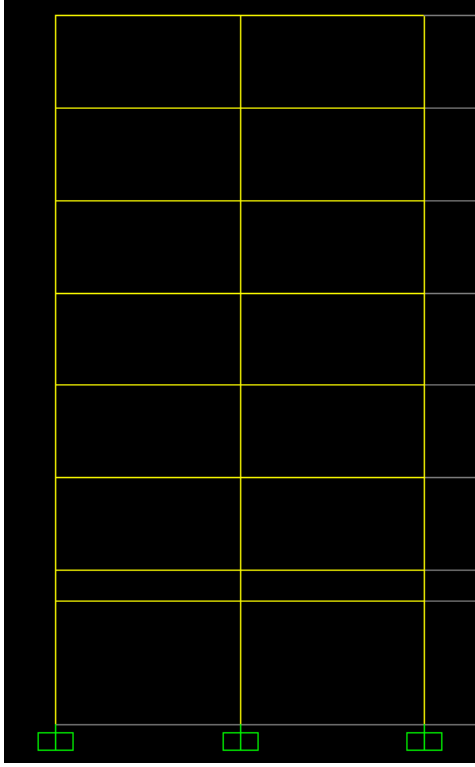
Şekil 6.23. Düzensiz sistem A-A aksı kesiti



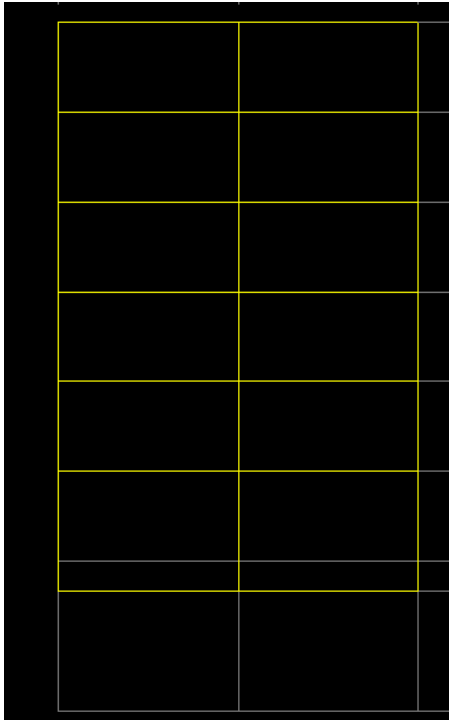
Şekil 6.24. Düzensiz sistem B-B aksı kesiti



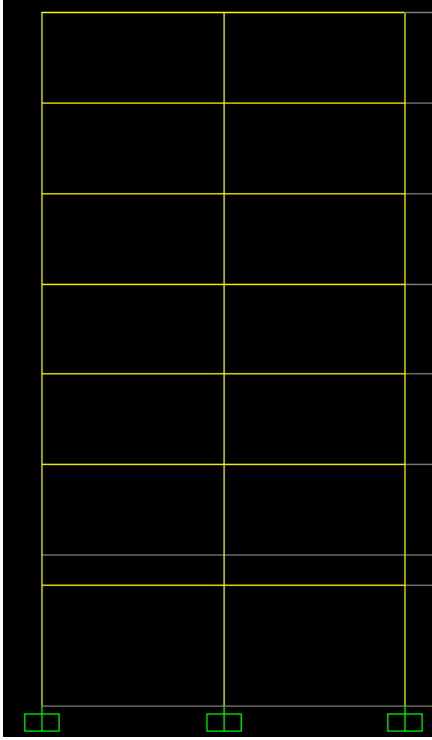
Şekil 6.25. Düzensiz sistem C-C aksı kesiti



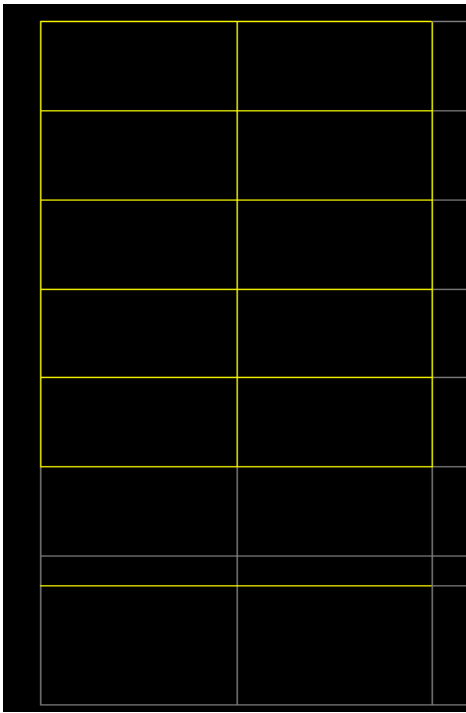
Şekil 6.26.Düzensiz sistem D-D aksı kesiti



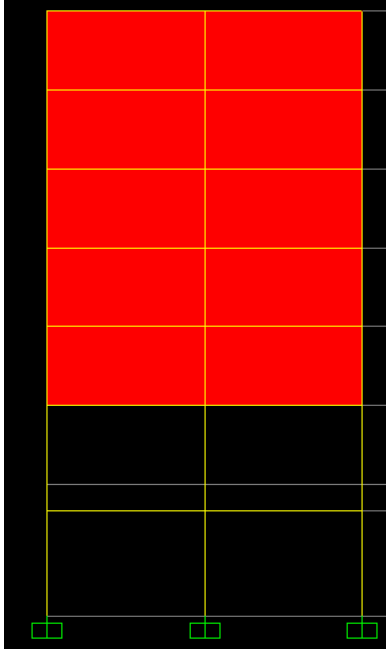
Şekil 6.27.Düzensiz sistem E-E aksı kesiti



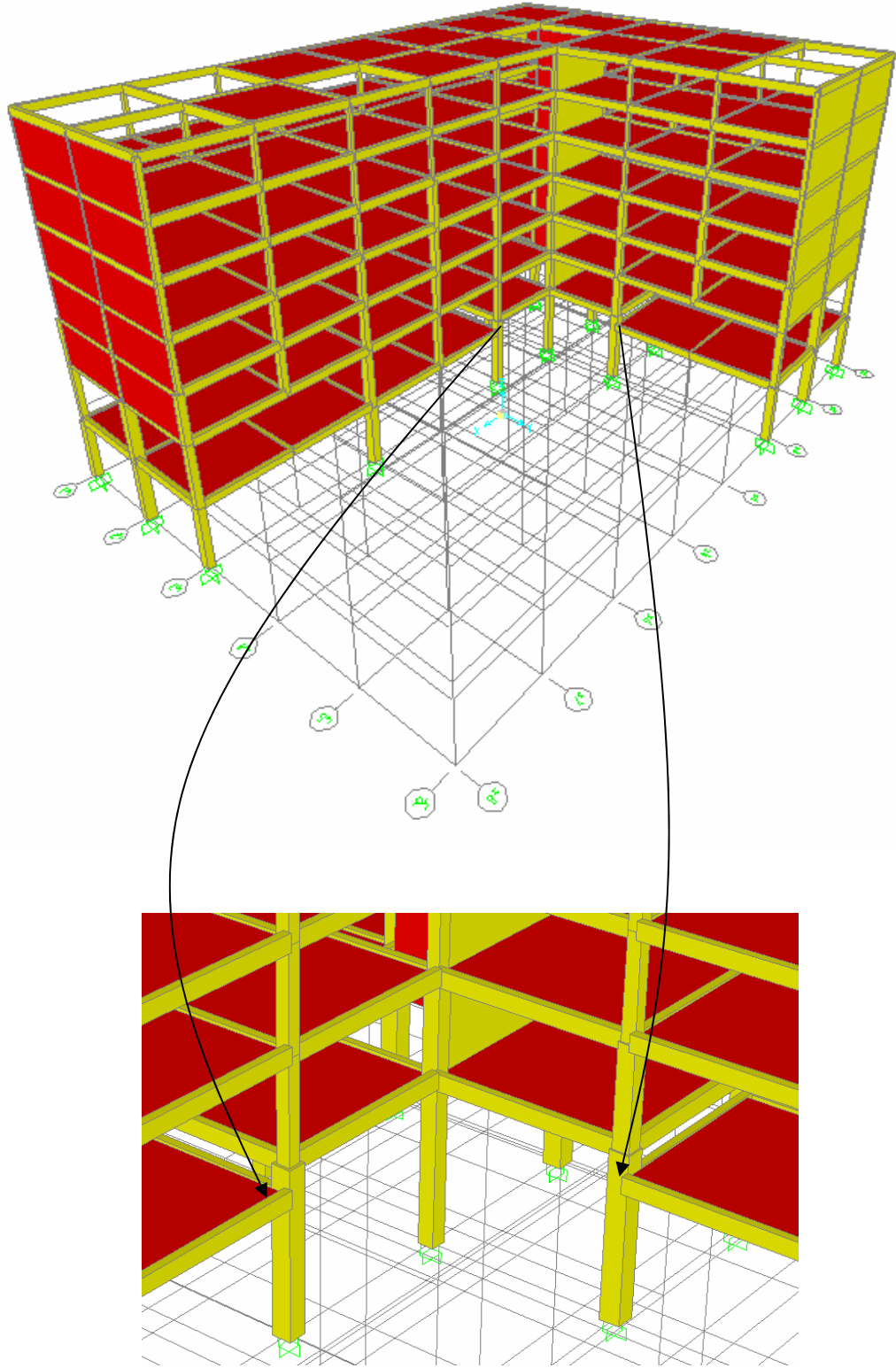
Şekil 6.28.Düzensiz sistem F-F aksı kesiti



Şekil 6.29.Düzensiz sistem G-G aksı kesiti



Şekil 6.30.Düzensiz sistem H-H aksı kesiti



Şekil 6.31. Düzensiz taşıyıcı sisteme ait üç boyutlu görünüm

Düzensizlik Tahkiki

Tasarlanan düzensiz (DZS) binanın taşıyıcı sisteminde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [73]'te tanımlanan A1 (Burulma Düzensizliği), A2 (Döşeme Süreksizlikleri), A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması), B1 (Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat), B2 (Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat) ve B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizlikleri oluşturulmaya çalışılmıştır.

A- Planda Düzensizlik Durumları

A1-Burulma düzensizliği

Düzensiz sistemde U_1 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü Çizelge 6.7'de ve U_2 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü Çizelge 6.8'de verilmiştir. Düzensiz bina sisteminde U_1 ve U_2 doğrultularında burulma düzensizliği söz konusudur.

Çizelge 6.7. U_1 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$d_{i_{maks}}$ (mm)	$d_{i_{ort}}$ (mm)	Δi_{maks}	Δi_{ort}	$\Delta i_{maks} / \Delta i_{ort}$	Düzensizlik
7	25,78	19,812	3,176	2,983	1,06	yok
6	22,604	16,829	3,28	3,087	1,06	yok
5	19,324	13,742	3,311	3,123	1,06	yok
4	16,013	10,619	3,237	3,062	1,06	yok
3	12,776	7,557	3,091	2,924	1,06	yok
2	9,685	4,663	4,301	2,689	1,6>1,2	var
1	5,384	1,944	5,384	1,944	2,77>1,2	var

Çizelge 6.8. U₂ doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT	d _i _{maks} (mm)	d _i _{ort} (mm)	Δ _i _{maks}	Δ _i _{ort}	Δ _i _{maks} / Δ _i _{ort}	Düzensizlik
7	43,076	29,353	3,314	2,872	1,16	yok
6	39,762	26,481	3,423	2,98	1,15	yok
5	36,339	23,501	3,465	3,032	1,142	yok
4	32,874	20,469	3,404	3,0	1,134	yok
3	29,47	17,467	3,329	2,946	1,13	yok
2	26,141	14,521	15,28	7,49	2,04>1,2	var
1	10,861	7,031	10,861	7,031	1,544>1,2	var

A2-Döşeme süreksizlikleri

Kat planı alanı: 720 m²

Çatı katında bulunan toplam boşluk alanı 252 m²> 720/3 olduğundan, katta döşeme süreksizliği bulunmaktadır.

A3- Planda çıkıntılar bulunması durumu

Binanın x yönündeki uzunluğu : L_x=42 m

Binanın x yönündeki çıkıntısı : a_x=30 m

Düzensizlik koşulu : a_x > 0,2L_x

30>42x0,2 olduğundan binada x yönündeki çıkıntıdan kaynaklanan bir düzensizlik mevcuttur. Ayrıca,

Binanın y yönündeki uzunluğu : L_y=30 m

Binanın y yönündeki çıkıntısı : a_y=18 m

Düzensizlik koşulu : a_y > 0,2L_y

18 >30x0,2 olduğundan binada y yönündeki çıkıntıdan kaynaklanan bir düzensizlik mevcuttur.

B-Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf Kat)

Çizelge 6.9’da komşu katlar arası dayanım düzensizliği kontrol edilmiştir. Düzensiz bina sisteminde zayıf kat düzensizliği vardır.

Çizelge 6.9. Zayıf kat kontrolü

Kat	Etkili Kesme Alanı (m ²)		Oran		Düzensizlik	
	x	y	x	y	x	y
1	10,26	10,03	1,06	1,01	yok	yok
2	9,69	9,92	0,74<0,8	0,77<0,8	var	var
3	13,17	12,94	≅1,0	≅1,0	yok	yok

B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

Düzensiz sistemde Çizelge 6.10’da U₁ doğrultusunda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü ve Çizelge 6.11’de U₂ doğrultusunda yumuşak kat kontrolü yapılmıştır. Düzensiz bina sisteminde yalnızca U₂ doğrultusunda yumuşak kat düzensizliği söz konusudur.

Çizelge 6.10. U₁ doğrultusunda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği

KAT	d _{i ort} (mm)	Δi _{ort}	(Δi/ hi) _{ort}	(Δi/hi) _{ort} / (Δi+1/ hi+1) _{ort} veya (Δi/ hi) _{ort} /(Δi-1/ hi-1) _{ort}	Düzensizlik
7	19,812	2,983	0,994	1,035	yok
6	16,829	3,087	1,029	1,011	yok
5	13,742	3,123	1,041	1,02	yok
4	10,619	3,062	1,02	1,046	yok
3	7,557	2,924	0,975	1,27	yok
2	4,663	2,689	0,768	1,78	yok
1	1,944	1,944	0,432		

Çizelge 6.11. U₂ doğrultusunda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği

KAT	$d_{i,ort}(mm)$	Δi_{ort}	$(\Delta i/ h_i)_{ort}$	$(\Delta i/h_i)_{ort} / (\Delta i+1/ h_{i+1})_{ort}$ veya $(\Delta i/ h_i)_{ort}/(\Delta i-1/ h_{i-1})_{ort}$	Düzensizlik
7	29,353	2,872	0,957	1,037	yok
6	26,481	2,98	0,993	1,017	yok
5	23,501	3,032	1,01	1,01	yok
4	20,469	3,0	1,0	1,018	yok
3	17,467	2,946	0,982	2,18>2,0	var
2	14,521	7,49	2,14	1,37	yok
1	7,031	7,031	1,562		

B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanları (kolon ve perdeler) bazı katlarda kaldırılmış ve kirişlerin üzerine oturtulmuştur. Ayrıca bazı perdeler alt katlarda kolonlara oturtulmuştur.

Amaçlandığı gibi düzensiz (DZS) binanın taşıyıcı sisteminde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [73]'te tanımlanan A1 (Burulma Düzensizliği), A2 (Döşeme Süreksizlikleri), A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması), B1 (Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat), B2 (Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat) ve B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizliklerinin mevcut olduğu gözlenmiştir.

Kurşun kauçuk mesnetli düzensiz taşıyıcı sistem (KKM-DZS)

Düzensiz taşıyıcı sistem (DZS) pasif titreşim kontrol cihazlarından kurşun kauçuk mesnet ile tasarlanmıştır.

Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli taşıyıcı sistem (YKM-DZS)

Düzensiz taşıyıcı sistem (DZS) pasif titreşim kontrol cihazlarından yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile tasarlanmıştır.

Sismik izolatörlü sistemler için düzensizlik tahkiki

Bu bölümde tasarlanan düzensiz (DZS) binanın mesnetlerinde sismik izolatör kullanılması durumunda yukarıda belirtilen düzensizliklerden hangilerinin ortadan kalktığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [73]'te tanımlanan A2 (Döşeme Süreksizlikleri), A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması), B1 (Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat) ve B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizliklerinde, sismik izolatör kullanılması ile bir düzelme olmayacağı açıktır. Bunun yanında, A1 (Burulma Düzensizliği) ve B2 (Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat) düzensizliklerinde oluşan değişim aşağıda kurşun kauçuk mesnetli durum için verilmektedir. Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13'te görüleceği üzere sismik izolatör kullanılması, burulma düzensizliğinde iyileştirme yönünde bir eğilim gösterse de izolatörlü sistemde de burulma düzensizliği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinde de herhangi bir düzelme gözlenmemiştir (Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.15). Yüksek sönümleyici kauçuk mesnet için de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

A1-Burulma düzensizliği

Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_1 ve U_2 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü sırasıyla Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13'te yapılmıştır.

Çizelge 6.12. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_1 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$d_{i_{maks}}(\text{cm})$	$d_{i_{ort}}(\text{cm})$	Δi_{maks}	Δi_{ort}	$\Delta i_{maks} / \Delta i_{ort}$	Durum
7	19,496	18,529	0,441	0,417	1,06	yok
6	19,055	18,112	0,452	0,428	1,06	yok
5	18,603	17,684	0,456	0,432	1,06	yok
4	18,147	17,252	0,45	0,429	1,05	yok
3	17,697	16,823	0,441	0,42	1,05	yok
2	17,256	16,403	0,612	0,458	1,33>1,2	<i>var</i>
1	16,644	15,945	16,644	15,945	1,04	yok

Çizelge 6.13. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_2 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$d_{i_{maks}}(\text{cm})$	$d_{i_{ort}}(\text{cm})$	Δi_{maks}	Δi_{ort}	$\Delta i_{maks} / \Delta i_{ort}$	Durum
7	21,991	19,767	0,436	0,381	1,14	yok
6	21,555	19,386	0,448	0,392	1,14	yok
5	21,107	18,994	0,454	0,4	1,14	yok
4	20,653	18,594	0,449	0,4	1,12	yok
3	20,204	18,195	0,448	0,4	1,12	yok
2	19,756	17,795	1,915	0,993	1,93>1,2	<i>var</i>
1	17,841	16,802	17,841	16,802	1,06	yok

B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_1 ve U_2 doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü sırasıyla Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.15'te yapılmıştır.

Çizelge 6.14. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_1 doğrultusunda yumuşak kat kontrolü

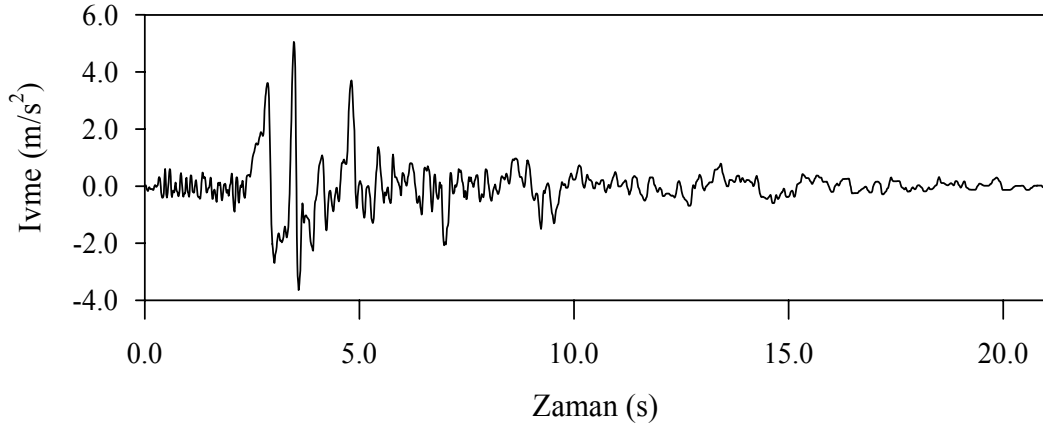
KAT	$d_{i_{ort}}(mm)$	Δi_{ort}	$(\Delta i/ h_i)_{ort}$	$(\Delta i/h_i)_{ort} / (\Delta i+1/ h_{i+1})_{ort}$ veya $(\Delta i/ h_i)_{ort}/(\Delta i-1/ h_{i-1})_{ort}$	Durum
7	18,529	0,417	0,139	1,03	yok
6	18,112	0,428	0,143	1,00	yok
5	17,684	0,432	0,144	1,00	yok
4	17,252	0,429	0,143	1,00	yok
3	16,823	0,42	0,14	1,093	yok
2	16,403	0,458	0,153	-	

Çizelge 6.15. Kurşun kauçuk mesnetli sistemde U_2 doğrultusunda yumuşak kat kontrolü

KAT	$d_{i_{ort}}(mm)$	Δi_{ort}	$(\Delta i/ h_i)_{ort}$	$(\Delta i/h_i)_{ort} / (\Delta i+1/ h_{i+1})_{ort}$ veya $(\Delta i/ h_i)_{ort}/(\Delta i-1/ h_{i-1})_{ort}$	Durum
7	19,767	0,381	0,127	1,03	yok
6	19,386	0,392	0,131	1,02	yok
5	18,994	0,4	0,133	1,00	yok
4	18,594	0,4	0,133	1,00	yok
3	18,195	0,4	0,133	2,49>2,0	var
2	17,795	0,993	0,331	-	yok

6.2. Çalışmada Kullanılan Deprem Girdisi

Belirtilen bina sistem modellerinin dinamik analizi için zaman tanım alanındaki analiz yöntemi kullanılmıştır. Yapı modellerine her iki yatay yönde 1992 Erzincan Depremi Doğu-Batı Bileşeni ivme kayıtları uygulanmıştır. Söz konusu depremin maksimum yer ivmesi 0,52 g'dir. Erzincan depreminin ivme-zaman grafiği Şekil 6.32'de verilmiştir. Bu depremin maksimum hızı 0,743 m/s'dir.



Şekil 6.32. Erzincan depremi ivme-zaman kaydı

6.3. İzolatörlerin Boyutlandırılması

Yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile tasarlanan sistem YKM-DZS ve kurşun kauçuk mesnet kullanılarak analiz edilen sistem KKM-DZS kısaltması ile ifade edilmiştir. Her iki sistemin yapısal davranışını belirlemek amacıyla zaman tanım alanında lineer olmayan analiz SAP 2000 [106] programı kullanılarak yapılmıştır.

DZS sisteminin toplam ağırlığının 78 469,39 KN olarak hesaplanmıştır. İzolatörlü mesnet hesaplamaları için kolonlara gelen yükler 5 ana gruba ayrılmıştır.

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| • 2 500 KN'a kadar olan yük | 10 adet mesnet |
| • 2 501-3 500 KN'a kadar olan yük | 7 adet mesnet |
| • 3 501-4 200 KN'a kadar olan yük | 4 adet mesnet |
| • 4 201- 5 400 KN'a kadar olan yük | 2 adet mesnet |
| • 5 401- 7 000 KN'a kadar olan yük | 1 adet mesnet |

Bu çalışmada taban izolatörleri tasarımında kullanılan ve Bölüm 4'te açıklanan UBC-97 [104] parametreleri aşağıda belirtilmiştir.

Sismik bölge faktörü	:Bölge 4, $Z=0,40$
Bölge zemin cinsi	: S_D kabul edildi

Sismik Fay Tipi	: A tipi ($M \geq 7$), kayma oranı $SR \geq 5\text{mm/yıl}$
Kaynak yakınlık faktörü	: $\Delta > 15 \text{ km}$, $N_a=1$, $N_v=1$
DBE sallama yoğunluğu	: $ZN_v=0,40(1)=0,40$
MCE Respons katsayıları	: $M_M=1,25$
Sismik katsayılar	: $C_v=0,64$; $C_{vD}=0,64(1)=0,64$ $C_A=0,44$, $C_{AD}=0,44(1)=0,44$ $C_{AM}=1,1\alpha$ $\alpha=M_M ZN_A$ $C_{VM}=1,6\alpha$ $\alpha=M_M ZN_v$
Sönüm azaltma faktörü	: $B=1,20$
Taşıyıcı Sistem Azaltma Katsayısı	: $R=2$ betonarme bina

Hedeflenen periyot 2,5 s'dir

Hedeflenen periyot belirlendikten sonra tasarım yerdeğiştirmesi [83],

$$D_D = \frac{g C_{vD} T_D}{B_D 4\pi^2} \quad (6.1)$$

bağıntısı ile belirlenmekte ve mesnet yatay rijitlikleri,

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 * \frac{W}{g} \quad (6.2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Disk çaplarının belirlenmesi kapsamında elastomerin toplam yüksekliği,

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma_{\text{mak}}} \quad (6.3)$$

ve mesnet yatay rijitliklerine göre çaplar,

$$A = \frac{K_H t_r}{G} \quad (6.4)$$

bağıntıları ile belirlenmektedir. Disk çapı,

$$\Phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (6.5)$$

denklemini ile hesaplanmaktadır. Mesnet yatay rijitlikleri yeni alanlara göre tekrar hesaplanıp, sistemde toplam mesnet yatay rijitlikleri bulunur. İzolasyonlu yapının titreşim periyodu,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_H g}} \quad (6.6)$$

bağıntısı ile hesaplanırken, sistemde oluşan toplam sönüm,

$$\beta = \frac{W_D}{2\pi K_H D_D^2} = \frac{K_H^A \beta_A + K_H^B \beta_B}{\Sigma K_H} \quad (6.7)$$

şeklinde belirlenmektedir. Bu aşamada sistemde oluşan toplam sönüm ve rijitliğe göre yatay yerdeğiştirme tekrar hesaplanır. Sönüm katsayısı B için UBC 97'de [104] önerilen formül kullanılır.

$$\frac{1}{B} = 0,25 (1 - \ln \beta) \quad (6.8)$$

Taban kesme kuvveti,

$$V_S = \frac{K_H D_D}{R} \quad (6.9)$$

ve sismik taban kesme katsayısı

$$C_S = \frac{V_S}{W} \quad (6.10)$$

şeklinde belirlenmektedir.

İzolatör detaylarının hesaplanması:

Tek bir kauçuk katmanın kalınlığı belirlendikten sonra, $\Phi/40 \leq t \leq \Phi/80$ arasında bir değer seçilir. Şekil faktörü,

$$S = \frac{\left(\pi \Phi^2 / 4 \right)}{\pi \Phi t} \quad (6.11)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Kaç adet elastomer tabakası gerektiği ise,

$$nt = tr \quad (6.12)$$

denklemleri ile bulunur.

6.3.1. Yüksek sönümlü kauçuk mesneden lineer olmayan modeli

Efektif yatay rijitlik hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır [83] (Şekil 6.33).

$$K_{eff} = \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 * \frac{W}{g} \quad (6.13)$$

$$Q = C_s W \quad (6.14)$$

$$Q_d = K_{eff} D_D \quad (6.15)$$

K_2 plastik rijitlik,

$$K_2 = (Q_d - Q) / D_D \quad (6.16)$$

$$Q_{K_2} = K_2(D_D - D_Y) \quad (6.17)$$

$$Q_Y = Q_D - Q_{K_2} \quad (6.18)$$

Akma deplasmanı,

$$D_Y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (6.19)$$

Buradan K_1 başlangıç rijitliği bulunabilir. Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı,

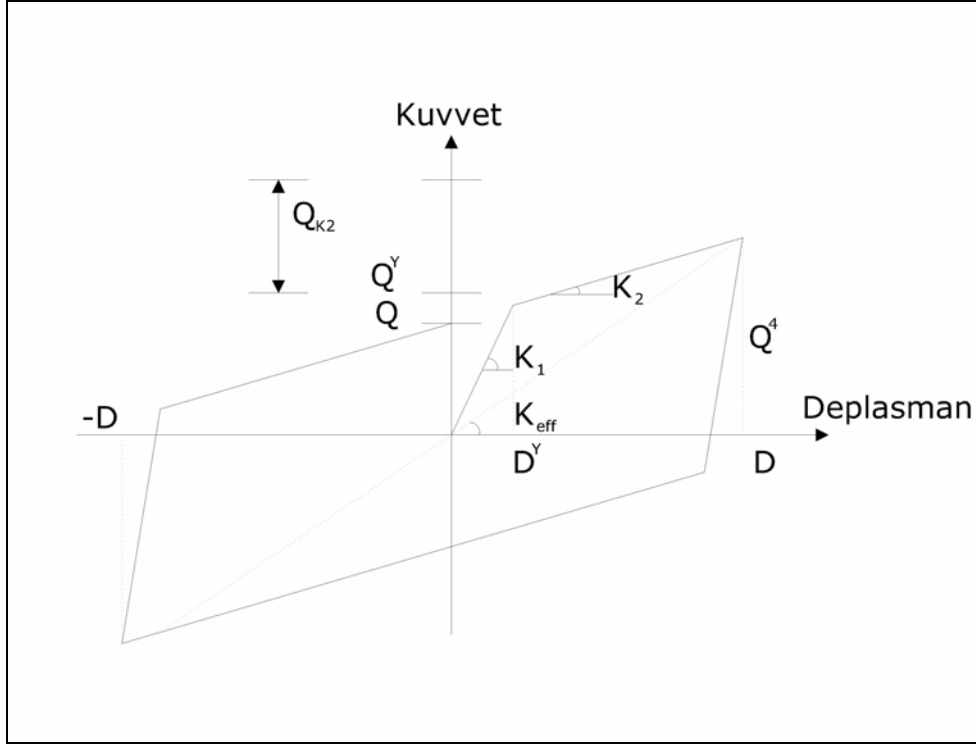
$$\alpha = \frac{K_2}{K_1} \quad (6.20)$$

denklemleri ile tanımlanırken, basınç elastisite modülü olarak,

$$E_c = \frac{6GS_2K}{6GS^2 + K} \quad (6.21)$$

bağıntısı ile ve mesnedin düşey rijitliği ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$K_v = \frac{E_c A}{tr} \quad (6.22)$$



Şekil 6.33. Kauçuk mesnede ait kuvvet-deplasman ilişkisi [83]

6.3.2. Kurşun çekirdekli kauçuk mesneden lineer olmayan modeli

K_1 : Elastik rijitlik

K_2 : Plastik rijitlik (akma sonrası rijitlik)

D_y : Kurşun çekirdek için akma deplasmanı

Q : Karakteristik kuvvet

F_y : Kurşun çekirdeğin akma kuvveti,

olarak tanımlanırken, K_1 elastik rijitliğin K_2 plastik rijitliğin yaklaşık olarak on katı alınması tavsiye edilmektedir ($K_1=6,5-10 K_2$). Her bir çevrim için sismik izolatörün sönümlediği enerji aşağıdaki formül ile hesaplanabilir [83].

$$W_D = 2\pi K_{eff} D_D^2 \beta_{eff} \quad (6.23)$$

Gerekli toplam kurşun çekirdek alanı,

$$A_{pb} = Q / \sigma_{pb} \quad (6.24)$$

bağıntısı ile belirlenirken, sistemde gerekli olan toplam kauçuk rijitliği 'K_r' ise,

$$K_r = K_H - Q / D_D \quad (6.25)$$

denklemini ile hesaplanmaktadır. Bir tane kauçuk izolatörün rijitliği ise,

$$K_r = GA / t_r \quad (6.26)$$

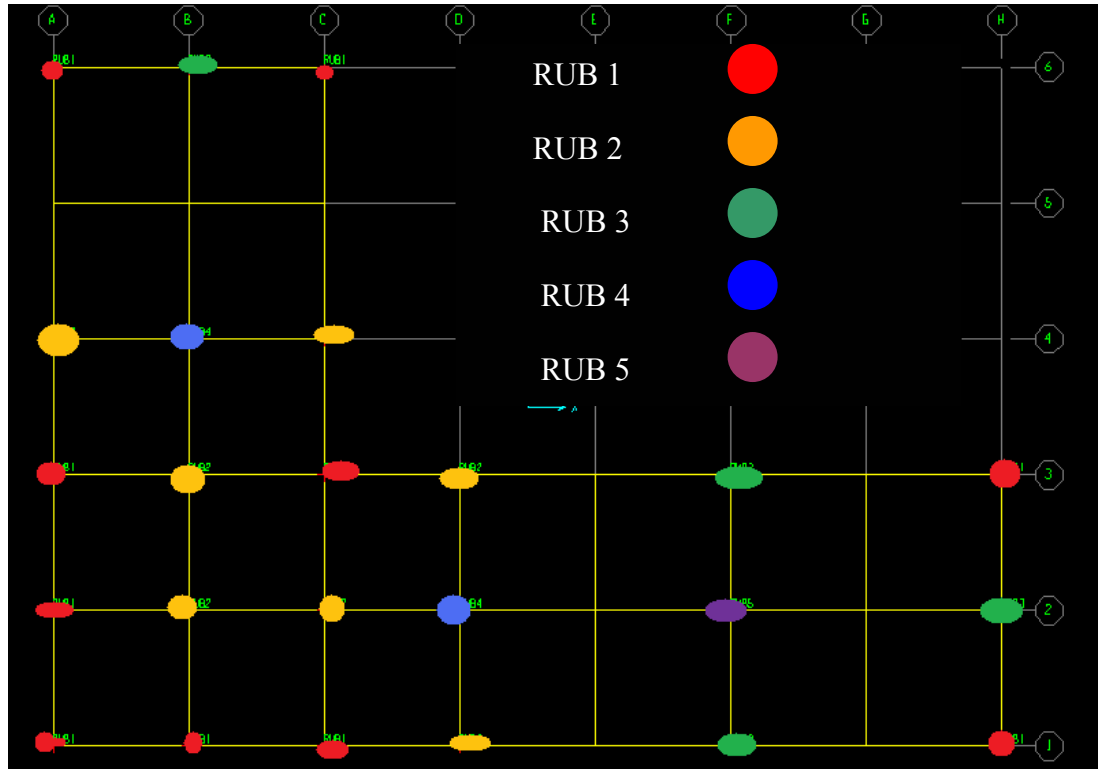
denklemini ile belirlenmektedir. Sistemde toplam kauçuk elastomer rijitliği hesaplandıktan sonra, gerçek titreşim periyodu hesaplanır ve nihai yerdeğiştirme tekrar belirlenir.

6.3.3. Taban izolasyonu mesnet özellikleri

Hesapları EK 1'de belirtilen yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ve kurşun kauçuk izolatörlerin mesnet özellikleri Çizelge 6.16 ve Çizelge 6.17'de verilmiştir. Düzensiz sistemde kullanılan yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetlerin konumları Şekil 6.34'te verilmiştir. Şekil 6.35'de kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin konumları planda belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 6.36 'da sismik izolasyonlu binanın üç boyutlu görünümü verilmiştir.

Çizelge 6.16. Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetlerin özellikleri

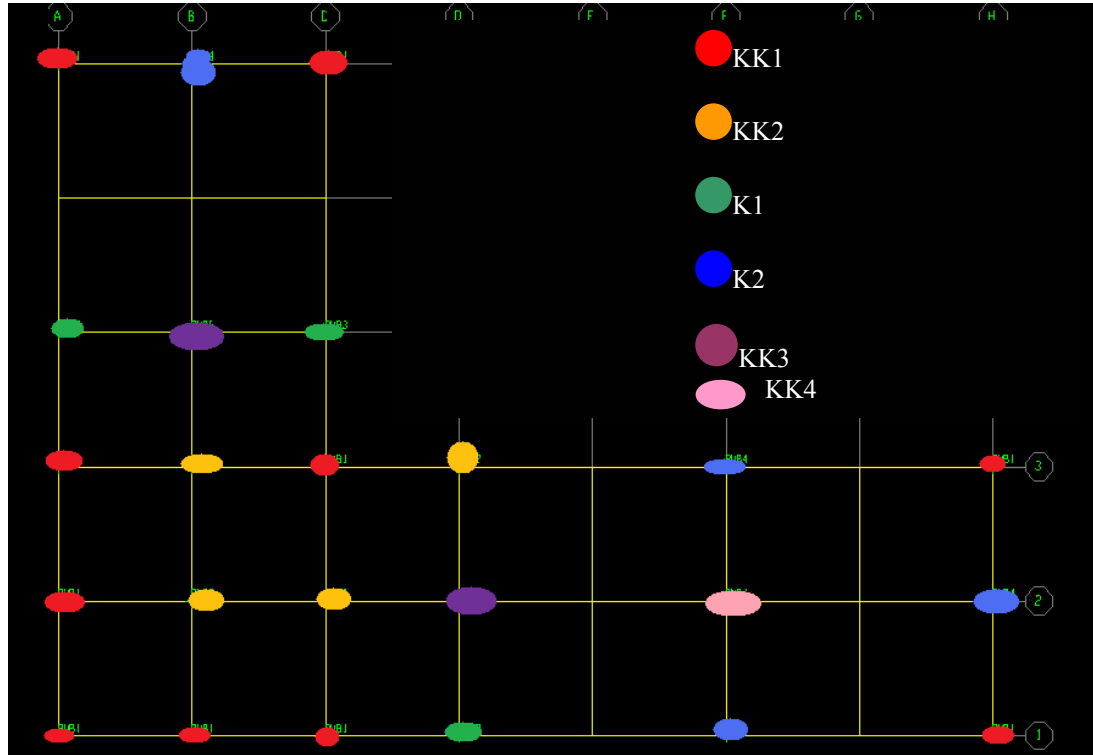
İzolatör Tipi		Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Mesnet Yüksekliği (m)
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	Rub1 2500 KN	1775	9746,39	272,9	0,091	1045860	0,75	0,326
	Rub 2 3500 KN	2485	13638,53	331,9	0,091	1341630	0,85	0,322
	Rub 3 4200 KN	2982	16353,39	457,9	0,091	1677630	0,95	0,320
	Rub 4 5400 KN	3834	21030,39	588,9	0,091	1857460	1,00	0,318
	Rub 5 7000 KN	4970	27245	762,9	0,091	2676160	1,20	0,316



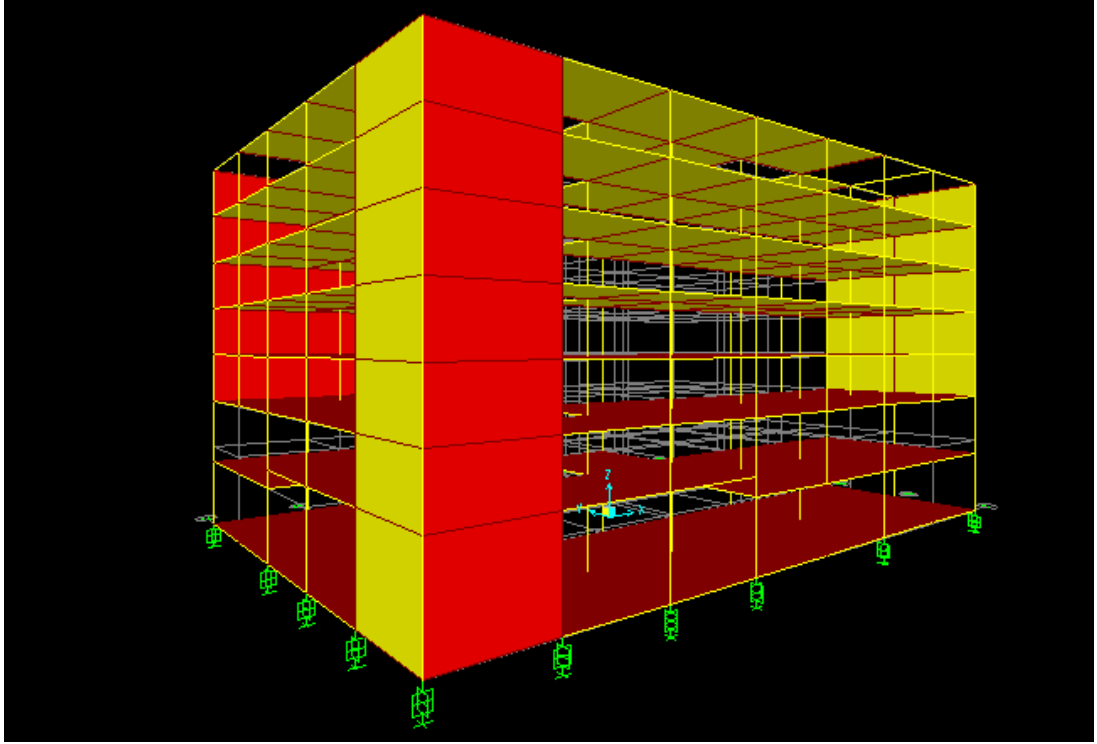
Şekil 6.34. YKM-DZS sisteminde yerleştirilen yüksek sönümleyici kauçuk mesnetlerin konumu

Çizelge 6.17. Kurşun kauçuk mesnetlerin özellikleri

İzolator Tipi	Sayısı	Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Kauçuk kalınlığı(m)	Kurşun Çekirdek Alanı (m ²)
Kurşun Kauçuk KK1	2500KN 10 adet	1610	10000	196,3	0,1	2233868	0,75	0,300	0,01767
Kurşun Kauçuk KK2	3500KN 4adet	2253,61	14700	256	0,1	3841992	0,85	0,300	0,0226
Doğal Kauçuk K1	3500KN 3 adet	2485	13638,53	331,9	0,091	1341630	0,85	0,322	-
Doğal Kauçuk K2	4200KN 4 adet	2982	16353,39	457,9	0,091	1677630	0,95	0,320	-
Kurşun kauçuk KK3	5400KN 2 adet	3477	23870	348	0,1	8242500	1,00	0,220	0,0314
Kurşun kauçuk KK4	7000KN 1adet	4507,22	29550	499	0,1	17100720	1,20	0,250	0,045



Şekil 6.35. KKM-DZS sisteminde yerleştirilen kurşun kauçuk mesnetlerin konumu



Şekil 6.36. Taban izolasyonlu binanın üç boyutlu görünümü

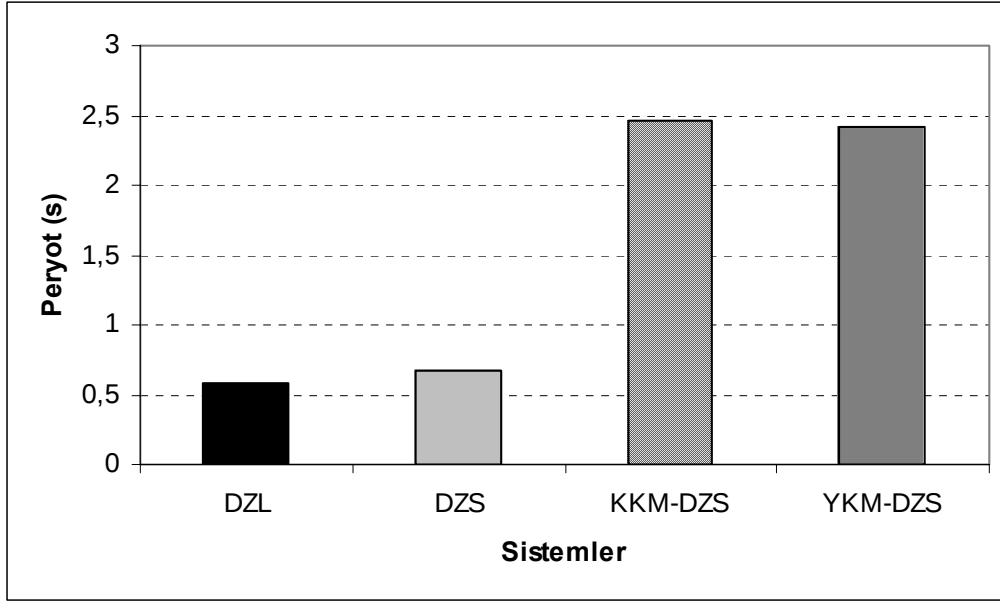
6.4. Araştırma Bulguları

6.4.1. Yapı sistemine ait periyot değerlerinin karşılaştırılması

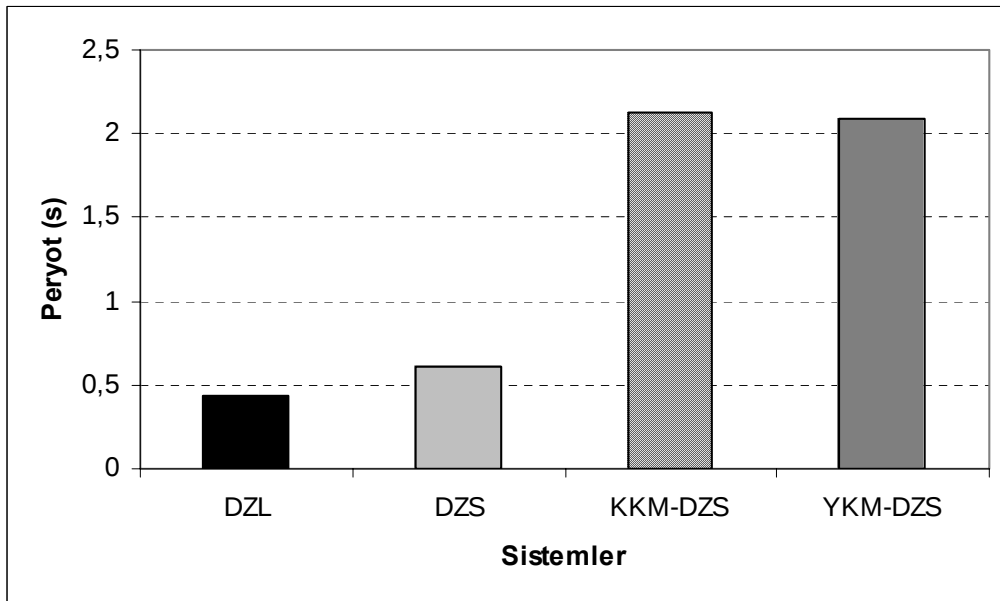
Bu bölümde L şeklinde kalıp planına sahip bina sisteminin; düzenli ankastre model (DZL), düzensiz ankastre model (DZS), kurşun kauçuk mesnet ile tasarlanmış düzensiz model (KKM-DZS) ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile tasarlanmış düzensiz model (YKM-DZS) için modal analizi yapılmaktadır. Çözümlenen her bir modele ait ilk üç mod periyot değerleri Şekil 6.37-6.39'da karşılaştırılmaktadır. Bina modeline ait ilk üç mod davranışları Şekil 6.40-Şekil 6.63'de verilmektedir. İlk iki mod x ve y yönlerinde yatay ötelenmeye karşılık gelirken 3. mod burulma şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Düzenli sisteme ait ilk mod 0,57 s iken, daha esnek olan düzensiz sistemde ilk mod 0,67 s olmaktadır. Deprem hareketinin yapı sistemine olan etkisini azaltmak amacıyla düzensiz sistem mesnet noktalarına izolatörler yerleştirilmiştir. İzolatörlü sistemlere

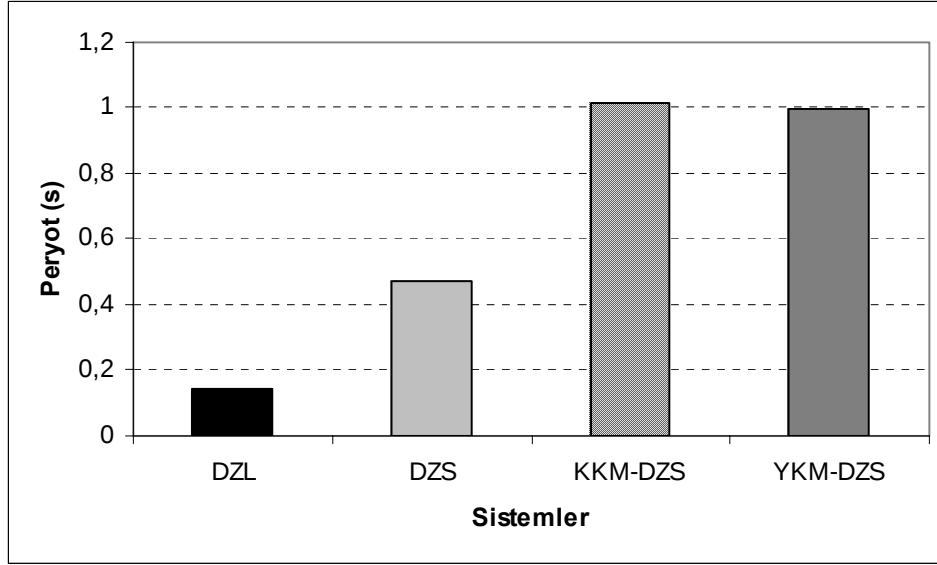
ait hedeflenen periyot değeri 2,5 s olarak seçilmiştir. Şekil 6.37'den de görüleceği üzere ilk moda ait periyot değerleri 2,5 s civarındadır. Yine 2. ve 3. modlar için de sismik izolatörler kullanılmak suretiyle, periyot değerlerinde düzenli ve düzensiz ankastre sistemlere oranla önemli artışlar elde edilmiştir (Şekil 6.38 ve Şekil 6.39).



Şekil 6.37. Mod 1 periyot değerleri



Şekil 6.38. Mod 2 periyot değerleri



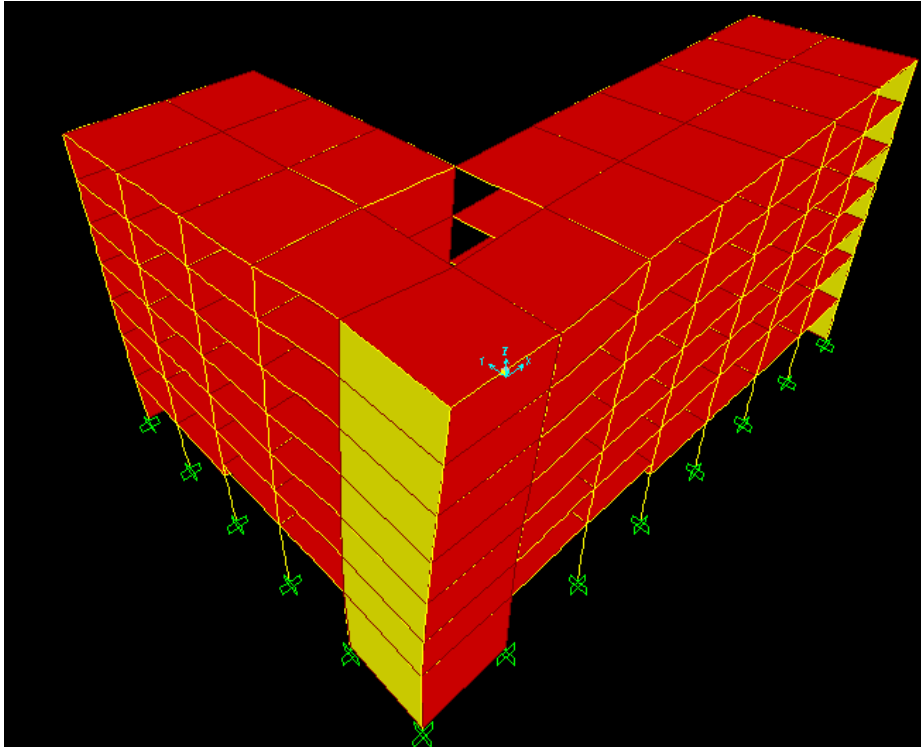
Şekil 6.39. Mod 3 periyot değerleri

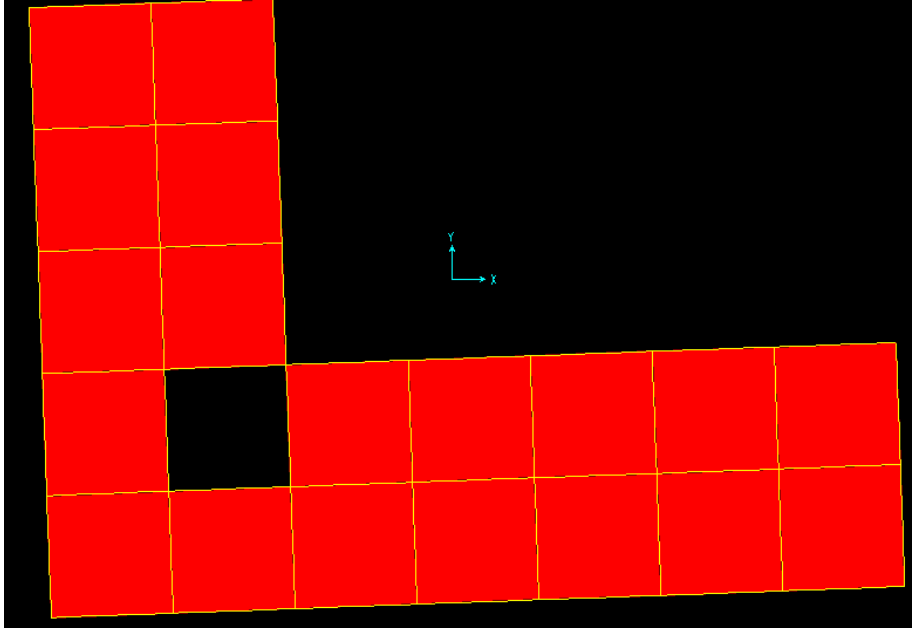
Düzenli ankastre sistem için Türkiye Deprem Yönetmeliği [73] gereğince ilk 4 modun dikkate alınması yeterli olmaktadır. İlk 4 modun dikkate alınması yönetmelikte verilen, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmiştir. Düzensiz sistemde ise bu şart ancak ilk 12 modun dikkate alınmasıyla sağlanabilmektedir. Düzensiz sistemde sismik izolatörlerin kullanılması durumunda ise ilk 15 mod dikkate alınmaktadır.

İzolatörlü sistemlerin mesnetlerinde ilk üç mod için deformasyon söz konusu olsa da, yapı rijit bir davranış sergilemektedir. Bu nedenle ilk üç modun izolatör modları olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 6.18). Geri kalan modlar ise izolatör sistemi ile birlikte, daha çok yapı sisteminde deformasyona neden olmaktadır. Dolayısıyla bu modlar da yapısal mod olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanında, yapısal modların yapıda deprem hareketinden kaynaklanacak tepki kuvvetlerine katılımı az olacağından, sismik izolatörlü sistemlerin deprem hareketi altındaki davranışlarının oldukça iyi olacağı ortaya çıkmaktadır. Böylece, izolatör sisteminin ilk modlara ait periyotlar üzerinde daha çok etkili olduğu, yüksek modlara ait periyotlar üzerindeki etkisinin ise az olduğu anlaşılmaktadır.

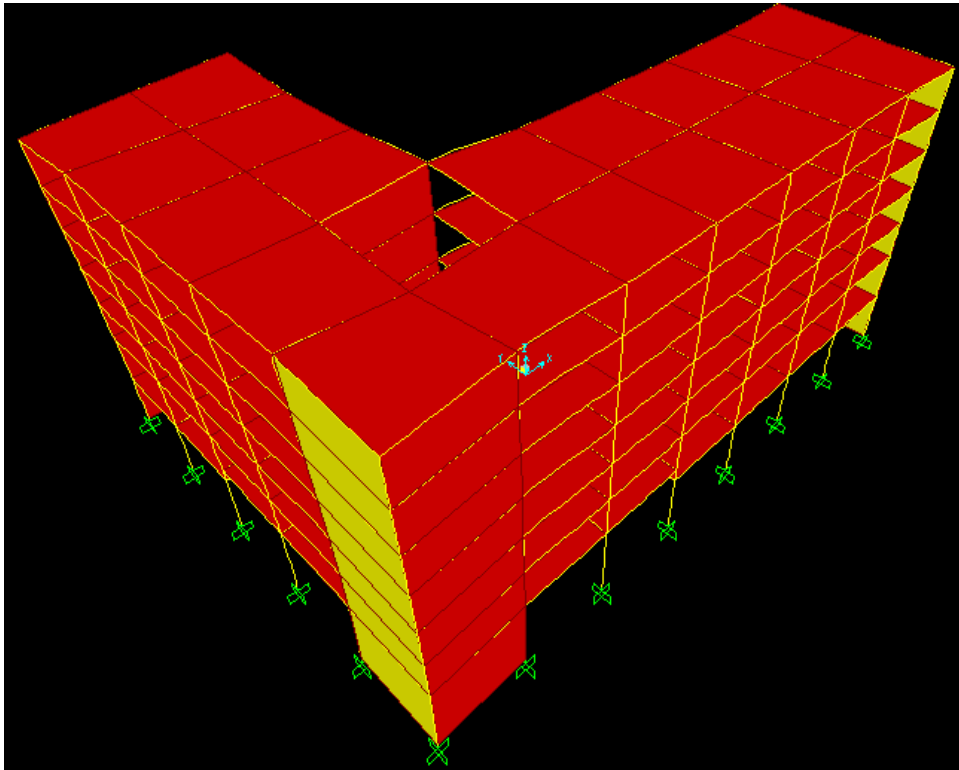
Çizelge 6.18. Periyot değerlerinin karşılaştırılması

Mod	Periyot Değerleri (s)			
	DZL	DZS	KKM-DZS	YKM-DZS
1	0.575	0.670	2.460	2.410
2	0.430	0.610	2.120	2.090
3	0.146	0.470	1.010	0.998
4	0.111	0.450	0.480	0.480
5	-	0.420	0.460	0.465
6	-	0.358	0.396	0.400
7	-	0.348	0.362	0.380
8	-	0.306	0.351	0.355
9	-	0.303	0.345	0.348
10	-	0.298	0.325	0.333
11	-	0.230	0.296	0.297
12	-	0.155	0.272	0.282
13	-	-	0.262	0.272
14	-	-	0.128	0.130
15	-	-	0.110	0.110

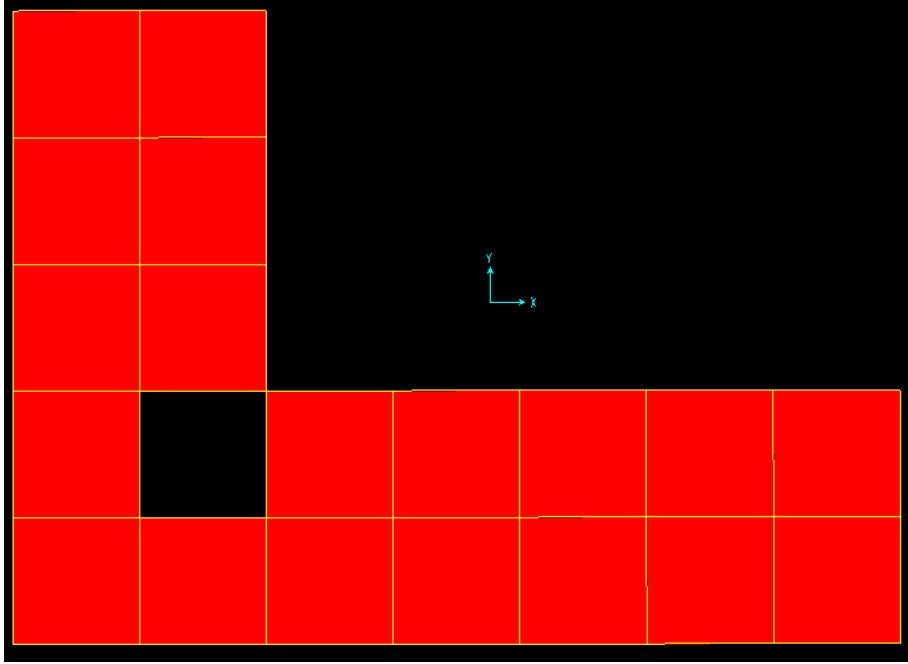
Şekil 6.40. Düzenli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1 ($T=0,57539$, x ötelenmesi)



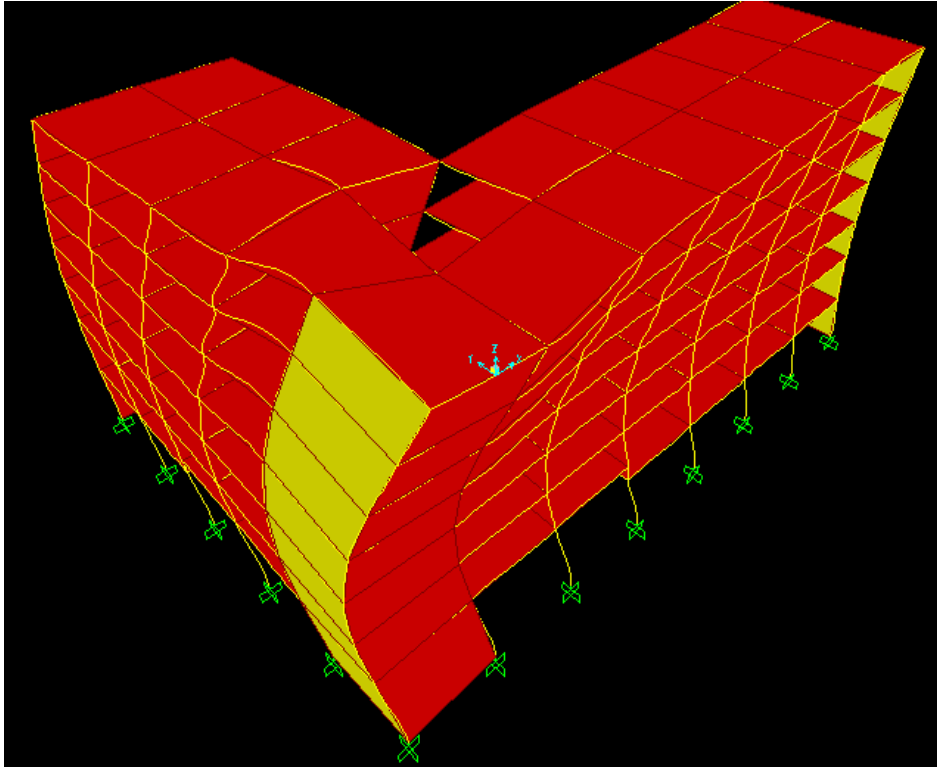
Şekil 6.41. Düzenli sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=0,57539$, x ötelenmesi)



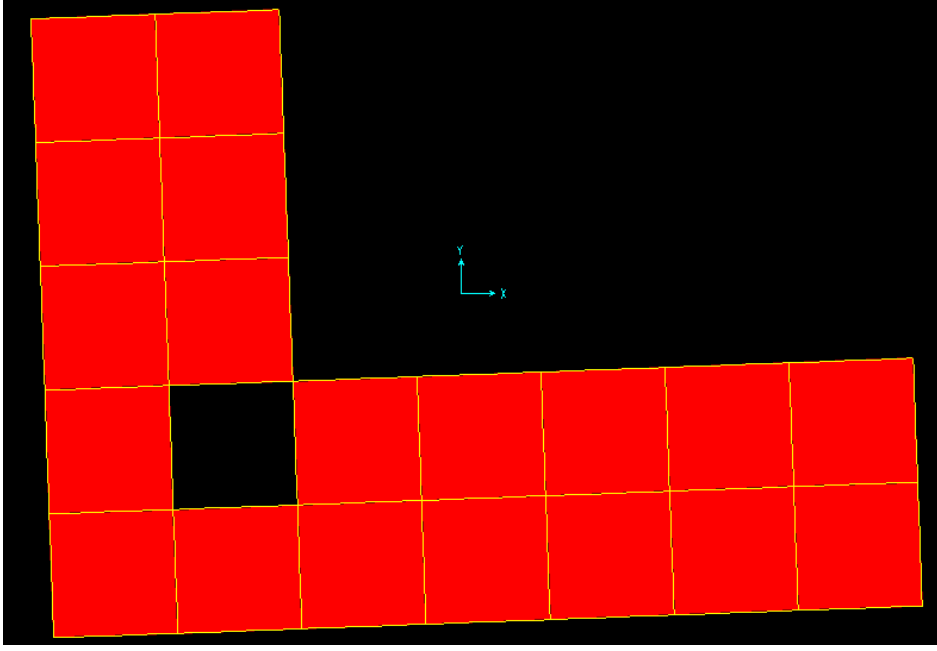
Şekil 6.42. DZL sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=0,43009$, y ötelenmesi)



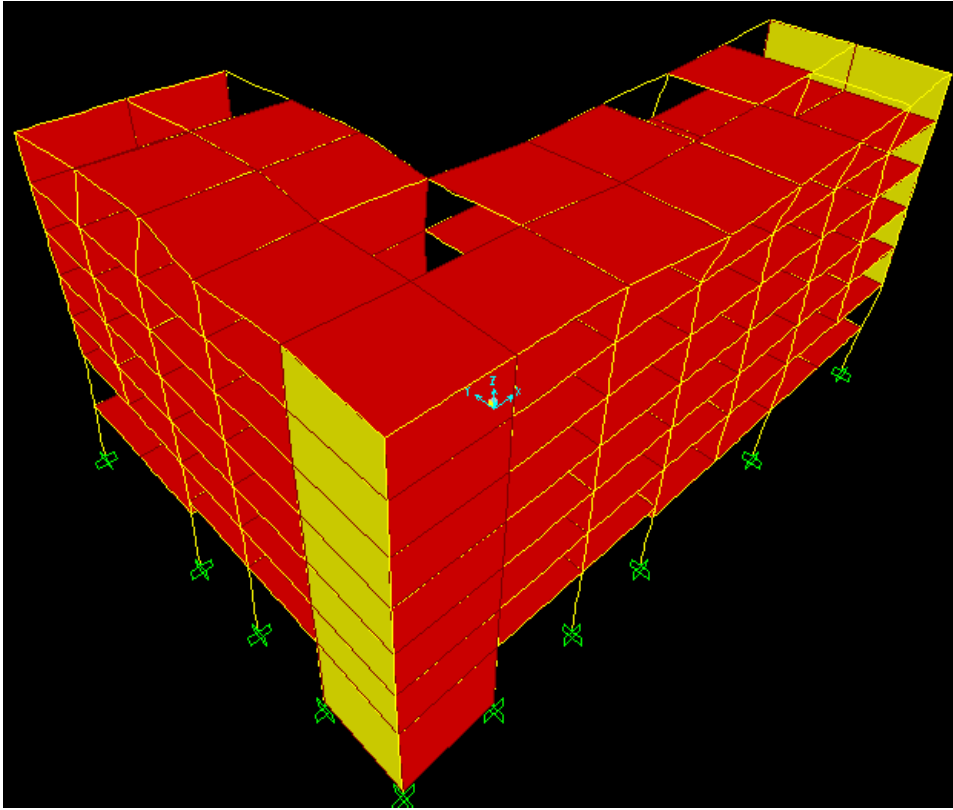
Şekil 6.43. DZL sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=0,43009$, y ötelenmesi)



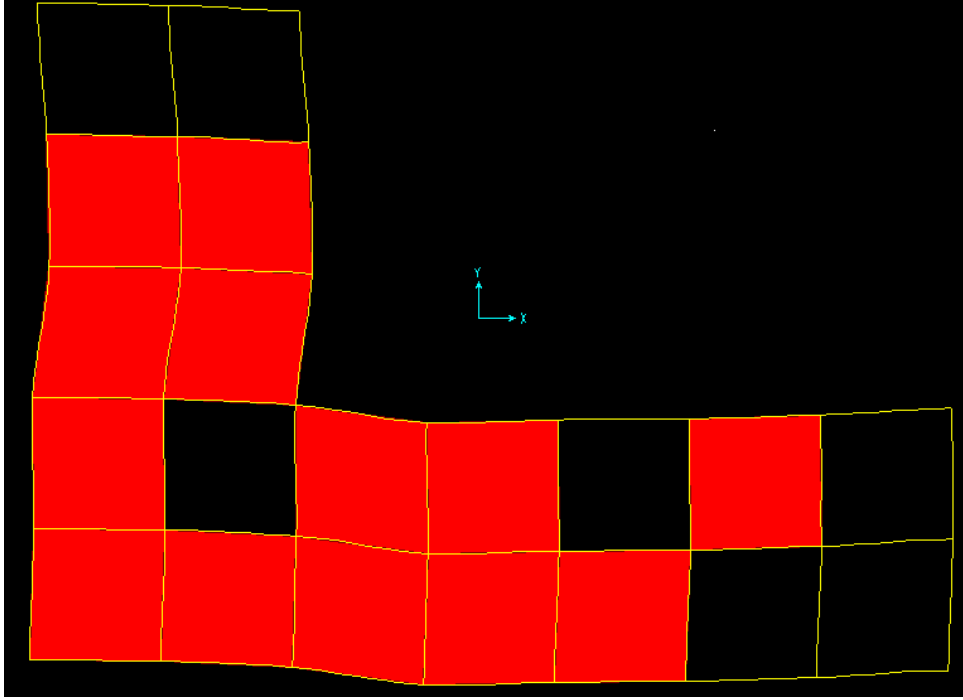
Şekil 6.44. DZL sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3 ($T=0,14598$, burulma)



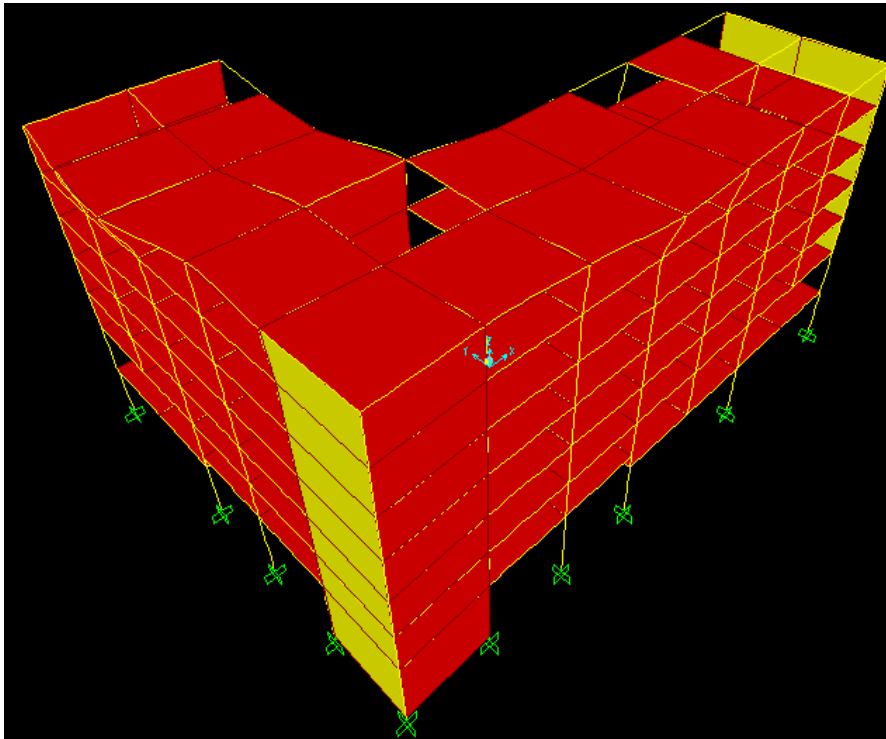
Şekil 6.45. Düzenli sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3
($T=0,14598$, burulma)



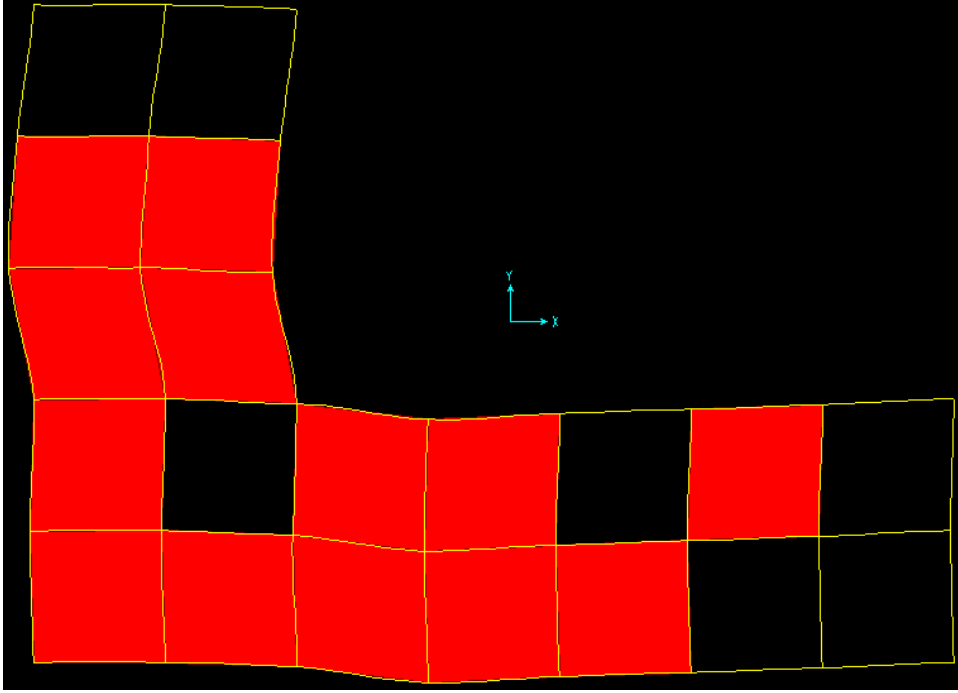
Şekil 6.46. Düzensiz sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1
($T=0,67258$, x ötelenmesi)



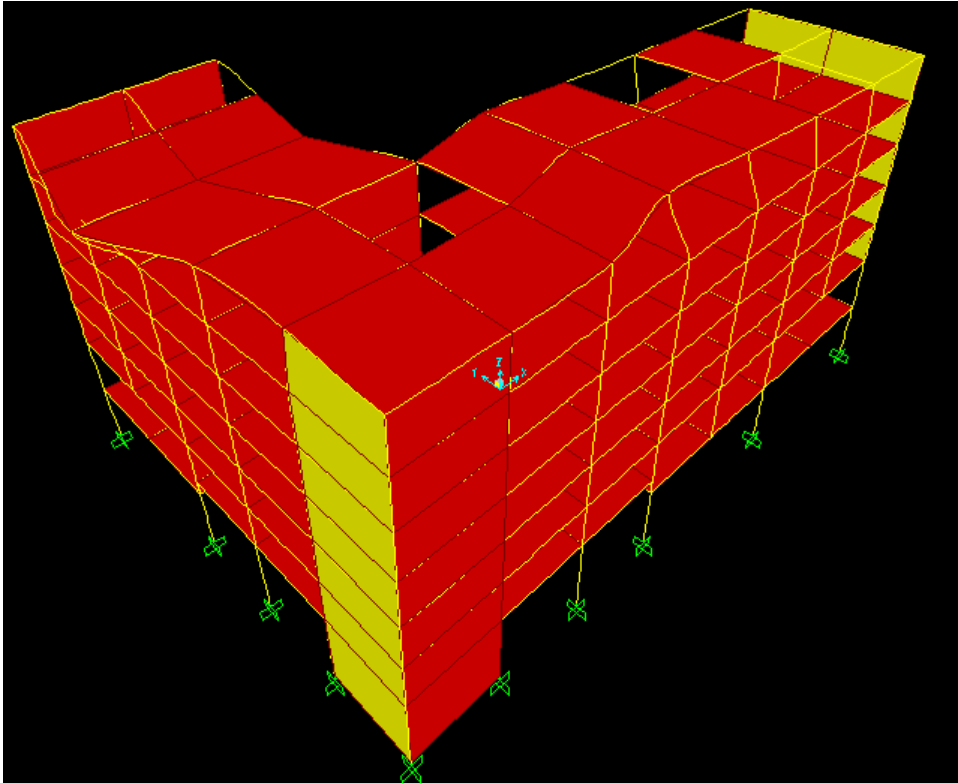
Şekil 6.47. DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=0,67258$, x ötelenmesi)



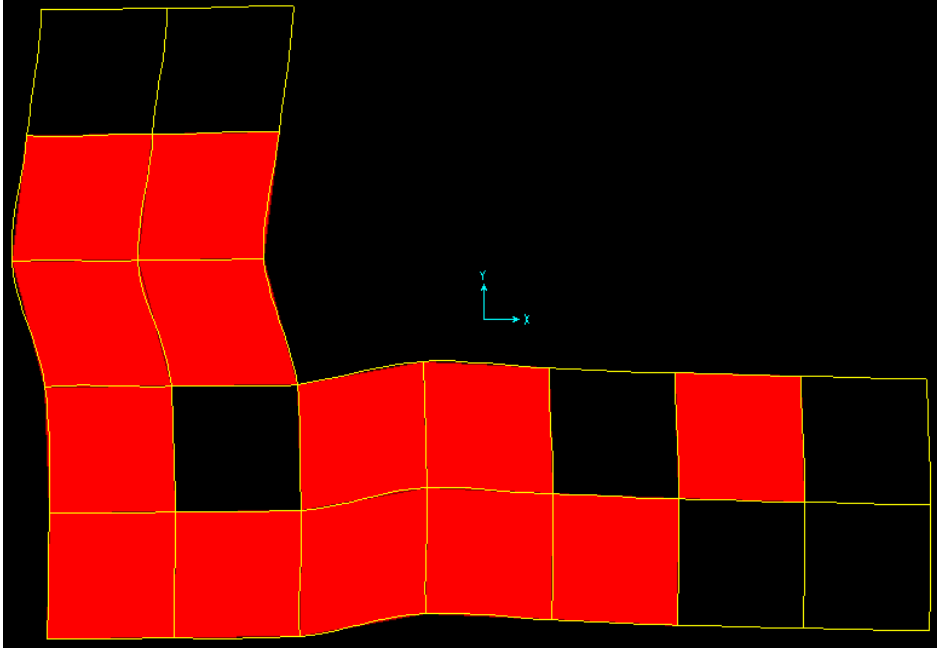
Şekil.6.48. Düzensiz sistemin modal analizi üç boyutlu, Mod 2 ($T=0,60920$, y ötelenmesi)



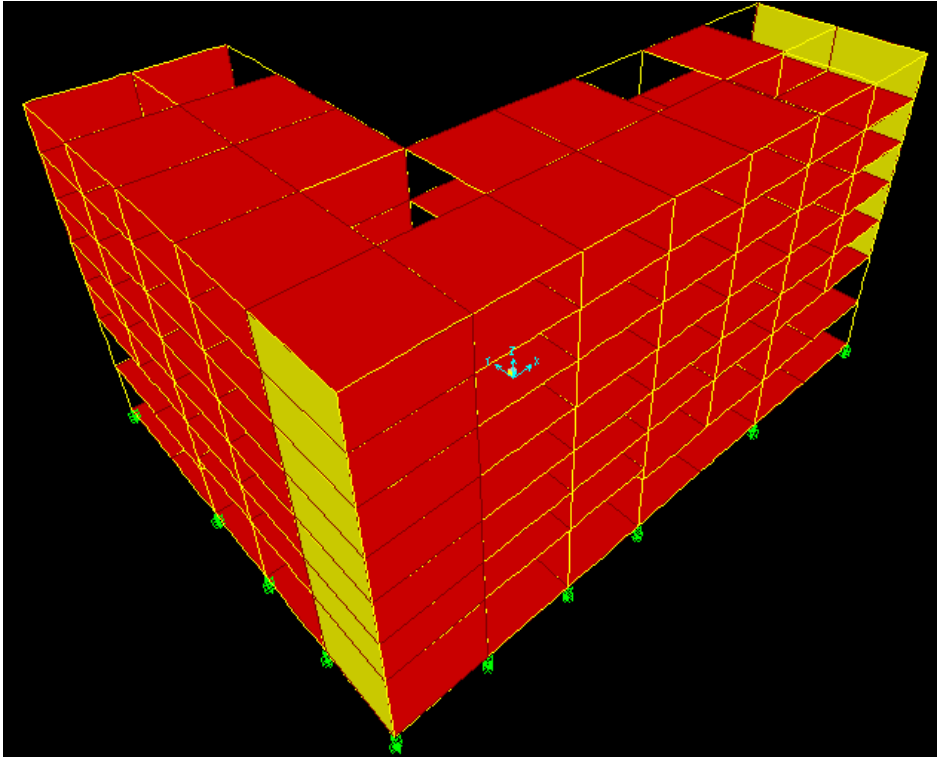
Şekil 6.49. DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 2 ($T=0,60920$, y ötelenmesi)



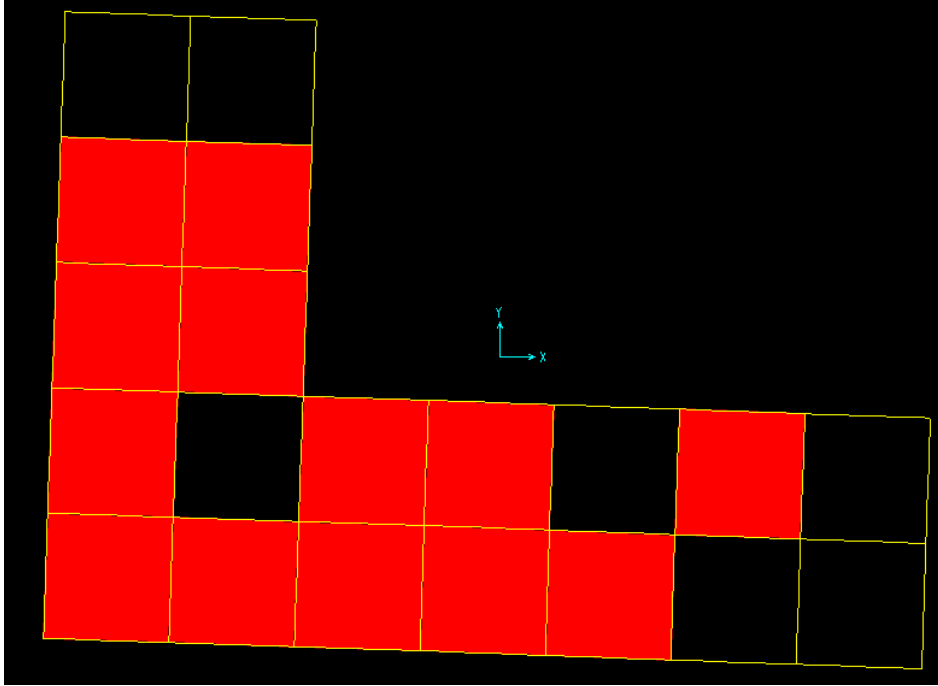
Şekil 6.50. Düzensiz sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm; Mod 3 ($T=0,47327$, burulma)



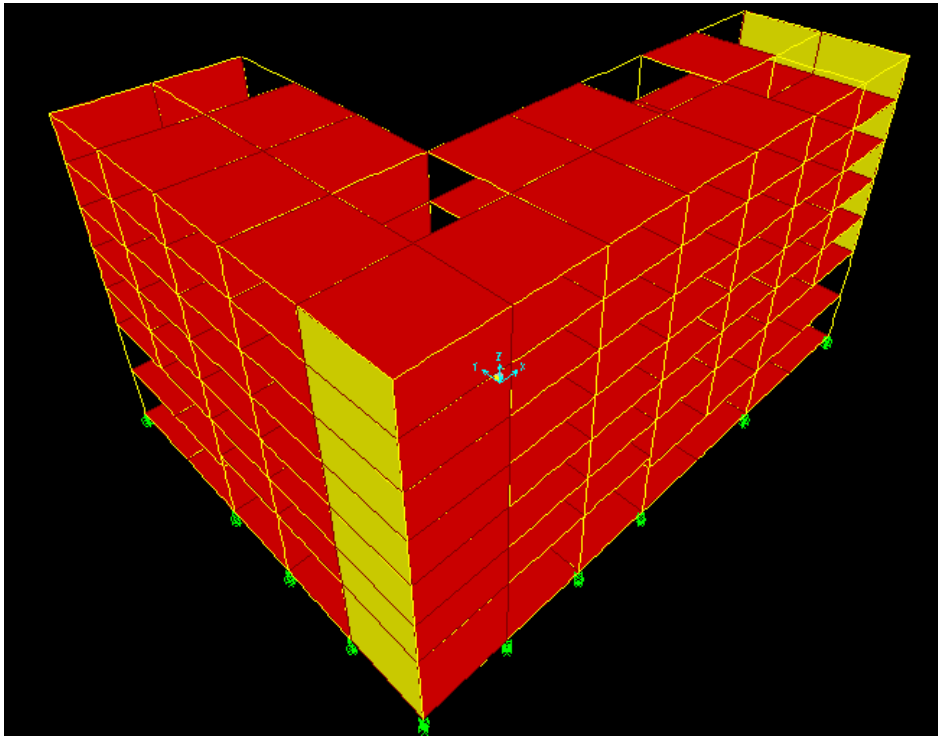
Şekil 6.51. Düzensiz sistemin modal analizi üstten görünüm; Mod 3 ($T=0,47327$, burulma)



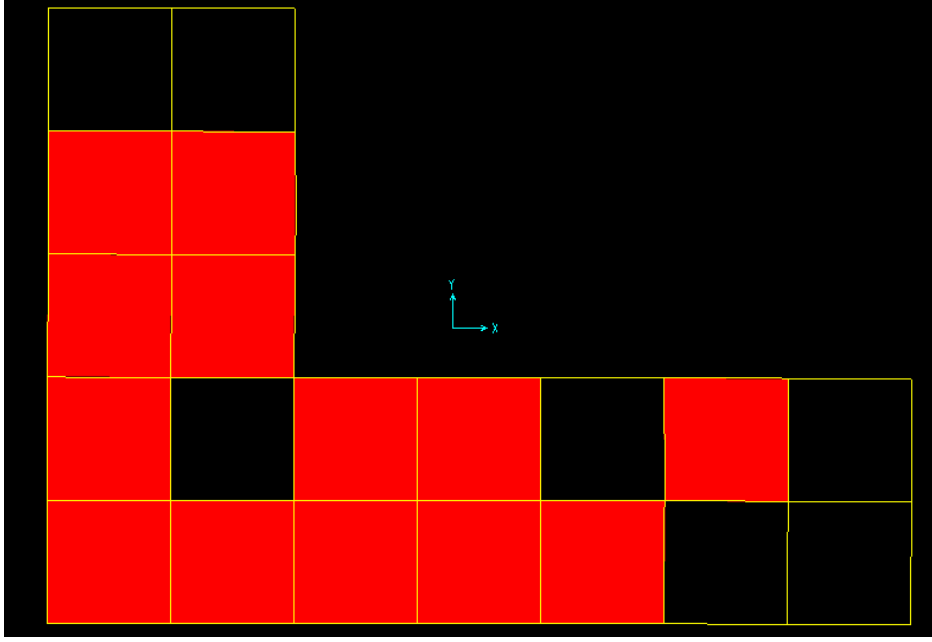
Şekil 6.52. KKM-DZS sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1 ($T=2,45652$, x ötelenmesi)



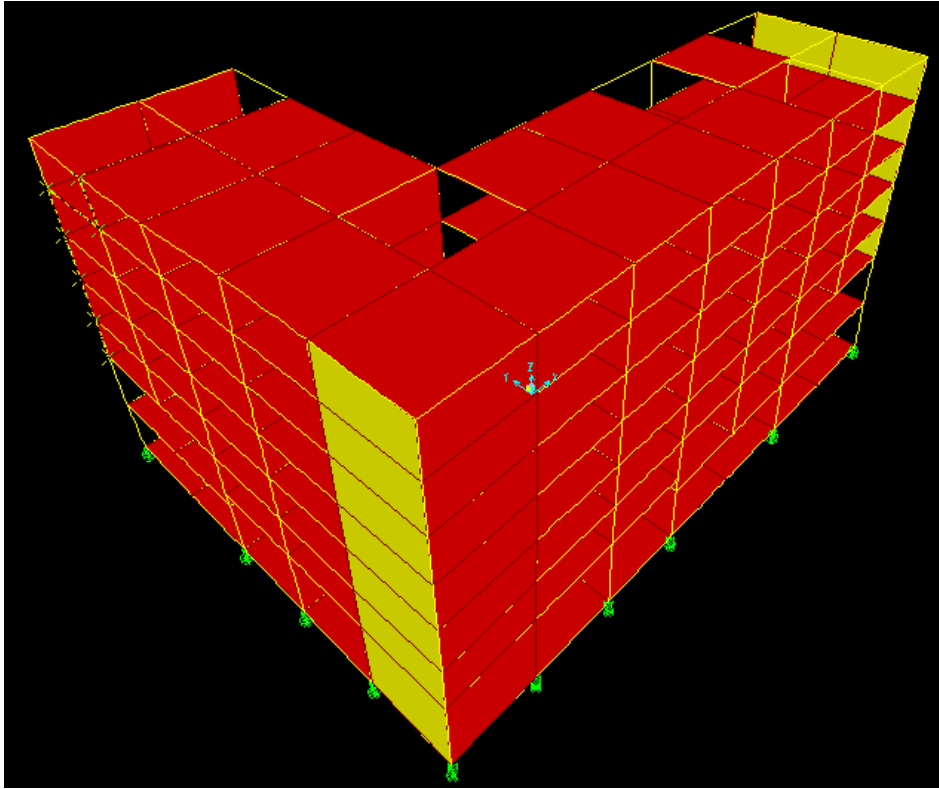
Şekil. 6.53. KKM-DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=2,45652$, x ötelenmesi)



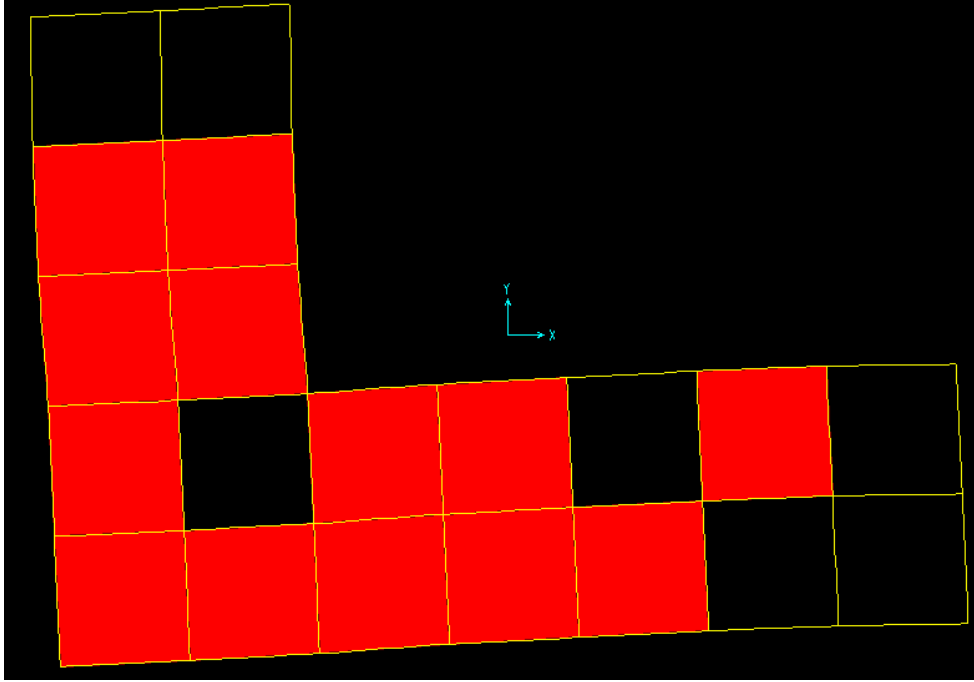
Şekil.6.54. KKM-DZS sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=2,12288$, y ötelenmesi)



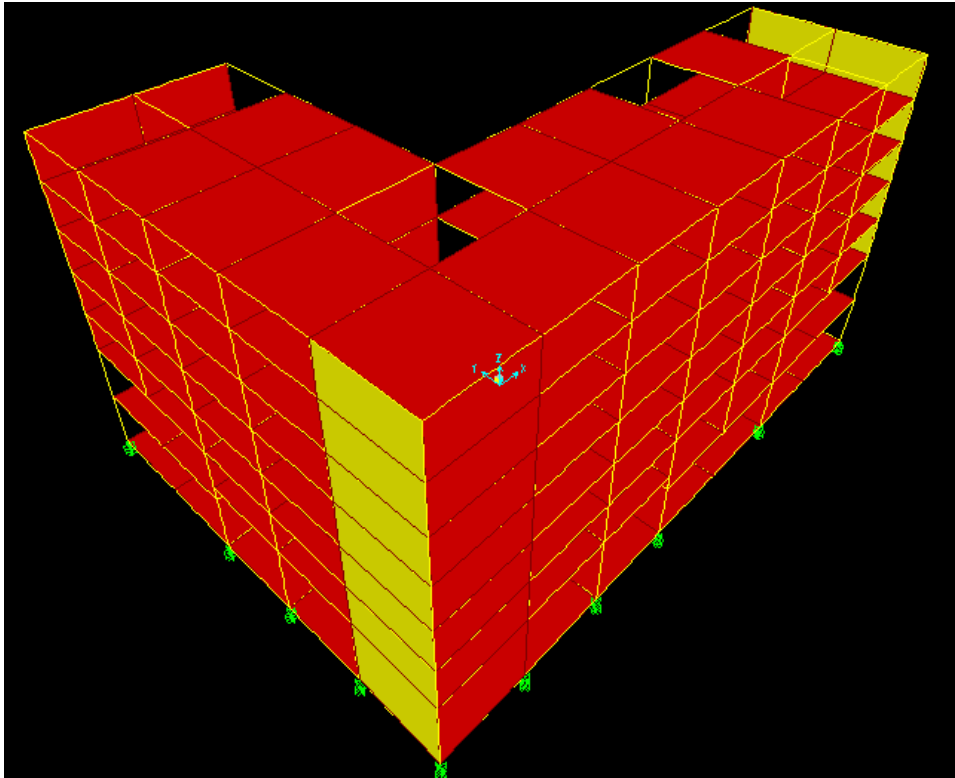
Şekil 6.55. KKM-DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 2 ($T=2,12288$, y ötelenmesi)



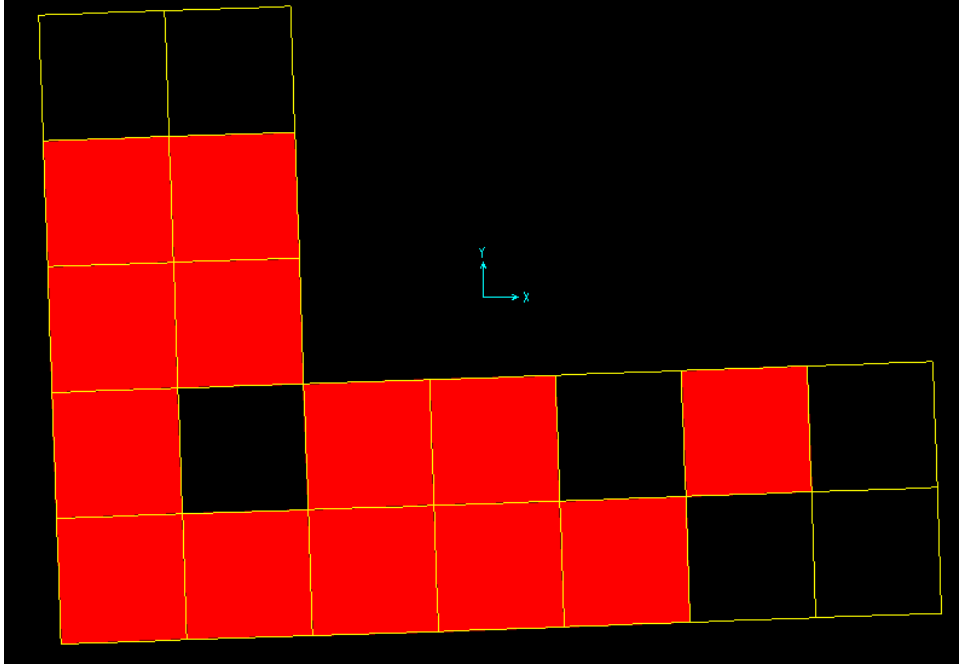
Şekil 6.56. KKM-DZS sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3 ($T=1,01435$, burulma)



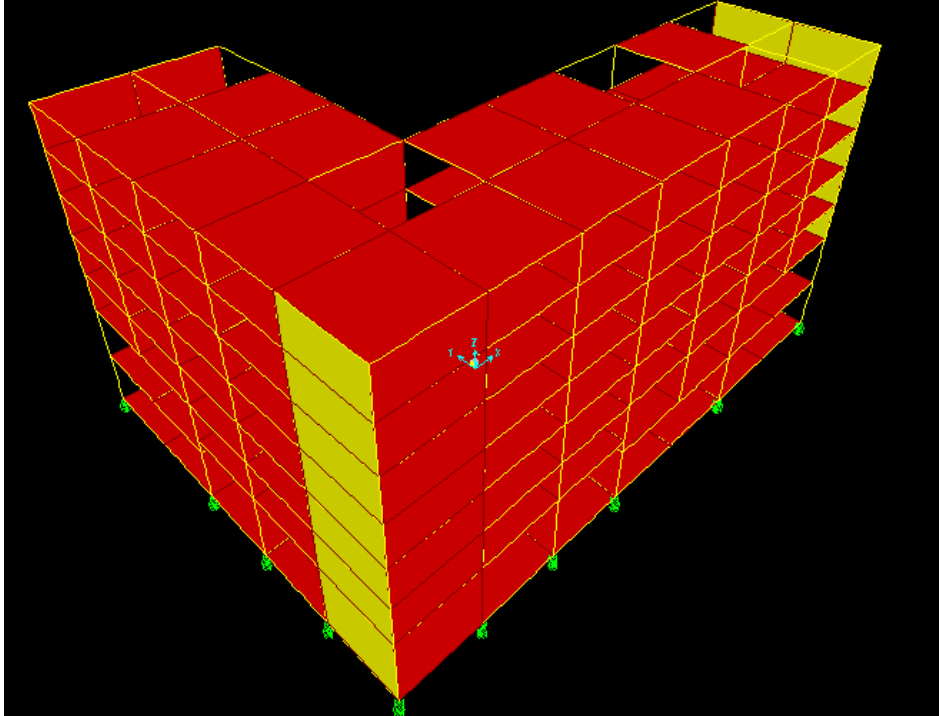
Şekil 6.57. KKM-DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 3 ($T=1,01435$, burulma)



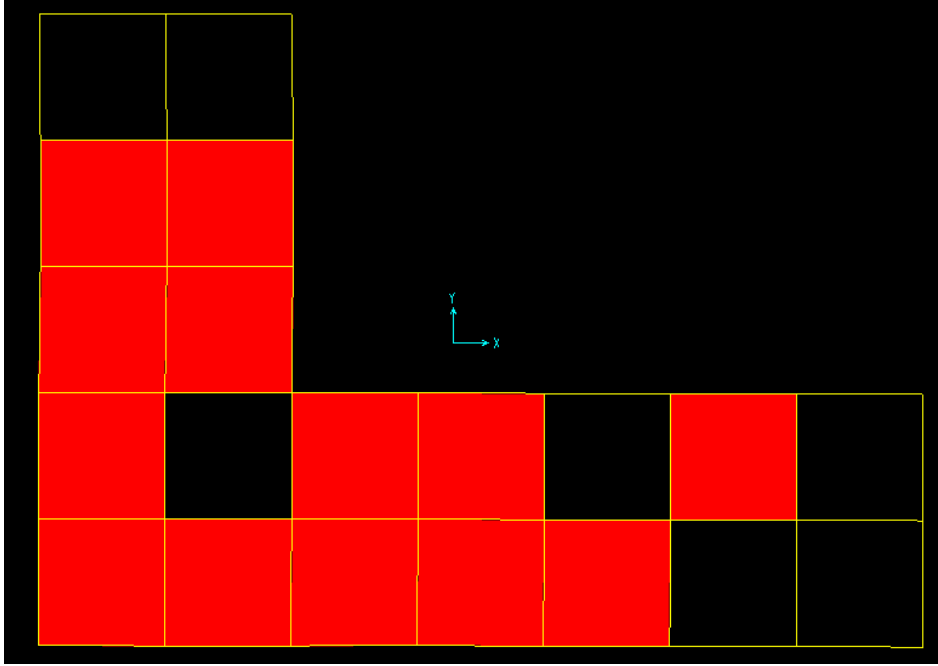
Şekil 6.58. YKM-DZS sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 1 ($T=2,41374$, x ötelenmesi)



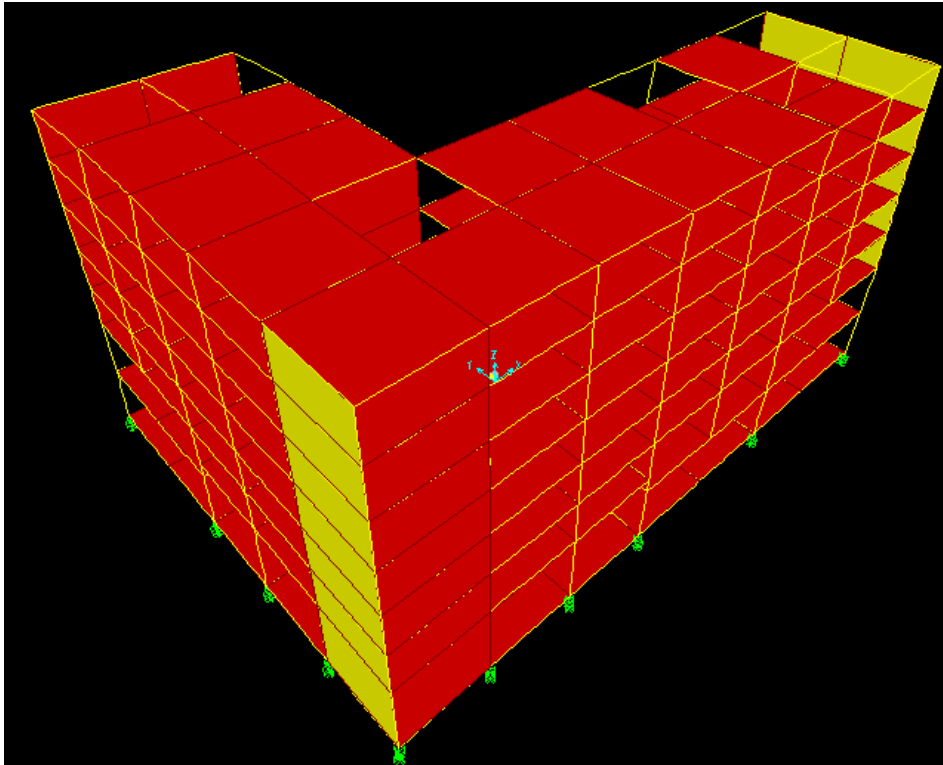
Şekil 6.59. YKM-DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 1 ($T=2,41374$, x ötelenmesi)



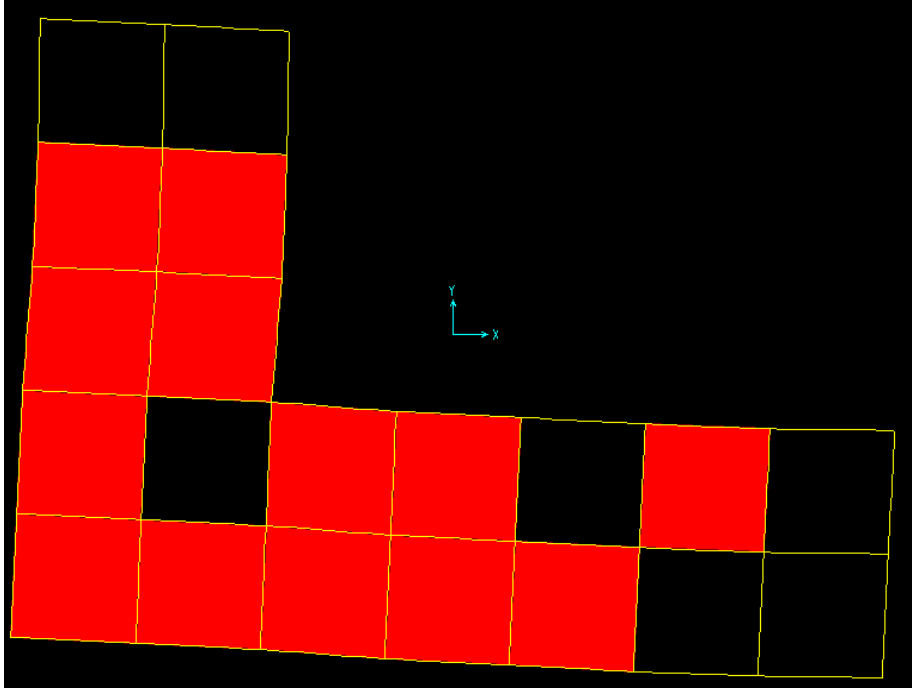
Şekil 6.60. YKM-DZS sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 2 ($T=2,09413$, y ötelenmesi)



Şekil 6.61. YKM-DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 2 ($T=2,09413$, y ötelenmesi)



Şekil 6.62. YKM-DZS sistemin modal analizi üç boyutlu görünüm, Mod 3 ($T=0,99826$, burulma)

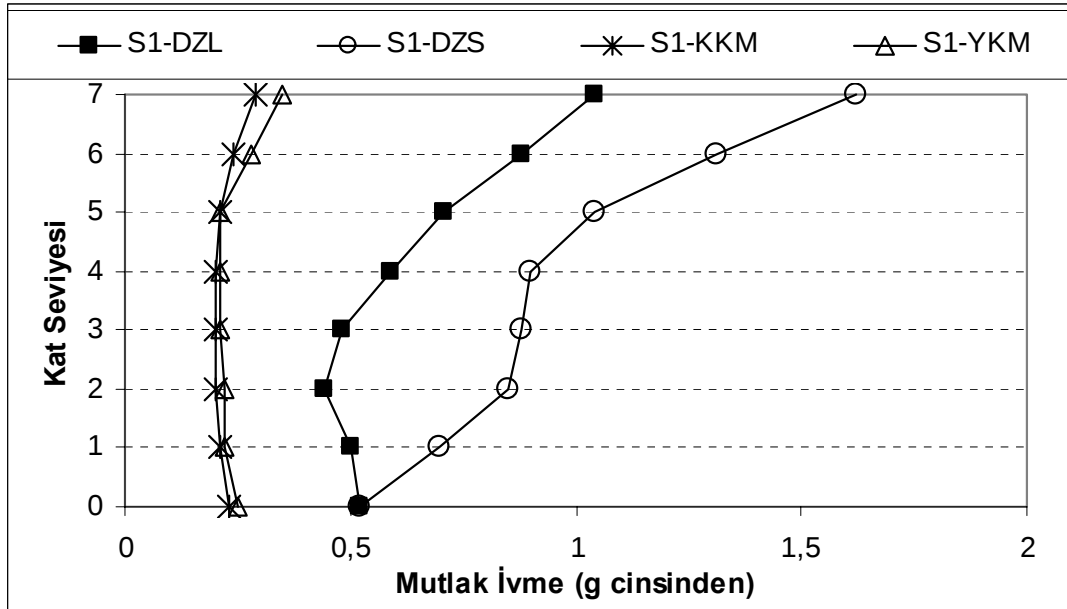


Şekil 6.63. YKM-DZS sistemin modal analizi üstten görünüm, Mod 3
($T=0,99826$, burulma)

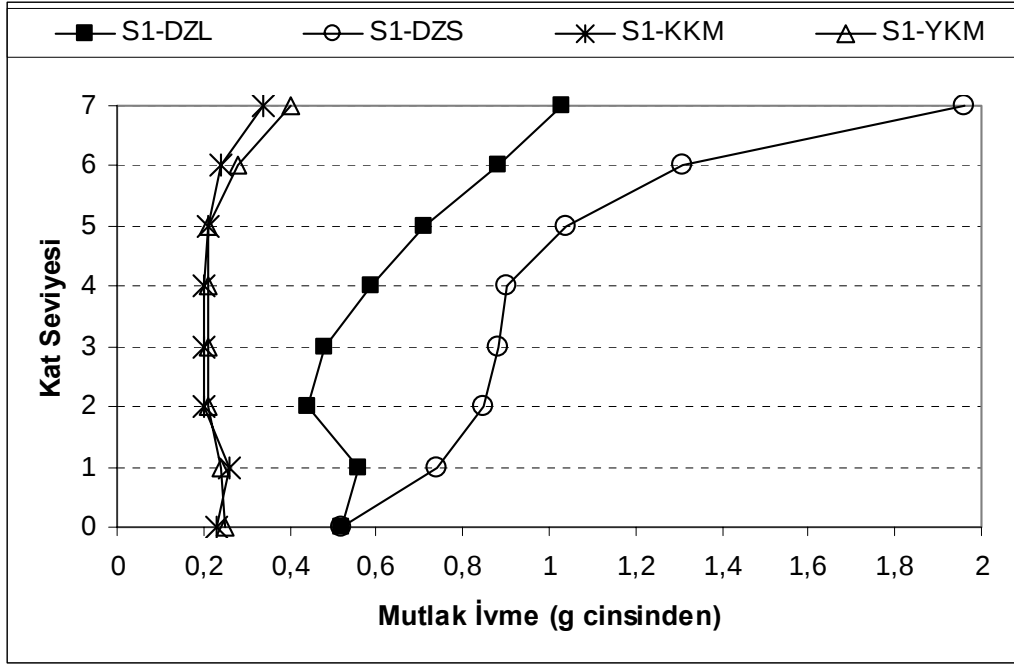
6.4.2. Yapı Sistemine ait ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Bu bölümde L şeklinde kalıp planına sahip bina sistemi; düzenli ankastre model (DZL), düzensiz ankastre model (DZS), kurşun kauçuk mesnet ile tasarlanmış düzensiz model (KKM-DZS) ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile tasarlanmış düzensiz model (YKM-DZS) için çözümlenmektedir. 1992 Erzincan Depremi Doğu-Batı Bileşeni için analiz edilen model sistemlere ait ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile kesit tesirleri kalıp planı içerisinde dikkate alınan 1A, 1H ve 2B düşey aksları boyunca irdelenmektedir. Şekil 6.64’de görülen noktalar, sistemin dinamik davranışını yansıtmak amacıyla sistem ağırlık merkezine en yakın ve en uzak olacak şekilde belirlenmiştir. Söz konusu düşey akslarda her bir model için elde edilen değişim x ve y yatay yönleri için karşılaştırılmaktadır.

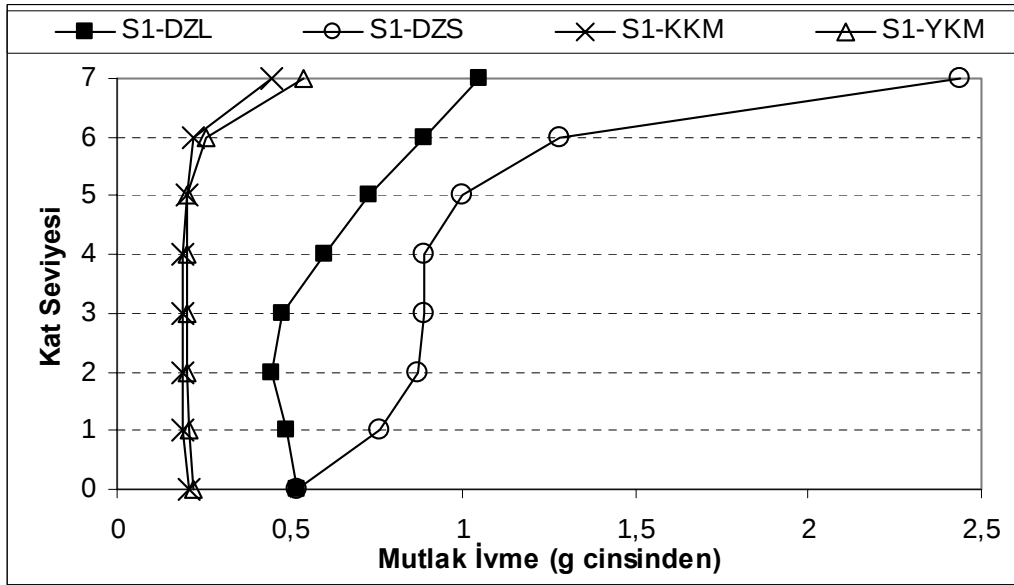
mesnetli sistemlerde kat yüksekliği boyunca elde edilen ivme değerleri, yer hareketine ait maksimum ivme değerini aşarken (0,52g), izolatörlü sistemlerde elde edilen ivme değerleri yer hareketi maksimum ivme değerinden daha küçük olmaktadır. Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için taban noktasında elde edilen ivme değeri yaklaşık olarak 0,23g iken, tepe noktasında elde edilen ivme değerleri sırasıyla 0,35g ve 0,29g olmaktadır. Böylece sismik izolatör kullanılan düzensiz sistemlerin yer hareketini %33-58 oranında azalttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca düzenli ankastre sistemin yer hareketini %100 oranında ve düzensiz ankastre sistemin yer hareketini %212 oranında arttırdığı gözlemlenmektedir. Bunun yanında yapı tepe noktasında düzensiz sistem için elde edilen ivme değeri düzenli sisteme oranla %56 oranında artarken, sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için elde edilen ivme değerleri düzenli ankastre mesnetli sisteme oranla sırasıyla %66 ve %72 oranlarında azalmıştır.



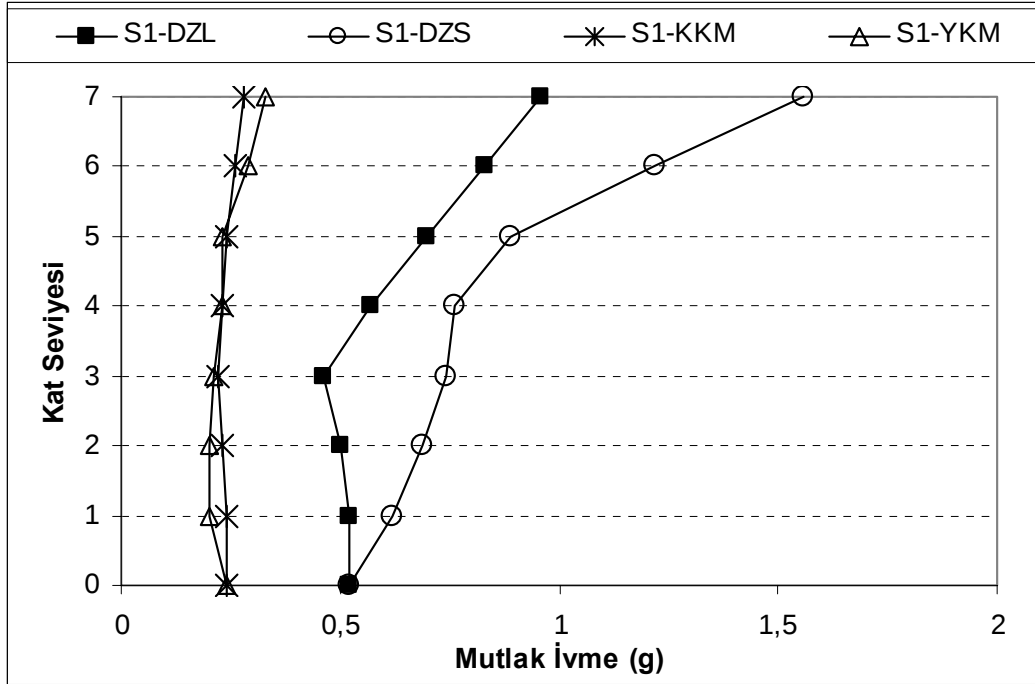
Şekil 6.65. 1A düşey aksı x yönü mutlak ivme değerleri



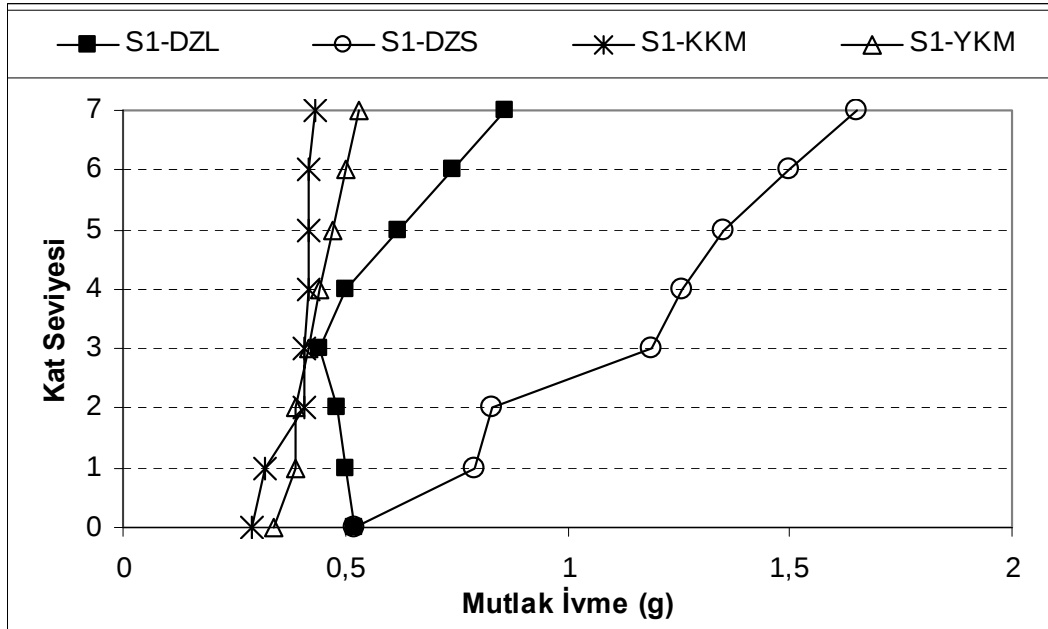
Şekil 6.66. 1H düşey aksı x yönü mutlak ivme değerleri



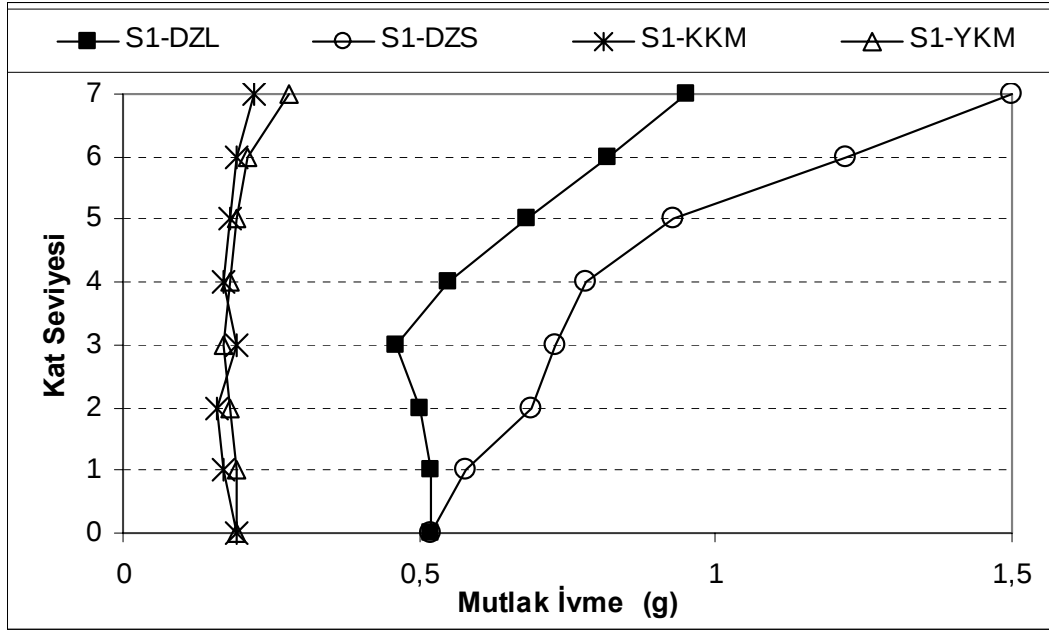
Şekil 6.67. 2B düşey aksı x yönü mutlak ivme değerleri



Şekil 6.68. 1A düşey aksı y yönü mutlak ivme değerleri

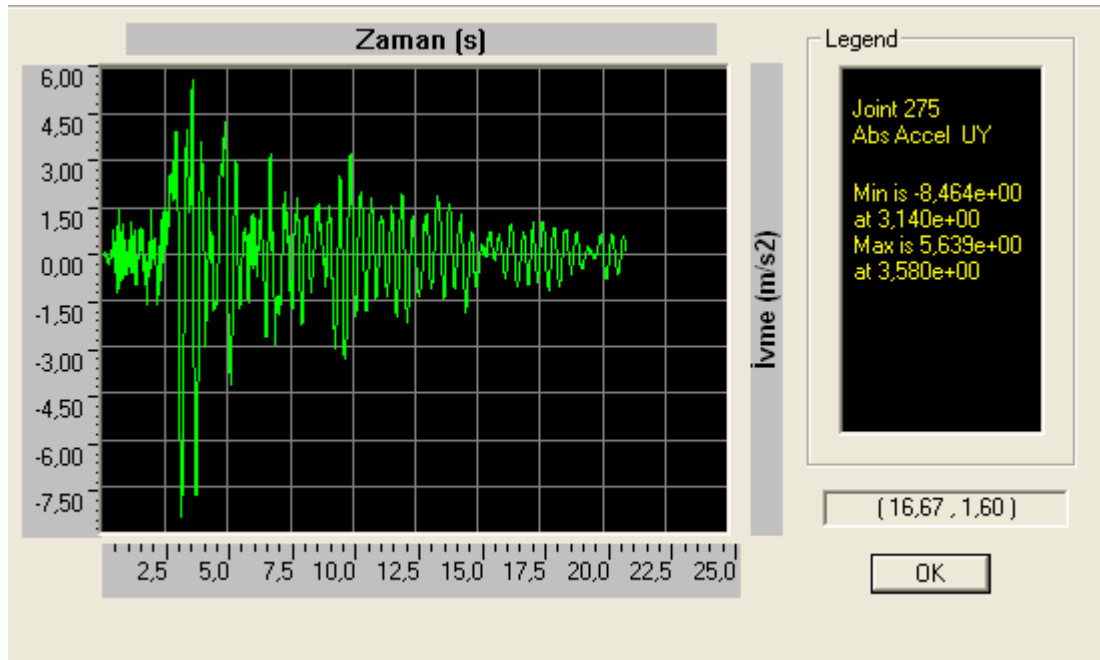


Şekil 6.69. 1H düşey aksı y yönü mutlak ivme değerleri

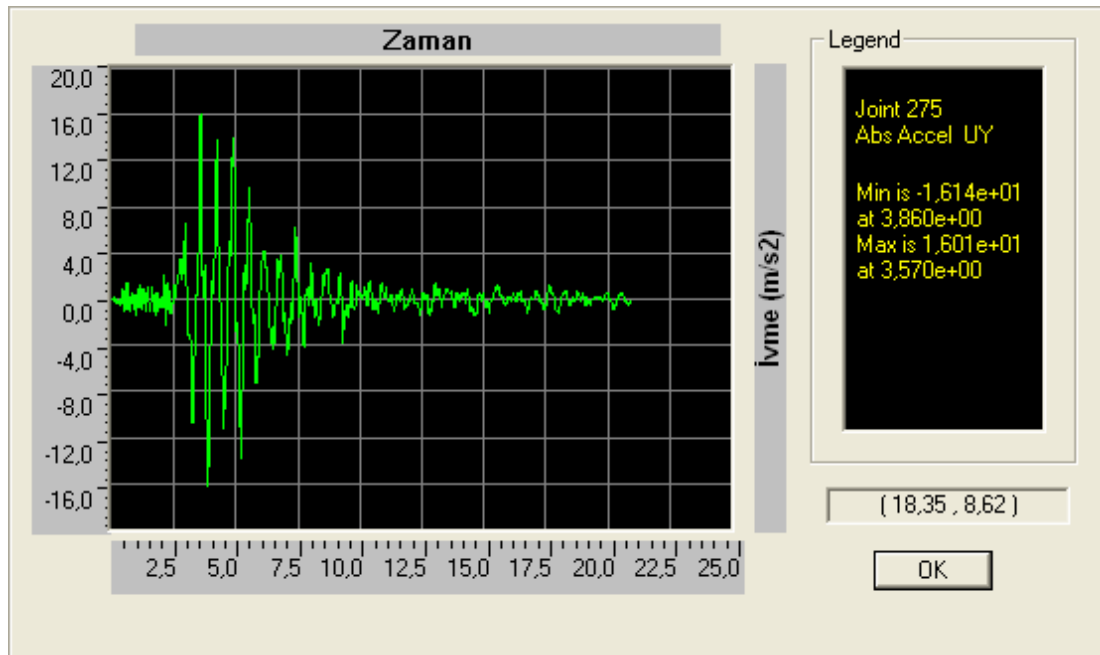


Şekil 6.70. 2B düşey aksı y yönü mutlak ivme değerleri

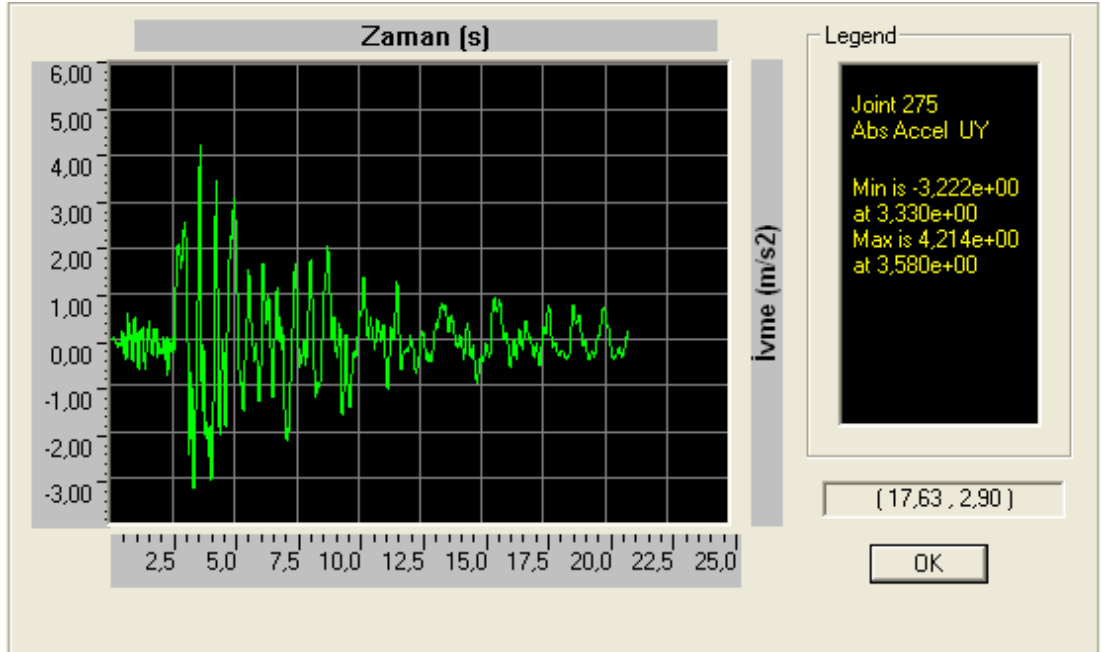
1H düşey aksında bina tepe noktası ve taban noktasında her bir model için y yönünde elde edilen ivme-zaman değişimi Şekil 6.71-6.78’de verilmektedir. Görüleceği üzere ivmeye ait maksimum değerler yer hareketine bağlı olarak 2,5-10 s arasında oluşmaktadır. Ayrıca düzenli ve düzensiz ankastre sistemlerde mesnet noktasındaki ivme-zaman değişimi, maksimum ivme değeri 0,52g olan yer hareketi ivme-zaman değişimine eşit olurken, sismik izolatör kullanılması durumunda mesnetteki maksimum ivme değeri yaklaşık 0,30g olmaktadır. Böylece sismik izolasyon sisteminin uygulanması ile yapı tabanına gelen maksimum ivmenin %42 oranında daha küçük olduğu ortaya çıkmaktadır.



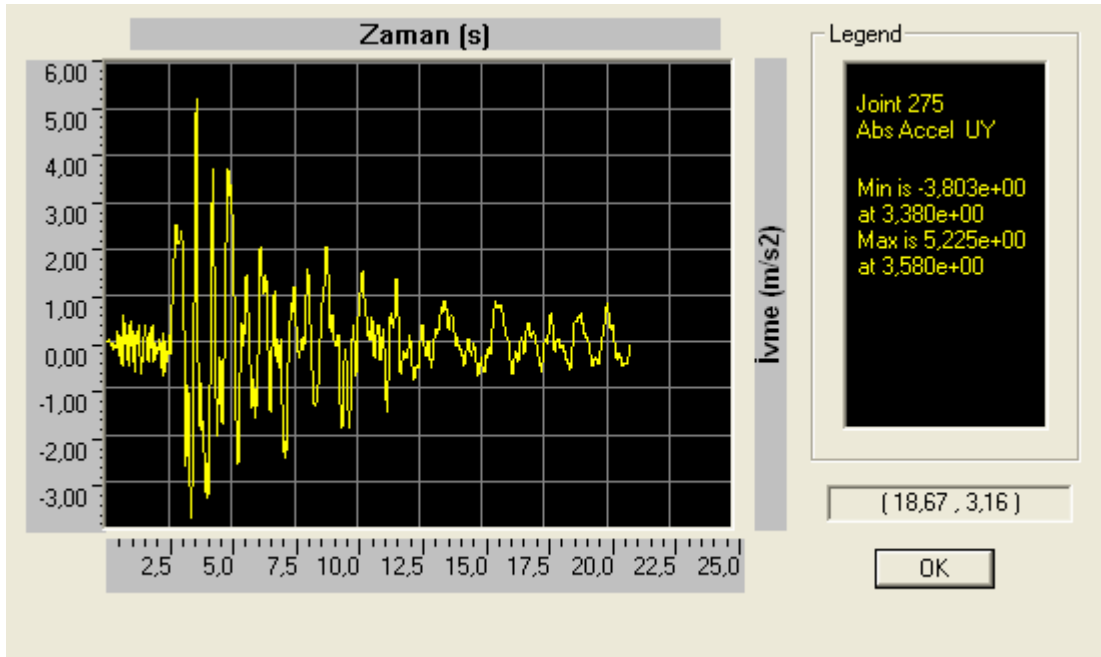
Şekil 6.71. Düzenli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi



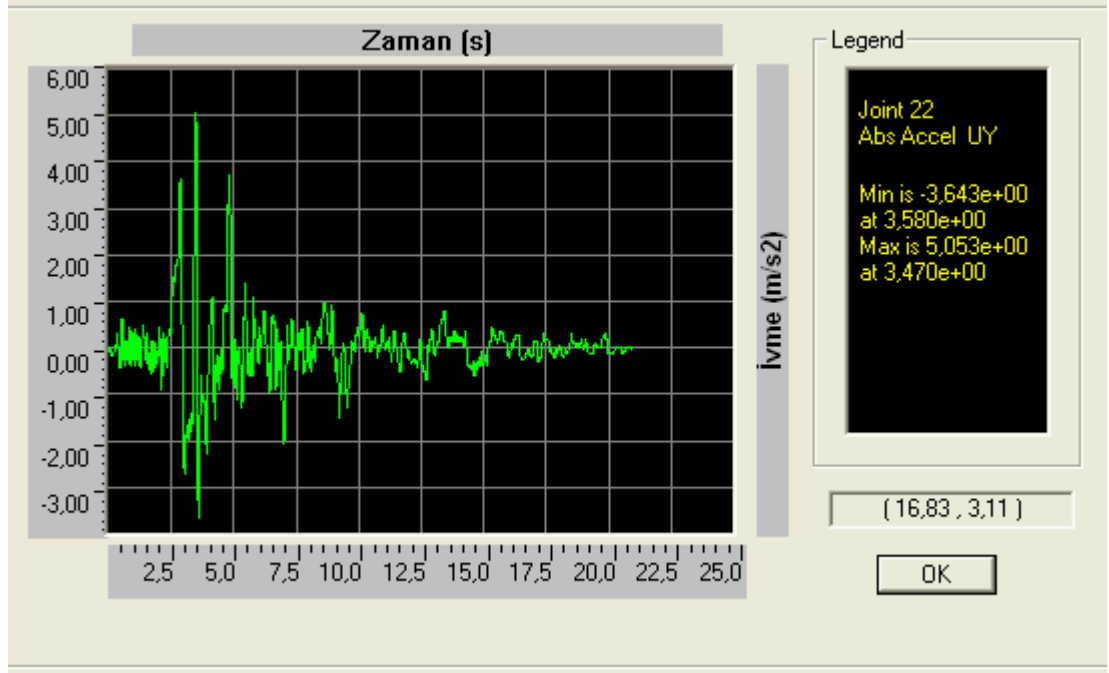
Şekil 6.72. Düzensiz sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi



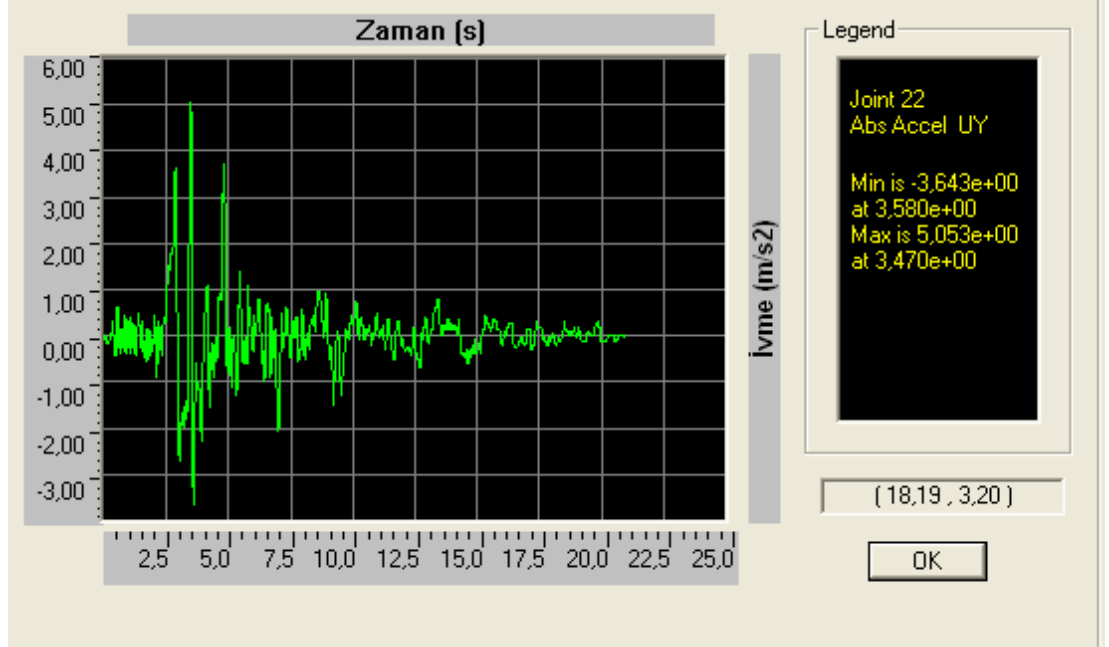
Şekil 6.73. KKM-DZS sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi



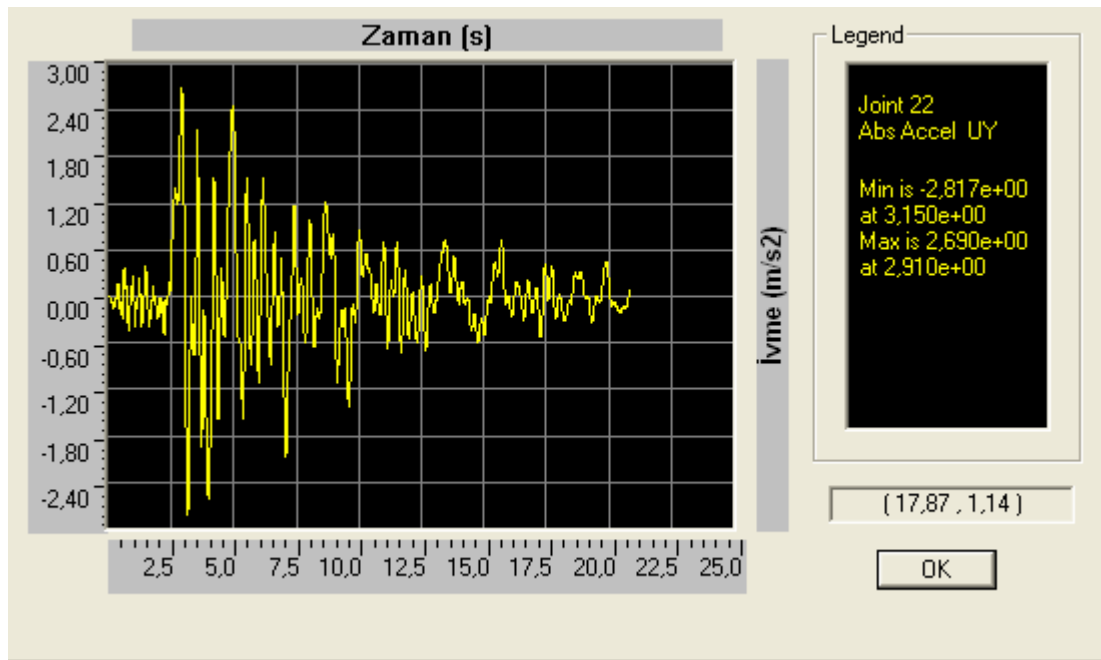
Şekil 6.74. YKM-DZS sistem 1H aksı tepe noktası y yönü ivme-zaman değişimi



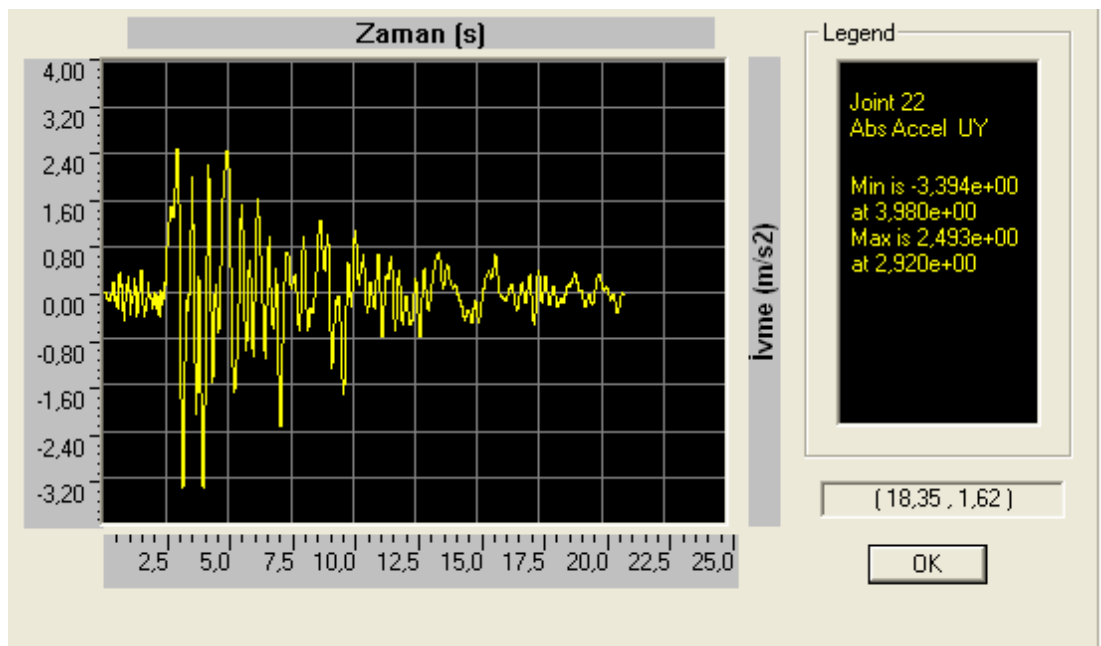
Şekil 6.75. Düzenli sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi



Şekil 6.76. Düzensiz sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi



Şekil 6.77. KKM-DZS sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi

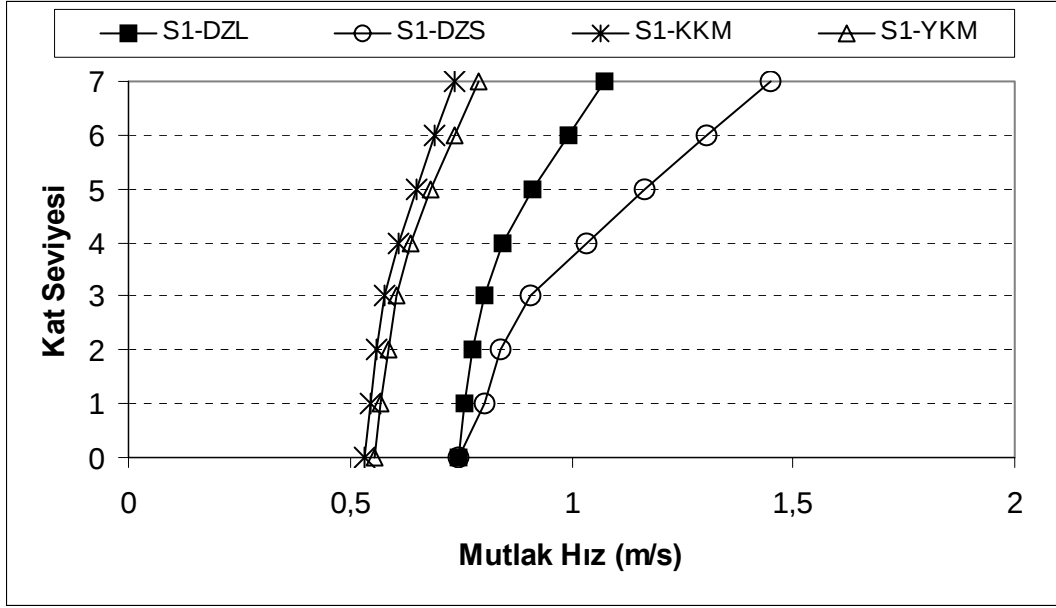


Şekil 6.78. YKM-DZS sistem 1H aksı taban noktası y yönü ivme-zaman değişimi

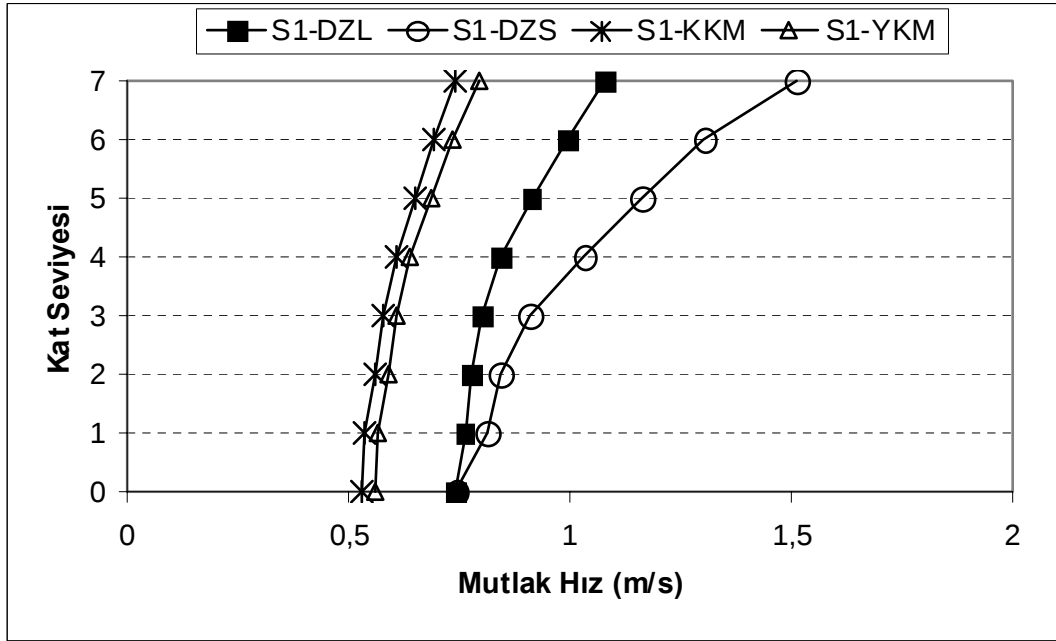
Hız değerlerinin karşılaştırılması

Dikkate alınan düşey akslar boyunca elde edilen mutlak hız değerlerinin yükseklik boyunca değişimi x ve y yönlerinde Şekil 6.79-6.84'de karşılaştırılmaktadır. Şekillerden anlaşılacağı gibi burada da her bir modelin çözümlenmesi ile elde edilen değişim, dikkate alınan tüm düşey akslarda ve x ve y yönlerinde oldukça benzerdir. Bina yüksekliği boyunca elde edilen mutlak hız değerleri düzensiz sistem için en büyük olurken, düzenli sistemde daha küçük ve sismik izolatörlü sistemlerde en küçük olmaktadır. İzolatörlü sistemler için elde edilen hız değerleri birbirine yakın olmakta ve bina yüksekliği boyunca önemli bir değişim göstermemektedir.

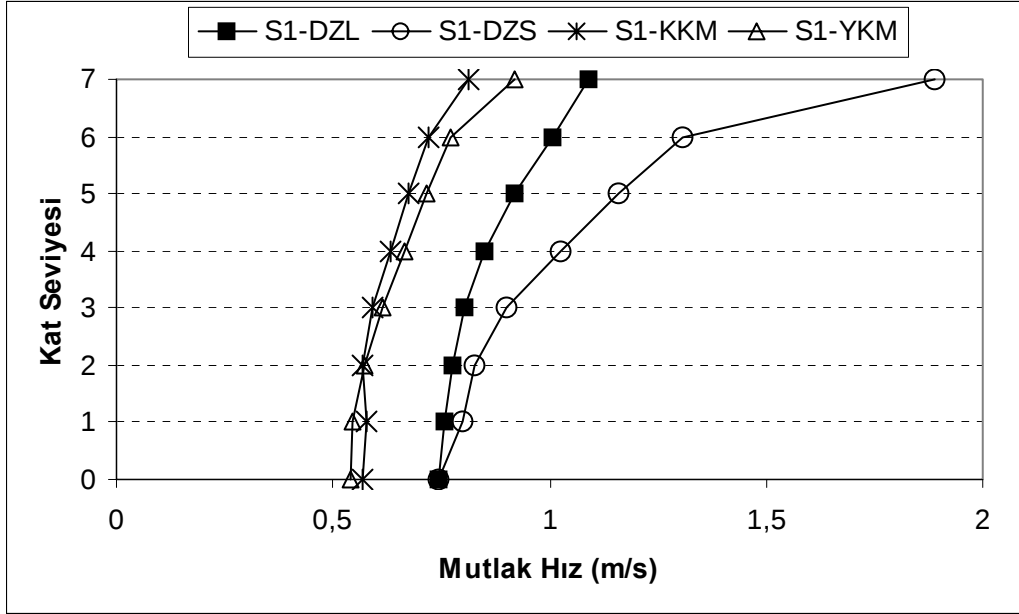
1A düşey aksı taban noktası x yönü için düzenli ve düzensiz sistemlerde elde edilen mutlak hız değeri 0,743 m/s olup, yer hareketine ait maksimum hız değeri ile çakışmaktadır. Düzenli ve düzensiz sistemlerde tepe noktasında elde edilen hız değerleri sırasıyla 1,07 m/s ve 1,45 m/s mertebelerindedir. İzolatörlü sistemlerde tabanda ve tepe noktasında elde edilen hız değerleri yaklaşık olarak sırasıyla 0,54 m/s ve 0,75 m/s civarındadır. Böylece düzenli sistemin yer hareketi hızını %44 oranında, düzensiz sistemin ise %95 oranında arttırdığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte sismik izolatör kullanılması ile yer hareketi hızının %27 oranında azaldığı görülmektedir. Yapı tepe noktasında düzensiz sistem için elde edilen hız değeri düzenli sisteme oranla %35 oranında artarken, sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için elde edilen hız değerleri düzenli ankastre mesnetli sisteme oranla yaklaşık %30 oranında azalmıştır.



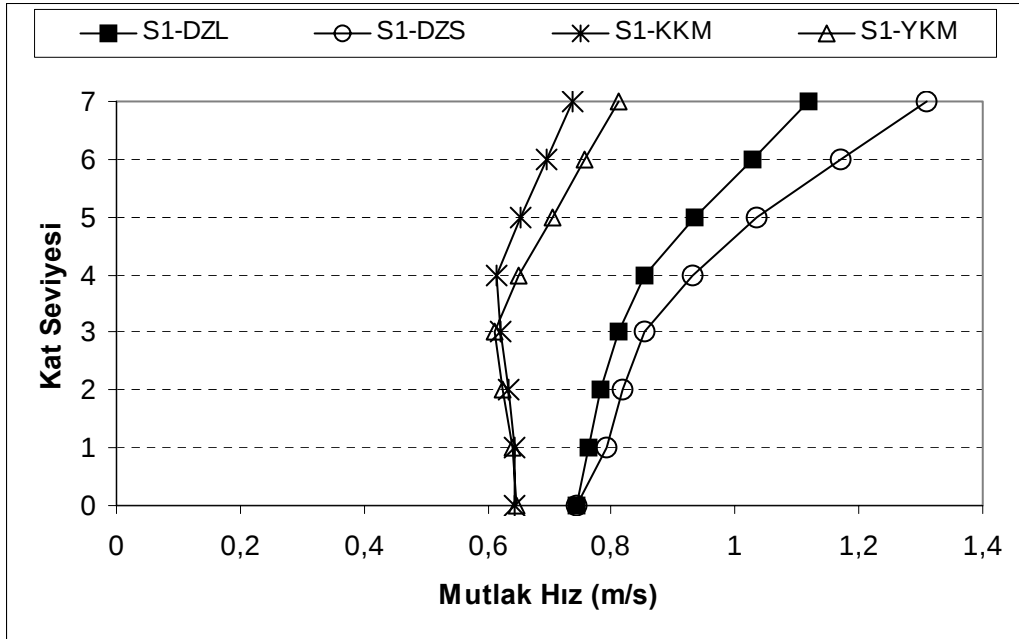
Şekil 6.79. 1A düşey aksı x yönü mutlak hız değerleri



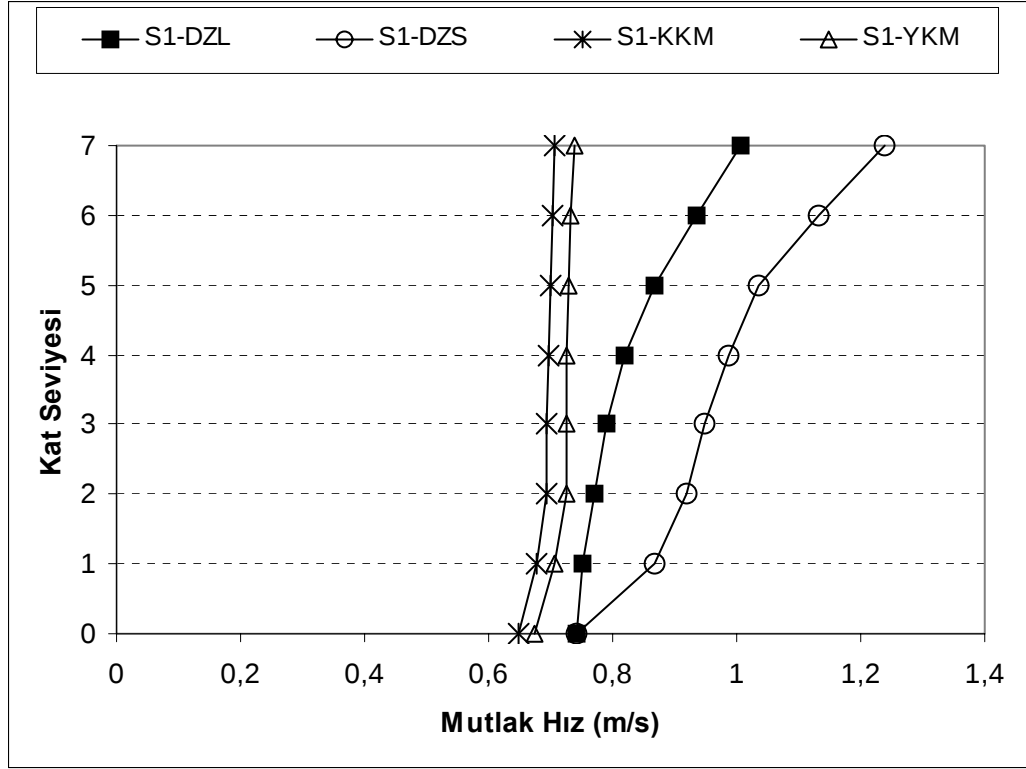
Şekil 6.80. 1H düşey aksı x yönü mutlak hız değerleri



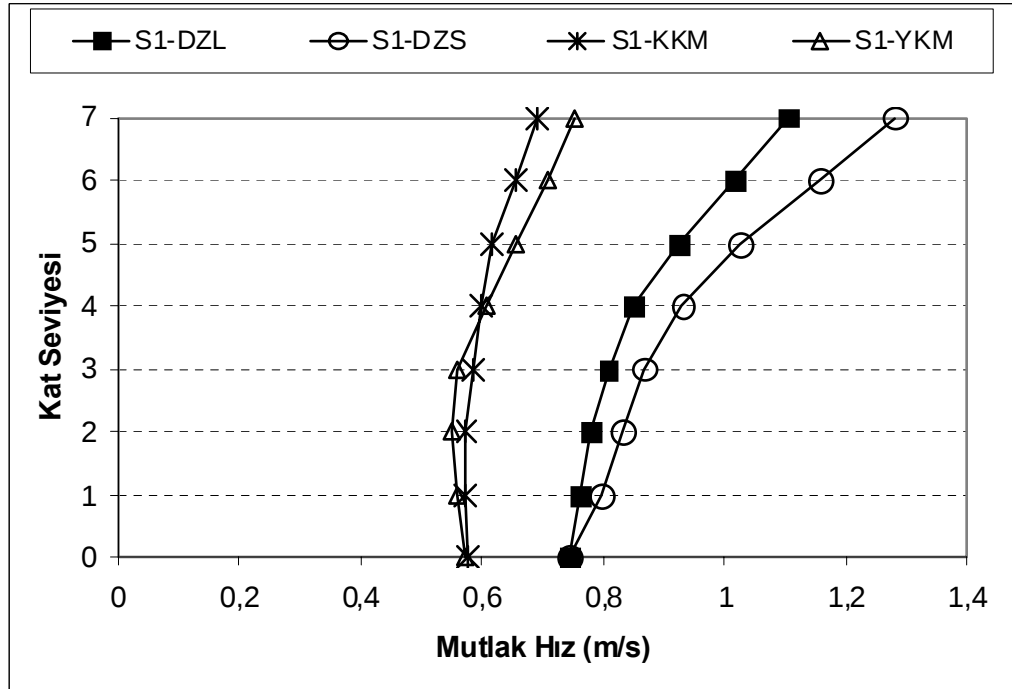
Şekil 6.81. 2B düşey aksı x yönü mutlak hız değerleri



Şekil 6.82. 1A düşey aksı y yönü mutlak hız değerleri

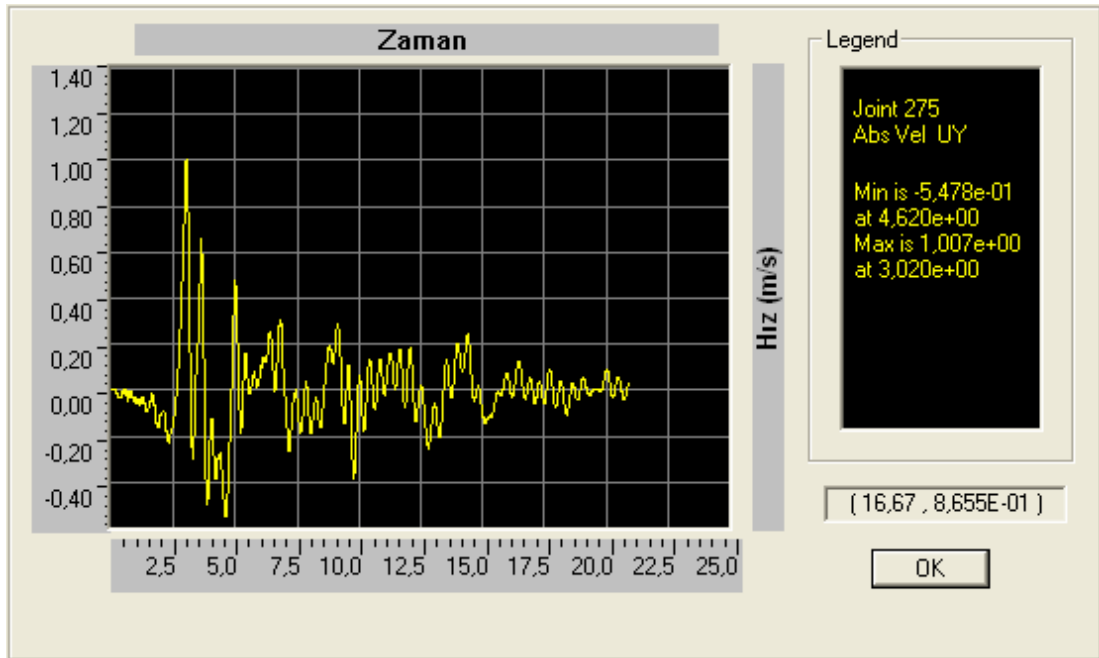


Şekil 6.83. 1H düşey aksı y yönü mutlak hız değerleri

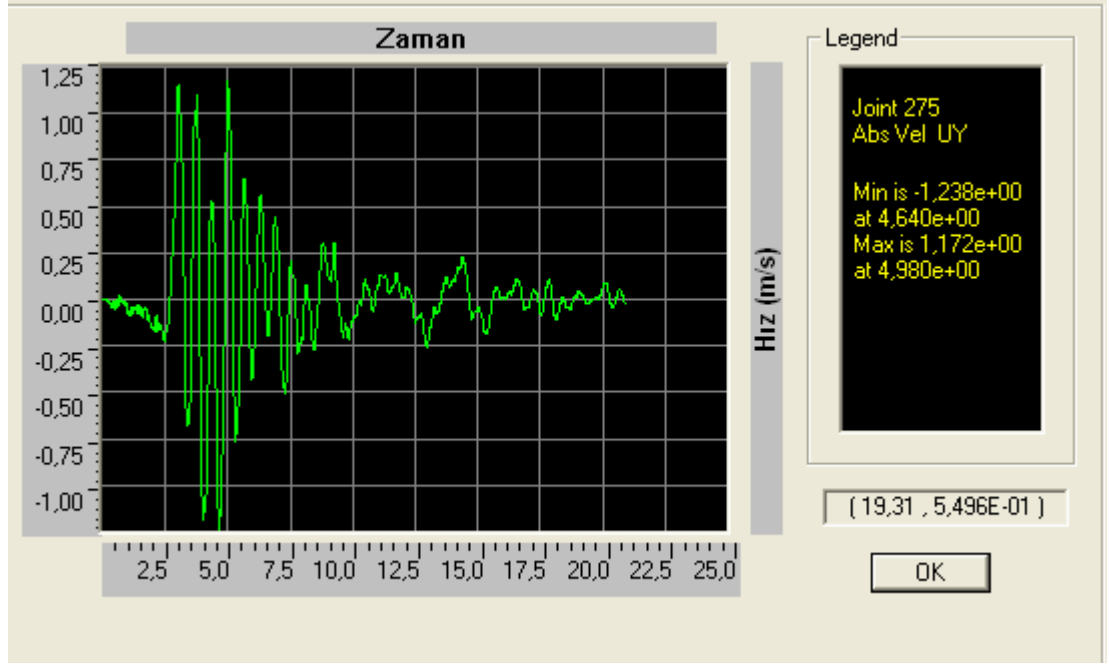


Şekil 6.84. 2B düşey aksı y yönü mutlak hız değerleri

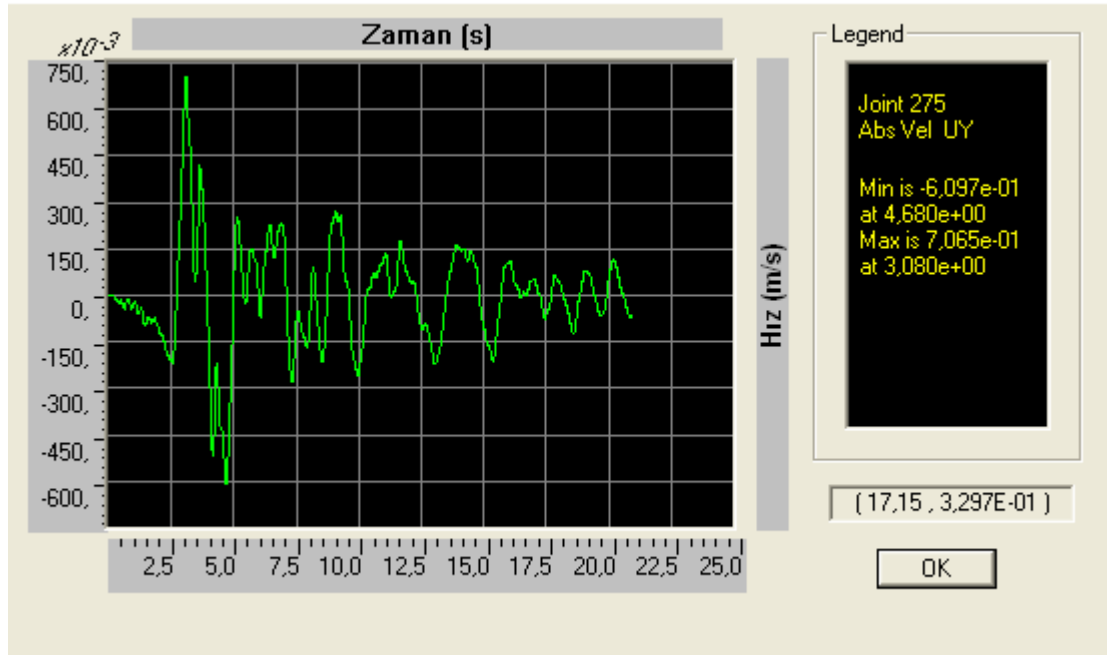
1H düşey aksında bina tepe noktası ve taban noktasında her bir model için y yönünde elde edilen hız-zaman değişimi Şekil 6.85-6.92’de verilmektedir. Görüleceği üzere burada da hıza ait maksimum değerler yer hareketine bağlı olarak 2,5-10 s arasında oluşmaktadır. Ayrıca düzenli ve düzensiz ankastre sistemlerde mesnet noktasındaki hız-zaman değişimi, maksimum hız değeri 0,743 m/s olan yer hareketi hız-zaman değişimine eşit olurken, sismik izolatör kullanılması durumunda mesnetteki maksimum hız değeri yaklaşık 0,66 m/s olmaktadır. Böylece sismik izolasyon sisteminin uygulanması ile yapı tabanına gelen maksimum hızın %11 oranında daha küçük olduğu ortaya çıkmaktadır.



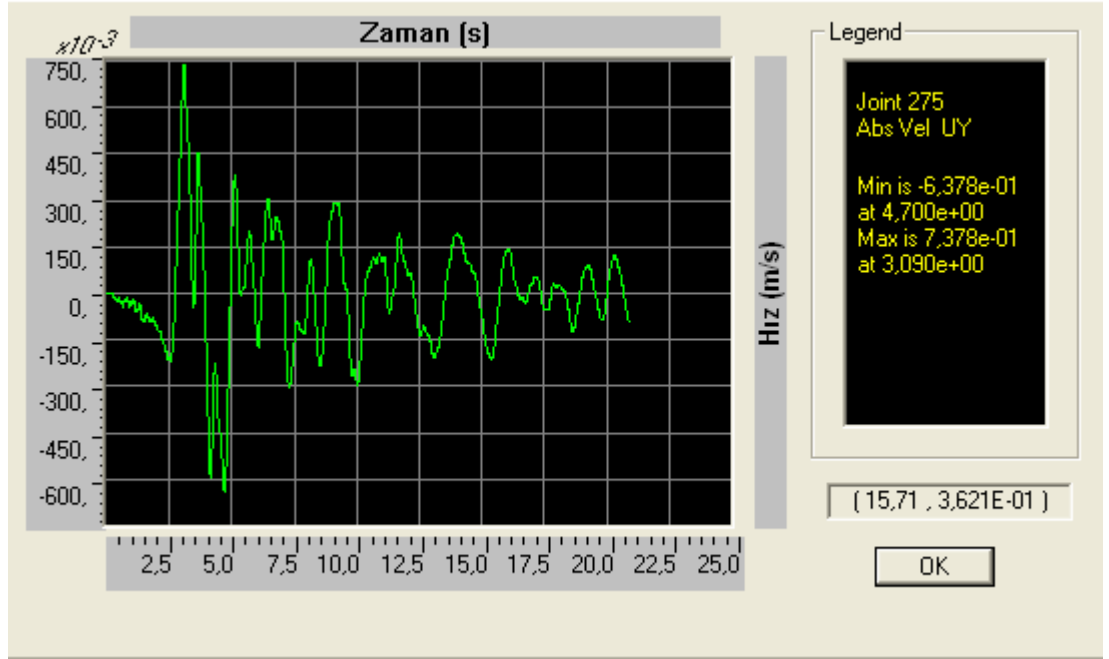
Şekil 6.85. Düzenli sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi



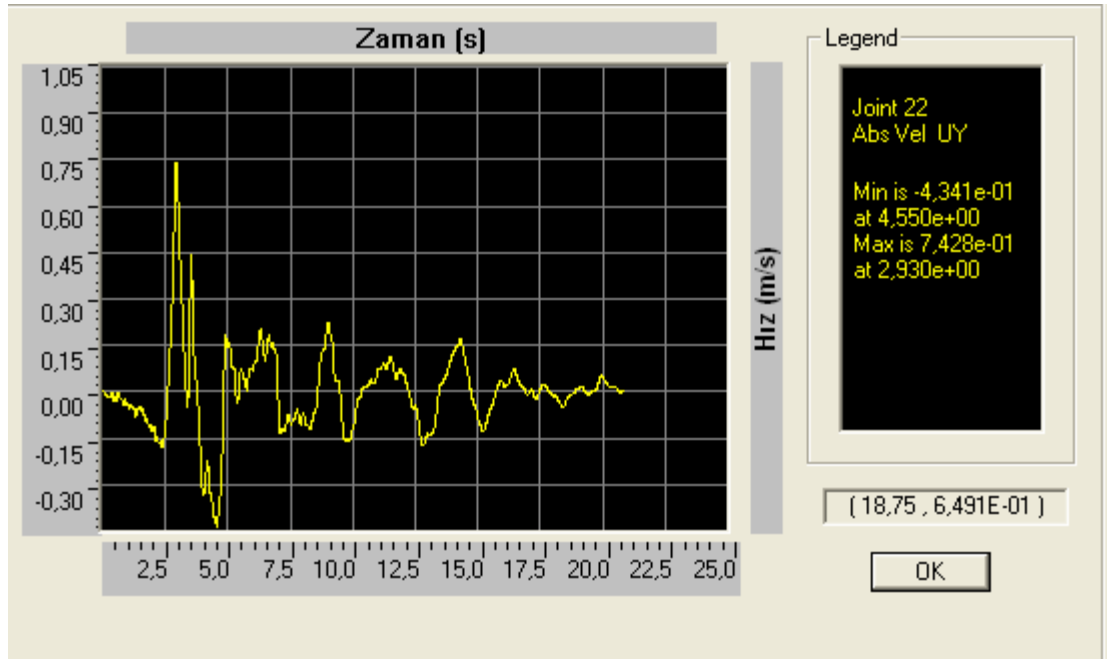
Şekil 6.86. Düzensiz sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi



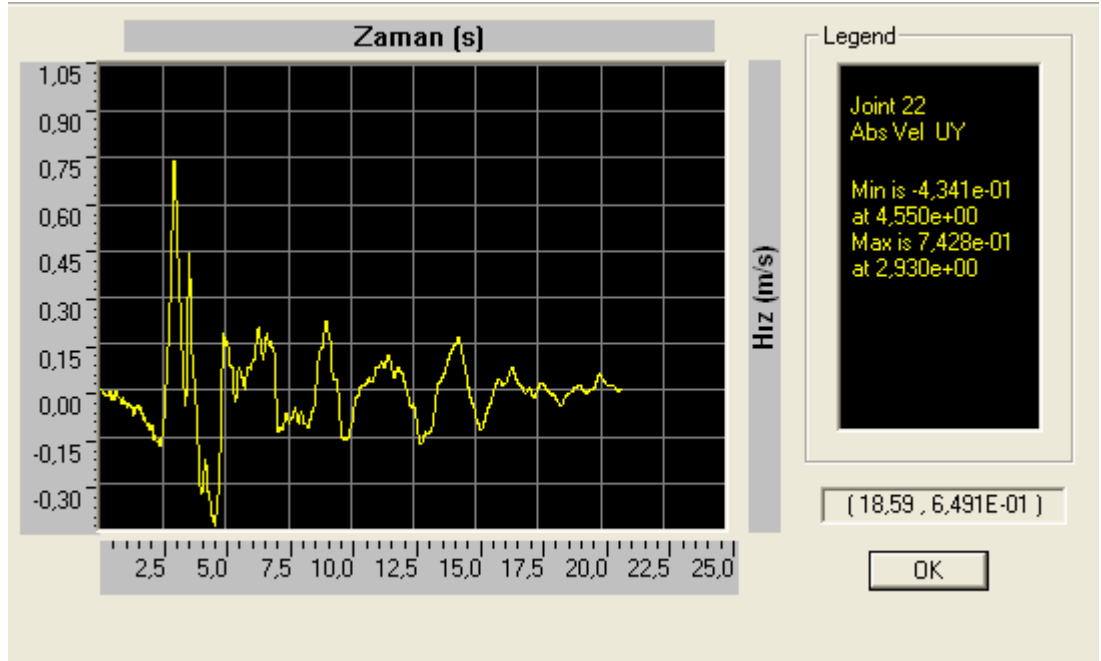
Şekil 6.87. KKM-DZS sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi



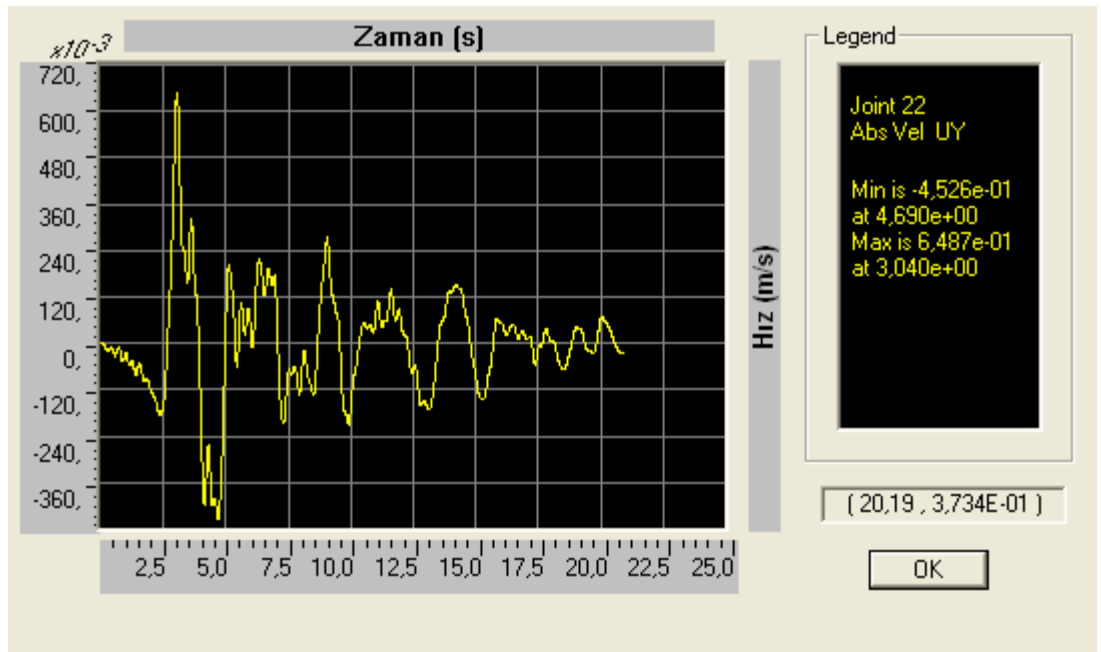
Şekil 6.88. YKM-DZS sistem 1H aksı tepe noktası y yönü hız-zaman değişimi



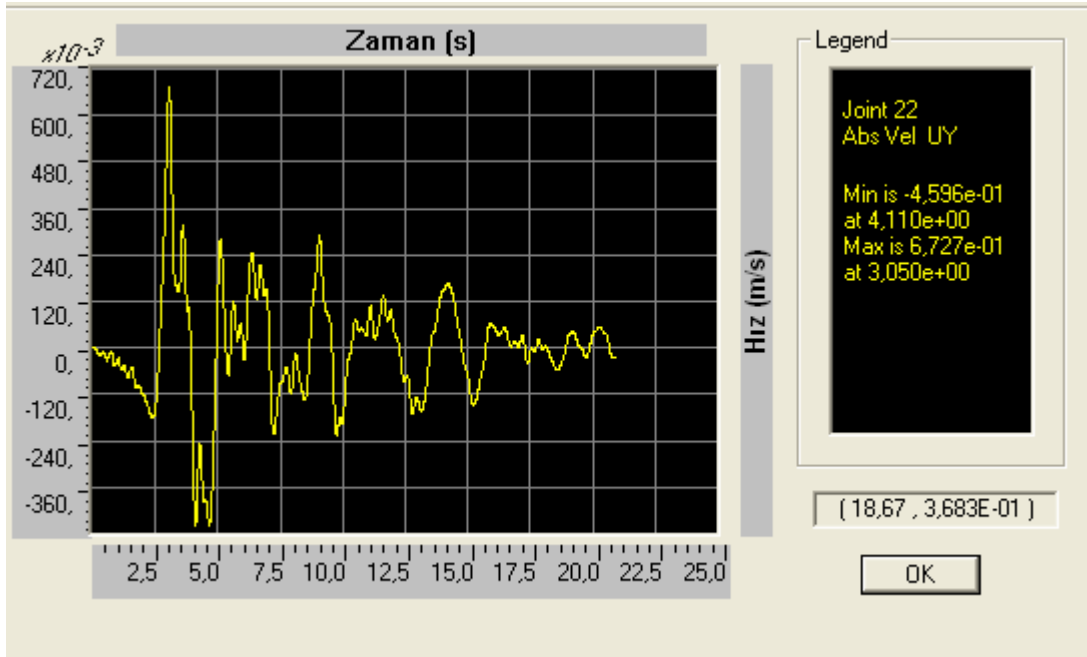
Şekil 6.89. Düzenli sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi



Şekil 6.90. Düzensiz sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi



Şekil 6.91. KKM-DZS sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi



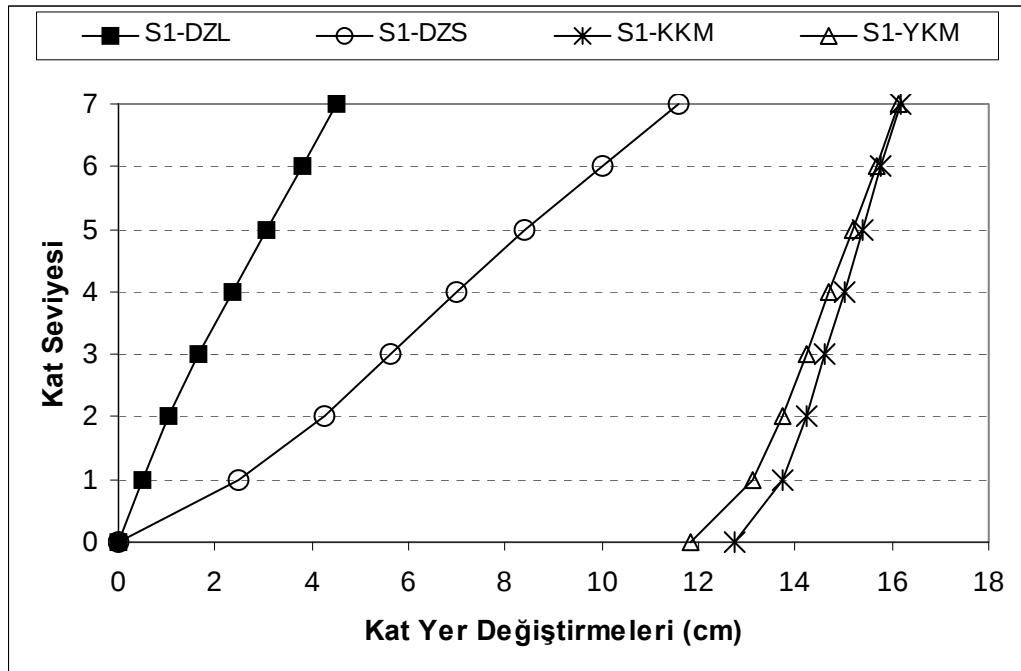
Şekil 6.92. YKM-DZS sistem 1H aksı taban noktası y yönü hız-zaman değişimi

Yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması

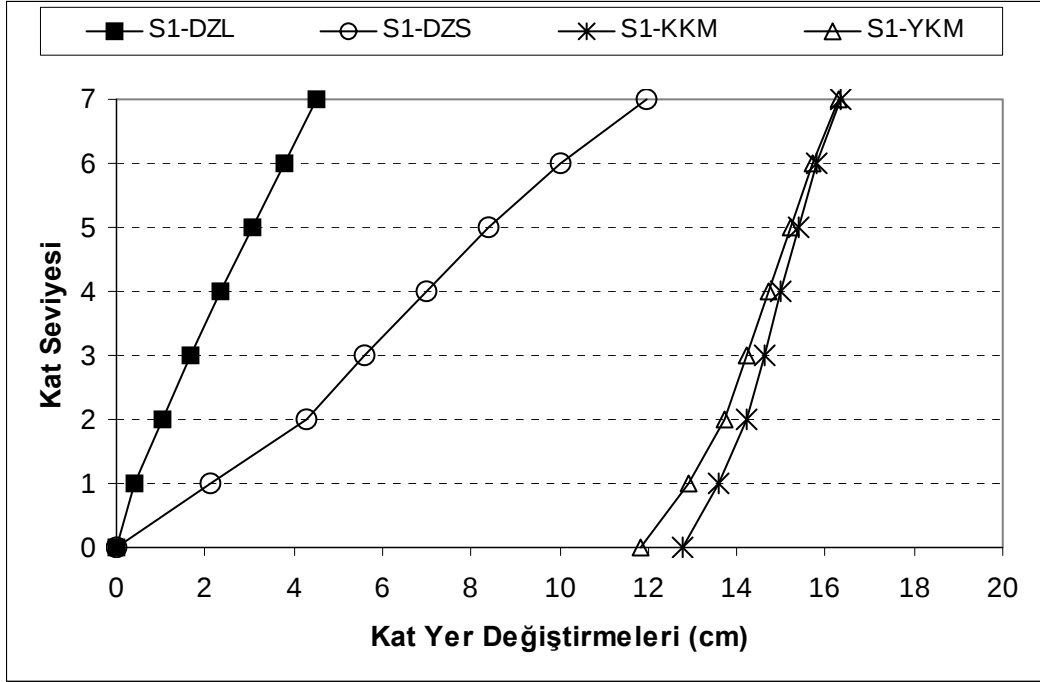
Dikkate alınan düşey akslar boyunca elde edilen mutlak yerdeğiştirme değerlerinin yükseklik boyunca değişimi x yönünde Şekil 6.93-6.95’de karşılaştırılmaktadır. Burada da ivme ve hız için elde edilen değişime paralel olarak tüm akslarda elde edilen değişim oldukça benzerdir. Beklenildiği gibi düzensiz ankastre sistem için elde edilen yerdeğiştirme değerleri düzenli ankastre sistem yerdeğiştirme değerlerinden daha büyük olmaktadır. Bunun yanında sismik izolatörlü sistem için izolatör kullanılan mesnedin rijit ötelenmesi dikkate alındığında, toplam yerdeğiştirme değeri düzenli ve düzensiz sisteme ait yerdeğiştirme değerlerinden daha büyük olmaktadır. Ancak izolatörlü mesnedin rijit hareketinin bu duruma neden olduğu bilinmelidir. Bu nedenle, izolatör sistemlerin etkinliğini göstermek amacıyla katlara ait göreceli yerdeğiştirmelerin irdelenmesi daha uygun olacaktır. Belirtilen düşey akslar için y yönünde belirlenen göreceli kat yerdeğiştirme değerleri Şekil 6.96-6.98’de karşılaştırılmaktadır.

Burada da düzensiz ankastre sisteme ait görel kat yerdeğiştirmeleri, düzenli ankastre sistem yerdeğiştirmelerinden belirgin olarak daha büyüktür. Düzensiz sistemde sismik izolatör kullanılması ile yerdeğiştirmelerin ne kadar azaldığı açık olarak görölmektedir. Üst katlarda izolatörlü sistemler için elde edilen görel kat yerdeğiştirmeleri rijit bir davranış göstermekte ve düzenli sisteme oranla daha küçük olmasına rağmen, düzensizliklerin yoğun olarak bulunduğu ilk iki kattaki yerdeğiştirmeler düzenli sistem için elde edilen yerdeğiştirmelerden daha büyük olmaktadır. Sismik izolatör ile rijit davranışa yakın bir değişim elde edildiğinden, sistemde meydana gelecek kesit tesirlerinde de azalma olacağı açıktır.

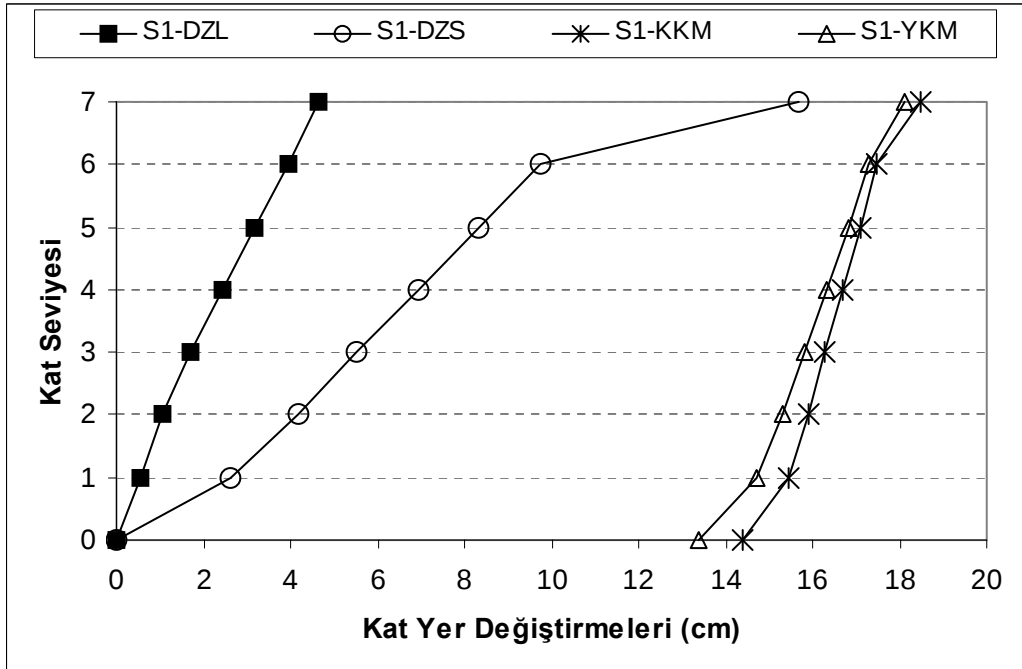
1A düşey aksı tepe noktasında düzensiz sistem için elde edilen görel kat yerdeğiştirme değeri düzenli sisteme oranla %72 oranında artarken, sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için elde edilen görel kat yerdeğiştirme değeri düzenli ankastre mesnetli sisteme oranla sırasıyla %38 ve %55 oranlarında azalmıştır.



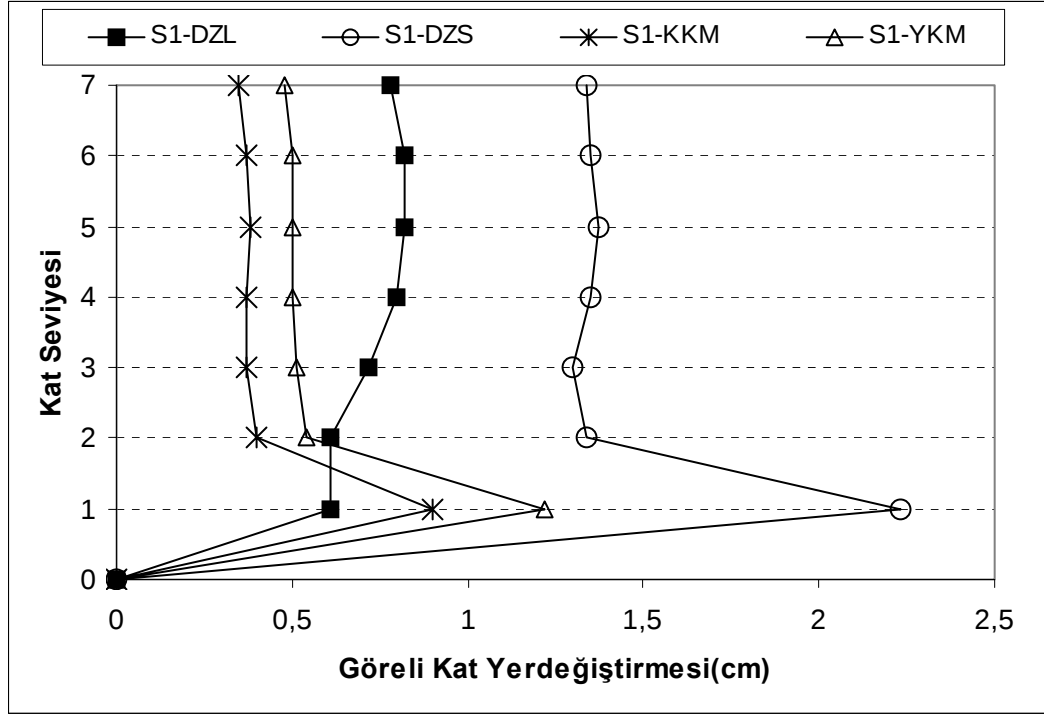
Şekil 6.93. 1A düşey aksı x yönü mutlak yerdeğiştirme değeri



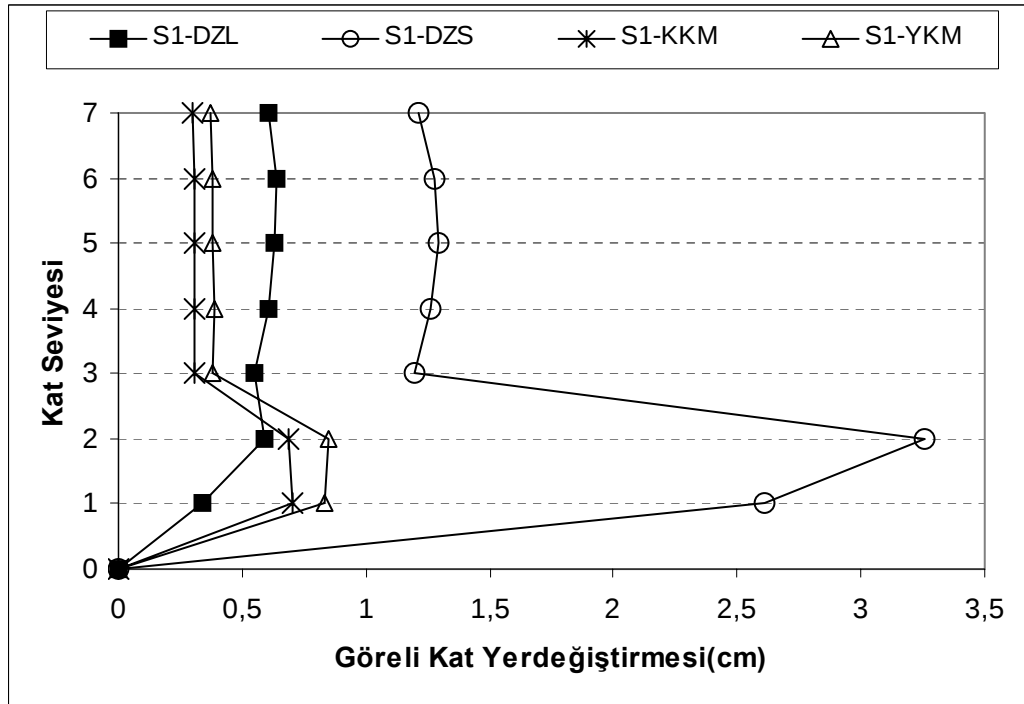
Şekil 6.94. 1H düşey aksı x yönü mutlak yerdeğiştirme değerleri



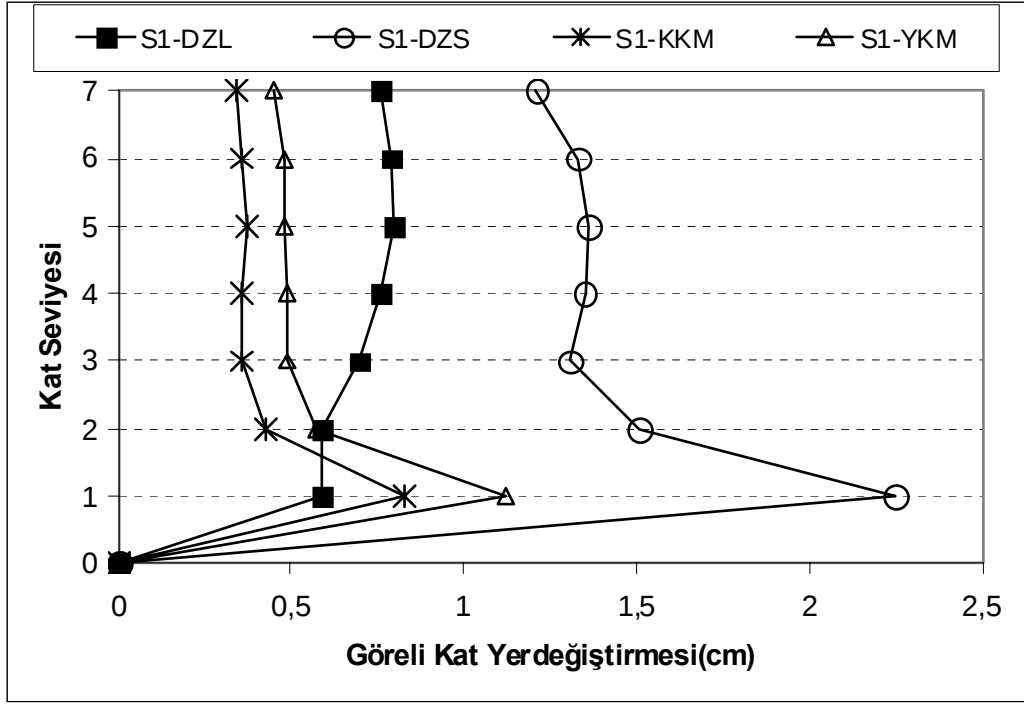
Şekil 6.95. 2B düşey aksı x yönü mutlak yerdeğiştirme değerleri



Şekil 6.96. 1A düşey aksı y yönü görel kat yerdeğiştirme değerleri

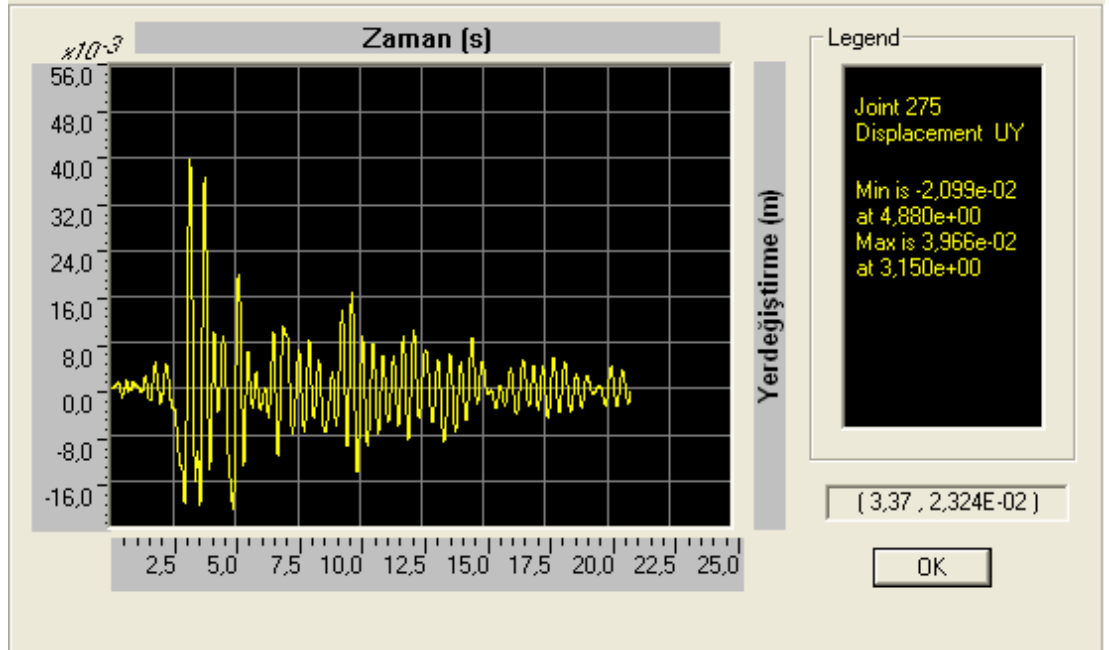


Şekil 6.97. 1H düşey aksı y yönü görel kat yerdeğiştirme değerleri

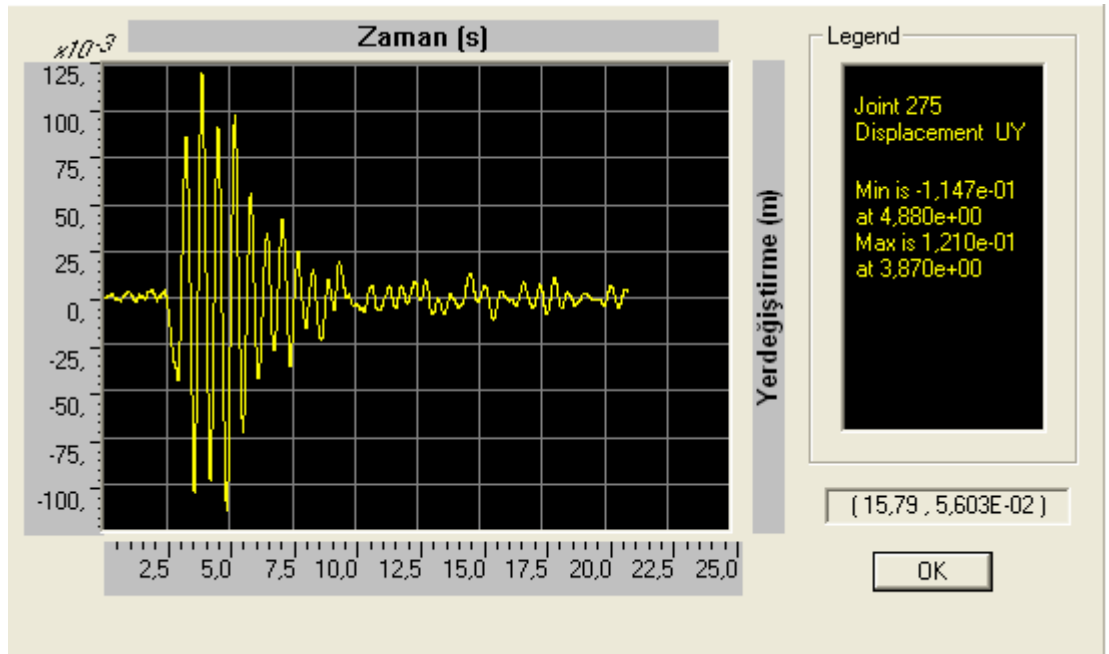


Şekil 6.98. 2B düşey aksı y yönü görelî kat yerdeğiştirme değeri

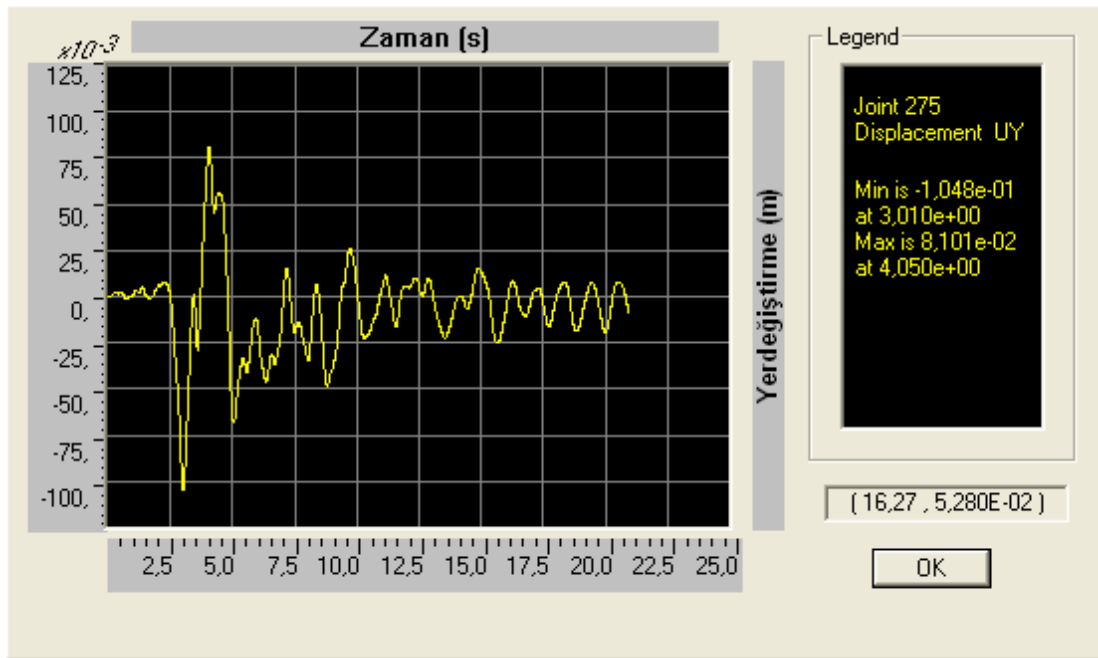
1H düşey aksında bina tepe noktasında her bir model için y yönünde elde edilen yerdeğiştirme-zaman değeri Şekil 6.99-6.102’de verilmektedir. Görüleceği üzere burada da yerdeğiştirmeye ait maksimum değeri yer hareketine bağı olarak 2,5-10 s arasında oluşmaktadır.



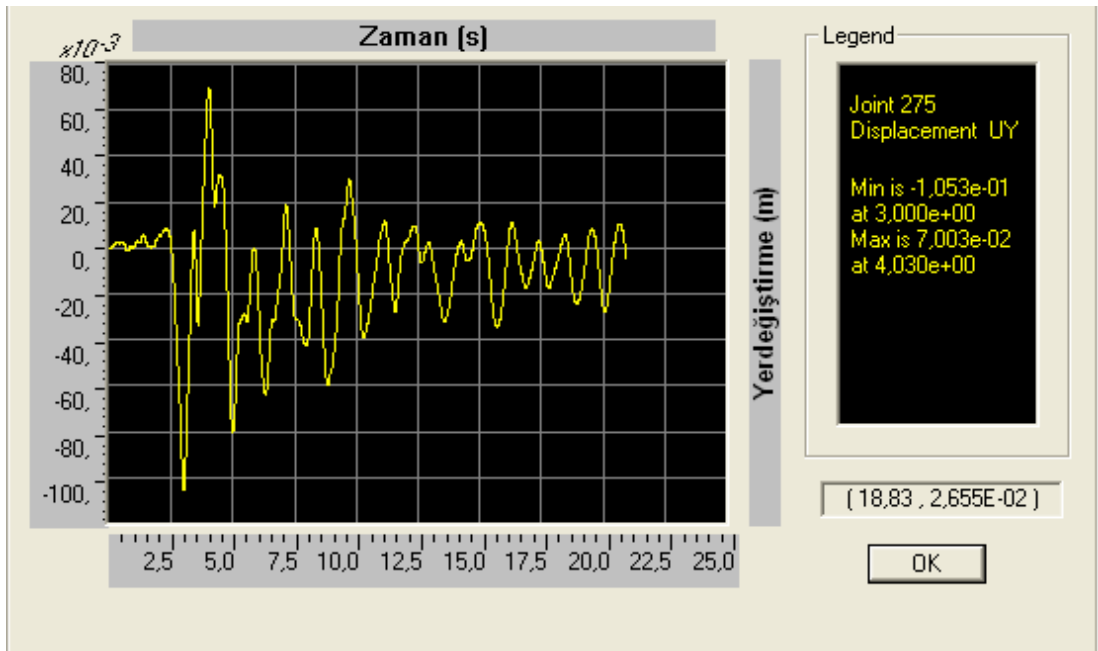
Şekil 6.99. DZL sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi



Şekil 6.100. DZS sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi



Şekil 6.101. KKM-DZS sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi

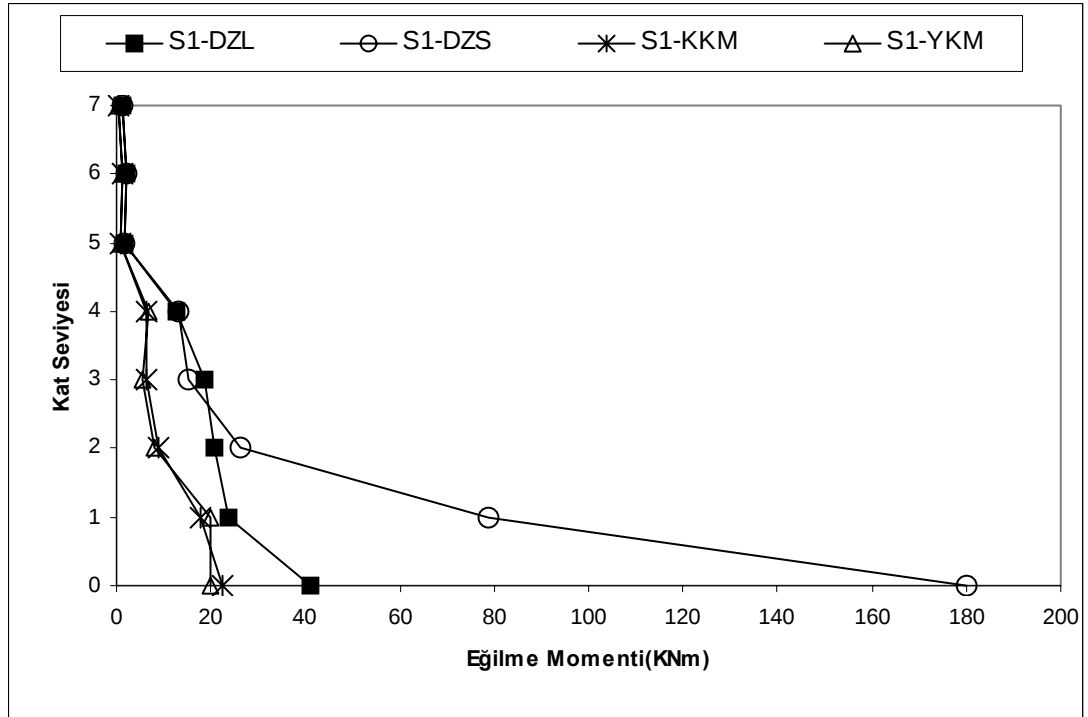


Şekil 6.102. YKM-DZS sistem 1H aksı tepe noktası y yönü yerdeğiştirme-zaman değişimi

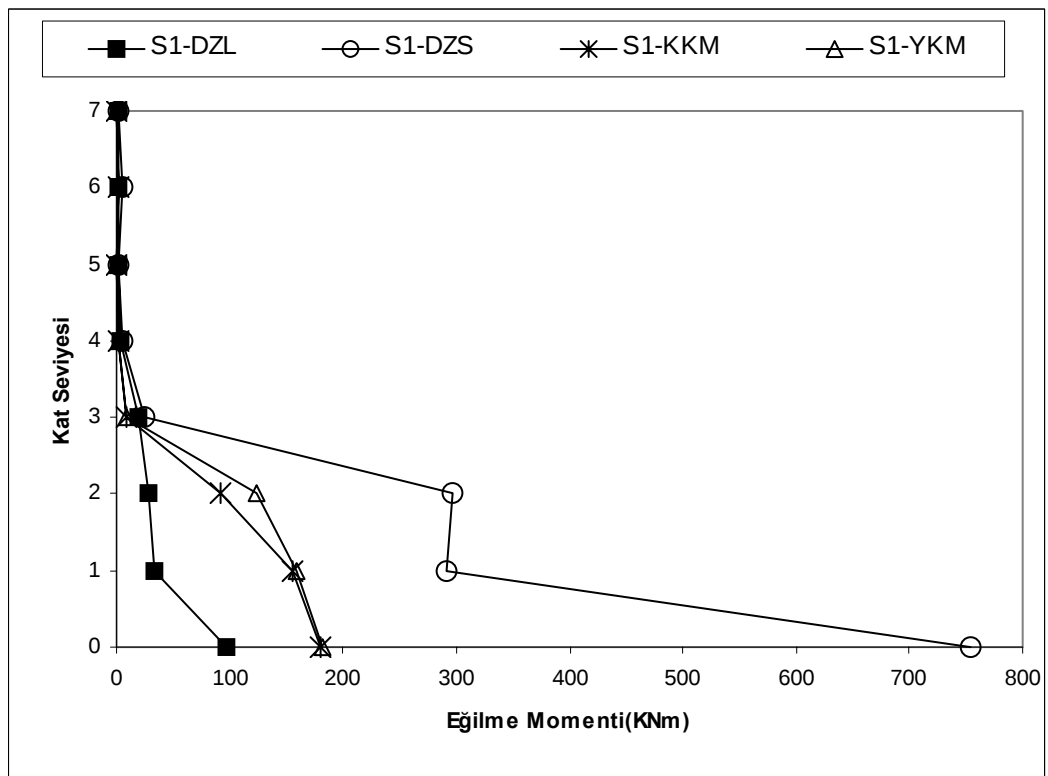
6.4.3. Kesit tesirlerinin karşılaştırılması

Bina yüksekliği boyunca kolon uçlarında elde edilen eğilme momentlerinin değişimi Şekil 6.103-6.105’de incelenmektedir. Dikkate alınan düşey akslardaki değişim benzer olup, düzensiz ankastre sistem için elde edilen eğilme momenti değerleri özellikle alt katlarda düzenli ankastre sistem eğilme momentlerinden oldukça büyük olurken, üst katlarda eğilme momentlerinin küçük olduğu ve her iki sistem için elde edilen momentlerin birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Sismik izolatör kullanılması ile elde edilen eğilme momenti değerleri ise özellikle alt katlarda düzensiz ankastre sisteme oranla oldukça azalmıştır. Düzensiz sistemde sismik izolatör kullanılması ile elde edilen eğilme momentleri dikkate alınan aksın konumuna bağlı olarak, düzenli ankastre sistem eğilme momenti değerlerinden daha küçük veya daha büyük olabilmektedir.

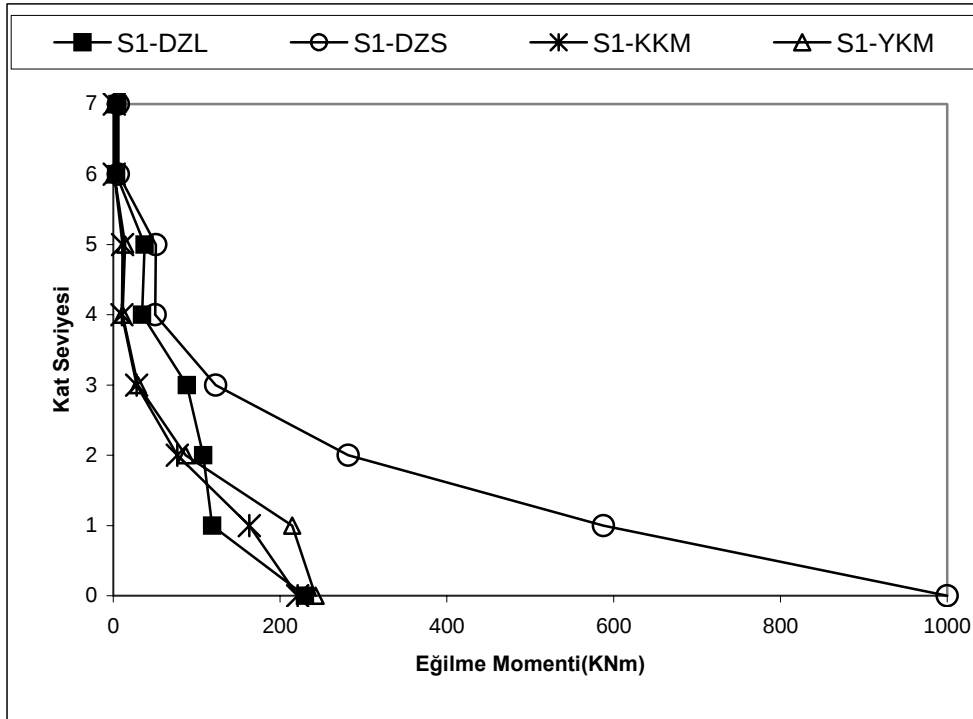
Düzenli sistemin düzensiz hale dönüştürülmesi ile 1A düşey aksı taban eğilme momenti değeri %339 kadar bir artış göstermiştir. Bunun yanında düzensiz sistemde sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için elde edilen taban eğilme momenti değerleri düzenli ankastre mesnetli sisteme oranla sırasıyla %52 ve %45 oranında azalmıştır.



Şekil 6.103. 1A düşey aksı 3-3 eğilme momenti değerleri

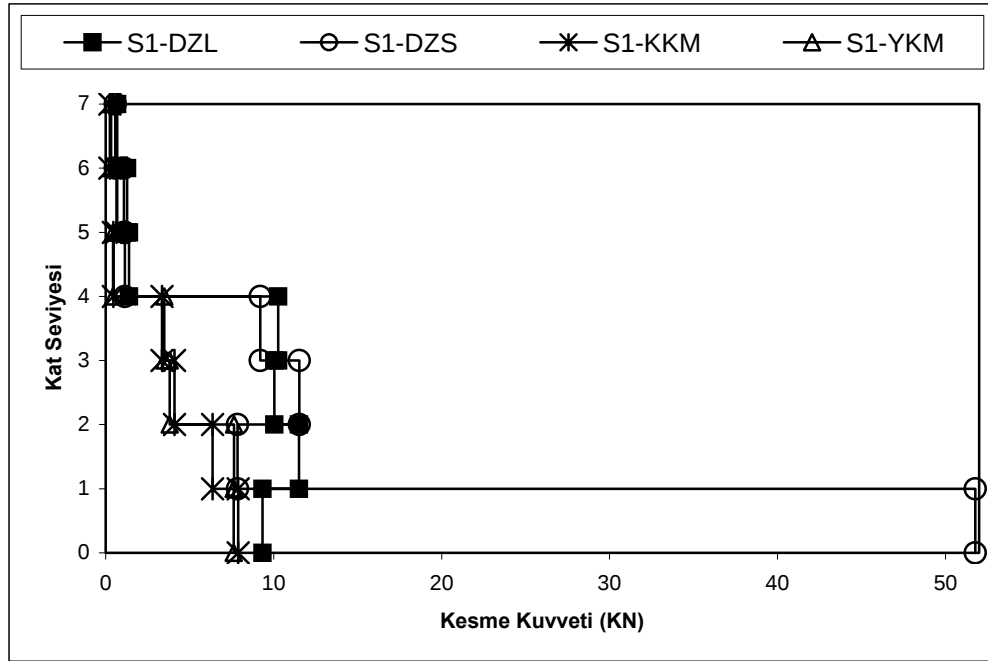


Şekil 6.104. 1H düşey aksı 3-3 eğilme momenti değerleri

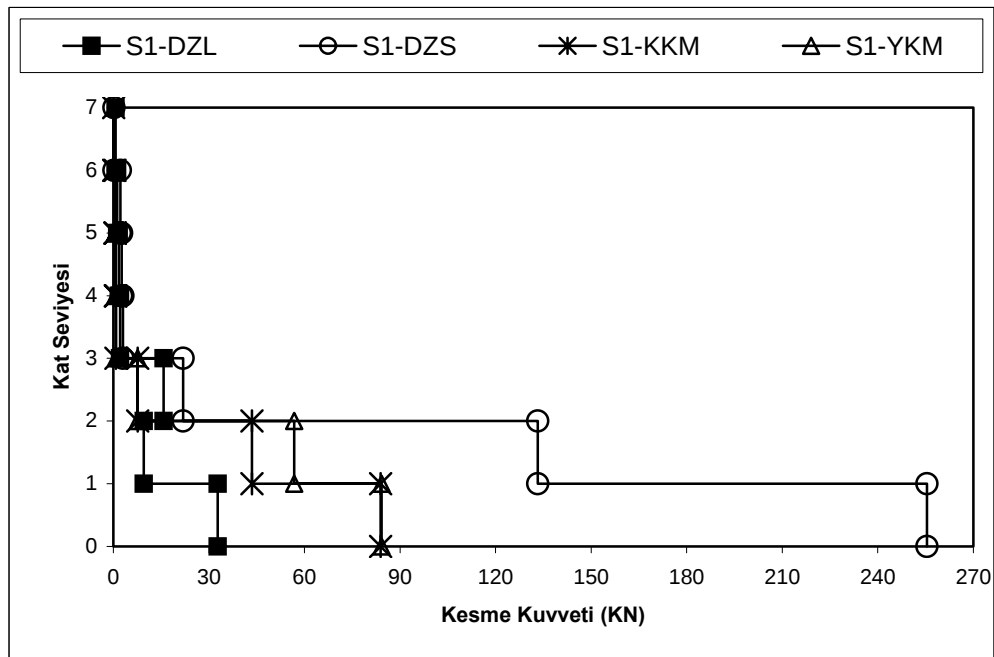


Şekil 6.105. 2B düşey aksı 3-3 eğilme momenti değerleri

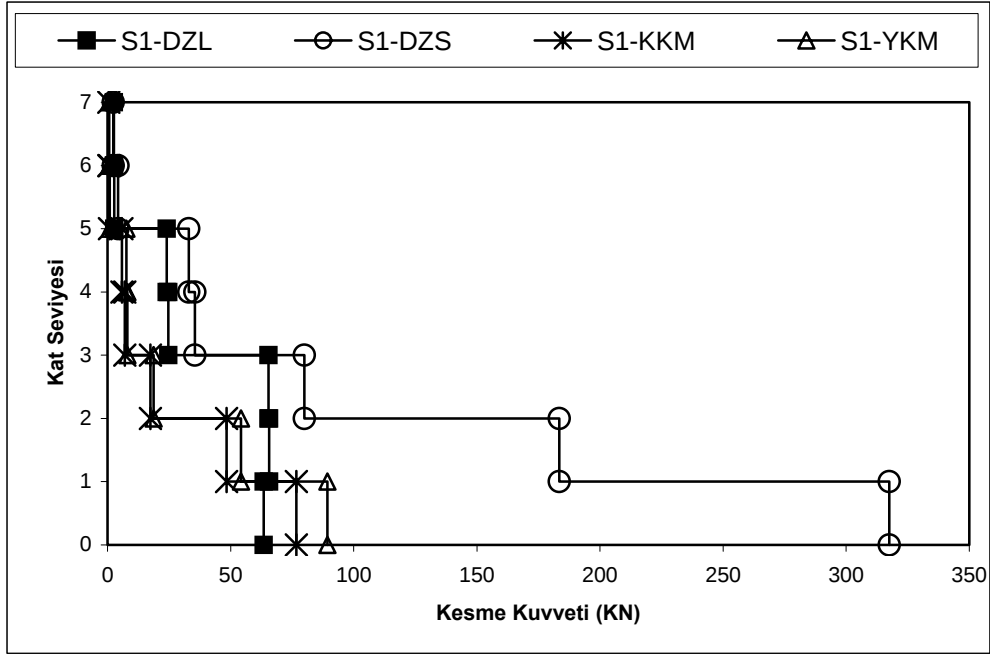
Bina yüksekliği boyunca kolon uçlarında elde edilen kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 6.106-6.108’de karşılaştırılmaktadır. Dikkate alınan düşey akslardaki düzensiz ankastre sistem için elde edilen kesme kuvveti değerleri özellikle alt katlarda düzenli ankastre sistem kesme kuvvetlerinden oldukça büyük olurken, üst katlarda kesme kuvvetlerinin küçük olduğu ve her iki sistem için elde edilen kesme kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Sismik izolatör kullanılması ile elde edilen kesme kuvveti değerleri ise özellikle alt katlarda düzensiz ankastre sisteme oranla oldukça azalmıştır. Düzensiz sistemde sismik izolatör kullanılması ile elde edilen kesme kuvvetleri dikkate alınan aksın konumuna bağlı olarak, düzenli ankastre sistem kesme kuvveti değerlerinden daha küçük veya daha büyük olabilmektedir. Düzenli sistemin düzensiz hale dönüştürülmesi ile 1A düşey aksı taban kesme kuvveti değeri %454 kadar bir artış göstermiştir. Bunun yanında düzensiz sistemde sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri düzenli ankastre mesnetli sisteme oranla yaklaşık %17 oranında azalmıştır.



Şekil 6.106. 1A düşey aksı 2-2 kesme kuvveti değerleri



Şekil 6.107. 1H düşey aksı 2-2 kesme kuvveti değerleri



Şekil 6.108. 2B düşey aksı 2-2 kesme kuvveti değerleri

7. ŞEHZADE MEHMET CAMİ'NİN SİSMİK İZOLASYON İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Özellikle Deprem bölgeleri haritasına göre yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olması nedeniyle tarihi yapıların deprem etkisinden korunması önemli bir sorundur. Ayrıca tarihi yapılarda deprem tehlikesi nedeniyle tek ölçüt 'ne olursa olsun yapı güvenliği' değildir. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmede ana ilke yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır [1]. Bu bakımdan taban izolasyonu, yapının orijinalliğini ve dokusunu bozmaması açısından alternatif bir metottur.

1964 yılında kabul edilen Venedik Tüzüğü Madde 2'de "... anıtların korunması ve onarımı için, mimari mirasın incelenmesine ve korunmasına yardımcı olabilecek bütün bilim ve tekniklerden yararlanılmalıdır." denilmektedir. Bu bakımdan tarihi yapıların sismik rehabilitasyonunda yeni kullanılmaya başlanan taban izolatörlerinden yararlanılabilir.

Sanatsal değeri olan bir yapının, bir kültür ve tarih belgesi olarak bütün özgün nitelikleriyle ömrünün uzatılmasını sağlayan teknik ve mimari müdahalelerin tümü restorasyon etkinliğini oluşturmaktadır. Restorasyonda minimum müdahale esastır ve yapılan müdahaleler ne kadar görünmezse o kadar başarılıdır [109]. Bu bakımdan taban izolasyonu minimum müdahale maksimum koruma ilkesini karşılayabilecek bir yöntemdir. Taban izolasyonu üst yapının orijinalliğini ve dokusunu bozmaması açısından anıtsal yapıların deprem güvenliğini artırmada en güvenilir yöntemdir. Ancak sismik yalıtım uygulamaları, tarihi yapı ile temeli arasındaki ilişkiyi kesmesi nedeniyle kalıcı bir müdahaledir ve dönüştürülemez. Çağdaş tekniklerin mimari mirasın restorasyonunda kullanım prensiplerini de içeren ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) tarafından 2003'te hazırlanan "Mimari Mirasın Analiz, Koruma ve Yapısal Restorasyon Prensipleri" başlıklı tüzükte (ICOMOS Charter- Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage (2003)) iyileştirici önlemler ve denetimler başlığı altında aşağıdaki madde yer almaktadır [110].

“Mümkün durumlarda, benimsenen müdahaleler dönüşebilir olmalıdır, böylece yeni bilgi ve tekniklerin kazanılması durumunda yapılan müdahaleler en uygun önlemlerle yapıdan uzaklaştırılabilir. Müdahalelerin tamamen dönüştürülemediği yerlerde, mevcut müdahaleler diğer müdahaleleri sınırlandırmamalıdır.”

Bu durumda taban izolasyonunun yapının güçlendirilmesinde kullanılmasının uzun vadeli olarak düşünülmesi ve iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Tezin bu bölümünde taban izolasyon tekniğinin anıt yapılarda uygulanmasının, sistemin depreme karşı olan dinamik davranışına etkisi incelenmektedir. Türünün tek örneği olan ve değeri ölçülemeyen anıt yapılarda deprem güvenliği açısından bu metodun uygulanması değerlendirilmektedir. Örnek olarak Mimar Sinan’ın çiraklık eseri olarak nitelendirdiği ‘Şehzade Mehmet Cami’ seçilmiştir [111]. Sistem SAP 2000 bilgisayar programında modellenmiş ve dinamik davranışı incelenmiştir. Yapılacak bu çalışmada maliyet analizi göz önüne alınmamıştır. Çünkü eşsiz bir yapı için fiyat biçilemez. Tarihi yapı söz konusu olduğunda maliyet ve ekonomi düşünülmemelidir [112].

7.1. Tarihi Yapıların Korunması, Onarımı ve Güçlendirilmesi

Tarihi yapıların onarımı ve güçlendirmesi en çok geçmişteki deprem durumlarına ve gelecekte meydana gelmesi sıkça öngörülen yer hareketlerine, yapısal deformasyon ve çatlakların ve onlar kadar da yapıda kullanılan malzemelere ve yapım metotlarına bağlıdır. Sismik olarak aktif olan bölgelerde ki tarihi yapıların restorasyonunda ve korunmasında, kullanılan tamir ve onarım gibi konuların incelenmesinde beklenen depremlerin ve bölgesel zemin şartları ile deprem yükü altındaki zeminin dinamik davranışları, yapı sistemlerinin özellikleri ve mukavemetleri, yapı elemanlarının deformasyon karakteristikleri (süneklik) ve bu yapılardaki malzemeler, beklenen yer hareketleri altında yapısal sistemin cevabının doğru olarak bilinmesi önemlidir. Tarihi anıt ve yapıların korunmasında ve takviyesinde hangi metodun uygulanacağı bir takım faktörlere bağlıdır. Bu faktörleri dört ana grupta toplanabilir:

1. Depremden dolayı beklenen yer hareketi: Burada depremin büyüklüğü kadar sıklığı ve yer hareketinin başlangıç noktasının yapıya mesafesi de önemlidir.
2. Yapının dinamik özellikleri (frekans, mod şekilleri ve sönüm oranları): Bunlar dinamik tepki analizi ve matematik modelin uygun formülasyonu ile hesaplanabilmektedir.
3. Yapının deformasyon ve gerilme karakteristikleri, temel yapı elemanları ve düktilitenin nasıl arttırılacağı: Bu faktör yapının tepkisine, onarım metotlarına ve uygulanan güçlendirmeye bağlıdır.
4. Yapı-zemin etkileşimi: Bu faktörün yumuşak zeminler üzerine inşa edilen tarihi yapılara etkisi oldukça önemlidir.

Tarihi binaların restorasyonu ve korunması sırasında kullanılan kuvvetlendirme teknikleri ve metotlarının belirlenmesinde yukarıda bahsedilen faktörler ve alternatif çözümlerin ekonomik etkileri de göz önüne alınmalıdır. Tanımlanan bu faktörler tarihi anıtların depreme karşı tepkilerinin nasıl olduğunun belirlenmesinde önemli ve ana faktörlerdir. Bununla birlikte bu tip yapıların sismik analizlerinde modern yapı ve binalarda kullanılan deprem katsayılarının kullanılması mümkün değildir. Dolayısıyla bu tür yapılarda, modern yapılarda olduğu gibi yaklaşık yöntemler yerine ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. Bu tür sismik olarak aktif bölgelerde bulunan tarihi yapıların temel yapısal sistemleri, onarım ve güçlendirme sırasında değiştirilmemelidir. Onarım ve güçlendirme metotları, sismik proje kriterleri, yapının gelecekte olması beklenen deprem hasarlarını karşılayacak tarzda araştırılmalıdır. Bu teknik ve metotlar ekonomik yönden de değerlendirilmelidir [6].

Tarihi anıtlar üzerindeki tasarım ve proje çalışmalarında birbirini tamamlayan iki konu ortaya çıkmaktadır.

1. Bu tür binaların tarihi ve estetik görüntülerinin nasıl ve nereye kadar korunacağı
2. Binaların zayıflığı ve hasarları ile bunların giderilmesi ve yapısal takviyelerin nasıl olacağıdır.

Yukarıda bahsedilen konuların her ikisi de proje çalışmalarında özellikle dikkate alınmalıdır. Konulardan birincisi yapının görüntüsü ile ilgili olduğundan bu konu mimarlar, arkeolojistler, sanat tarihçileri vb. disiplinleri ilgilendirmektedir, ikinci konu onarım ve takviye olduğundan bu konu da mühendislik disiplinini ilgilendirmektedir. Tarihi anıtlar üzerinde ki çalışmalar sadece mimari çalışma olmayıp restorasyon ve koruma çalışmaları yapan diğer bilimleri ve teknikleri yani diğer mesleki disiplinleri de kapsamaktadır. Restorasyon ve koruma yöntemleri disiplinler arasında sürekli tartışılmaktadır. Tartışma konusu yöntem ve metot belirlenmesi üzerinedir. Ancak esas olan, bu tarihi yapıtların emniyeti ile kültürel ve sembolik değerleri arasındaki dengenin korunması olmalıdır. Tarihi yapıtların yapısal karakteristikleriyle birlikte depreme karşı korunması ile ilgili son 15-20 yıl içerisinde deprem mühendisliği disiplini çerçevesinde ve özellikle disiplinler arasında bağlantılı olarak yoğun gelişmeler sağlanmıştır. Bu tarihi yapıtların bütün koruma, tamirat ve kuvvetlendirilmesi ile ilgili yukarıda bahsedilen bütün çalışmalardan esas amaç minimum müdahale, maksimum koruma olmalıdır [6].

Tüm yapının veya yapı elemanlarının güçlendirilmesi, kendi taşıma güçlerini arttırdığından zemin ve temelin kontrol edilmesi gerekir. Zemin ve temelin güçlendirilmesi yöntemleri;

1. Temel boyutlarını arttırmak ve bunların düşey elemanlarla bağlantılarını sağlamak
2. Betonarme kirişlerle yapının temel sistemini değiştirmektir.

Bu güçlendirme yöntemleri ile de zemindeki konsolidasyon ve zemin karakteristiği artırılmış olur. Tarihi anıtların onarımı, sismik açıdan güçlendirilmesi zor ve iddialıdır ve pek çok araştırmacının uğraştığı bir alandır. Zor ve iddialı olması, yapının karakteristiği, kullanılan malzemelerdeki çeşitlilik ve hasar seviyesindeki farklılıklar her bir tarihi anıtın, her bir durumu için ayrı ayrı ele alınmasını ve detaylı bir şekilde incelenmesini gerektirir [6].

Bunun yanında, tarihi yapıların yapısal analizinde ve modellenmesinde karşılaşılan önemli sorunlar şunlardır [128]:

1. Geometrik boyutlarla ilgili veri eksikliği
2. Yapı elemanlarının dışarıdan görülmeyen iç bölümlerinin malzeme ve geometrik özellikleri
3. Yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinin zorluğu ve yüksek maliyeti
4. Yapım tekniğinden ve doğal malzeme kullanımından kaynaklanan veri çeşitliliği
5. Yapım sürecinin çok uzun olması nedeniyle aynı eleman kesiti içinde bile değişebilen malzeme özellikleri
6. Yapım sırasının tam olarak bilinmemesi
7. Yapının geçirdiği hasarların tam olarak bilinmemesi
8. Çağdaş yönetmeliklerin bu tür yapılara uygulanamaması

7.2. Mimar Sinan

On yedi yıl yeniçeri olarak çalıştıktan sonra 1538 yılında hassa mimarlık ocağına baş mimar olarak atanmıştır. Osmanlı'nın en güçlü çağında yaşayan ve Kanuni Sultan Süleyman, II. Selim ve III. Murat olmak üzere, üç padişah döneminde mimarbaşılık eden Mimar Sinan, imparatorluğun gücünü simgeleyen mimarlık başyapıtlarının tasarlanıp uygulanmasında en büyük rolün sahibiydi. Kendi çağında Sinan'a "mühendislerin gözbebeği" diye hitab etmelerinin temelinde İstanbul'a kazandırdığı Kırkçeşme ve Süleymaniye su yolları ve tüm yapıtlarında geometriyi en etkin şekilde kullanması yatmaktadır. Bugünkü Yapı Mühendisliği bilimi ile tanımlandığında Sinan'ın çözümlmeleri, çok daha akılcı bir düzenleme ile kütleyi mekanda çözen ve sınırların strüktürel modülasyonu ile kaynaştıran eşsiz yaratıcılıklar içeren bir mühendisliktir [114]. Yaklaşık 50 senelik mimarlık dönemi içinde birçoğu İstanbul'da olan, 84 cami, 52 mescit, 57 medrese, 7 okul ve darülkurra, 22 türbe, 17 imaret ve 3 darüşşifa, 7 su yolu kemeri, 8 köprü, 20 kervansaray, 35 köşk ve saray, 6

ambar ve mahzen, 48 hamam ve kaydı olmayanlarla beraber, üç yüz elliyi aşkın yapının baş mimarlığını üstlendi [115].

7.3. Şehzade Mehmet Cami

7.3.1. Şehzade Mehmet Cami'nin tarihçesi

Kaynaklarda Şehzade Mehmet Camii'nin yapımına dair farklı bilgiler bulunsa da İbrahim Peçevi, Kanuni Sultan Süleyman'ın 1542 yılında çıktığı Estergon Seferi'nden İstanbul'a dönerken Edirne dolaylarına geldiğinde, Manisa sancakbeyi olan 22 yaşındaki Şehzade Mehmet'in ölüm haberini almasıyla cenazenin getirtilmesini istediğini ve yapımına daha önce başlanmış olan caminin kible tarafına gömülerek caminin Şehzade Mehmet adına tamamlandığı belirtilmektedir (Resim 7.1).

Tezkiretü'l Bünyan'da caminin Şehzade Mehmet için yapıldığı ve inşaaata başlama tarihinin Haziran 1543 olduğu söylenmektedir. Şehzade Mehmet Camii'nin Farsça kitabesine göre, camii, H.955, M. 1548 yılında tamamlanmıştır [114].



Resim 7.1. Şehzade Mehmet Cami genel görünüm

7.3.3. Şehzade Mehmet Cami'nin mimari özellikleri

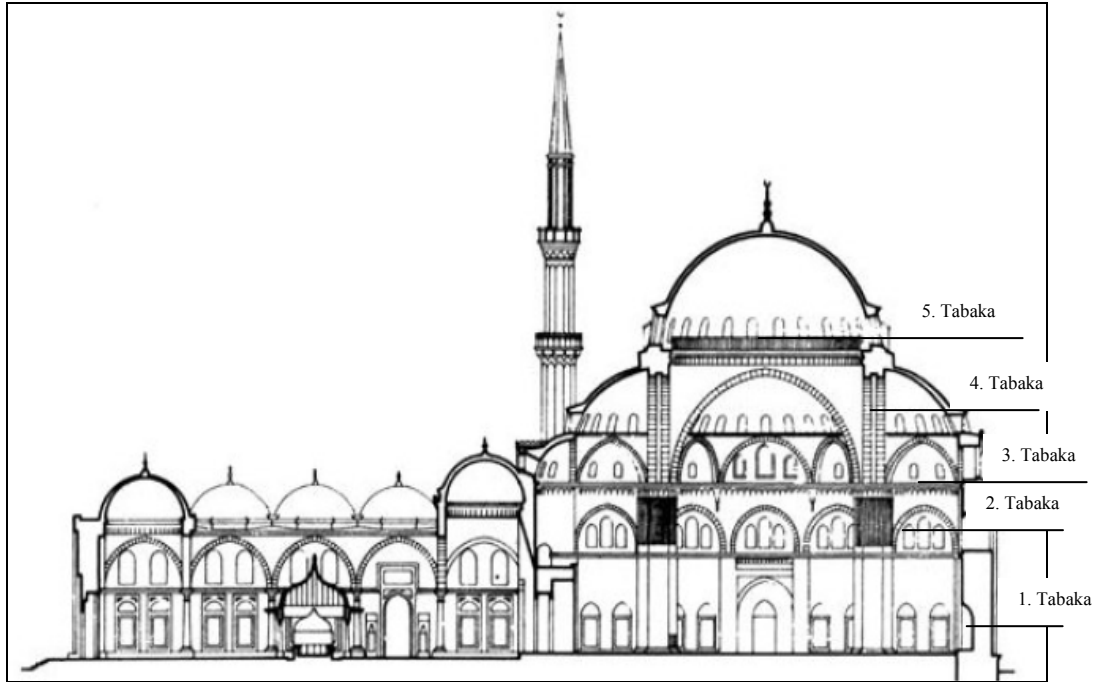
Cami 38x38 m. ölçülerinde kare planlı; şadırvanlı revaklı avlu ve bunların bitiştiği köşelerde bulunan iki minareden meydana gelmektedir. Minareler 41,1 m yüksekliğindedir ve iki şerefelidir. Cami planı simetrik ve merkezidir. 19 metrelik kubbe çapı ve 37 metrelik kubbe kilidi yüksekliği ile, Şehzade Mehmet Camii tasarımı, Sinan'ın iç ve dış biçimlenişinde kubbeli yapının merkezi planlı ideal şemasını gerçekleştirerek ulaştığı ilk aşamadır. Orta sahnı, pandantifli bir kubbe ile örtülü kare bir çardaktır. Örtü yarım kubbelerle desteklenmiş, plan karesinin köşeleri bağımsız kubbelerle örtülüdür (Resim 7.2). Örtünün eğriselliği ile planın doğrusallığının birleştirilmesi problemi pandantifler ile çözülmüştür [114].



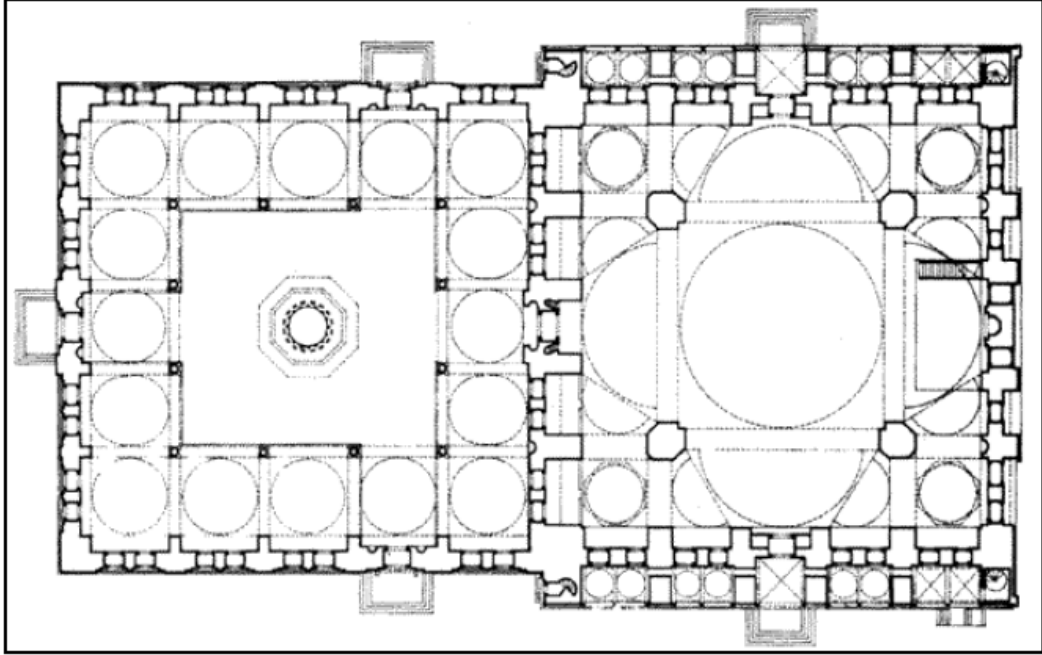
Resim 7.2. Şehzade Mehmet Cami merkezi kubbe

Sinan'ın erken dönem camilerinden olan Şehzade camide mekan dört yönde yarım kubbelerle genişletilmiştir ve bu yarım kubbeler kubbe ile çok daha iyi bütünleştirilmiştir. Özellikle bu dört yarım küre; Sinan'ın ilk büyük kubbe denemesi için strüktürel bir gereksinim olduğu söylenebilir [117].

Şehzade camisinin mimari olarak ayırıcı özelliği, ideal tipolojisi ile ölçülerin anıtsal boyutlara ulaşmasıdır. Dışarıdan kademeli olarak yükselen yapı büyük boyutlu köşe kuleleri, yan cephelerde revakların oluşturduğu görsel etki, minarelerinin oranı, tasarım tekniği ve bezemeleri ile kubbeli camii tarihinde önemli bir aşamadır. Camii dış ve iç çevresinde yapı bütünlüğünü bozacak (Sultan Selim ve Beyazıd camileri gibi diğer Osmanlı camilerinde yer alan) tüm eklemeler ayıklanmış, minareler ana kubbenin etkisini arttıracak konuma getirilerek ana kütle ile bütünleştirilmiştir. Daha önce Osmanlı mimarisinde görülmeyen bu değişiklikler, Osmanlı klasisizmine öncülük eden faktörler olarak gösterilmektedir. Bu yüzden Şehzade Mehmet Camii, büyük kubbeli camilerin tarihinde önemli bir aşama ve Türk mimari tarihinde bir dönüm noktası olarak anılmaktadır [114]. Örtü öğelerinin hepsinde çap ve yükseklik arasındaki oranlar farklı tutulmuştur. Gerek bu örtü öğeleri, gerekse yalın bezemeli diğer strüktürel öğeler-kemer, kolon, revak v.b- arasındaki ilişkiler dinamiği daha önceki Osmanlı Camilerinde bulunmayan bir parça sürekliliği ve bağımlılık içindedirler [117]. Şehzade Mehmet Camii'ne ait kesit ve plan çizimleri Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'de verilmektedir.



Şekil 7.2. Şehzade Mehmet Cami kesit planı [118]



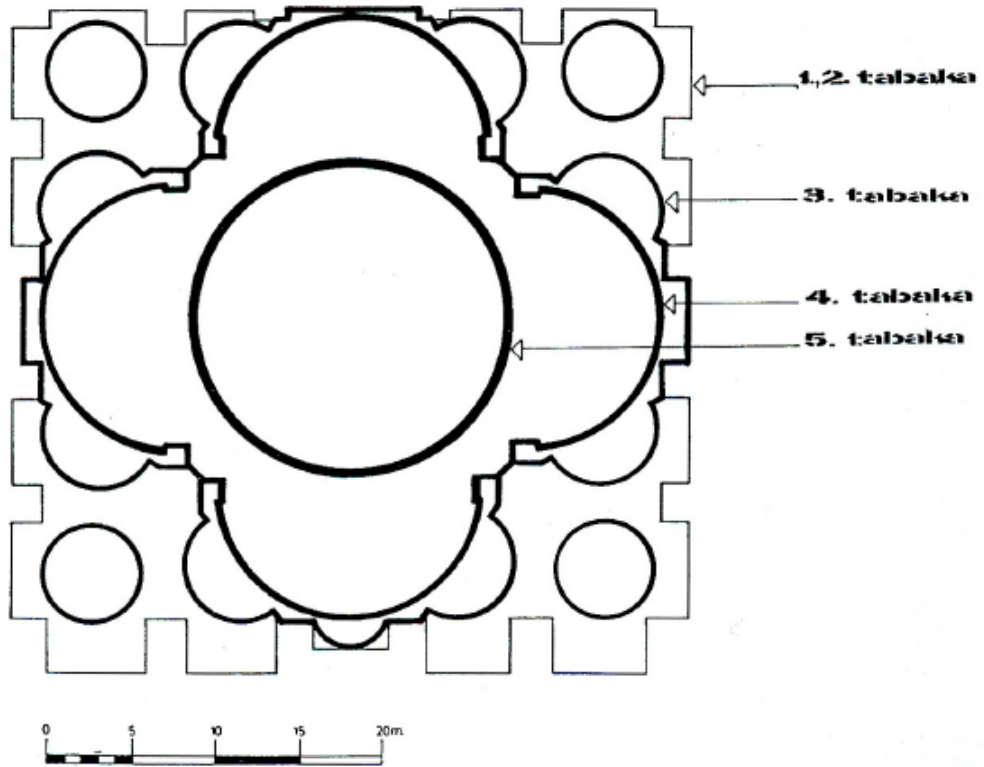
Şekil 7.3. Şehzade Mehmet Cami planı [118]

7.3.4. Şehzade Mehmet Cami üst yapısı

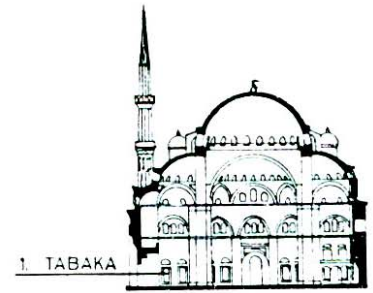
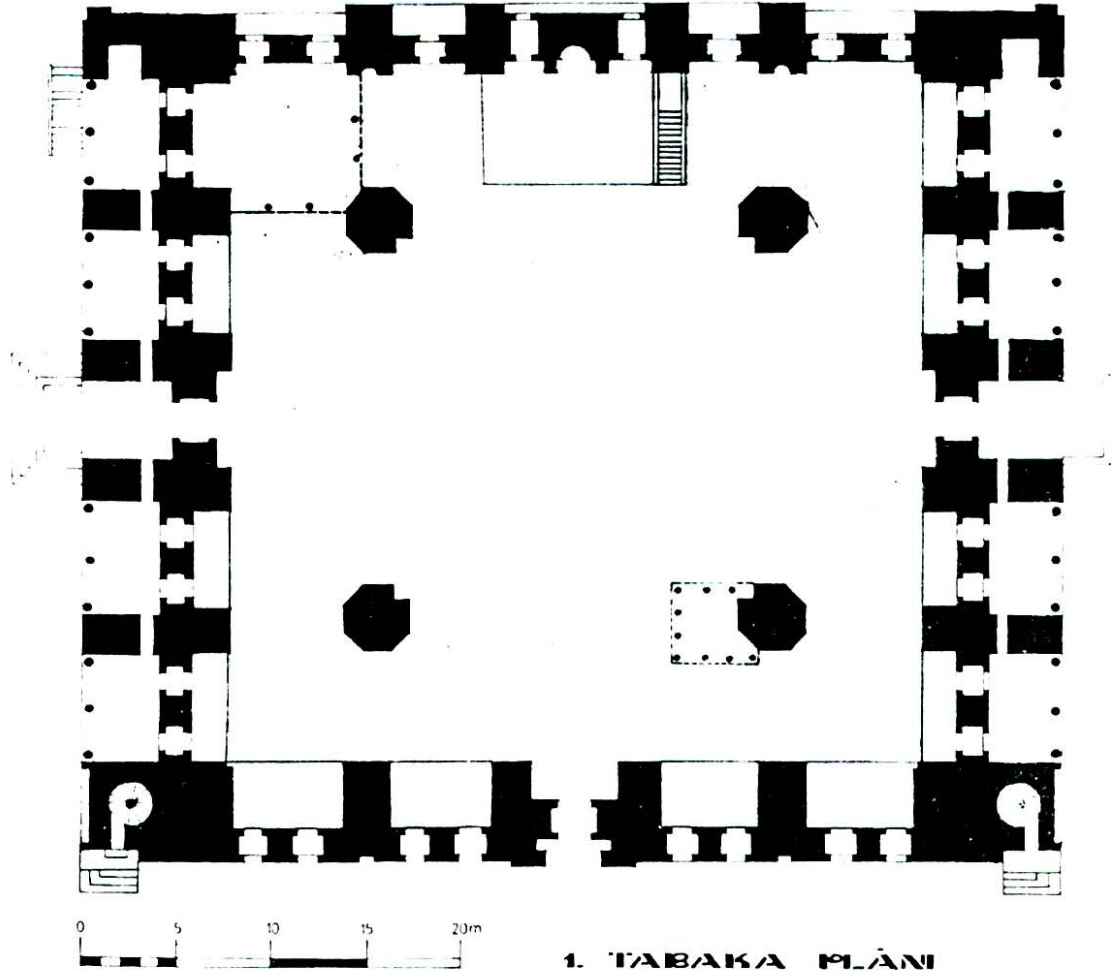
Camide merkezi kubbe, dört serbest fil ayağı üzerine atılan kemerlere pandantiflerle oturmaktadır (Resim 7.3). Merkezi kubbeye dört yönde katılan yarım kubbeler ve her iki yanlarında yer alan eksedrarlarla orta hacim ana eksenler üzerinde dört yöne doğru genişletilmiştir (Şekil 7.4). Merkezi kubbeyi taşıyan serbest fil ayakları, dışarıda kubbe kasnağına kadar daire planlı ağırlık kuleleri biçiminde yükselerek dilimli birer kubbe ile örtülürler [119]. Şehzade Mehmet Camii 38x38 m kare planlıdır. Ana kubbenin zeminden yüksekliği 37 m'dir [111]. İki fil ayağı arasındaki açıklık 17,50 m'dir. Fil ayağının zeminden yüksekliği 16,00 m'dir. Ana kemerlerin yüksekliği 10,80 m'dir. Şehzade Mehmet Camii'ne ait plan çizimleri Şekil 7.4-7.9'da görülmektedir.



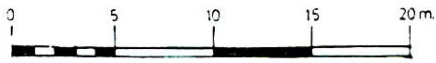
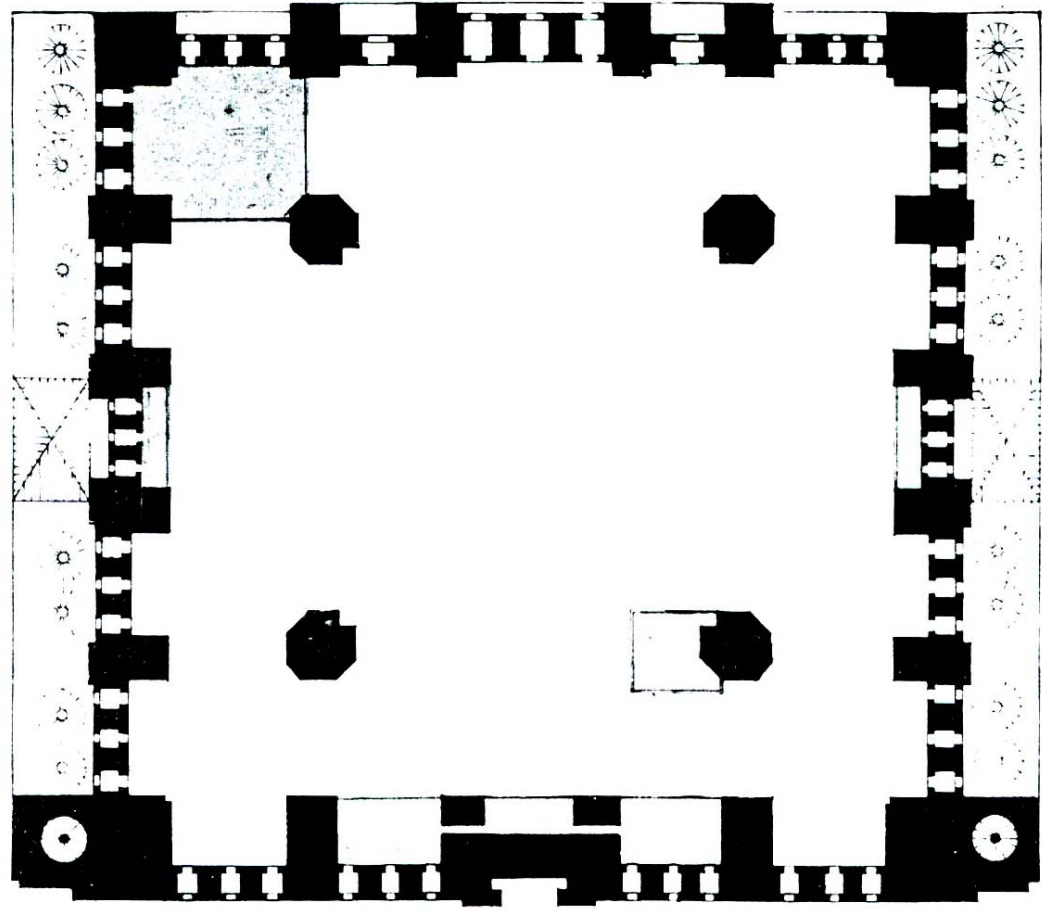
Resim 7.3. Fil ayaklarına pendentiflerle bağlanan kubbe



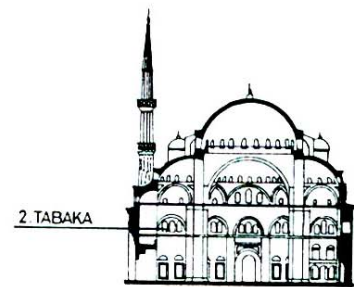
Şekil 7.4. Caminin tabaka plan izlerini gösteren kesit [120, 121]



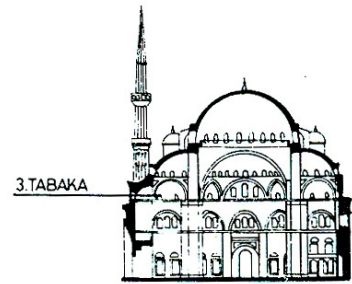
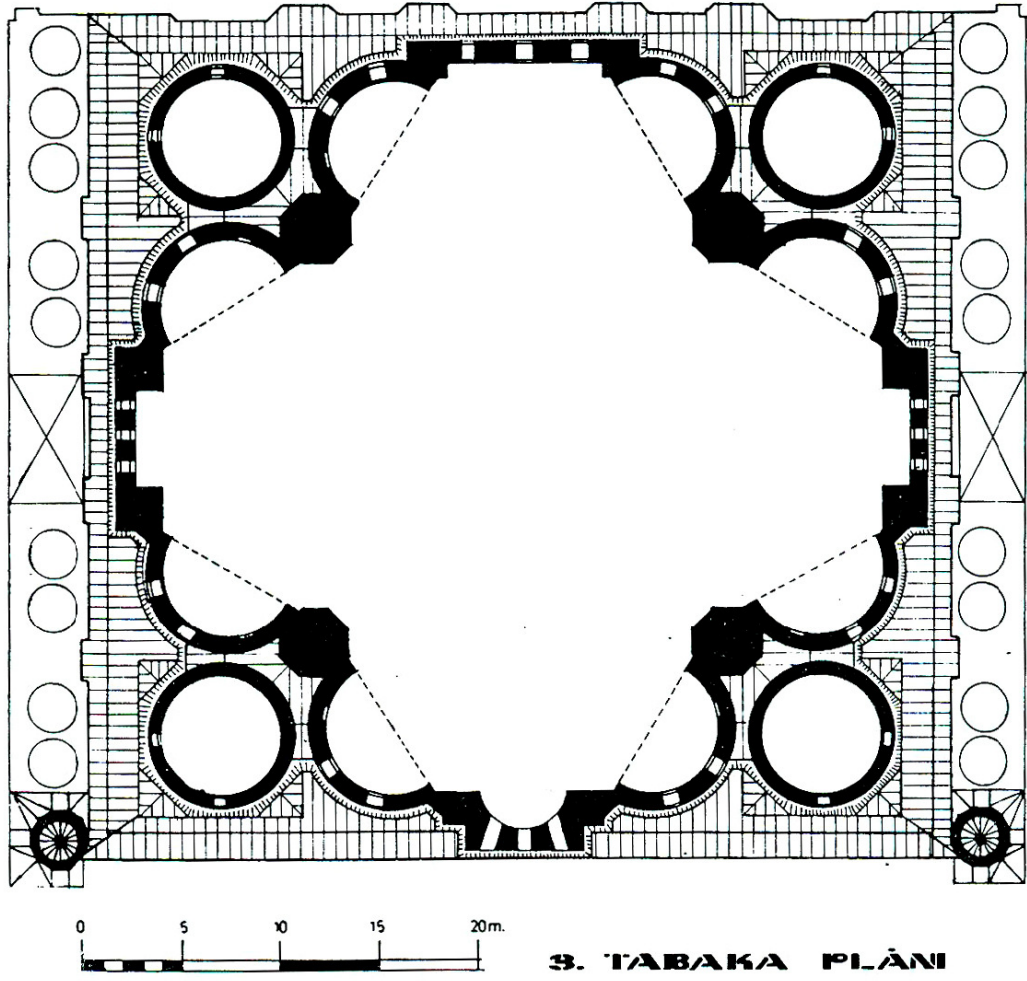
Şekil 7.5. Şehzade Mehmet Cami 1. tabaka planı [120, 121]



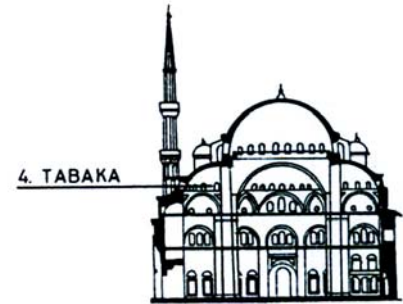
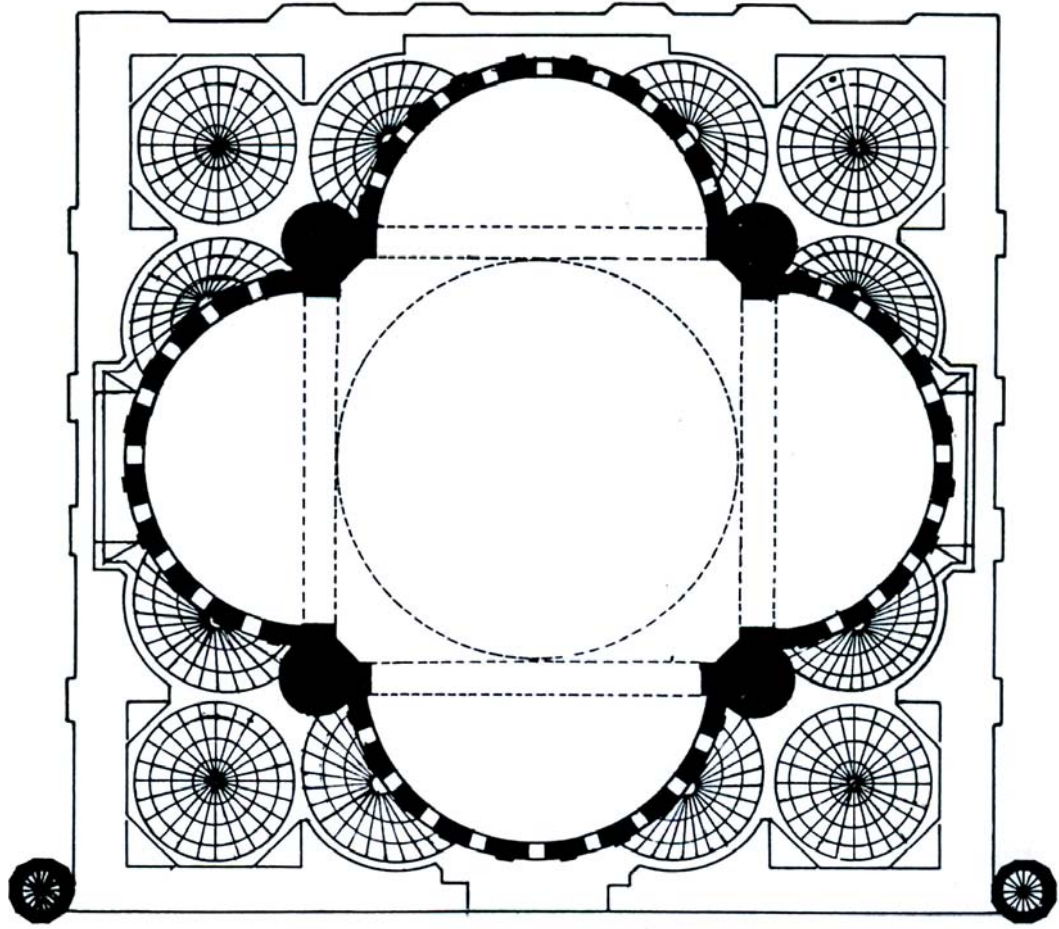
2. TABAKA PLANI



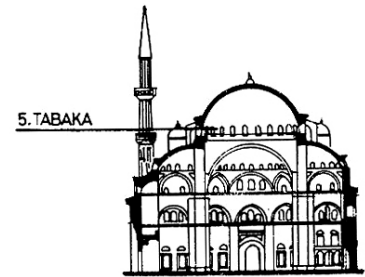
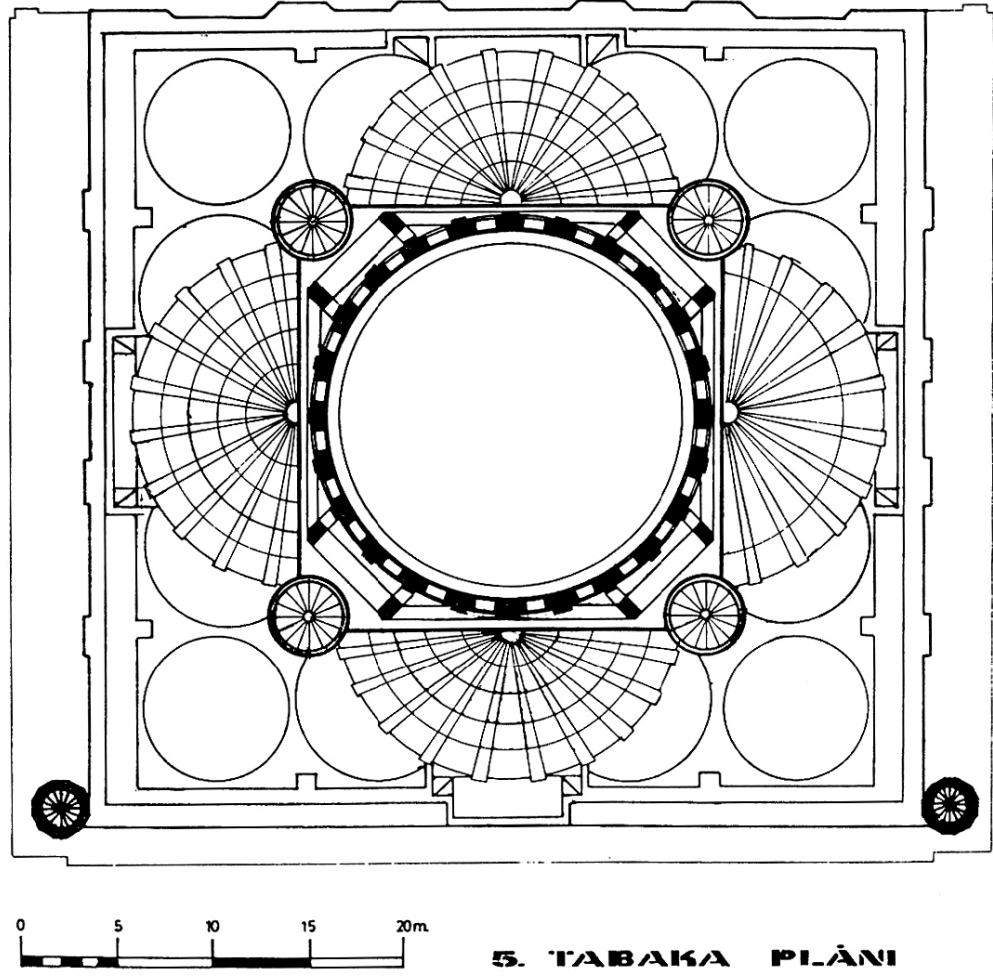
Şekil 7.6. Şehzade Mehmet Cami 2. tabaka planı [120, 121]



Şekil 7.7. Şehzade Mehmet Cami 3. tabaka planı [120, 121]



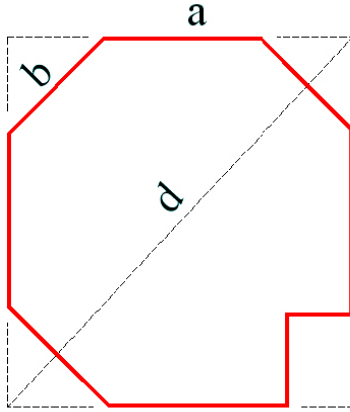
Şekil 7.8. Şehzade Mehmet Cami 4. tabaka planı [120, 121]



Şekil 7.9. Şehzade Mehmet Cami 5. tabaka planı [120,121]

Şehzade Mehmet Camisi Fil ayaklarının boyutları aşağıda tanımlandığı gibidir [122].

$a \cong 205$ cm, $b \cong 131$ cm ve $d \cong 442$ cm



Şekil 7.10. Şehzade Mehmet Cami fil ayakları [121, 122]

7.3.5.Şehzade Mehmet Camisi'nde kullanılan yapı malzemesi

Şehzade Mehmet Camisi'nde kullanılan yapı malzemesi; taş, tuğla ve harçtır. Ayaklar, kemerler, iç kemerler, fil ayaklar ve duvarlar taş bloklardan inşa edilmiştir. Mimar Sinan'ın İstanbul ve civarında inşa ettiği camilerde en yaygın kullandığı taş türü Küfeki taşı (kısaca Maktralı kireç taşı olarak da bilinir) olup Osmanlı İmparatorluğu döneminde Bakırköy, Safraköy, Sazlıbosna, Haznedar, Yenibosna civarındaki Küfeki taş ocaklarının işletildiği bilinmektedir [123]. Sinan'ın eserlerinde kullandığı küfeki taşları kaba işlenmiş nitelikten, kesme taş ve zengin bezemeli düzeye kadar kademelenme göstermektedir. Küfeki taşı yalnız örgü ve dışta cephe kaplama malzemesi olarak değil, iç mekanda, duvarlarda, taşıyıcı öğelerde, döşeme kaplamalarında, kemerlerde, portal ve mihraplarda, parmaklıklarda da kullanmıştır [124]. Arıoğlu ve arkadaşları (1999), yaptıkları çalışmada Şehzade Mehmet Camii'den taştan numuneler alıp incelemişlerdir [125]. İncelemeler sonucu; incelenen 5 adet bozulmamış numunenin kuru birim hacim ağırlığı (γ_k), toplam porozitesi (p) ve su emmesi (w), sırası ile ortalama olarak $\gamma_k = 2,27 \text{ t/m}^3$, $p = \% 9,33$, $w = \% 5,02$ mertebesinde. Kubbeler tuğladır ve kurşunla kaplanmıştır. Basınç ve çekme dayanım değerleri sırasıyla 15 MPa ve 1,4 MPa olarak alınmıştır [126].

7.3.6. Şehzade Mehmet Camisi'nin sonlu eleman modeli

Yapının statik ve dinamik yükler altındaki davranışının belirlenmesi ve yapı elemanlarının gerilme tespitinde sıkça kullanılan metot sonlu elemanlar yöntemidir. Zaman ve ekonomi yönünden tercih edilen bu yöntemde çeşitli yapı eleman modellerini bir arada kullanmak (çubuk, levha, plak, kabuk, katı vb.) mümkün olmakta, yakınsama kriterleri ile yapının üç boyutlu analizi yapılabilmektedir.

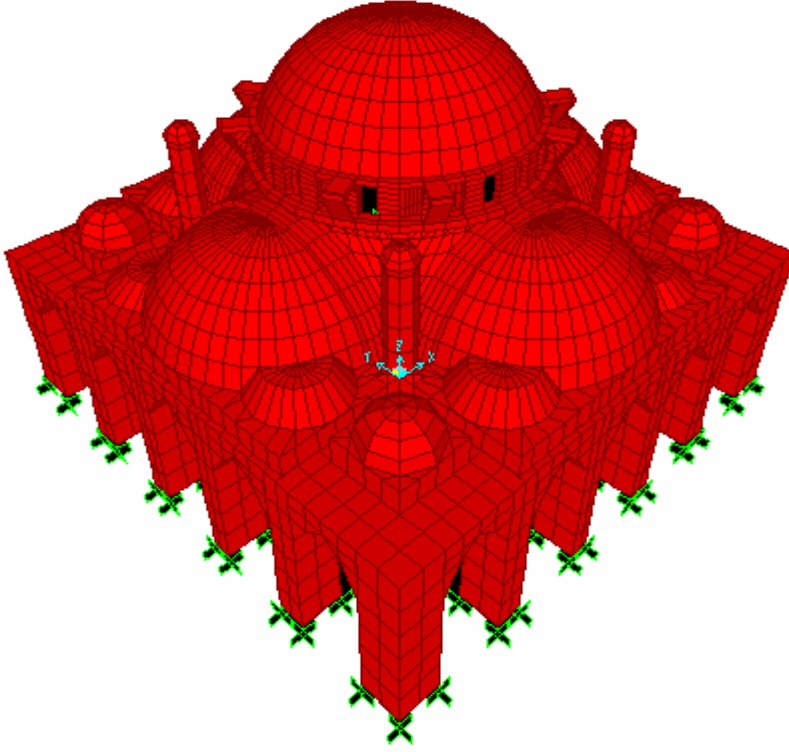
Şehzade Mehmet Camisinin sonlu eleman metodu ile analizi SAP 2000 bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Şehzade Mehmet Cami'nin sonlu elemanlar modeli 7468 düğüm noktası, 2976 kabuk ve 2352 katı elemandan oluşturulmuştur. Caminin sonlu eleman modelinde taşıyıcı elemanlar, dört fil ayağı, dört ana kemer, ikincil ayaklar, ikincil kemerler, ana kubbe, dört yarım kubbe ve eksedralarından (yarım kubbelerin her iki yanında) oluşmaktadır.

Malzeme özellikleri Ayasofya ve Süleymaniye'de yapılan çalışmalara bakılarak elde edilmiştir. Çizelge 7.1'de sonlu elemanlar modelinde kullanılan elemanlar ve malzeme özellikleri belirtilmiştir.

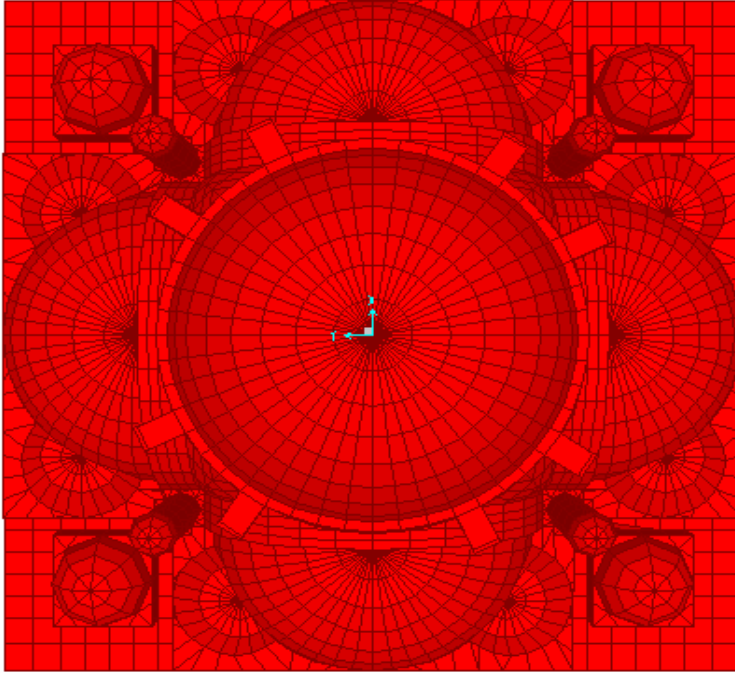
Çizelge 7.1. Sonlu eleman modeli için kullanılan malzeme özellikleri [127, 128, 129]

	Eleman cinsi	Elastisite Modülü (KN/m ²)	Birim ağırlık (KN/m ³)	Poisson oranı	Kalınlık (m)
Kemerler	Katı (Solid)	850E+4	21,9	0,20	
Ayaklar	Katı (Solid)	850E+4	21,9	0,18	
Ana kubbe	Kabuk (shell)	300E+4	20	0,18	0,5
Pendantifler	Kabuk (shell)	300E+4	20	0,20	0,7
Yarım kubbeler	Kabuk (shell)	300E+4	20	0,18	0,7

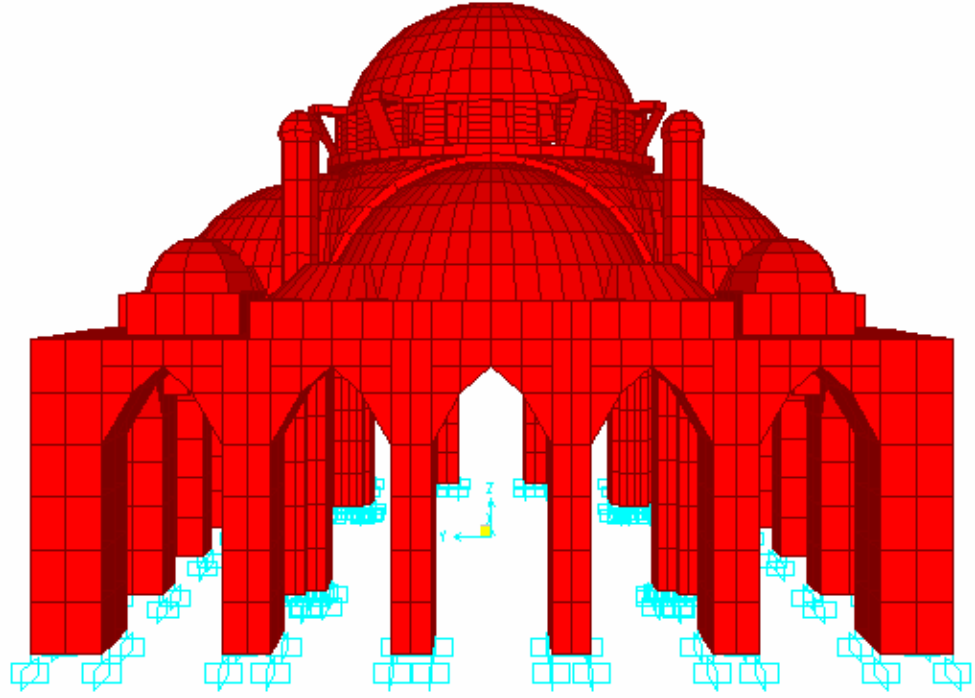
Sonlu eleman metodu ile hazırlanan Şehzade Mehmet Caminin görünümü Şekil 7.11-7.13'de verilmektedir.



Şekil 7.11. Şehzade Mehmet Cami'nin 3D görünümü



Şekil 7.12. Şehzade Mehmet Cami'nin üstten görünümü



Şekil 7.13. Şehzade Mehmet Cami'nin önden görünümü

7.3.7. Şehzade Mehmet Camide kullanılan sismik izolatörler

Şehzade Mehmet Caminin ankatre mesnetli modeli ANM, yüksek sönümlü kauçuk mesnetli modeli YKM ve kurşun kauçuk mesnetli modeli KKM diye ifade edilmiştir. Şehzade Mehmet Cami'nin toplam ağırlığının 159304 KN olarak hesaplanmıştır. İzolatörlü mesnet hesaplamaları için temelin düğüm noktalarına gelen yükler 5 ana gruba ayrılmıştır.

- | | |
|---------------------------------|----------------|
| • 500 KN'a kadar olan yük | 8 adet mesnet |
| • 500-1000 KN'a kadar olan yük | 41 adet mesnet |
| • 1000-1500 KN'a kadar olan yük | 40 adet mesnet |
| • 1500-2000 KN'a kadar olan yük | 36 adet mesnet |
| • 2600 KN'a kadar olan yük | 3 adet mesnet |

Bu çalışmada taban izolatörleri tasarımında kullanılan ve Bölüm 4'te açıklanan UBC-97 [104] parametreleri aşağıda belirtilmiştir.

Sismik bölge faktörü	: Bölge 4, $Z=0,40$
Bölge zemin cinsi	: S_D kabul edildi
Sismik Fay Tipi	: A tipi ($M \geq 7$), kayma oranı $SR \geq 5\text{mm/yıl}$
Kaynak yakınlık faktörü	: $\Delta > 15\text{ km}$, $N_a=1$, $N_v=1$
DBE sallama yoğunluğu	: $ZN_v=0,40(1)=0,40$
MCE Respons katasyıları	: $M_M=1,25$
Sismik katsayılar	: $C_v=0,64$; $C_{vD}=0,64(1)=0,64$ $C_A=0,44$, $C_{AD}=0,44(1)=0,44$ $C_{AM}=1,1\alpha$ $\alpha=M_M ZN_A$ $C_{VM}=1,6\alpha$ $\alpha=M_M ZN_v$
Sönüm azaltma faktörü	: $B=1,20$
Taşıyıcı Sistem Azaltma Katsayısı	: $R=0,8$ yığma bina
Hedeflenen periyot 2,5 s'dir	

Şehzade Mehmet Camisi'nin dinamik davranışının iyileştirilmesi amacıyla mesnetlerine yerleştirilecek olan yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ve kurşun kauçuk mesnetler için hesaplar EK 2' de belirtilmiştir. Hesaplanan mesnet özellikleri Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3'de verilmiştir. Taban izolatörlerin yerleşim yerleri Şekil 7.14'te gösterilmiştir.

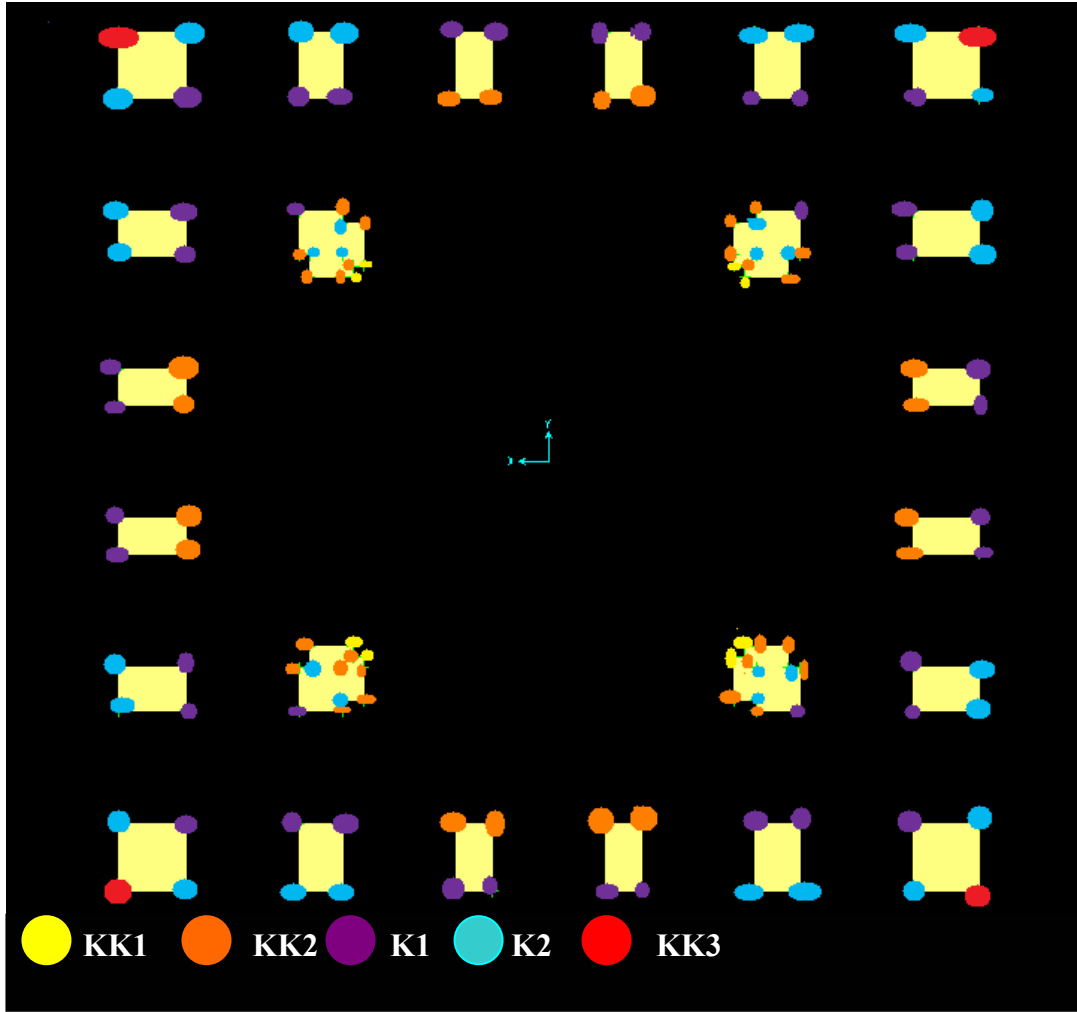
Çizelge 7.2 Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetlerin özellikleri

İzolatör Tipi	Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Mesnet Yüksekliği (m)
Yüksek Sönümleyici Kauçuk Mesnet	398	2823,04	73,41	0,046	189290	0,35	0,356
	795	5642,27	146,71	0,046	378590	0,50	0,338
	1193	8461,5	220,01	0,046	570250	0,55	0,336
	1590	11280,73	293,31	0,046	759540	0,65	0,330
	2067	14665,34	381,31	0,046	991436	0,75	0,326

Bu çalışmada Şehzade Mehmet Caminin ankastre tabanlı modeli (ANM), yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli modeli (YKM) ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli modeli ise (KKM) olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 7.3. Kurşun kauçuk mesnetlerin özellikleri

İzolator Tipi		Sayısı	Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Kauçuk kalınlığı(m)	Kurşun Çekirdek Alanı (m ²)
Kurşun Kauçuk Mesnet	KK1	500KN 8 adet	322	2430	31	0,1	150720	0,400	0,354	0,0028
Kurşun Kauçuk Mesnet	KK2	1000KN 41adet	644	4870	55	0,1	294450	0,500	0,280	0,0050
Doğal Kauçuk Mesnet	K1	1500KN 40adet	966	7310	86	0,1	453409	0,550	0,220	0,0078
Doğal Kauçuk Mesnet	K2	2000KN 36 adet	1288	9730	104,7	0,1	593670	0,600	0,200	0,0095
Kurşun kauçuk mesnet	KK3	2600KN 3 adet	1674	12660	134,6	0,1	791560	0,600	0,150	0,0122

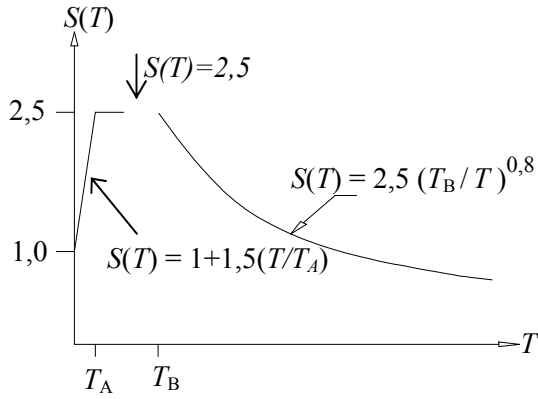


Şekil 7.14. Taban izolatörlerinin yerleşim planı

7.3.8. Şehzade Mehmet Caminin dinamik analizi

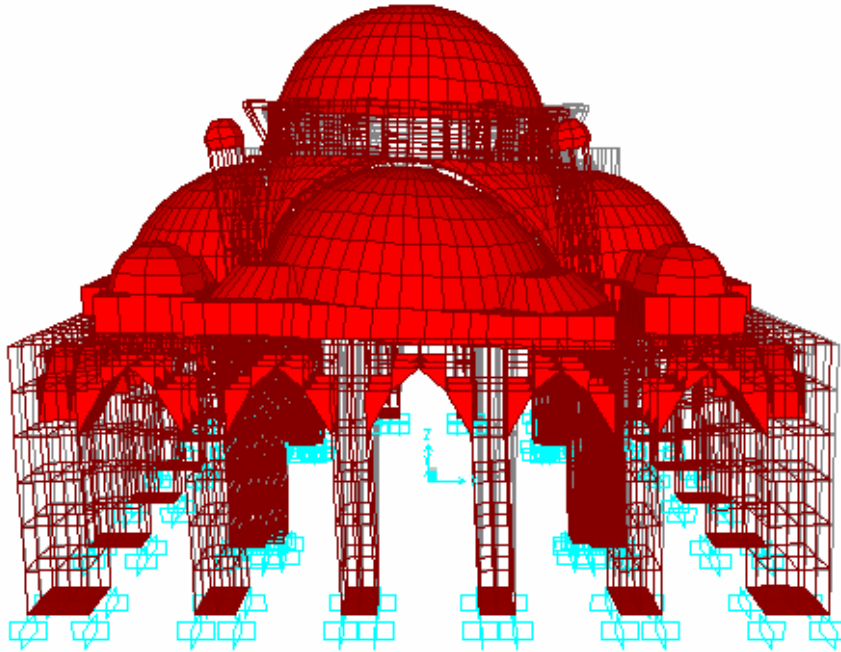
Gelecekte İstanbul'u etkileyecek depremler şehrin yaklaşık 20 km güneyinden geçen ve Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın bir bölümünü oluşturan Marmara Denizindeki graben sisteminden kaynaklanmaktadır. Aletsel büyüklüğü $M_s=7,0$ olan bu depremin ortalama her yüz yılda bir meydana gelme ihtimali bulunmaktadır [130, 131].

Bu çalışmada maksimum yapı tepkilerini veren Davranış Spektrum Yöntemiyle (Mod Birleştirme), Şehzade Mehmet Camii analiz edilmiştir. Elastik tasarım ivme spektrumu 2007 Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiştir (Şekil 7.15) [73]. Hesaplar 1. derece deprem bölgesi ve Z4 zemin sınıfı için yapılmıştır.

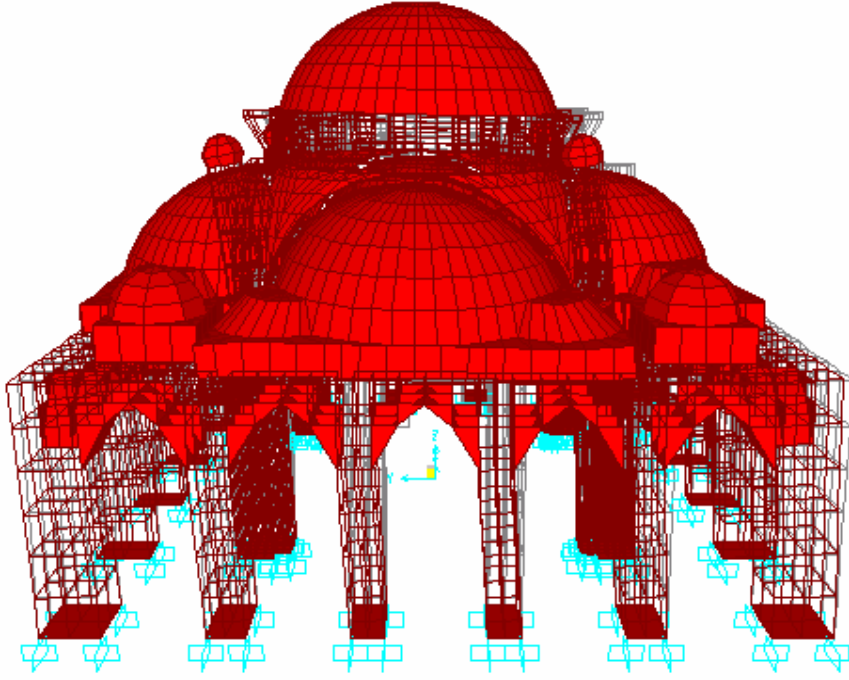


Şekil 7.15. Spektrum katsayısı

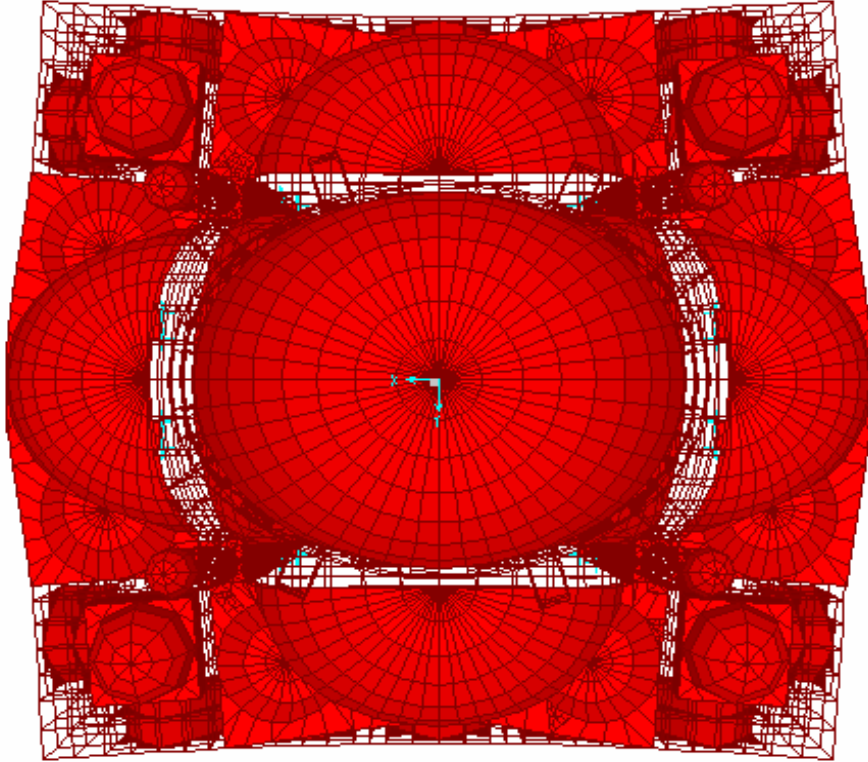
Davranış spektrum Yöntemi ile analizde 30 mod kullanılmış olup, mod katkılarının birleştirilmesi amacıyla tam karesel birleştirme (CQC) kuralı uygulanmıştır. 30 modun dikkate alındığı Cami modeline ait ilk 5 mod Şekil 7.16-7.20’de verilmektedir. İlk iki mod x ve y yönlerinde yatay ötelenmeye karşılık gelirken, 3. mod sıkışma, 4.mod burulma ve 5. mod açılma şeklinde ortaya çıkmaktadır.



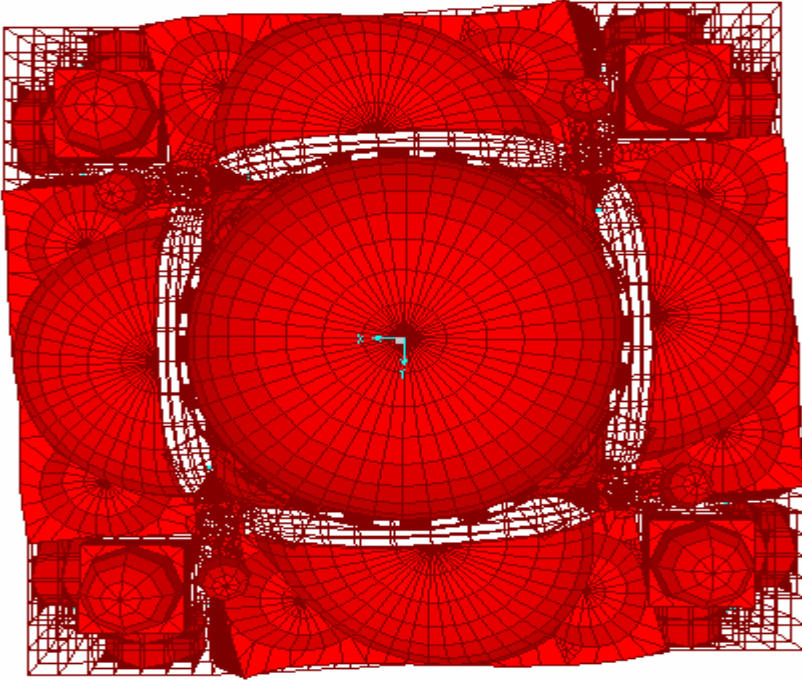
Şekil 7.16. Modal analiz, Mod 1 ($T=0,49293$, x ötelenmesi)



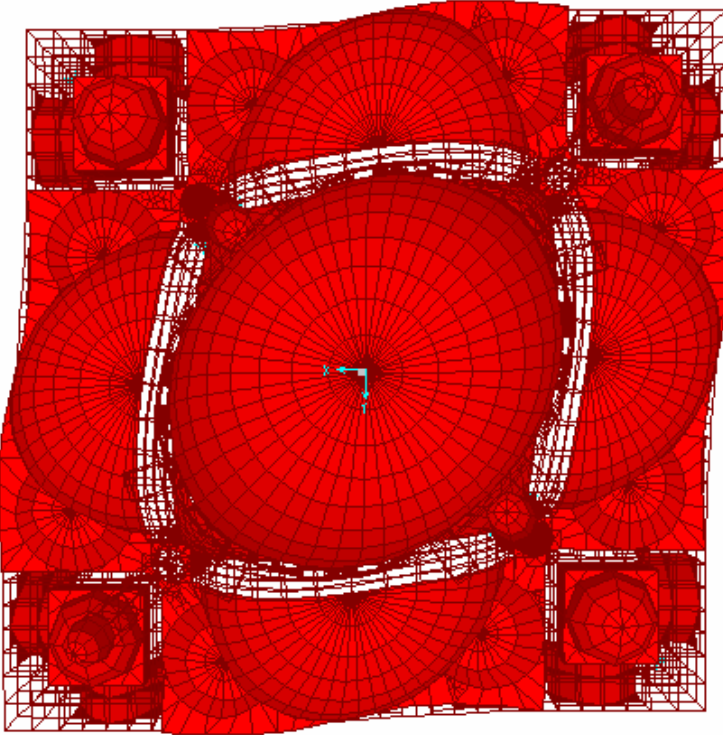
Şekil 7.17. Modal analiz, Mod 2 ($T=0,46531$, y ötelenmesi)



Şekil 7.18. Modal analiz, Mod 3 ($T=0,44023$, sıkışma)

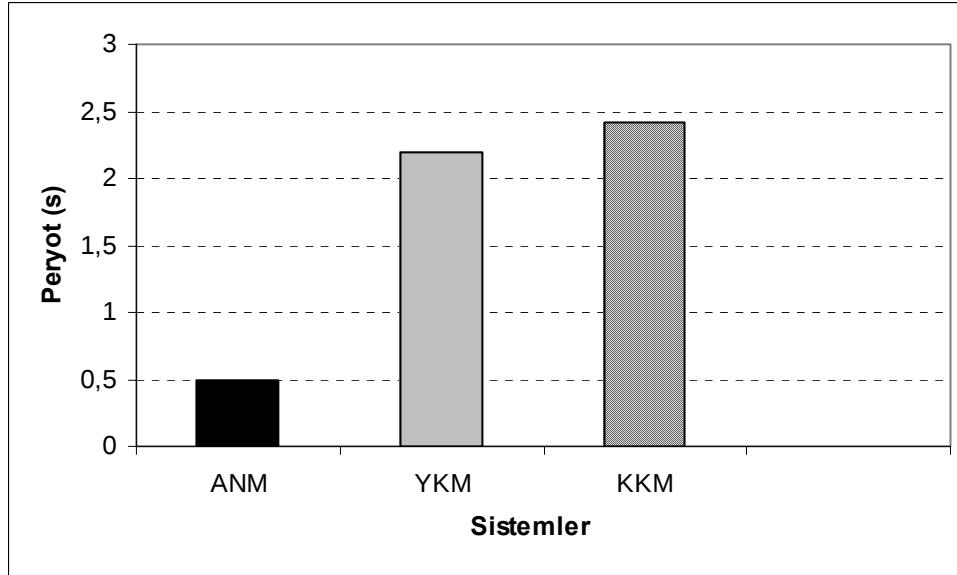


Şekil 7.19. Modal analiz, Mod 4 ($T=0,37941$, burulma)

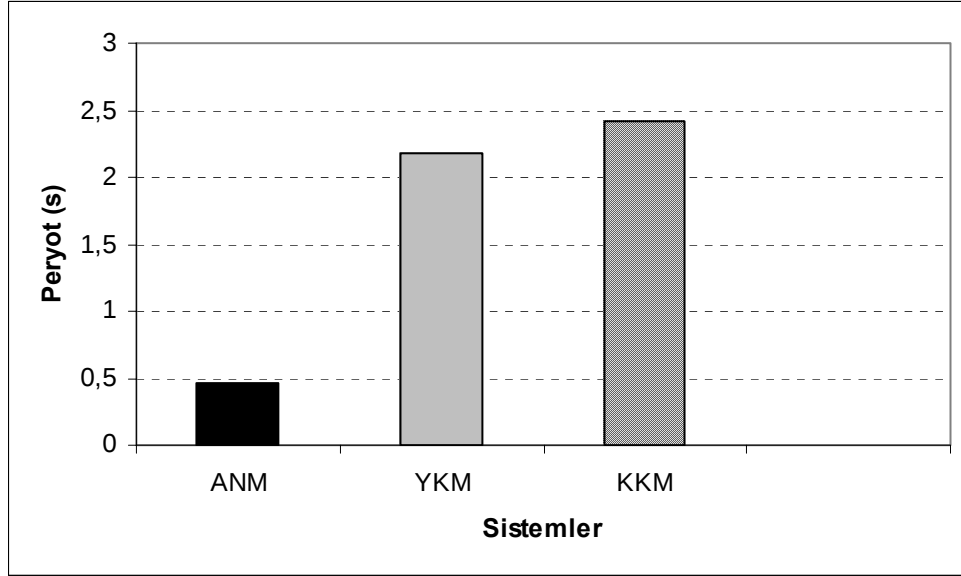


Şekil 7.20. Modal analiz, Mod 5 ($T=0,31444$, açılma)

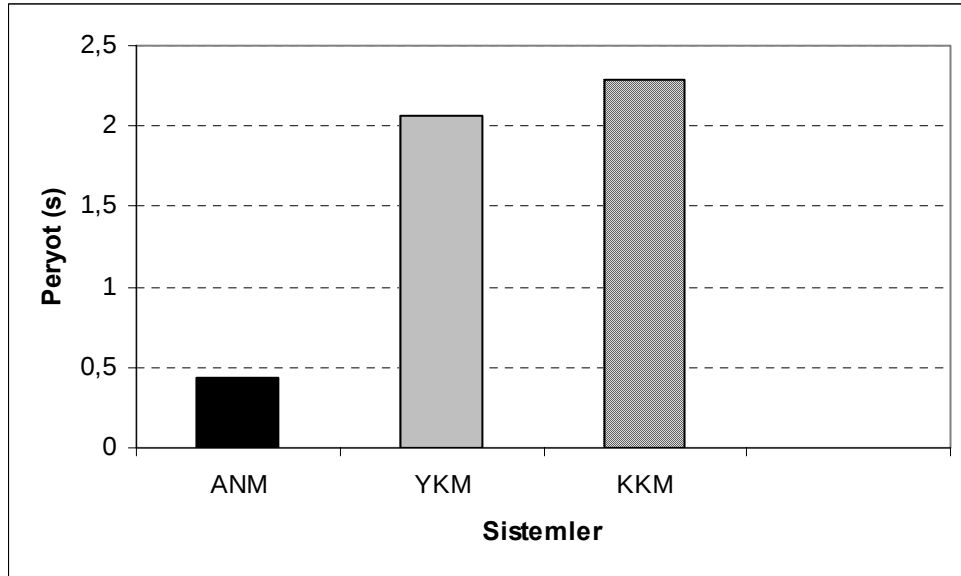
İlk beş mod için izolatörlü sistemlerle ankastre mesnetli sistemin periyot karşılaştırması Şekil 7.21-7.25’de yapılmıştır. Davranış spektrum analizi sonucunda caminin oldukça rijit bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ankastre mesnetli caminin ilk mod değeri 0,493 s’dir. Deprem hareketinin yapı sistemine olan etkisini azaltmak amacıyla Şehzade Mehmet Camii yapı modelinin mesnet noktalarına izolatörler yerleştirilmiştir. İzolatörlü sistemlere ait hedeflenen periyot değeri 2,5 s olarak seçilmiştir. Şekil 7.21’den de görüleceği üzere ilk moda ait periyot değerleri 2,5 s civarındadır. Yine 2. ve 3. modlar için de sismik izolatörler kullanılmak suretiyle, periyot değerlerinde ANM sistemine oranla önemli artışlar elde edilmiştir.



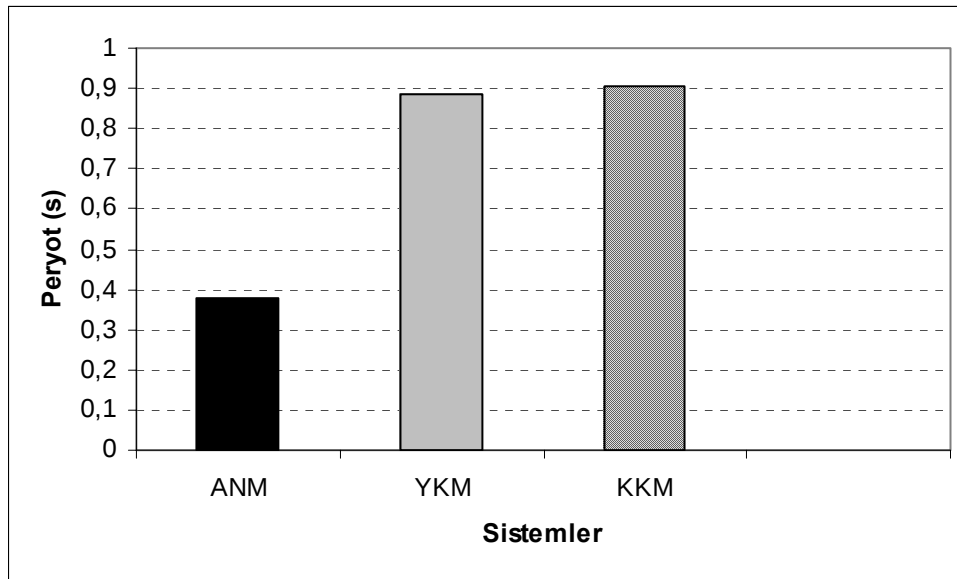
Şekil 7.21. Mod 1



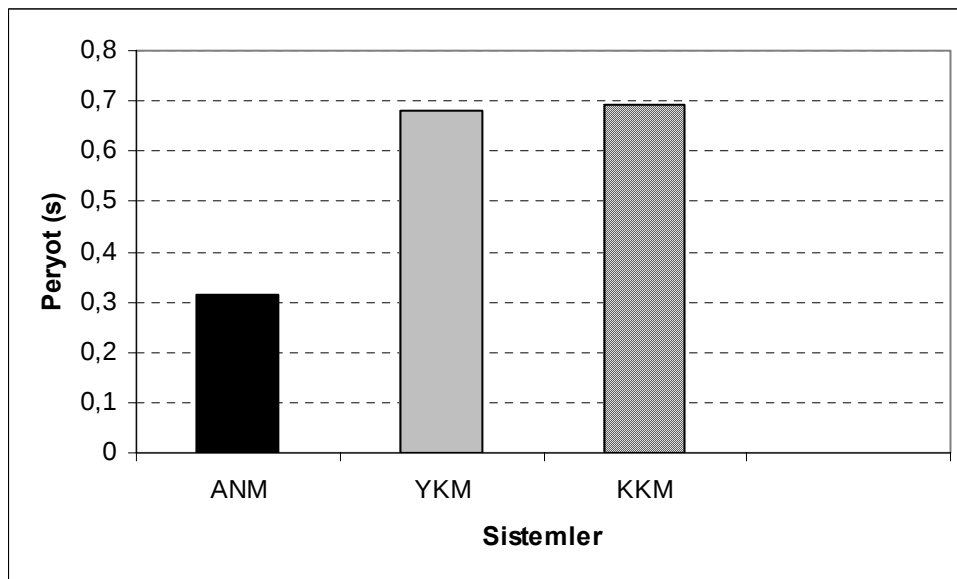
Şekil 7.22. Mod 2



Şekil 7.23. Mod 3

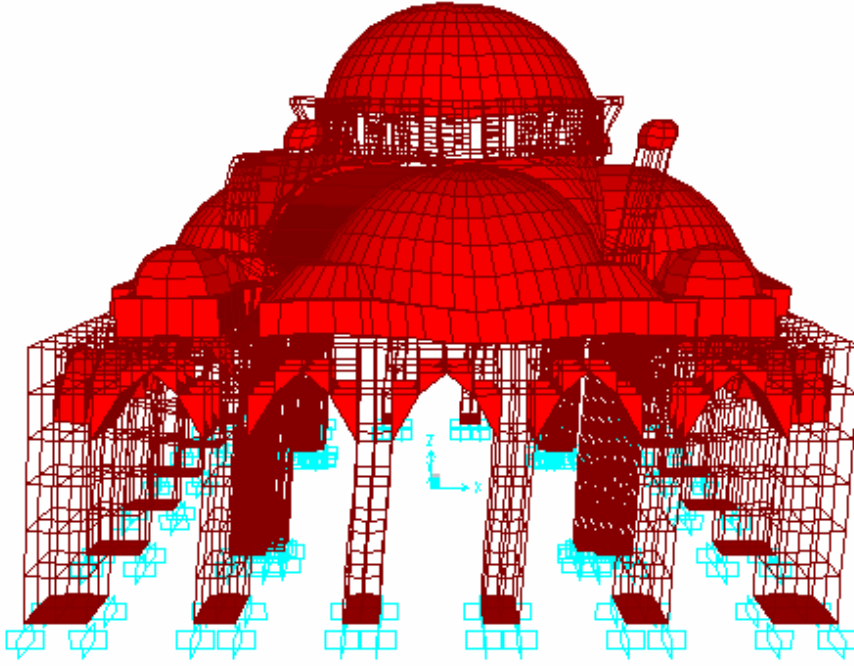


Şekil 7.24. Mod 4

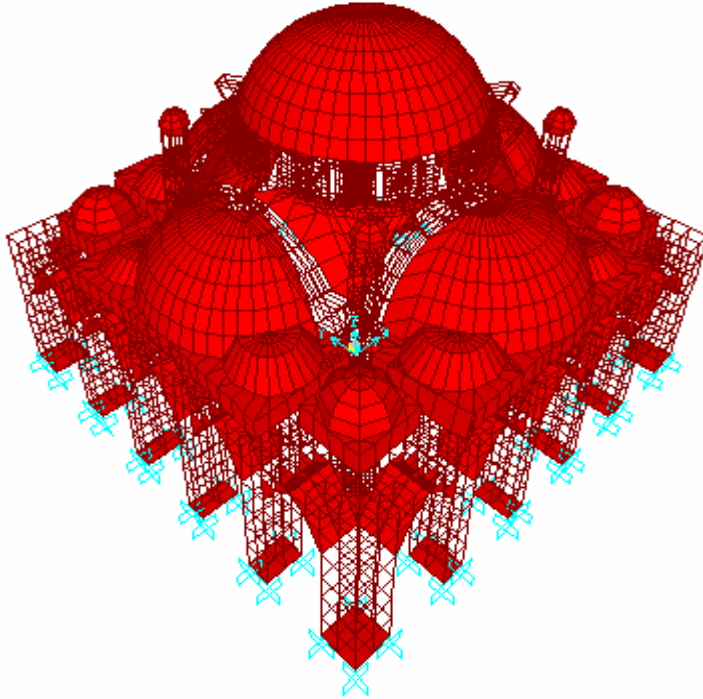


Şekil 7.25. Mod 5

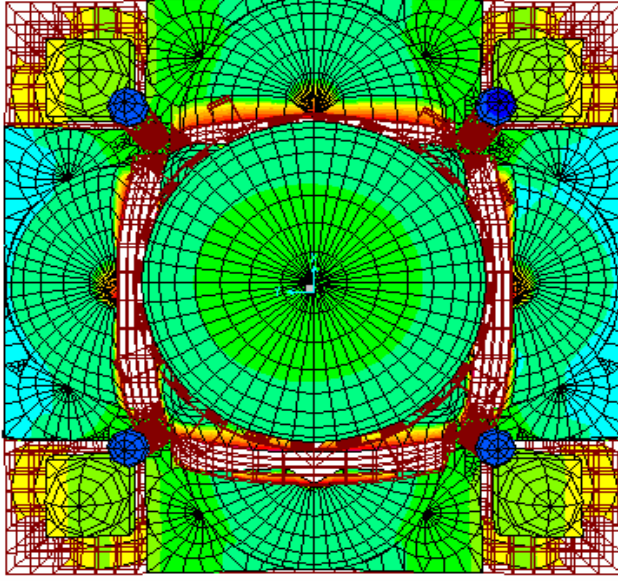
Deprem hareketinin x yönünde tanımlandığı ankastre mesnetli cami sisteminin deformasyon şekli Şekil 7.26-7.29’da verilmektedir. Yerdeğiştirmelerin eşyükselti eğrileri ile de tanımlandığı şekillerde, ana kubbe tepe noktası yerdeğiştirmesi 8,4 cm, kemer tepe noktası yerdeğiştirmesi 10,72 cm, kule tepe noktası yerdeğiştirmesi 17,36 cm ve kenar ayak üst noktası yerdeğiştirmesi 3,8 cm olarak hesaplanmıştır.



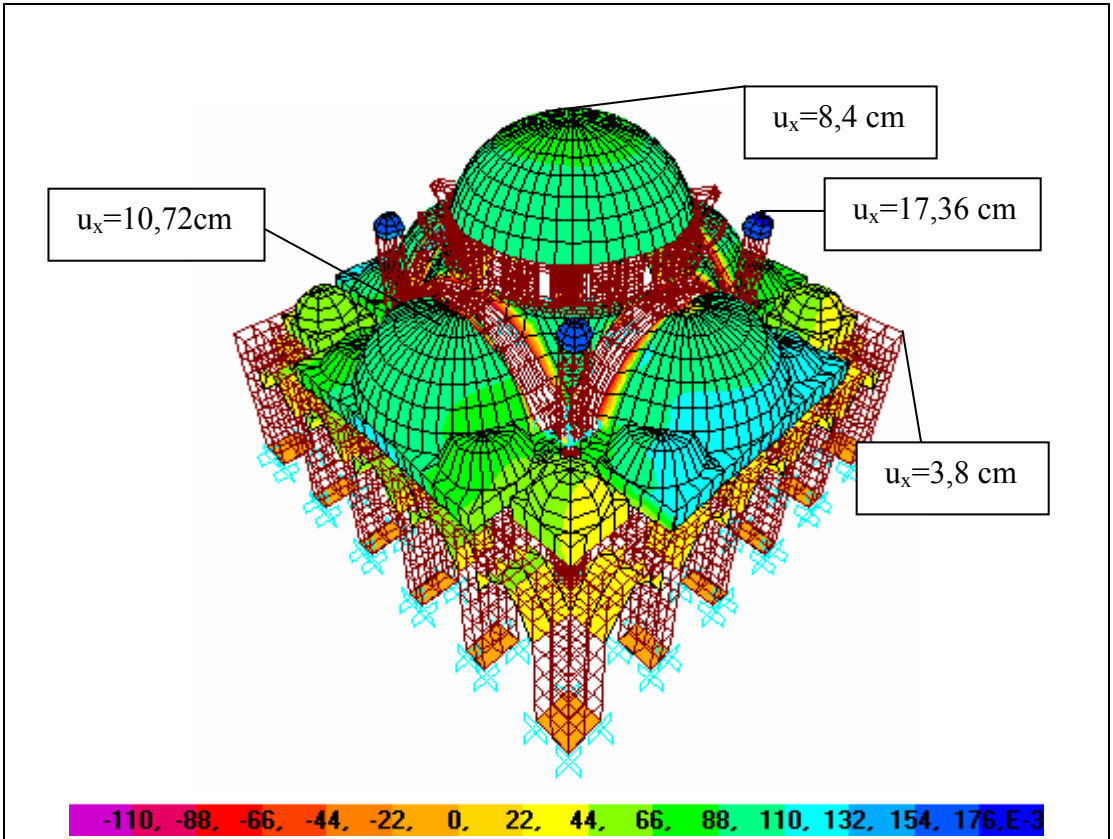
Şekil 7.26. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (önden görünüş)



Şekil 7.27. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (3D görünüş)

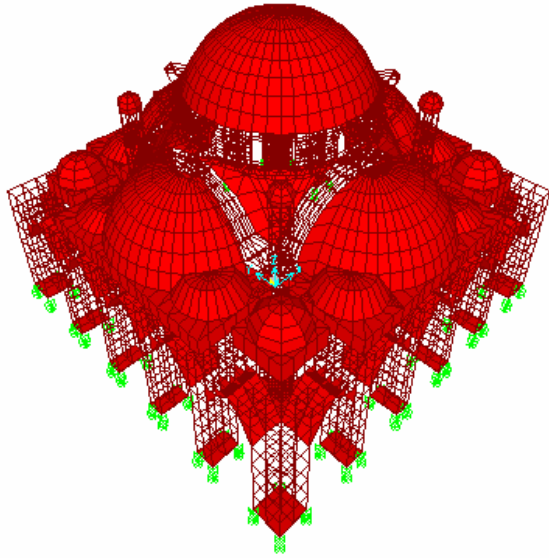


Şekil 7.28. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekline ait eşyükselti çizgileri

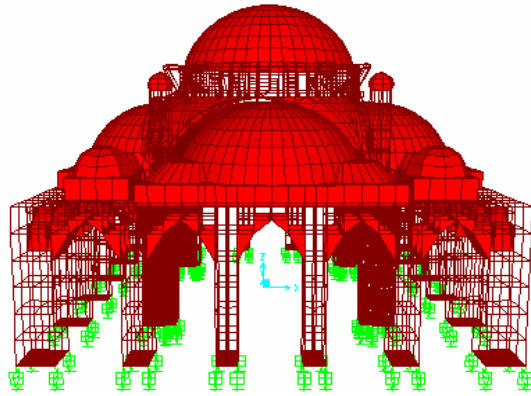


Şekil 7.29. Belli noktalarda spektrum analizi ile elde edilen yerdeğiştirme değerleri

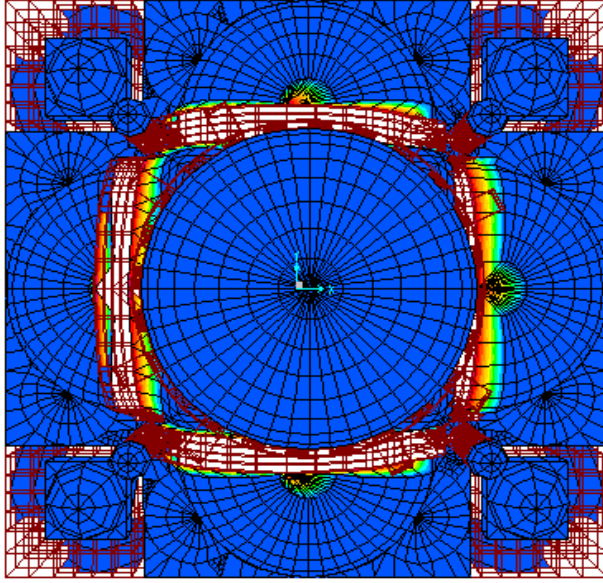
Daha sonra cami sisteminin sismik izolatör kullanılarak çözümlenmesi ile elde edilen deformasyon şekli de Şekil 7.30-7.31’de verilmektedir. Sismik izolatör olarak yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli sistem kullanılması durumunda elde edilen yerdeğiştirme eşyükselti eğrileri Şekil 7.32-7.33’de verilmektedir. Bu durumda ana kubbe tepe noktası rölatif yerdeğiştirmesi 5,2 cm, kemer tepe noktası rölatif yerdeğiştirmesi 6,21 cm, kule tepe noktası rölatif yerdeğiştirmesi 10,45 cm ve kenar ayak üst noktası rölatif yerdeğiştirmesi 3,77 cm olarak hesaplanmıştır.



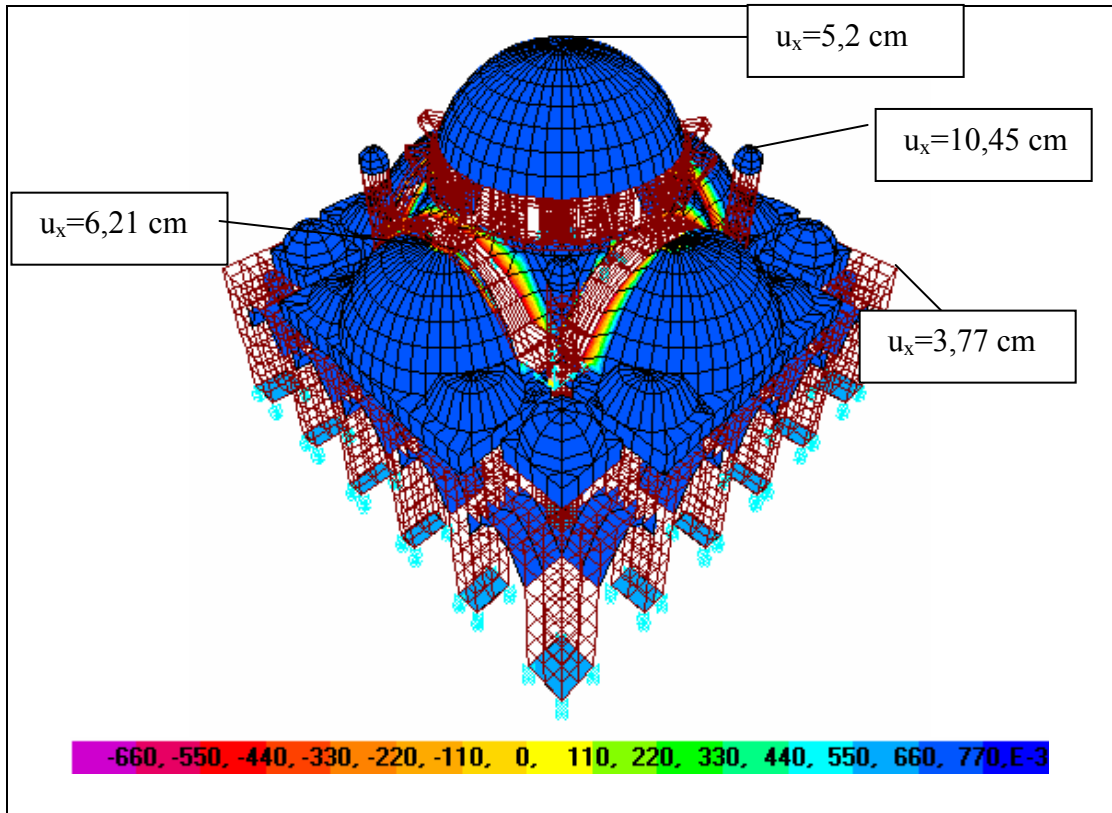
Şekil 7.30. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (3D görünüş-izolatörlü sistem)



Şekil 7.31. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekli (önden görünüş-izolatörlü sistem)



Şekil 7.32. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekline ait eşyüksekti çizgileri (yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli sistem)

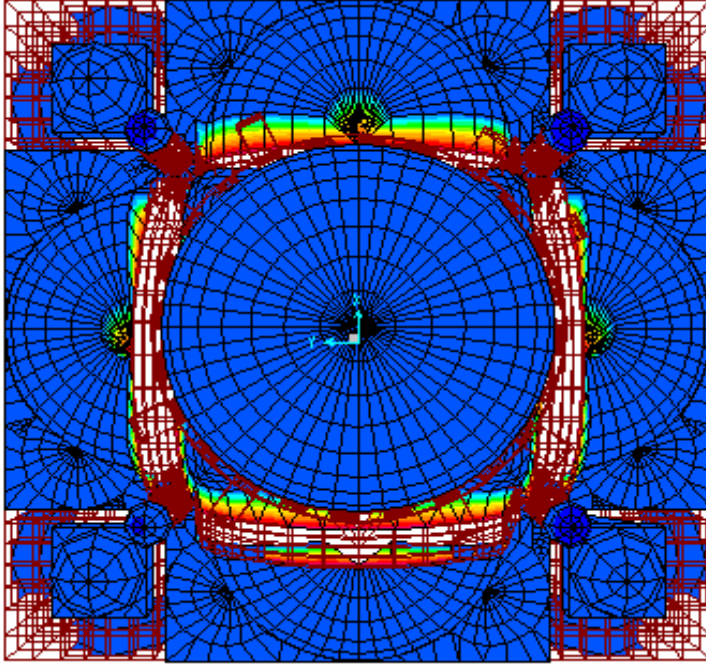


Şekil 7.33. Belli noktalarda spektrum analizi ile elde edilen rölatif yerdeğiştirme değerleri (YKM sistem)

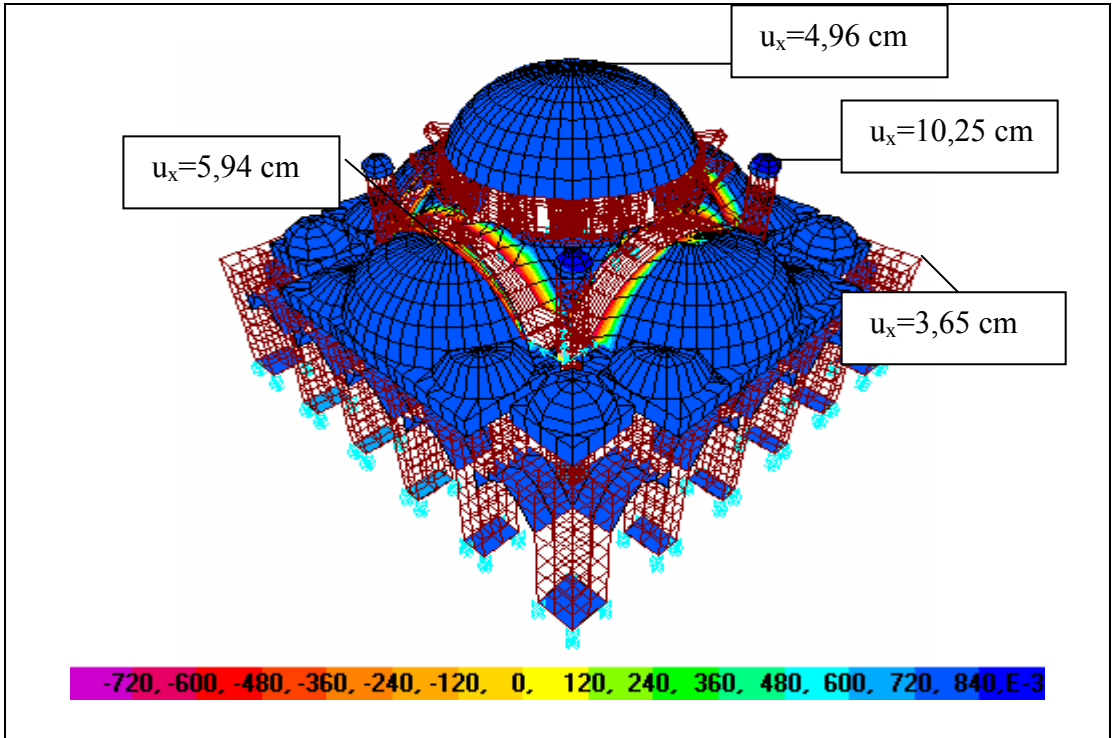
Sismik izolatör olarak kurşun kauçuk mesnet kullanılması durumunda ana kubbe tepe noktası rölatif yerdeğiştirmesi 4,96 cm, kemer tepe noktası rölatif yerdeğiştirmesi 5,94 cm, kule tepe noktası rölatif yerdeğiştirmesi 10,25 cm ve kenar ayak üst noktası rölatif yerdeğiştirmesi 3,65 cm olarak hesaplanmıştır (şekil 7.34-7.35).

Dikkat edilecek olursa kenar ayak dışında ankastre mesnetli sistem için hesaplanan diğerk noktalardaki yerdeğiştirmeler, sismik izolatör kullanılması durumunda ortalama olarak %38-45 azalmaktadır. Bunun yanında yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli izolatör kullanılması durumundaki yerdeğiştirmeler, kurşun kauçuk mesnetli izolatör kullanılması durumundaki yerdeğiştirmelerden %2-5 daha fazla olmaktadır.

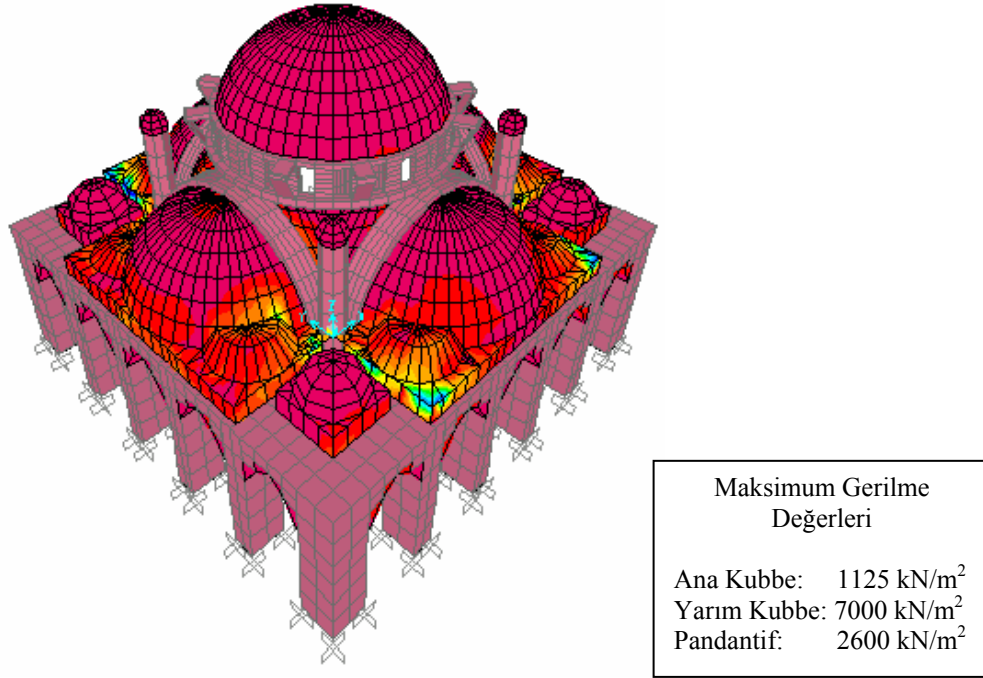
Cami sisteminin ankastre, kauçuk mesnetli izolatör ve kurşun kauçuk mesnetli izolatör olarak modellenmesi ile kabuk elemanlarda elde edilen S11 ve S22 gerilmeleri şekil 7.36-7.41’de verilmektedir. Dikkat edilecek olursa şekillerde belirtilen maksimum gerilme değerkleri, sismik izolatör kullanılması durumunda ankastre sisteme oranla ortalama olarak %43-59 oranında azalmaktadır. Bunun yanında kauçuk mesnetli izolatör kullanılması durumundaki maksimum gerilme değerkleri, kurşun kauçuk mesnetli izolatör kullanılması durumundaki gerilmelerden %2-4 daha fazla olmaktadır.



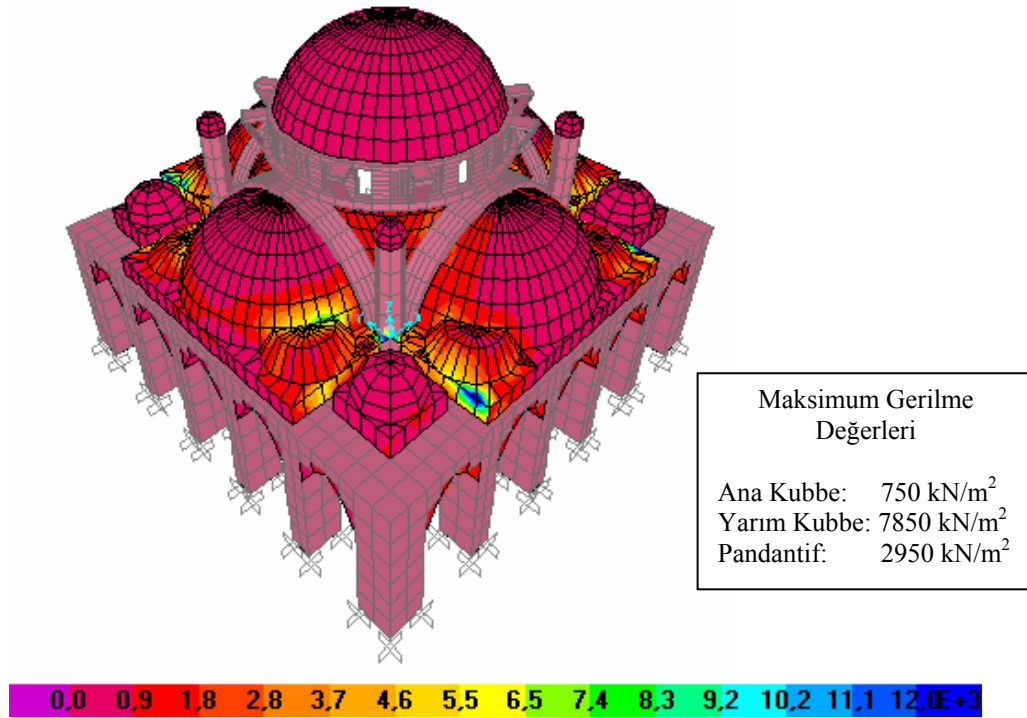
Şekil 7.34. Spektrum analizi ile elde edilen deformasyon şekline ait eşyüksekti çizgileri (kurşun kauçuk mesnetli sistem)



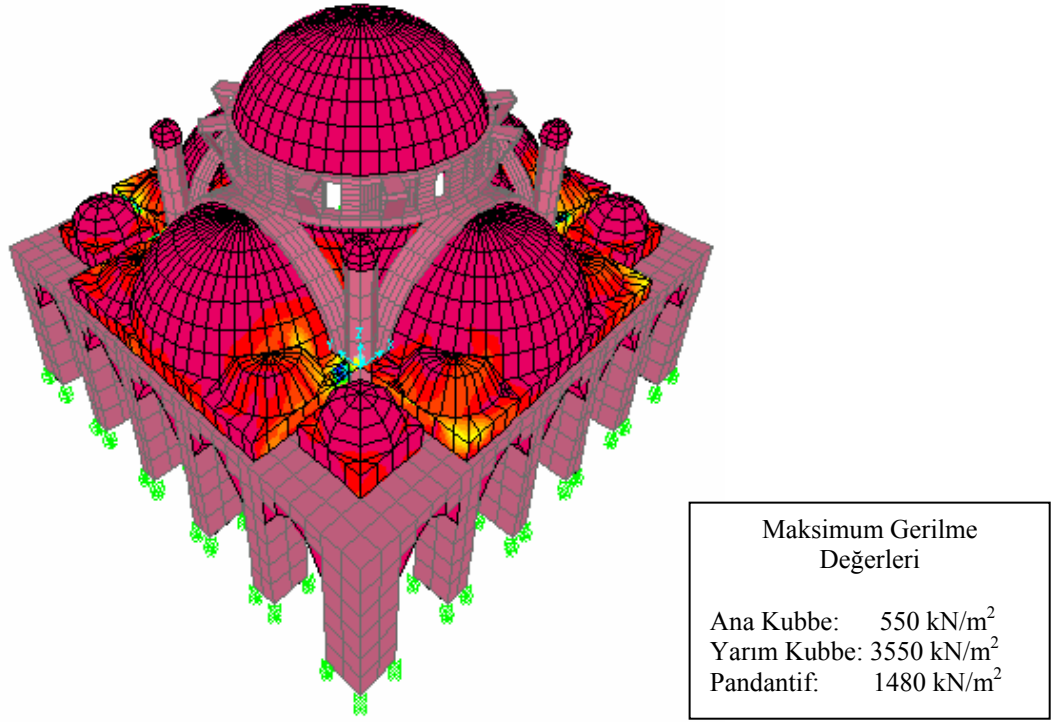
Şekil 7.35. Belli noktalarda spektrum analizi ile elde edilen rölatif yerdeğiştirme değerleri (kurşun kauçuk mesnetli sistem)



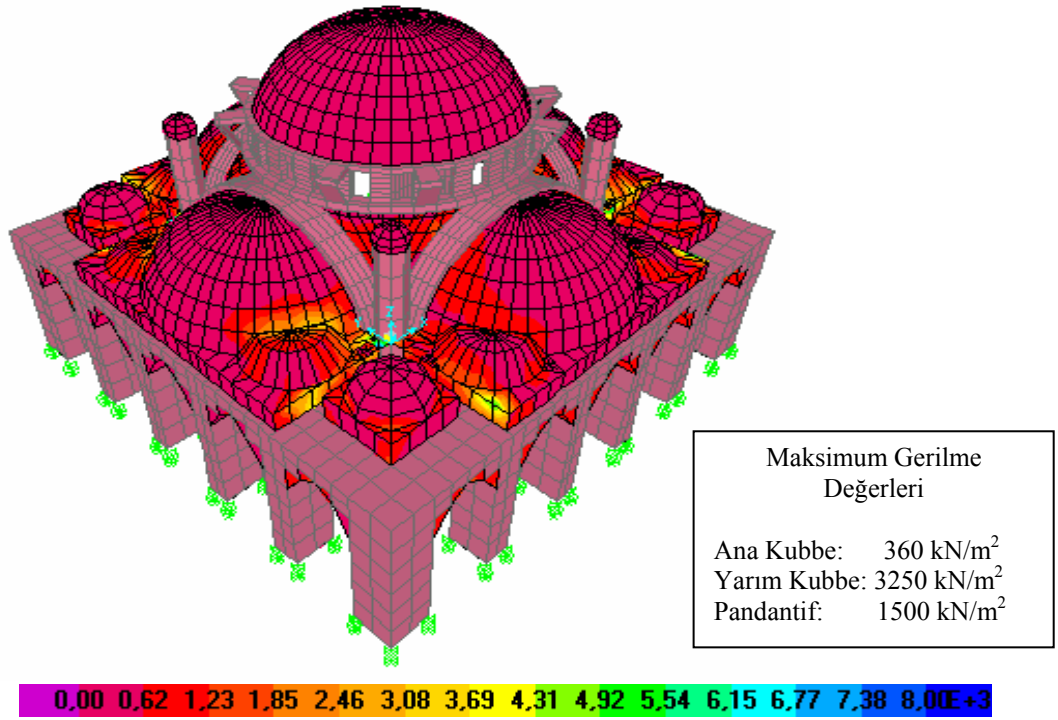
Şekil 7.36. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (ankastre sistem)



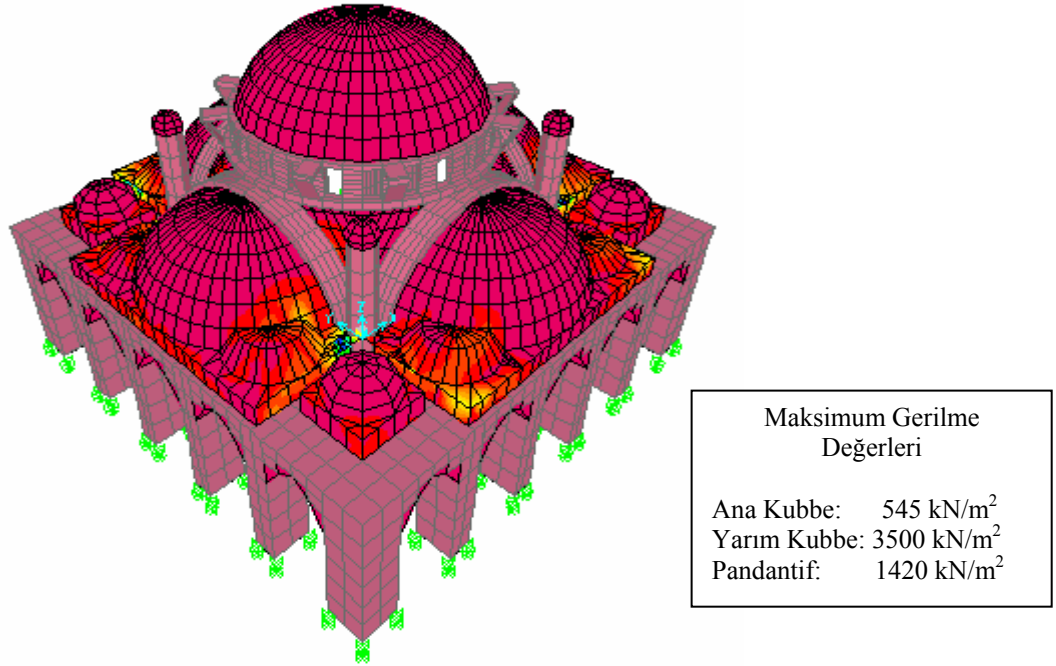
Şekil 7.37. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S22 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (ankastre sistem)



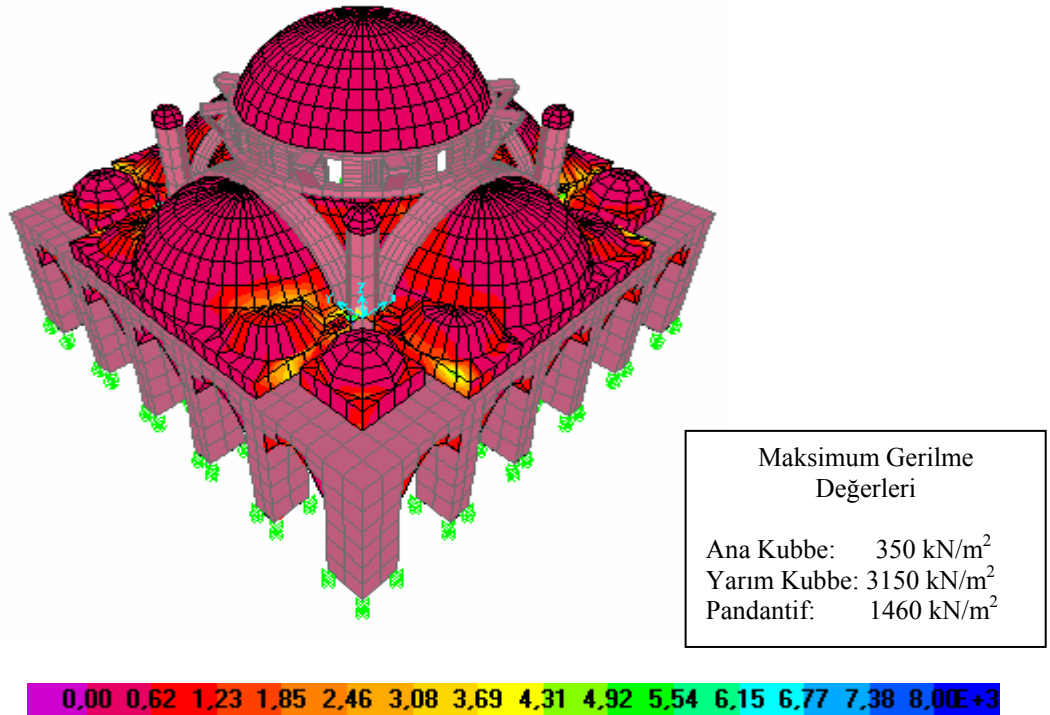
Şekil 7.38. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (YKM sistem)



Şekil 7.39. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S22 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (YKM mesnetli sistem)

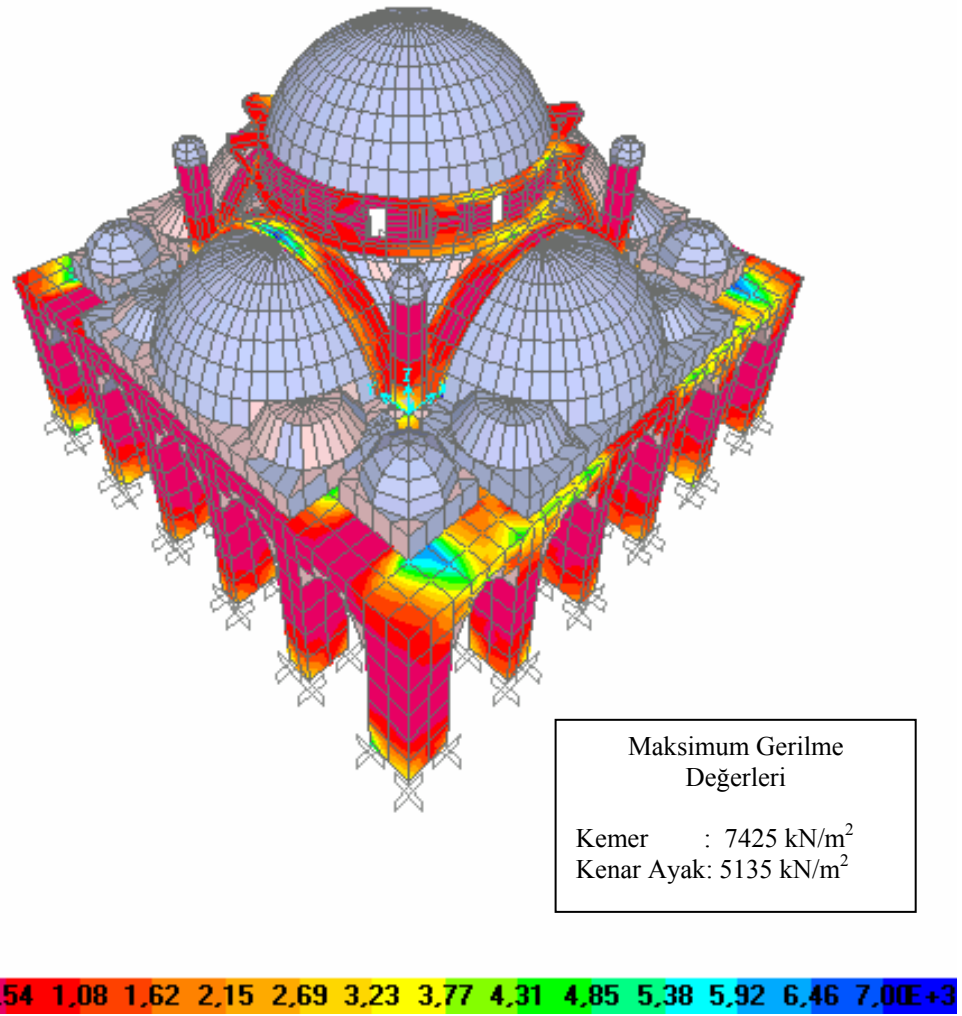


Şekil 7.40. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (kurşun kauçuk mesnetli sistem)

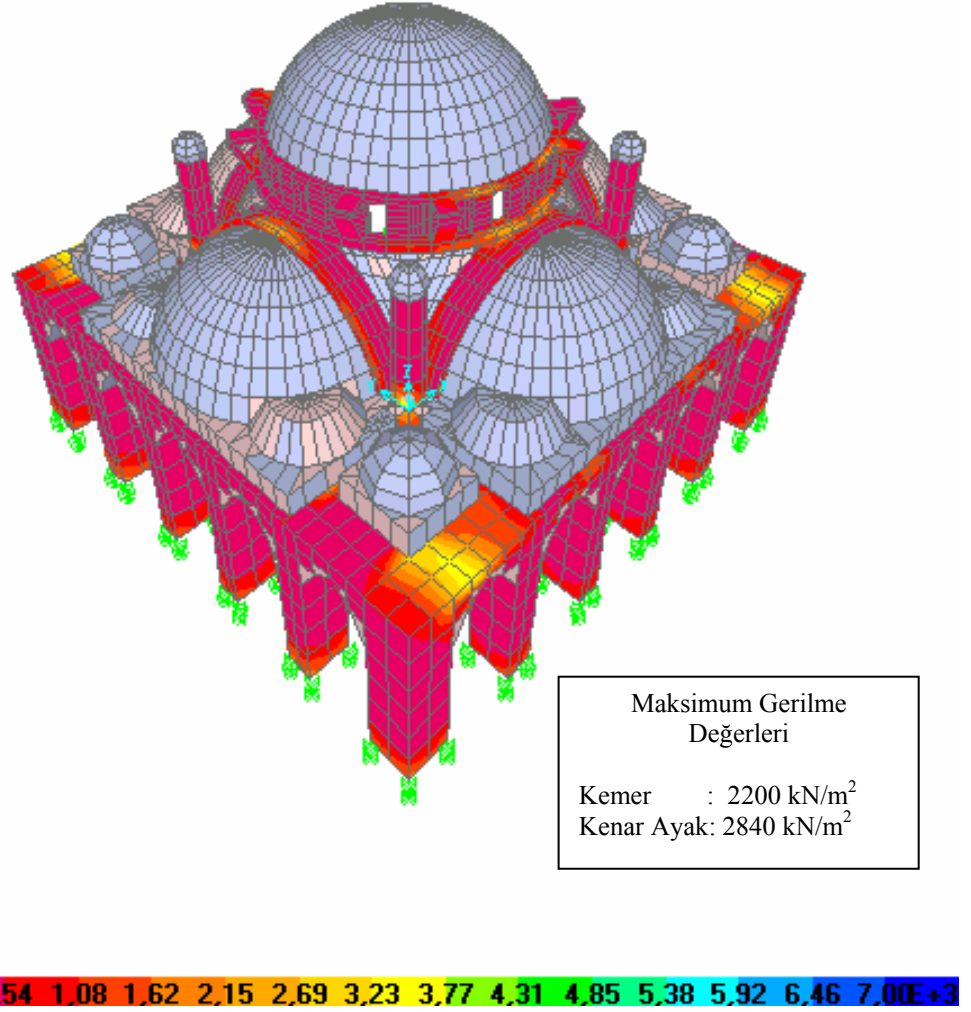


Şekil 7.41. Spektrum analizi ile elde edilen kabuk elemanlardaki S22 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (kurşun kauçuk mesnetli sistem)

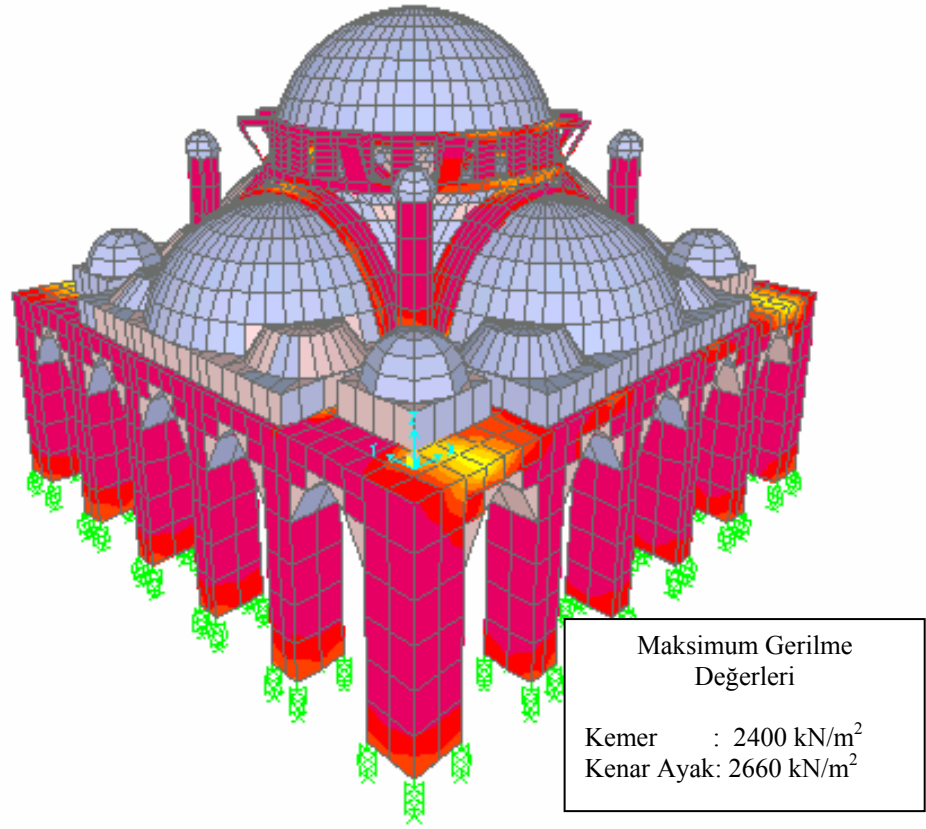
Ayrıca, cami sisteminin ankastre, kauçuk mesnetli izolator ve kurşun kauçuk mesnetli izolator olarak modellenmesi ile elde katı (solid) elemanlardaki S11 gerilmeleri Şekil 7.42-7.44'de eşyüksehti çizgileri ile verilmektedir. Şekillerde de gösterilen kenar ayaktaki maksimum gerilme değeri sismik izolator kullanılması durumunda ankastre sisteme oranla ortalama olarak %45 azalırken, kemerdeki maksimum gerilme değeri %70 oranında azalmaktadır.



Şekil 7.42. Spektrum analizi ile elde edilen katı (solid) elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyüksehti çizgileri (ankastre sistem)



Şekil 7.43. Spektrum analizi ile elde edilen katı (solid) elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (YKM sistem)



Şekil 7.44. Spektrum analizi ile elde edilen katı (solid) elemanlardaki S11 gerilme değerlerine ait eşyükselti çizgileri (kurşun kauçuk mesnetli sistem)

7.3.9 Şehzade Mehmet Camisi'ne taban izolasyonu uygulaması

Yapılan literatür araştırması sonucu taban izolasyonlu güçlendirme tekniğinin 19.yy başlarında inşa edilmiş tarihi hükümet binalarında kullanıldığı görülmüştür. Bununla birlikte Makedonya'daki bir kilise için yapılmış deneysel bir de çalışma vardır. Taban izolasyonlu güçlendirme tekniği birçok sisteme uygulanmış olmasına rağmen, tarihi camiler gibi yığma taş sistemlerde bu teknik henüz kullanılmamıştır. Dünyada uygulanan az sayıda örnekte de görülebileceği gibi sismik izolatörlerin tarihi binalara yerleştirilmesi birçok zorluk içermektedir.

Plan ve tasarım aşamasında karşılaşılan problemler şu şekilde sıralanabilir:

1. İzolatör boşluğu temin etmek
2. Hendek inşa etmek
3. Serbest hareketi sağlamak için bina ek yerlerinin güçlendirilmesi
4. Geniş yer değiştirmeleri sağlamak için merdiven ve asansörleri güçlendirme işlemleridir.

Taban izolasyonlu güçlendirmede uygulama sırasında karşılaşılan zorluklar ise:

1. İnşaat sırasında binanın zarar görmemesini sağlamak
2. İzolatör yerleştirme sırası

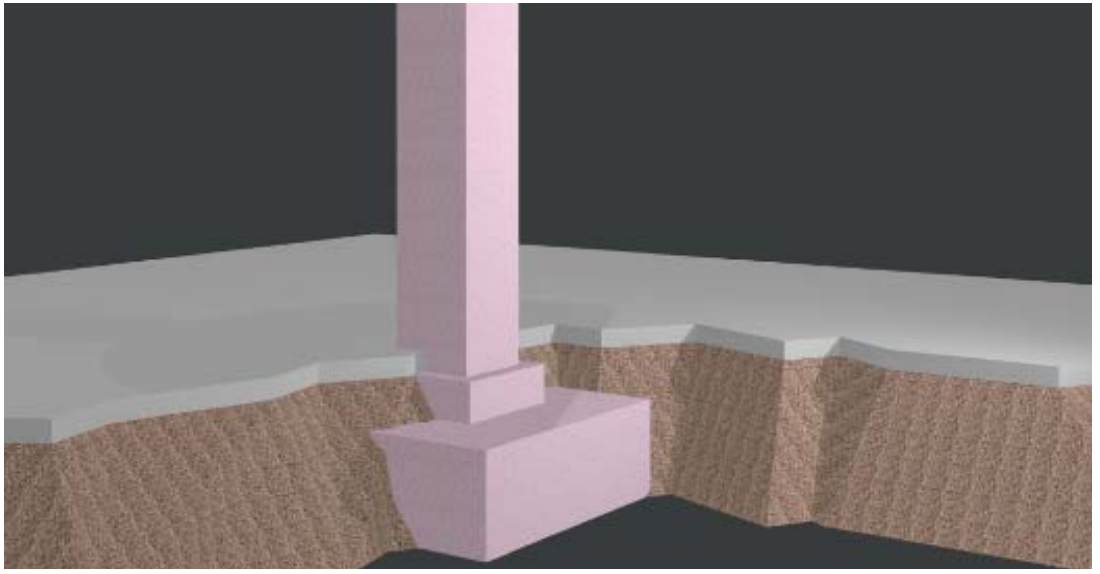
Şehzade Mehmet Cami 38x38 m planı ile kare planlıdır. Camide merkezi kubbe dört fil ayağı tarafından taşınmaktadır. Caminin her bir kenarında 6 şar adet sütun bulunmaktadır. Yapılan literatür araştırması sonucu dünyanın hiçbir yerinde tarihi bir camiye bu sistemin uygulanmadığı saptanmıştır. İzolatör yerleştirilmesindeki en önemli problem, caminin sütunlarının ve fil ayaklarının altına izolatörlerin nasıl yerleştirileceğidir. Camide 3mx3.5m alana sahip fil ayakları 4 adettir. Şehzade Mehmet Cami gibi projesi bilinmeyen tarihi yapı olduğundan önerilecek sismik izolatör yerleştirme metodunun bu tür yapılarda da kullanılabilmesi gereklidir. Ayrıca bu metodun sismik yalıtım yapılacak binaya hasar vermeden yerleştirilmesi önemlidir.

Bu kriterler düşünülerek Yeni Zelandalı sismik izolasyon uygulamaları yapan BECA ile yapılan yazışmalar sonucu bir yöntem geliştirilebilmiştir. Şehzade Mehmet Caminin temeli ile ilgili teknik bir bilgi bulunmamaktadır. Şekil 7.47’de kullanılan temel kesidi Süleymaniye Caminin tahmin edilen temel kesidi modelidir [132]. Şekil 7.47’de görüldüğü üzere Süleymaniye Camide temeller kayaya anpartman şeklinde inmekte ve horasan harç ile desteklenmektedir. Horasan harç içinde ise ahşap ıskaralar bulunmaktadır. Önerilecek bu yöntemde temelin bir bilinmeyen olması

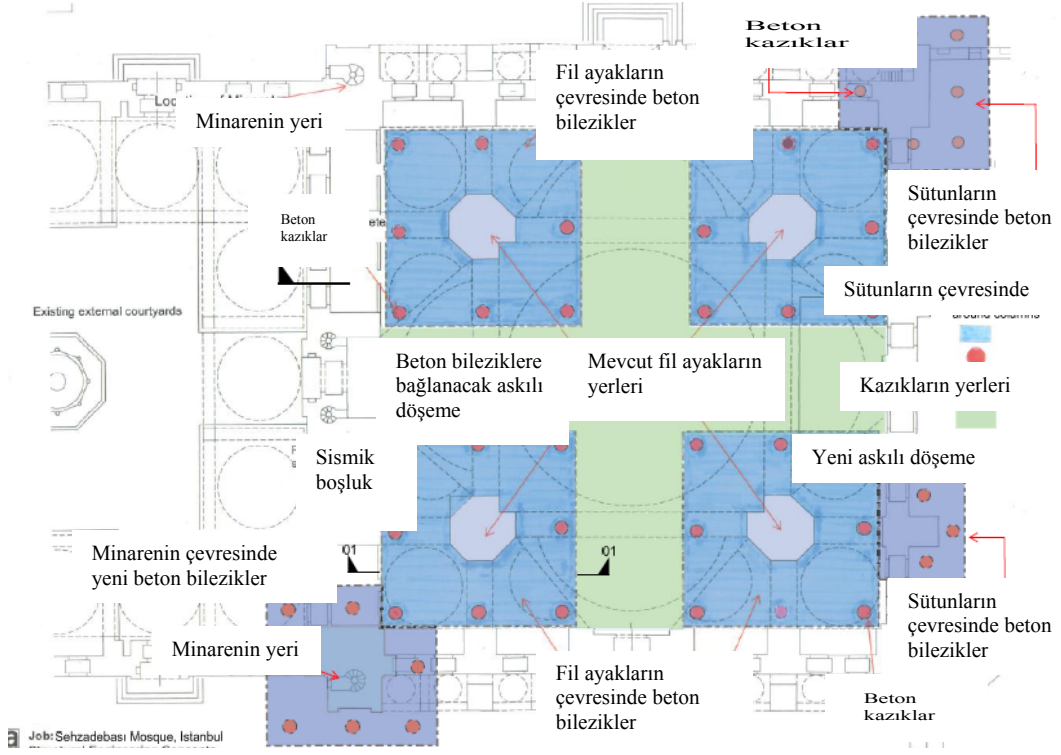
yöntemin her çeşit temele sahip tarihi yapıya uygulanabilmesi gerekliliğini getirmiştir. Geliştirilen bu yöntem aşağıda açıklanmaktadır:

- Yapılacak ilk işlem mevcut fil ayaklarının çevresindeki tabliyenin kaldırılmasıdır. Böylece temelde yapılacak işlemler kolaylıkla binaya zarar vermeden uygulanabilecektir (Şekil 7.45)
- Tabliye kaldırıldıktan sonra mevcut temeller sondajla delinip fore kazıkları yerleştirilecektir. Fore kazıkları sağlam zemine kadar ulaştığında mevcut temelde yapılacak uygulamalar güvenlik içinde yapılabilir (Şekil 7.46).
- Mevcut fil ayaklarının çevresinde 15 x 15 x 3m kare planlı çukurlar açılacaktır (Şekil 7.46).
- Mevcut taş temele yatay yönde delikler açılacaktır (Şekil 7.47).
- Fil ayaklarının çevresinde açılan kare planlı çukurlara beton bilezikler (collar) dökülecektir. Bu beton bileziklerin (collar) her iki yönünde ardgermeli kablolar yerleştirilecektir. Bu kablolar mevcut taş temelde açılan deliklerden geçirilip eski malzeme ile yeni malzemenin birlikte çalışmasını sağlayacaktır (Şekil 7.46-7.47).
- Dökülen kare planlı beton bileziklerin altı kazılıp mevcut temel kaldırılacaktır. Böylece sismik izolatörlerin yerleştirilmesi işlemi yapılabilir (Şekil 7.47).
- Kaldırılan temel yerine yeni betonarme temel pabuçları yerleştirilecektir (Şekil 7.47-7.48-7.49).
- Kurşun kauçuk mesnetler yeni temel pabuçları üzerine yerleştirilecek ve fil ayaklarından gelen yükü güvenle alması için krikoyla öngerme ile yüklenecektir (Şekil 7.47-7.48-7.49).
- Temelle beton bilezik arasındaki fore kazık parçaları kesilecektir. Böylece güvenli bir şekilde düşey yükler sismik izolatörlerle yeni temellere aktarılabilir (Şekil 7.47-7.48). Burada kullanılan temel çizimi Süleymaniye Camide olduğu düşünülen temeldir. Şu ana kadar Mimar Sinan'ın camilerinin temeliyle ilgili teknik bilgi bulunmamaktadır.
- Camide kalan diğer sütunlar için de aynı işlemler tekrarlanacaktır.

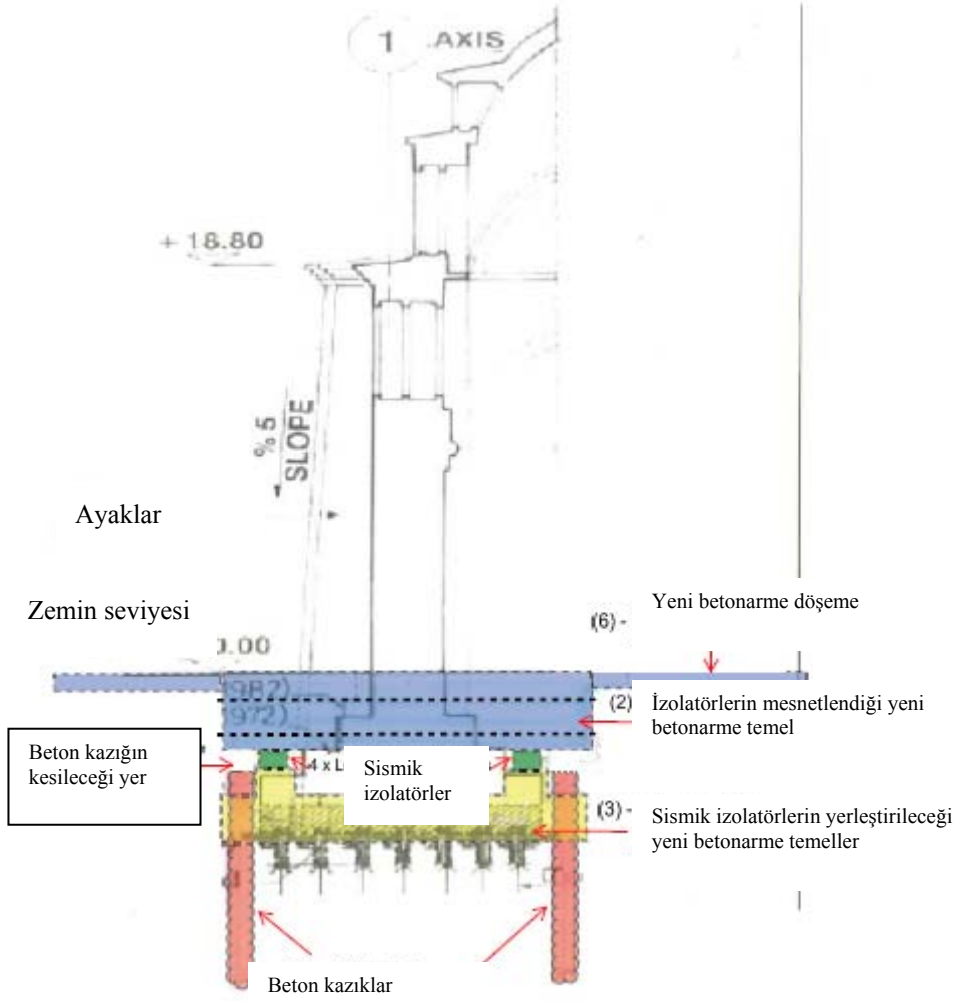
- Yeni beton bileziklere bağlanan tüm tabliye alanına yeni bir askılı beton döşeme diyaframı inşa edilecektir (Şekil 7.46-7.47-7.48).
- İçteki döşeme bitişleri yeniden döşenecek ve güçlendirmeden önceki mevcut hali alması sağlanacaktır.
- Sismik izolatörlerin yapacağı yatay deplasman için cami çevresinde 30 cm'lik sismik boşluklar oluşturulacaktır (Şekil 7.48).



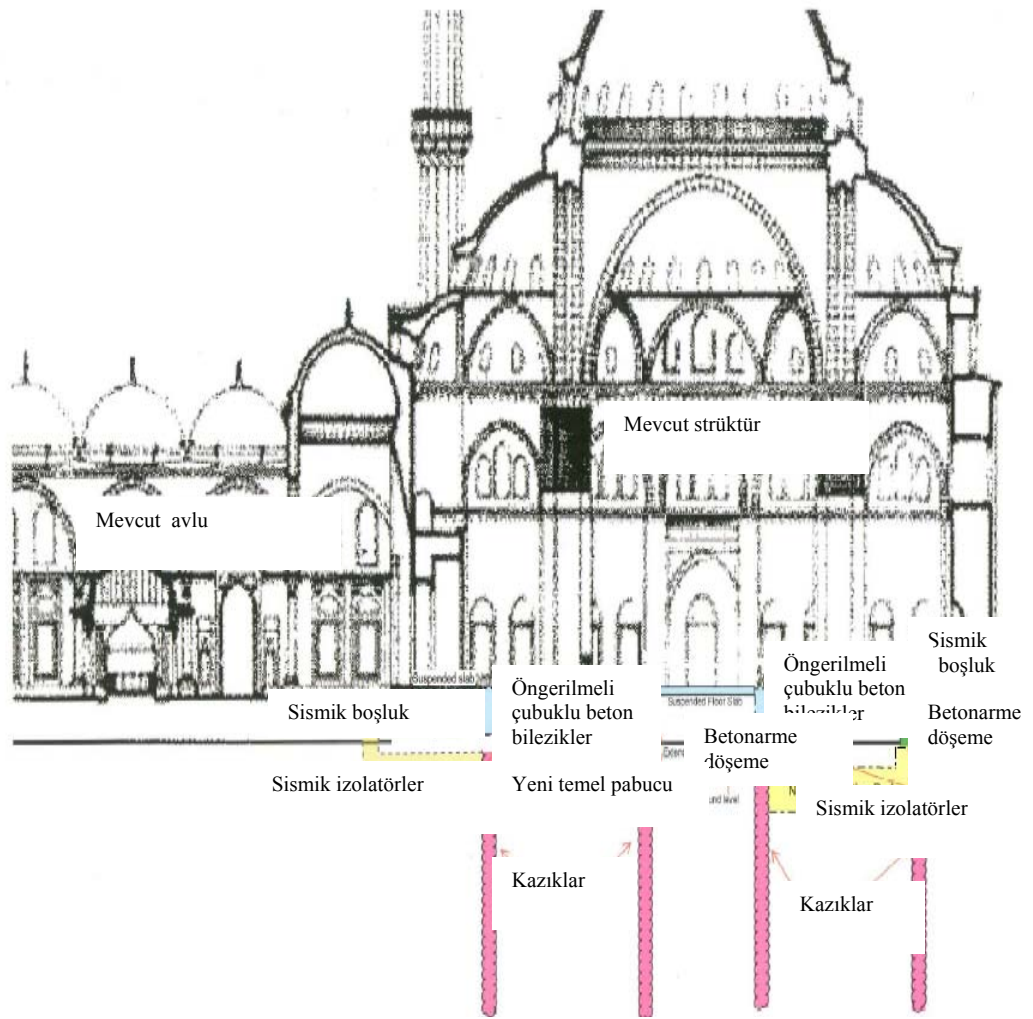
Şekil 7.45. Tabliyenin kaldırılma işlemi



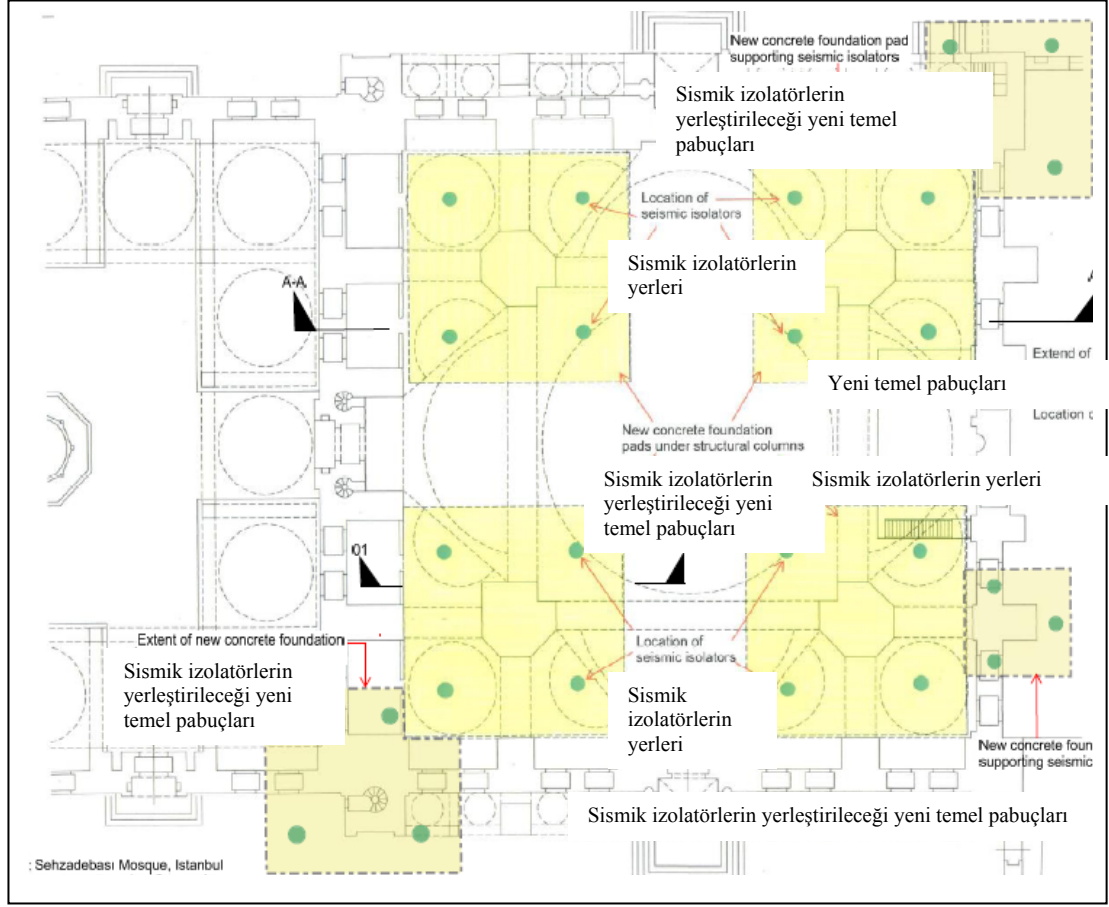
Şekil 7.46. Mevcut fil ayaklarının ve sütunların kazık yerleşim yerleri planı



Şekil 7.47. Temel kesiti



Şekil 7.48. Cami kesiti



Şekil 7.49. Yeni temeller üzerinde izolatörlerin yerleştirme planı

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında mimari tasarım serbestliği elde etmek için, dünyada son yıllarda yapılarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan sismik izolatörler dikkate alınmıştır. Böylece sismik izolatörlerin depreme dayanıklı yapı tasarımına getirebileceği yeni bakış açıları ortaya konmuştur. Bu çalışmada deprem yönetmeliğinde belirtilen düzensizliklerin bulunduğu binalarda, geleneksel taşıyıcı sistemlerle ve sismik taban izolatörlü taşıyıcı sistemlerle çözümler yapılmıştır. Böylece dikkate alınan sistemlerin sismik performans açısından karşılaştırmaları yapılarak bu kriterler ışığında en uygun sistemin önerilmesine çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında ayrıca, sismik izolasyon tekniğinin tarihi yapılarda uygulanmasının sistemin deprem performansını ne oranda iyileştireceği üzerinde durulmuştur. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmede ana ilke, yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır. Bu bakımdan sismik taban izolasyonu yapının orijinalliğini ve dokusunu bozmaması açısından alternatif bir metottur ve bu çalışmada türünün tek örneği olan ve değeri ölçülemeyen anıt yapılarda deprem güvenliği açısından belirtilen metodun uygulanması değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

L kalıp planına sahip betonarme bina sisteminin düzenli ankastre, düzensiz ankastre ve düzensiz sismik izolatörlü modellerinin 1992 Erzincan depremi doğu-batı bileşeni için gerçekleştirilen lineer olmayan zaman tanım alanında çözümü ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Tasarlanan düzensiz (DZS) binanın taşıyıcı sisteminde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [73]'te tanımlanan A1 (Burulma Düzensizliği), A2 (Döşeme Süreksizlikleri), A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması), B1 (Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat), B2 (Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat) ve B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizliklerinin mevcut olduğu gözlenmiştir. Temellerde sismik izolatör kullanılması ile belirtilen bu düzensizliklerde bir düzelme olmamıştır. Sadece, burulma düzensizliğinde iyileşme yönünde bir eğilim görülse de, izolatörlü

sistemde de burulma düzensizliği ortaya çıkmıştır. Mimari tasarımlarda olabildiğince yönetmelikte belirtilen düzensizliklerden kaçınılmalıdır.

Sismik izolatör kullanılması ile hakim periyodu sırasıyla 0,57 s ve 0,67 s olan düzenli ve düzensiz ankastre sistemlerin periyodu, düzensiz sistemde sismik izolatörler kullanılmak suretiyle 2,5 s hedefine yükseltilmiştir.

İzolatörlü sistemlerin mesnetlerinde ilk üç mod için deformasyon söz konusu olsa da, yapı rijit bir davranış sergilemektedir. Bu nedenle ilk üç modun izolatör modları olduğu anlaşılmaktadır. Geri kalan modlar ise izolatör sistemi ile birlikte, daha çok yapı sisteminde deformasyona neden olmaktadır. Dolayısıyla bu modlar da yapısal mod olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanında, yapısal modların yapıda deprem hareketinden kaynaklanacak tepki kuvvetlerine katılımı az olacağından, sismik izolatörlü sistemlerin deprem hareketi altındaki davranışlarının oldukça iyi olacağı ortaya çıkmaktadır. Böylece, izolatör sisteminin ilk modlara ait periyotlar üzerinde daha çok etkili olduğu, yüksek modlara ait periyotlar üzerindeki etkisinin ise az olduğu anlaşılmaktadır.

Düzensiz ankastre sistem için bina yüksekliği boyunca elde edilen mutlak ivme değerleri düzenli ankastre sistem mutlak ivme değerlerinden daha büyüktür ve her iki durumda da bina yüksekliği boyunca elde edilen mutlak ivme değerleri tabandan tepe noktaya doğru bir artış göstermektedir. Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için elde edilen ivme değerleri birbirine yakın olup, ankastre mesnetli düzenli ve düzensiz sistemler için elde edilen değerlerden oldukça küçük olmaktadır. İzolatörlü sistemler için yükseklik boyunca elde edilen ivme değerleri de önemli bir değişim göstermemektedir.

Ankastre mesnetli sistemlerde kat yüksekliği boyunca elde edilen ivme değerleri, yer hareketine ait maksimum ivme değerini aşarken (0,52g), izolatörlü sistemlerde elde edilen ivme değerleri yer hareketi maksimum ivme değerinden daha küçük olmaktadır. Sismik izolatör kullanılan düzensiz sistemlerin yer hareketini %33-58 oranında azalttığı, düzenli ankastre sistemin yer hareketini %100 oranında ve

düzensiz ankastre sistemin yer hareketini %212 oranında arttırdığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, sismik izolasyon sisteminin uygulanması ile yapı tabanına gelen maksimum ivmenin %42 oranında daha küçük olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bina yüksekliği boyunca elde edilen mutlak hız değerleri düzensiz sistem için en büyük olurken, düzenli sistemde daha küçük ve sismik izolatörlü sistemlerde en küçük olmaktadır. İzolatörlü sistemler için elde edilen hız değerleri birbirine yakın olmakta ve bina yüksekliği boyunca önemli bir değişim göstermemektedir. Düzenli sistemin yer hareketi hızını %44 oranında, düzensiz sistemin ise %95 oranında arttırdığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte sismik izolatör kullanılması ile yer hareketi hızının %27 oranında azaldığı görülmektedir. Ayrıca, sismik izolasyon sisteminin uygulanması ile yapı tabanına gelen maksimum hızın %11 oranında daha küçük olduğu ortaya çıkmaktadır.

Düzensiz ankastre sisteme ait görelî kat yerdeğiştirmeleri, düzenli ankastre sistem yerdeğiştirmelerinden belirgin olarak daha büyüktür. Düzensiz sistemde sismik izolatör kullanılması ile yerdeğiştirmeler önemli oranda azalmaktadır. Üst katlarda izolatörlü sistemler için elde edilen görelî kat yerdeğiştirmeleri rijit bir davranış göstermekte ve düzenli sisteme oranla daha küçük olmasına rağmen, düzensizliklerin ve konstrüktif hataların yoğun olarak bulunduğu ilk iki kattaki kat yerdeğiştirmeleri düzenli sistem için elde edilen yerdeğiştirmelerden daha büyük olmaktadır.

Analizlerde kullanılan yer hareketine bağılı olarak maksimum yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri 2,5-10 s arasında ortaya çıkmaktadır.

Düzensiz ankastre sistem için elde edilen kesit tesirleri özellikle alt katlarda düzenli ankastre sistem kesit tesirlerinden oldukça büyük olurken, üst katlarda kesit tesirlerinin küçük olduğu ve her iki sistem için elde edilen kesit tesirlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Sismik izolatör kullanılması ile elde edilen kesit tesirleri ise özellikle alt katlarda düzensiz ankastre sisteme oranla oldukça azalmıştır. Düzensiz sistemde sismik izolatör kullanılması ile elde edilen kesit tesirleri dikkate

alınan aksın konumuna bağılı olarak, düzenli ankastre sistem kesit tesirlerinden daha küçük veya büyük olabilmektedir.

Düzenli ankastre sistemden mimari nedenlerle belirli noktalardaki kolon, perde ve döşemeler çıkarılmak suretiyle oluşturulan düzensiz ankastre sisteme ait tepki değerlerinde önemli artışlar gözlenmektedir. Oluşturulan düzensiz sistem mesnet noktalarına kurşun kauçuk mesnet ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnet uygulanarak, düzensiz sistemin tepkileri önemli oranda azaltılmıştır. Hatta, ortaya çıkan yapı tepkileri genellikle düzenli ankastre sisteme ait tepki değerlerinde de küçük olmaktadır. Böylece sismik izolatörler kullanılmak suretiyle mimari tasarımda yaşanabilecek sorunlar ortadan kaldırılmış ve olabildiğince mimari tasarım özgürlüğü sağlanmıştır. Başka bir ifadeyle, sismik taban izolasyonu uygulanan binaların kat planlarında büyük boşluklar, galeriler oluşturulabilecek ve bina sistemlerinin iç ve dış mimarisinde depreme dayanıksız kırılğan malzeme kullanılabilecektir.

Çalışmada sismik izolasyon amacıyla dikkate alınan kurşun kauçuk ve yüksek sönümleyici kauçuk sistemler yaklaşık olarak aynı dinamik davranışı sergilemektedir. Bu nedenle, izolatör seçiminde maliyet ön planda tutularak seçim yapılmalıdır.

Yapı sistemi alışveriş merkezi olarak tasarlanması nedeniyle, sistemin deprem davranışı çok önemlidir. İzolatör kullanılması maliyeti arttırsa da, bu tür yapıların depremden sonra ayakta kalabilmeleri çok daha önemlidir.

Sismik izolatör kullanılması durumunda deprem etkisi için düzensiz binanın dinamik davranışında önemli düzelmeler olmasına rağmen, ortaya konan bu sonuç mimarlar için düzensiz bina tasarımına teşvik nedeni olmamalıdır. Yapılan analizler sonucu izolasyon kullanımının binadaki yapısal düzensizliklere etkisinin çok az olduğu görülmektedir.

İzolatör kullanılması maliyeti küçümsenemeyecek oranda arttıracığından, Türkiye gibi ekonomik gücü sınırlı olan bir ülkede ancak çok önemli yapı sistemlerinde sismik izolatör kullanılması tercih edilmelidir.

Türkiye'nin birinci dereceden deprem bölgesi olması nedeniyle, depremden hemen sonra kullanılması gereken yapıların; ilk aşamada hastanelerin, itfaiye binalarının, hava alanlarının, enerji ve haberleşme merkezlerinin ikinci aşamada ise insanların günlük olarak kalabalık kitleler halinde mevcut bulunduğu yapıların; okulların, camilerin, stadyumların taban izolasyon sistemleri ile güçlendirilmesi gerekmektedir.

Türkiye'de sismik izolasyon teknolojisinin üretiminin sağlanabilmesi ve yaygın olarak kullanılabilmesi için sismik izolasyonla ilgili bir standart geliştirilmesi gereklidir.

Mimar Sinan'ın çiraklık eseri olarak nitelenen Şehzade Mehmet Caminin ankastre mesnetli ve sismik taban izolatörü kullanılmak suretiyle yapılan dinamik çözümlemelerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Sismik izolatör kullanılması ile hakim periyodu 0,493 s olan Şehzade Mehmet Camisinin periyodu, sismik izolatörler kullanılmak suretiyle 2,5 s hedefine yükseltilmiştir.

Taban izolasyonu sayesinde yapıya gelen deprem kuvvetleri beklenildiği gibi azalmış ve katlar arası rölatif deplasmanlar küçülmüştür. Temel izolasyonu ile Şehzade Mehmet Camisine ait yerdeğiştirmelerde %45'e varan ve kabuk ve katı elemanlarda ki gerilme değerlerinde %60-70'e varan azalmalar ortaya çıkmıştır. Böylece sadece can güvenliği değil, aynı zamanda üst yapının yapısal elemanlarının hasarı ve yapısal olmayan diğer eleman ve ekipmanların maddi hasarları minimuma indirilebilecektir.

Çalışmada sismik izolasyon amacıyla dikkate alınan kurşun kauçuk ve yüksek sönümleyici kauçuk sistemler yaklaşık olarak aynı dinamik davranışı sergilemektedir. İki sistem arasında sadece %2-5 oranında farklılıklar ortaya

çıkmiştir. Bu nedenle, izolatör seçiminde maliyet ön planda tutularak seçim yapılmalıdır.

Şehzade Mehmet Camisinin tarihi bir önemi olması nedeniyle, sistemin deprem davranışı oldukça önemlidir. İzolatör kullanılması ile önemli bir mali külfet ortaya çıkacak olmasına rağmen, bu tür tarihi yapıların depremden sonra ayakta kalabilmeleri çok daha önemlidir.

Şehzade Mehmet Camisine sismik izolasyon uygulanabilmesi için önerilen bu yöntem bütün tarihi yapılarda kullanılabilecek bir yöntemdir. Ancak, bütün tarihi yapılar kendilerine özgün yapılar oldukları için bu yöntemde gerekli değişikliklerin yapılması gerekecektir. Bu işlemlerin detaylandırılabilmesi için gerekli saha çalışmalarının ve temel detaylarının yapılması gereklidir. Elimizde böyle bir imkan olmaması nedeniyle belirtilen yöntem bir uygulama metodudur. Ancak bu güçlendirme metodu temelde geri dönüşümü olmayan bir müdahale tekniği olduğu için restorasyon konusunda uzman mimar ve mühendislerin birlikte karar vermesi gereklidir.

Bu konuda daha sonra yapılabilecek çalışmalar aşağıda sırasıyla belirtilmektedir.

Bu çalışmada düzensiz betonarme yapılarda sismik performans iyileştirmesi taban izolatörlerle sağlanmıştır. Taban izolatörleri yerine farklı sönümleyiciler ve sürtünme esaslı taban izolatörleri kullanılarak sismik performansta olabilecek değişimler karşılaştırmalı olarak ortaya konulabilir.

Bu çalışmada sismik davranış SAP 2000 programı kullanılarak incelenmiştir. İleride yapılacak çalışmalar deneysel olursa elde edilen sonuçlar bu tezde bulunan sonuçlarla karşılaştırılabilir.

Yapılan çalışmada tarihi yığma bir cami olan Şehzade Mehmet Caminin sismik performansı taban izolatörleri kullanılarak incelenmiştir. İleriki çalışmalarda

izolatörlerin tipleri değiştirilerek sismik performans değişimleri birbiriyle karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Sesigür, H., Çelik, C. Ve Çılı, F., “Tarihi yapılarda taşıyıcı bileşenler, hasar biçimleri, onarım ve güçlendirme”, *Yapı Dergisi*, 303: 1-12 (2007).
2. Atımtay, E., “Betonarme Sistemlerin Tasarımı (Cilt 1)”, *Bizim Biro Basım Evi*, Ankara, 10-40 (2000).
3. Özmen, C. And Ünay A. İ., “Commonly encountered seismic design faults due to the architectural design of residential buildings in Turkey”, *Building And Environment*, 42 (3): 1406-1416 (2007).
4. Erder, C., “Tarihi Çevre Bilinci”, *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayinevi*, Ankara, 100-300 (1975).
5. Kuban, D., “İslam Ülkelerinde Koruma Konuları”, *İslam Mimari Koruma Konferansı*, İstanbul, 77-85 (1985).
6. Koçak, A., “Tarihi yapıların statik ve dinamik yükler altında lineer ve non-lineer analizi: Küçük Ayasofya Camii örneği”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-30 (1999).
7. Lee, D. M., “Base isolation for torsion reduction in asymmetric structures under earthquake loading”, *Earthquake And Engineering Structural Dynamics*, 8: 349-359 (1980).
8. Wan, Y., “Modelling, analysis and comparative study of several seismic passive protective systems for structures”, Master of Science, *Rice University*, Houston, 193-196 (1997).
9. Tuna, M. E., “Köprüler ve dinamik izolasyon mesnetleri”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.*, 11(2): 401-411 (1998).
10. Fujita, T., “Seismic isolation of civil buildings in Japan”, *Progress In Structural Engineering And Materials*, 1: 295-300 (1998).
11. Kelly, J.M., “Seismic isolation of civil buildings in the USA”, *Progress In Structural Engineering And Materials*, 1(3): 279-285 (1998).
12. Moroni, M. O., Sarrazin, M. And Boroschek, R., “Experiments on a base-isolated building in Santiago, Chile”, *Engineering Structures*, 20(8): 720-725 (1998).
13. Chung, W., Yun, C., Kim, N. And Seo, J. W., “Shaking table and pseudodynamic tests for the evaluation of the seismic performance of base-isolated structures”, *Engineering Structures*, 24(4): 365-379 (1999).

14. Robinson, W. H., "Seismic isolation of civil buildings in New Zealand", *Progress In Structural Engineering And Materials*, 2: 328-324 (2000).
15. Ramirez, O. M., "Development and evaluation of simplified procedures for the analysis and design of buildings with passive energy dissipation systems", Ph.D. Thesis, *Faculty Of The Graduate School Of State University Of New York*, Buffalo, 100-110 (2001).
16. Süt, S., "Taban izolasyonlu yapıların dinamik analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 71-73 (2001).
17. Mazzolani, F. M., "Passive control technologies for seismic-resistant buildings in Europe", *Progress In Structural Engineering And Materials*, 3: 277-287 (2001).
18. Zhou, F. L., "Seismic isolation of civil buildings in The People's Republic Of China", *Progress In Structural Engineering And Material*, 3: 268-276 (2001).
19. Wu, Y. M. And Samali, B., "Shake table testing of a base isolated model", *Engineering Structures*, 24: 1203-1215 (2002).
20. Melkumyan, M. G., "Seismic isolation of civil buildings in Armenia", *Progress In Structural Engineering And Materials*, 4: 344-352 (2002).
21. Çağlar, C. M., "Yapılarda taban izolasyon sistemleri", Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 76-79 (2002).
22. Köseadağ, S. B., "Yapılarda sismik izolasyon", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 133-181 (2002).
23. Matsagar, V. A. And Jangid, R. S., "Seismic response of base-isolated structures during impact with adjacent structures", *Engineering Structures*, 25 (10): 1311-1323 (2003).
24. Zhou, X.Y., Han, M. And Yang, L., "Study on protection measures for seismic isolation rubber bearing", *ISET Journal Of Earthquake Technology*, 40(2): 137-160 (2003).
25. Alhan, C., And Gavin, H. P., "Parametric analysis of passive damping in base isolation", *16th ASCE Engineering Mechanics Conference*, Seattle, 1-8 (2003).
26. Mezzi, M., Parducci, A. And Verducci, P., "Architectural and structural configurations of buildings with innovative aseismic systems", *13th World Conference On Earthquake Engineering*, Canada, 1-6 (2004).
27. Alhan, C., Gavin, H. P., "Reliability of base isolation for the protection of critical equipment from earthquake hazards", *Engineering Structures*, 27(9): 1435-1449 (2005)

28. Bratosin, D., "Seismic base isolation- non linear implication in period-shift choise", *Proceedings Of The Romanian Academy -Series A: Mathematics, Physics, Technical Sciences*, 6(3): 249-258, 2005.
29. Pavlou, E., "Performance of primary and secondary systems in buildings with seismic protective systems", Ph.D. Thesis, *Faculty Of The Graduate School Of State University Of New York*, Buffalo, 161-168 (2005).
30. Pan, T. C. And Kelly, J. M., "Seismic response of torsionally coupled base isolated building", *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 11:749-770 (1983).
31. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A. M. And Constantinou, M.C., "Torsion in base isolated structures with elastometric isolation systems", *ASCE Journal of Structural Engineering*, 119 (10): 2932-2951 (1993).
32. Yang, Y. B. And Huang, W. H., "Equipment-structure interaction considering the effect of torsion and base isolation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27: 155-171 (1998).
33. Goel, R. K., "Seismic behaviour of asymmetric buildings with supplemental damping", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29: 461-480 (2000).
34. Lin, W. H. And Chopra, A. K., "Understanding and predicting effects of supplemental viscous damping on seismic response of asymmetric one-story systems", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30: 1475-1494 (2001).
35. Colunga, T. A. And Soberon, L. G., "Torsional response of base isolated structures due to asymmetries in the superstructure", *Engineering Structures*, 24: 1587-1599 (2002).
36. Ryan, K. L. And Chopra, A. K., "Approximate analysis methods for asymmetric plan base-isolated buildings", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31: 33-54 (2002).
37. Yoshida, O., Giacosa, L. M. And Truman, K. Z., "Torsional response control of asymmetric buildings using smart dampers", *15th ASCE Engineering Mechanics Conference*, New York, 2-5 (2002).
38. Colunga, A. T. And Soberon, L. G., "Torsional response of base-isolated structures due to asymmetries in the superstructure", *Engineering Structures*, 24: 1587-1599 (2002).

39. Samali, B., Wu, Y. M. And Li, J., “Shake table tests on a mass eccentric model with base isolation”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32: 1353-1372 (2003).
40. Zavoni, E. H. And Leyva, A., “Torsional response of symmetric buildings to incoherent and phase-delayed earthquake ground motion”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32: 268-276 (2001).
41. Almazan, J. L. And Llera, J. C., “Accidental torsion due to overturning in nominally symmetric structures isolated with the fps”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32: 919-948 (2003).
42. Llera, J. C. And Almazan, J. L., “An experimental study of nominally symmetric and asymmetric structures isolated with the fps”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32: 891-918 (2003).
43. Demircan, Ş., “Düşeyde düzensiz binalarda temel yalıtım uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 116-118 (2003).
44. Ryan, K. L. And Chopra, A. K., “Estimation of seismic demands on isolators in asymmetric buildings using non-linear analysis”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33: 395-418 (2004).
45. Llera, J. C., Almazan, J. L. And Vial, I. J., “Torsional balance of plan-asymmetric structures with frictional dampers: analytical results”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34: 1089-1108 (2005).
46. Derdiman, M. K., “Düzensiz çok katlı betonarme yapıların davranışının taban izolatörleri, enerji sönmüleyici ve dağıtıcılarla iyileştirilmesi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 5-30 (2006).
47. Colunga, T.A. And Rojas, C. Z., “Dynamic torsional amplifications of base-isolated structures with an eccentric isolation system”, *Engineering Structures*, 28 (1): 72-83 (2006).
48. Selahiye A, Aydınoğlu N, Erdik M, “Süleymaniye Camii’nin dinamik özelliklerinin deneysel ve analitik yöntemlerle belirlenmesi”, *Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 284-293 (1995).
49. Erdik, M. Ve Durukal, E., “Aya Sofya’nın deprem davranışı”, *İkinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 198-207 (1993).
50. Bozinovski, Z. And Velkov, M., “Concept of experimental determination of bearing and deformability capacity of structural walls of historic monuments”, *2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 222-232 (1993).

51. Karaesmen, E. And Ünay, A. İ., “A study of structural aspects of domed buildings with emphasis on Sinan’s mosques”, *Proceedings of IASS-MSU International Symposium*, İstanbul, 93-104 (1988).
52. Mark, R. And Westegard, A., “The first dome of the Hagia Sophia: myth vs. technology”, *Proceedings of IASS-MSU International Symposium*, İstanbul, 163-172 (1988).
53. Hidaka, K., Aoki, T. And Kato, S., “Structural stability and profile in the dome of Hagia Sophia, İstanbul”, *Proceedings of the Srtema 89 International Symposium*, Florence, 88-91(1989).
54. Mathews, T.F., “The Early Churches of Constantinople”, *Penn State Univ. Press*, University Park, 210-280 (1971).
55. Mainstone, R. J., “Hagia Sophia: Architecture, Structure and Liturgy of Justinian’s Greatest Church”, *Thames and Hudson*, London, 185-219 (1997).
56. Erdik, M., Yüzügüllü, Ö. Ve Karakoç, C., “İstanbul Ayasofya Müzesi Yapısal Sisteminin Belirlenmesi ve Deprem Güvenirliğinin Sağlanmasına Yönelik Tedbirlerin Tespiti-Birinci Aşama Raporu”, *Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Bölümü, İstanbul*, 18-30 (1990).
57. Erdik, M., Yüzügüllü, Ö. Ve Karakoç, C., “İstanbul Ayasofya Müzesi Yapısal Sisteminin Belirlenmesi ve Deprem Güvenirliğinin Sağlanmasına Yönelik Tedbirlerin Tespiti-İkinci Aşama Raporu”, *Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Bölümü, İstanbul*, 15-35 (1990).
58. Erdik, M., Yüzügüllü, Ö. Ve Karakoç, C., “İstanbul Ayasofya Müzesi Yapısal Sisteminin Belirlenmesi ve Deprem Güvenirliğinin Sağlanmasına Yönelik Tedbirlerin Tespiti-Üçüncü Aşama Raporu”, *Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Bölümü, İstanbul*, 18-48 (1991).
59. Mark, R., Çakmak, A. And Erdik, M., “Structural evaluation of Hagia Sophia in İstanbul”, *Proceedings of IABSE Symposium on Structural Preservation of the Architectural Heritage*, Rome, 15-17 (1993).
60. Durukal, E., “A study on structural identification and seismic vulnerability assesment of Ayasofya”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 98-110 (1992).
61. Karaesmen, E., “Seismic behaviour of old masonry structures”, *Proc. 10th World Congress on Earthquake Engineering*, Madrid, 431-4536 (1992).
62. Erdik, M. Ve Durukal, E., “Ayasofya’nın deprem davranışı”, *2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 198-207 (1993).

63. Pichard, P., “The Restoration of Pagan-Burma”, *Unesco Report, RP/1975/76/3.411.6/*, 98-100 (1975-76).
64. Gavrilovic, P., “Methodology, methods and techniques for repair and strengthening of historical monuments”, *2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 208-216 (1993).
65. Jurukovski, D., “Shaking table of five reduced scale models of a four-storey brick masonry building”, *2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 61-70 (1993).
66. Şen, B., “Modeling and analysis of the historical masonry structures”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 58-60 (2006).
67. Artar, M., “Structural identification of The Sehzade Mehmet Mosque through static and dynamic analyses”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 86-88 (2006).
68. Bailey, J. And Allen, E., “Seismic isolation retrofitting: Salt Lake City And County Building”, *APT Bulletin*, 20 (2): 32-44 (1988).
69. Luca, A., Mele, E. And Molina, J. V., “Base isolation for retrofitting historic buildings; evolution of seismic performance through experimental investigation”, *Earthquake Engineering and Structural. Dynamics*, 30: 1125-1145 (2001).
70. Gavrilovic, P., Kelley, S. J. And Sendova, V. “A study of seismic protection techniques for the byzantine churches in Macedonia”, *APT Bulletin*, 34 (2): 63-69 (2003).
71. Antonucci, R. And Medeot, R., “Seismic protection of buildings through energy dissipation and the base isolation system: the Italian experience”, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 55-60 (2003).
72. Lee, S.N., Chang, K.C. And Hwang, J.S., Application of rolling type bearings for equipment isolation, *ANCER Annual Meeting*, Honolulu, 94-98 (2004).
73. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)”, *Bayındırlık Bakanlığı*, (2007).
74. Tuna, M.E., “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, *Ajans Türk Basım*, Ankara, 119-120, 245-247 (2000).
75. Mertol A Ve Mertol C, “Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, *Kozan Ofset*, Ankara, 20-50 (2002).

76. Doğangün, A., “Betonarme Yapıların Hesap Ve Tasarımı”, *Birsen Basın Yayın*, İstanbul, 110-150 (2002).
77. Öztürk, K., “Depremi yapıya zararları ve deprem sonrası yapı onarım güçlendirme ilkeleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-15 (2001).
78. İnternet: İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülteni, “Plan geometrisi ve rijitlik dağılımı bakımından düzensiz yapılar”, <http://www.imoistanbul.org.tr/ist-bulten/sayi56/G-OZMEN.htm>, (2010).
79. Atımtay, E., “Açıklamalar Ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, *Bizim Biro*, Ankara, 30-90 (2000).
80. Arun, G., “Yapıların Deprem Dayanımında Mimarın Sorumluluğu”, *Kardelen Ofset*, Ankara, 10-15 (2002).
81. Bayülke, N., “Depremler Ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar”, *Teknik Yayınevi*, Ankara, 100-200 (1989).
82. Yozgat, E. Ve Hüsem, M., “Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen yapı kontrol sistemleri”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 20 (121): 22-28 (2005).
83. Naeim, F. And Kelly, J.M., “Design of Seismic Isolated Structures”, *John Wiley and Sons*, New York, 12-23,63-80, 93-100 (1999).
84. Komodromos, P., ‘Seismic Isolation For Earthquake- Resistant Structures’, *Witpress*, Boston, 10-30, 62-85, 98-109 (2000).
85. Jangid, R. And Datta, T., “Seismic behaviour of base isolated buildings: a state of art review”, *Proc. Instn Civil Engineers Structures And Buildings*, 110: 186-203 (1985).
86. Aldemir, Ü. Ve Aydın, E., “Depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar”, *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435 (1): 81-89 (2005).
87. Pınarbaşı, S. Ve Akyüz, V., “Sismik izolasyon ve elastomerik yastık deneyleri”, *TMMOB İnş. Müh Odası Teknik Dergi*, 16 (3), 3581-3598 (2005).
88. Ateş, Ş. Ve Dumanoglu, A., “Taban izolasyonlu binaların lineer olmayan deprem analizi”, *TDV Teknik Rapor TR 026-42, İstanbul*, 40-49 (1999).
89. Zayas, V. A., Low, S. S. And Mahin, S. A., “A simple pendulum technique for achieving seismic isolation”, *Earthquake Spectra*, 6 (2): 317-333 (1990).

90. Bayülke, N., “Yapıların deprem titreşimlerinden yalıtımı”, *Sistem Ofset Yayıncılık*, İstanbul, 7-10 (2002).
91. Martelli, A., “Modern seismic protection systems for civil and industrial structures”, *Samco Final Report, Risk-UE-EVK4-CT-2000-00014, Bologna*, 1-28 (2006).
92. Martelli, A. And Forni, M., “Seismic isolation of civil buildings in Europe”, *Progress In Structural Engineering And Materials*, 1(3), 286-294 (1998).
93. Hıgashino, M. And Okamoto, S., “Response Control And Seismic Isolation Of Buildings”, *Taylor And Francis*, Oxon, 154-175 (2006).
94. İnternet: İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülteni, “Köprü ve viyadüklerin depreme dayanıklı olarak projelendirilmesi ve deprem izolatörleri”, <http://www.imoistanbul.org.tr/ist-bulten/sayi58/ineceleme.htm>, (2010).
95. Erdik, M., “Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar”, *6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 181-205 (2007).
96. Roussis, C. P., Constantinou, M. C., Erdik, M., Durukal, E., And Dicleli, M., “Assesment of performance of seismic isolation system of Bolu viaduct”, *Journal of Bridge Engineering*, 8 (4), 182-190 (2003).
97. İnternet: Mceer Buffalo Üniversitesi, “ Seismic Evalution and Retrofit of the Ataturk International Airport terminal building”, http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/01-sp01/rpa_pdfs/15constantinou-f.pdf
98. Yılmaz, Ç., Booth, E. And Sketchley, C., “ Retrofit of Antalya airport international terminal building, Turkey using seismic isolation”, *Fifth European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, 1-10 (2006).
99. Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A., Chung, R.M., “Passive energy dissipation devices for seismic applications”, *NISTIR 5923, Gaithersburg*, 11-45 (1996).
100. Naaseh, S., “ Practical solutions for seismic isolation lessons learned”, *5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures*, Rome, 1-10 (2001).
101. İnternet: Utah State Capitol Planning And Historic Structures Report “Appendix C. Seismic protection of domed structures” <http://www.cpb.state.ut.us/hill/historicalstructuresreport/vol6/19%2011%20appendix%20structural/19%2011%20C%20Forell.pdf>, (2010).
102. Walters, M., “The seismic retrofit of the Oakland City Hall”, *SMIPO3 Seminar Proceedings*, California, 149-164 (2003).

103. Poole, R. A. And Clendon, J. E., “New Zeland Parliament Buildings: Seismic protection by base isolation”, *Bulletin Of The New Zeland National Society For Earthquake Engineering*, 25(3): 147-160 (1992).
104. International Conference Of Building Officials, “Earthquake Regulations For Seismic-Isolated Structures”, *Uniform Building Code*, Chapter 23, Whittier, CA, (1997).
105. Yang, T.Y., “Finite Element Structural Analysis”, *Pearson Education*, New Jersey, 80-100 (1986).
106. Sap2000, “Integrated Structural Analysis and Design Software”, *Computers and Structures, Inc.*, Berkeley, California, (2005).
107. Celep, Z. Ve Kumbasar, N., “Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş”, *Sema Matbaacılık*, İstanbul, 12 (1996)
108. Chopra, A. K., “Dynamics of Structures 2nd ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey, 49-50, (2001).
109. Kuban, D., “Tarihi Çevre Korumanın Mimarlık Boyutu, Kuram Ve Uygulama”, *Yem Yayın*, İstanbul, 216-218 (2000).
110. Icomos, “ Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage (2003)”, İnternet: http://www.international.icomos.org/charters/structures_e.htm, (2010).
111. Akşit, İ., “İstanbul”, *Ali Rıza Baksan Güzel Sanatlar Matbaası A.Ş.*, İstanbul, 100-150 (1981).
112. Ünay, A. İ., “Tarihi Yapıların Deprem Dayanımı”, *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları*, Ankara, 2-3 (2002).
113. Lourenço, P. B., “Computations on historic masonry structures”, *Progress In Structural Engineering Materials*, 4: 301-319 (2002).
114. Kuban, D., “ Sinan’ın Sanatı Ve Selimiye 2. bas. ”, *Tarih Vakfı Yurt Yayınları* İstanbul, 65-69 (1998).
115. Eriç, M., “Sinan’ın 16.yy Türk mimarisi malzeme anlayışına getirdiği yenilikler”, Mimar Sinan Dönemi Türk Mimarlığı Ve Sanatı Sempozyumu Bildirileri, *Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları 288 (41)*, İstanbul, 113-121 (1988).
116. Eralp, C. H., “İstanbul Şehzade Mehmet Külliyesi’nde onarım uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 80-90 (2004).

117. Erzen, J. N., “Mimar Sinan, Estetik Bir Analiz”, *Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayını*, İstanbul, 80-150 (1996).
118. Kuran, A., “The Grand Old Master of Ottoman Architecture”, *Ada Press Publishers*, İstanbul, 64-68 (1987).
119. Sönmezer, Ş., “İstanbul’daki Sinan camilerinde mekan ile serbest düşey taşıyıcılar arasındaki boyut ilişkisi”, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 100-130 (2002).
120. Güngör, İ.H., “Mimar Koca Sinan’ın Üç Büyük Camii’nde Mekan-Strüktür İlişkileri”, *Mimar Sinan Dönemi Türk Mimarlığı ve Sanatı Sempozyumu*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 135-150 (1988).
121. Bomba, D. E., “Tarihsel gelişim süreci içinde modülerlik ve Şehzade Mehmet Camii’nin modülerlik açısından incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Antalya, 77-85 (2006).
122. Arpat, A., “Sinan’ın Tasarladığı Sekizgen Türbelerin Boyutlarında Sayı Sembolleri”, *T.A.Ç. Vakfı Yıllığı I*, İstanbul, 126-133 (1991).
123. Arıoğlu, N., Tuğrul, A., Zarif, H., Girgin, Z. C., Arıoğlu, E., “Küfeki taşının dayanıklılık analizi; Şehzade Camii Örneği-I”, *Yapı Dergisi*, 09: 1021-1034 (1999)
124. Erguvanlı, K. Ve Ahunbay, Z., “Mimar Sinan’ın İstanbul’daki eserlerinde kullandığı taşların mühendislik jeolojisi ve mimarlık özellikleri”, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 11, 109-114 (1989).
125. Arıoğlu, N., Tuğrul, A., Zarif, H., Girgin, C. Ve Arıoğlu, E., “Küfeki Taşı Dayanıklılık Analizi: Şehzade Camii Örneği II”, *Yapı Dergisi*, 215: 102-108 (1999).
126. Smith, J. V., “Hagia Sophia: Advancement Of Nonlinear Modelling”, Senior Thesis, *Princeton University*, New Jersey, 12-16(1996).
127. Durukal, E. And Yüzüğüllü, Ö., “Non-destructive testing techniques of structural materials in historical structures”, *Compatible Materials For The Protection Of European Cultural Heritage Pact 55*, Athens, 221-223 (1998).
128. Durukal, E. And Erdik, M., “Dynamic response of Hagia Sophia and Süleymaniye in Istanbul inferred from the recordings of 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes”, *Compatible Materials For The Protection Of European Cultural Heritage Pact 59*, Athens, 19-28 (2000).
129. Kaya, S. M., Aydınoglu, M. N., Erdik, M. And Yüzüğüllü Ö., “Determination of dynamic characteristics of Süleymaniye mosque by analytical and experimental

- methods”, *Compatible Materials For The Protection Of European Cultural Heritage Pact 56*, İstanbul, 56-68 (1998).
130. Ansal, A. A., “İstanbul’da Deprem”, *İstanbul ve Deprem Sempozyumu*, İstanbul, 7-27 (1991).
131. Tezcan, S. S., “Probability Analysis of Earthquake Magnitudes”, *TDV Teknik Rapor TR 96-001, İstanbul*, 50-55 (1995).
132. Arıoğlu, E. Ve Anadol, K., “On the earthquake resistance of the Suleymaniye Mosque (İstanbul) in the historical perspective”, *Proceedings of 5th World Conference on Earthquake Engineering*, Rome, 289-293 (1973).
133. Robinson, W.H., “Passive control of structures, the New Zealand Experience”, *ISET Journal of Earthquake Technology*, 35(4); 63-75 (1998).
134. Braga, F., Laterza, M. And Gigliotti, R., “Seismic isolation using slide and rubber bearings: Large amplitude free vibration tests on Rapolla Residence building”, *7th International Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy dissipation and Active Control of Vibrations of Structures*, Assisi, 1-31 (2001).
135. Kravchuk, N., Colquhoun, R. And Porbaha, A., “Development of a friction pendulum bearing base isolation system for earthquake engineering education”, *American Society For Engineering Education Annual Conference*, Pasific Southwest, 1-16 (2008).
136. Amerika Mimarlık Dergisi, “ One project but many seismic solutions” İnternet: <http://archrecord.construction.com/resources/conteduc/archives/0605edit-1.asp>, (2010).
137. Aydın, E.Ö., Fahjan, Y.M. Ve Çömlekçioğlu, R., “Deprem bölgelerindeki tarihi kagir yapıların güçlendirilmesinde yeni teknikler”, *International Earthquake Symposium*, Kocaeli , 636-644 (2007).
138. Mokha, A.S., Amin, N., Constantinou, M.C. And Zayas, V., “ Seismic isolation retrofit of large historic building”, *Journal of Structural Engineering*, 122(3); 298-309 (1996).
139. Chalhoub, M.S. And Kelly, J.M., “Analysis of infinite-strip-shaped base isolator with elastomer bulk and compression”, *Journal of Engineering Mechanics*, 117(8), 1792-1805 (1991).
140. Amerika Deprem Güçlendirme Kurumu, “Hayward City Hall”, İnternet: <http://www.earthquakeretrofit.org/details.php?id=678>, (2010).

EKLER

EK-1. Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

Düzensiz betonarme sistemin toplam ağırlığı 78469,39 KN'dur. Temele gelen yükler gruplandırılırsa;

Çizelge 1.1. Düzensiz betonarme binaya gelen yükler

Yükler (KN)	Adet
2500	10
3500	7
4200	4
5400	2
7000	1

Hedef periyot $T_D: 2,5$ s alınırsa

1. Mesnet rijitlikleri

$$k_H = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g}$$

$$= 4\pi^2 2500 / 2,5^2 9,81 = 1609,72 \text{ KN/m}$$

$$= 4\pi^2 3500 / 2,5^2 9,81 = 2253,61 \text{ KN/m}$$

$$= 4\pi^2 4200 / 2,5^2 9,81 = 2704,33 \text{ KN/m}$$

$$= 4\pi^2 5400 / 2,5^2 9,81 = 3476,99 \text{ KN/m}$$

$$= 4\pi^2 7000 / 2,5^2 9,81 = 4507,22 \text{ KN/m}$$

2. Tasarım yerdeğiştirmesi için D_D 'nin ilk tahmini için birleşik sönüm %10 kabul edilirse UBC 97'e göre,

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B_D 4\pi^2}$$

$$D_D = \frac{9,81 \times 0,64 \times 2,5}{1,2 \times 4\pi^2} = 0,33 \text{ m}$$

3. Maksimum kayma deformasyonu $\gamma = 1,5$ alınırsa, elastomerin toplam yüksekliği,

$$t_r = D_D / \gamma_{\max}$$

$$t_r = \frac{0,33}{1,5} = 0,22 \text{ m } t_r = 250 \text{ mm olarak seçilir.}$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

4. Yatay rijitliklere göre çaplar: Burada G, kayma modülüdür.

$$A = K_H t_r / G$$

$$A = \frac{1609,72 \times 0,25}{1000} = 0,402 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{2253,61 \times 0,25}{1000} = 0,402 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{2704,33 \times 0,25}{1000} = 0,402 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{3476,99 \times 0,25}{1000} = 0,402 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{4507,22 \times 0,25}{1000} = 0,402 \text{ m}^2$$

Disk çapı:

$$\Phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (\text{Disk Çapı})$$

$$= 0,71 \text{ m} \cong 0,75 \text{ m} \quad \text{yeni alan} = 0,442 \text{ m}^2$$

$$= 0,84 \text{ m} \cong 0,85 \text{ m} \quad \text{yeni alan} = 0,567 \text{ m}^2$$

$$= 0,92 \text{ m} \cong 0,95 \text{ m} \quad \text{yeni alan} = 0,709 \text{ m}^2$$

$$= 1,05 \text{ m} \cong 0,10 \text{ m} \quad \text{yeni alan} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$= 1,19 \text{ m} \cong 0,12 \text{ m} \quad \text{yeni alan} = 1,131 \text{ m}^2$$

5. Yeni alanlara göre yatay rijitlikler baştan hesaplanır.

$$K_H = GA / t_r$$

$$K_H = \frac{0,442 \times 1000}{0,25} = 1768 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \frac{0,567 \times 1000}{0,25} = 2268 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \frac{0,709 \times 1000}{0,25} = 2836 \text{ KN / m}$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$K_H = \frac{0,785 \times 1000}{0,25} = 3140 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \frac{1,131 \times 1000}{0,25} = 4524 \text{ KN / m}$$

6. Sistemin birleşik rijitliği:

$$\begin{aligned} \Sigma K_H &= 10 \times 1768 + 7 \times 2268 + 4 \times 2836 + 2 \times 3140 + 1 \times 4524 \\ &= 55704 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

7. İzolasyonlu sistemin titreşim periyodu:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_H g}}$$

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{78469}{55704 \times 9,81}} = 2,38 \text{ s} \text{ hedeflenen periyot } 2,5 \text{ s'ye yakın bir değer}$$

8. Sistemde oluşan toplam sönüm:

$$\beta = \frac{W_D}{2\pi K_H D_D^2} = \frac{K_H^A \beta_A + K_H^B \beta_B}{\Sigma K_H}$$

$$B = \frac{10 \times 1,768 \times 0,15 + 7 \times 2,268 \times 0,15 + 4 \times 2,836 \times 0,15 + 2 \times 3,140 \times 0,15 + 1 \times 4,524 \times 0,15}{53,424} = 0,15$$

9. Sönüm azaltma katsayısı β için UBC 97'de önerilen formül

$$\frac{1}{\beta} = 0,25 (1 - \ln B)$$

$$\frac{1}{\beta} = 0,25 (1 - \ln 0,15) = 1,38$$

10. Sistemde toplam sönüm ve rijitliğe göre yatay yerdeğiştirme tekrar hesaplanır.

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$D_D = \frac{9,81 \times 0,64 \times 2,38}{1,38 \times 4\pi^2} = 0,28\text{m}$$

11. Taban kesme kuvveti:

$$V_S = \frac{K_H D_D}{R}$$

$$V_S = \frac{55704 \times 0,28}{2} = 7798,56\text{KN}$$

12. Sismik taban kesme katsayısı:

$$C_S = \frac{V_S}{W}$$

$$C_S = \frac{7,798}{78,469} = 0,099 = \%9,9$$

13. Tek bir kauçuk katmanın kalınlığı $\Phi/40 \leq t \leq \Phi/80$ arasından bir değer seçilerek belirlenir.

$$t_o = \frac{0,75}{40} = 0,01875$$

$$t_o = \frac{0,85}{40} = 0,02125$$

$$t_o = \frac{0,95}{40} = 0,0237$$

$$t_o = \frac{1,00}{40} = 0,025$$

$$t_o = \frac{1,20}{40} = 0,03$$

14. Şekil faktörü hesaplanır.

$$s = \frac{0,75}{4 \times 0,01875} = 10$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$s = \frac{0,85}{4 \times 0,0212} = 10$$

$$s = \frac{0,95}{4 \times 0,02375} = 10$$

$$s = \frac{1,00}{4 \times 0,025} = 10$$

$$s = \frac{1,20}{4 \times 0,03} = 10$$

15. Tabaka sayısı belirlenir.

$$\begin{aligned} t &= \Phi / 4s \\ &= 750 / 4 \times 10 = 18,75 \\ &= 850 / 4 \times 10 = 21,25 \\ &= 950 / 4 \times 10 = 23,75 \\ &= 1000 / 4 \times 10 = 25 \\ &= 1200 / 4 \times 10 = 30 \end{aligned}$$

$$n_t = 250$$

$$n_1 = 14$$

$$n_2 = 12$$

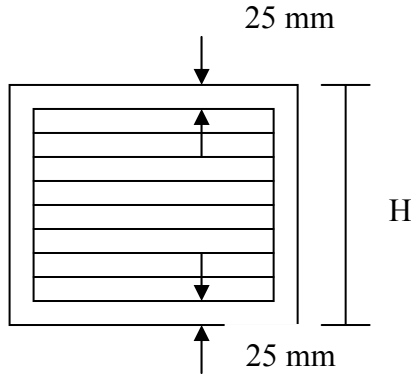
$$n_3 = 11$$

$$n_4 = 10$$

$$n_5 = 9$$

16. İzolatör detayı hesaplanan son değerlerle tamamlanmaktadır (Şekil 4.34).

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı



Şekil 1.1. Hesaplar sonucu ortaya çıkan izolatör detayı

$$H=13 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 326 \text{ mm}$$

$$H=11 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 322 \text{ mm}$$

$$H=10 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 320 \text{ mm}$$

$$H=9 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 318 \text{ mm}$$

$$H=8 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 316 \text{ mm}$$

Düzensiz betonarme sistemde kullanılacak yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetin lineer olmayan modeli aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Efektif yatay rijitlik

$$K_{\text{eff}} = \left(\frac{2\pi}{2,38} \right)^2 * \frac{2500}{9,81} = 1775 \text{ KN / m}$$

$$= 2485 \text{ KN/m}$$

$$= 2982 \text{ KN/m}$$

$$= 3834 \text{ KN/m}$$

$$= 4970 \text{ KN/m}$$

Sistemin tasarım deplasmanı $D_D=0,28$ m ve $C_s=9,9$ dur. Akma deplasmanı D_y tasarım yerdeğiştirmesinin %10'u olarak alınır ve Q değeri C_s 'e bağlı olarak hesaplanırsa,

$$D_y=0,028$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$Q=C_s W$$

$$Q=2500 \times 0,099 = 248 \text{ KN}$$

$$Q=3500 \times 0,099 = 347 \text{ KN}$$

$$Q=4200 \times 0,099 = 416 \text{ KN}$$

$$Q=5400 \times 0,099 = 535 \text{ KN}$$

$$Q=7000 \times 0,099 = 693 \text{ KN}$$

$$Q_D = K_{\text{eff}} D_D$$

$$Q_D = 1775 \times 0,28 = 497 \text{ KN}$$

$$Q_D = 2485 \times 0,28 = 695,8 \text{ KN}$$

$$Q_D = 2982 \times 0,28 = 834,96 \text{ KN}$$

$$Q_D = 3834 \times 0,28 = 1073,52 \text{ KN}$$

$$Q_D = 4970 \times 0,28 = 1391,6 \text{ KN}$$

$$K_2 = (Q_D - Q) / D_D$$

$$K_2 \text{ plastik rijitlik} = (497 - 248) / 0,28 = 889,28 \text{ KN/m}$$

$$K_2 \text{ plastik rijitlik} = (695,8 - 347) / 0,28 = 1245,21 \text{ KN/m}$$

$$K_2 \text{ plastik rijitlik} = (834,96 - 416) / 0,28 = 1496,28 \text{ KN/m}$$

$$K_2 \text{ plastik rijitlik} = (1073,52 - 535) / 0,28 = 1923,28 \text{ KN/m}$$

$$K_2 \text{ plastik rijitlik} = (1391,6 - 693) / 0,28 = 2495 \text{ KN/m}$$

$$Q_{K2} = K_2 (D_D - D_Y)$$

$$Q_{K2} = 889,28 (0,28 - 0,028) = 224,098 \text{ KN}$$

$$Q_{K2} = 1245,71 (0,28 - 0,028) = 313,918 \text{ KN}$$

$$Q_{K2} = 1496,28 (0,28 - 0,028) = 377,062 \text{ KN}$$

$$Q_{K2} = 1923,28 (0,28 - 0,028) = 484,66 \text{ KN}$$

$$Q_{K2} = 2495 (0,28 - 0,028) = 628,74 \text{ KN}$$

$$Q_Y = Q_D - Q_{K2}$$

$$Q_Y = 497 - 224,098 = 272,902 \text{ KN}$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$Q_Y=695,8-313,918 =381,882 \text{ KN}$$

$$Q_Y=834,96-377,062 =457,898 \text{ KN}$$

$$Q_Y=1073,52-484,66=588,86 \text{ KN}$$

$$Q_Y=1391,6-628,74 =762,86 \text{ KN}$$

$$D^Y=Q/K_1-K_2$$

$$0,028=248/K_1-889,28=9746,39\text{KN/m}$$

$$0,028=347/K_1-1245,71=13638,53\text{KN/m}$$

$$0,028=416/K_1-1496,28=16353,39 \text{ KN/m}$$

$$0,028=535/K_1-1923,28=21030,39 \text{ KN/m}$$

$$0,028=693/K_1-2495=27245 \text{ KN/m}$$

Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğine oranı $\alpha=K_2/K_1$

$$\alpha=889,28/9746,39=0,091$$

$$=1245,71/13638,53=0,091$$

$$=1496,28/16353,39= 0,091$$

$$=1923,28/21030,39=0,091$$

$$=2495/27245=0,091$$

Basınç elastisite modülü;

$$E_c=6x1400x102x2x106/6x1400x102+2x106=591549$$

Mesnedin düşey rijitliği; $K_v=E_cA/tr$

$$K_v=591,549x0,442/0,25=1045,86 \text{ KN/m}$$

$$=591,549x0,567/0,25=1341,63 \text{ KN/m}$$

$$=591,549x0,709/0,25= 1677,63 \text{ KN/m}$$

$$=591,549x0,785/0,25= 1857,46 \text{ KN/m}$$

$$=591,549x1,131/0,25= 2676,16 \text{ KN/m}$$

olarak belirlenir.

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

Çizelge 1.2. Yüksek Sönümleyicili Kauçuk Mesnetlerin Özellikleri

İzolatör Tipi		Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Mesnet Yüksekliği (m)
Yüksek Sönümleyici Kauçuk Mesnet	Rub1	1775	9746,39	272,9	0,091	1045860	0,75	0,326
	Rub 2	2485	13638,53	331,9	0,091	1341630	0,85	0,322
	Rub 3	2982	16353,39	457,9	0,091	1677630	0,95	0,320
	Rub 4	3834	21030,39	588,9	0,091	1857460	1,00	0,318
	Rub 5	4970	27245	762,9	0,091	2676160	1,20	0,316

Düzensiz betonarme sistemde kullanılacak kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler için yapılan hesaplar aşağıda belirtilmiştir.

1.Mesnet rijitlikleri: Tek bir izolatörün yatay rijitliğidir.

$$k_H = \frac{4\Pi^2 W}{T_D^2 g}$$

Burada W tek bir izolatöre etkiyen normal kuvvettir.

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5}\right)^2 * \frac{2500}{9,81} = 1609,72 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5}\right)^2 * \frac{3500}{9,81} = 2253,61 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5}\right)^2 * \frac{5400}{9,81} = 3476,99 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5}\right)^2 * \frac{7000}{9,81} = 4507,22 \text{ KN/m}$$

2.Sistemde her defada dağıtılan enerji; her bir çevrim için sismik izolatörün sönümlediği enerjidir.

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$W_D = 2\pi K_{eff} d_D^2 \beta_{eff}$$

$$\begin{aligned} &= 127,6 \text{ KNm} \\ &= 178,63 \text{ KNm} \\ &= 275,6 \text{ KNm} \\ &= 357,253 \text{ KNm} \end{aligned}$$

2. Karakteristik dayanım ; Tasarım yerdeğiştirmesi D_D ve enerji miktarı kullanılarak izolatörün karakteristik dayanımı hesaplanır.

$$\begin{aligned} Q &= W_D / 4D_D \\ &= 127,6 / 4 \times 0,29 = 110 \text{ KN} \\ &= 178,63 / 4 \times 0,29 = 153,99 \text{ KN} \\ &= 275,6 / 4 \times 0,29 = 237,586 \text{ KN} \\ &= 357,25 / 4 \times 0,29 = 307,976 \text{ KN} \end{aligned}$$

3. Akma sonrası rijitliğin hesaplanması

$$K_2 = K_{eff} - Q / D_D$$

$$\begin{aligned} &= 1,61 - 0,11 / 0,29 = 1,23 \text{ MN/m} \\ &= 2253,61 - 153,99 / 0,29 = 1722,616 \text{ KN/m} \\ &= 3477 - 237,586 / 0,29 = 2657,74 \text{ KN/m} \\ &= 4507,22 - 307,976 / 0,29 = 3445,23 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

4. Akma sonrası yerdeğiştirmenin hesaplanması

$$\begin{aligned} D_Y &= Q / 9K_2 \\ &= 0,11 / 9 \times 1,23 = 0,00994 \text{ m} \\ &= 153,99 / 9 \times 1722,616 = 0,00993 \text{ m} \\ &= 237,586 / 9 \times 2657,74 = 0,00993 \text{ m} \\ &= 307,976 / 9 \times 3445,23 = 0,00993 \text{ m} \end{aligned}$$

6. $Q = W_D / 4(D_D - D_Y)$

$$\begin{aligned} &= 0,1276 / 4(0,29 - 0,0099) = 114 \text{ KN} \\ &= 178,63 / 4(0,29 - 0,0099) = 159,45 \text{ KN} \\ &= 275,6 / 4(0,29 - 0,0099) = 237,586 \text{ KN} \\ &= 357,253 / 4(0,29 - 0,0099) = 318,896 \text{ KN} \end{aligned}$$

7. Kurşun çekirdek kesit alanının belirlenmesi; Tek bir izolatöre gerekli olan kurşun çekirdek kesit alanı karakteristik dayanımının kurşunun akma gerilmesi (f_y) bölünmesiyle hesaplanır.

$$A_{pb} = Q / f_y$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$=0,114/10=0,0114\text{m}^2$$

2500 KN yük için D: 750 mm için izolatörde kullanılacak kurşun çekirdek çapı 150 mm'dir

$$A_{\text{kurşun}}: 0,01767 \text{ m}^2$$

$$Q= 0,01767 \times 10=0,1767 \text{ MN}$$

8. Kauçuk rijitliği; izolatörün toplam yanal rijitliğinden kurşun çekirdeğin sağladığı rijitlik çıkarılarak bulunur.

$$K_r=K_2=K_{\text{eff}}-Q/D_D$$

$$=1,61-0,1767/0,29=1,000 \text{ MN/m}$$

$$K_1=10K_2=10 \times 1,000=10 \text{ MN/m (U}_2, \text{U}_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$=10000 \text{ KN/m}$$

$$D_y= Q/9K_2$$

$$=0,1767/9 \times 1=0,0196 \text{ m}$$

9. Kauçuk kısmın alanı; izolatör çapı ve gerekli kurşun çekirdek çapı belirlendikten sonra her iki kesit alanı arasındaki fark gerekli kauçuk kesit alanını verir.

$$A_{\text{rub}}=0,442-0,0196= 0,422\text{m}^2$$

10. Toplam kauçuk kalınlığı; G kayma modülü olmak üzere gerekli toplam kauçuk kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_r=GA_{\text{rub}}/K_{\text{rub}}$$

$$=0,7 \times 0,422/1=0,2954 \text{ m}$$

$$=300 \text{ mm}$$

11. Tek bir kauçuk kalınlığı

$$s=\Phi/4t=0,75/4 \times 0,01=18,75$$

$$=19 \text{ adet}$$

12. Düşey rijitlik; E_c basınç elastisite modülüdür. A_s ise toplam izolatör kesit alanıdır.

$$K_v=E_c A_s/t_r=6GS^2 A_s/t_r=6 \times 0,7 \times 19^2 \times 0,442/0,30=2233868 \text{ KN/m}$$

12. Akma dayanımı

$$F_y=Q+K_2 D_y$$

$$=0,1767+1 \times 0,0196$$

$$=0,1963 \text{ MN (U}_2, \text{U}_3 \text{ akma dayanımı)}$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

3500 KN yük için D: 850 mm için izolatörde kullanılacak kurşun çekirdek çapı 170 mm'dir

$$A_{\text{kurşun}} = 0,0226 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,0226 \times 10 = 0,226 \text{ MN}$$

Kauçuk rijitliği

$$K_r = K_2 = K_{\text{eff}} = Q/D_D$$

$$= 2,25 - 0,226/0,29 = 1,470 \text{ MN/m}$$

$$K_1 = 10K_2 = 10 \times 1,470 = 14,70 \text{ MN/m (U}_2, \text{U}_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$= 14700 \text{ KN/m}$$

$$D_y = Q/9K_2$$

$$= 0,226/9 \times 1,47 = 0,0170 \text{ m}$$

Kauçuk kısmın alanı

$$A_{\text{rub}} = 0,567 - 0,0226 = 0,544 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam kauçuk kalınlığı } t_r = GA_{\text{rub}}/K_{\text{rub}}$$

$$= 0,7 \times 0,544/1,47 = 0,2954 \text{ m}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tek bir kauçuk kalınlığı } s = \Phi/4t = 0,85/4 \times 0,01 = 21,25$$

$$= 22 \text{ adet}$$

Düşey rijitlik

$$K_v = E_c A_s / t_r = 6GS^2 A_s / t_r = 6 \times 0,7 \times 22^2 \times 0,567 / 0,30 = 3841,992 \text{ MN/m}$$

$$= 3841992 \text{ KN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y = Q + K_2 D_y$$

$$= 0,226 + 1,47 \times 0,0170$$

$$= 0,256 \text{ MN (U}_2, \text{U}_3 \text{ akma dayanımı)}$$

5400 KN yük için D: 1000 mm için izolatörde kullanılacak kurşun çekirdek çapı 200 mm'dir

$$A_{\text{kurşun}} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,0314 \times 10 = 0,314 \text{ MN}$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

Kauçuk rijitliği

$$K_r=K_2=K_{eff} \cdot Q/D_D$$

$$=3,47 \cdot 0,314/0,29=2,387 \text{ MN/m}$$

$$K_1=10K_2=2,387 \times 1,000=23,87 \text{ MN/m (U}_2, U_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$=23870 \text{ KN/m}$$

$$D_y= Q/9K_2$$

$$=0,314/9 \times 2,387=0,0146 \text{ m}$$

Kauçuk kısmın alanı

$$A_{rub}=0,785 \cdot 0,0314= 0,7536 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam kauçuk kalınlığı } tr=GA_{rub}/K_{rub}$$

$$=0,7 \times 0,7536/2,387=0,220 \text{ m}$$

$$=250 \text{ mm}$$

$$\text{Tek bir kauçuk kalınlığı } s=\Phi/4t=1/4 \times 0,01=25 \text{ adet}$$

Düşey rijitlik

$$K_v=E_c A_s/tr=6GS^2 A_s/tr=6 \times 0,7 \times 25^2 \times 0,785/0,25=8242,5 \text{ MN/m}$$

$$=8242500 \text{ KN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y=Q+K_2 D_y$$

$$=0,314+2,38 \times 0,046$$

$$=0,348 \text{ MN (U}_2, U_3 \text{ akma dayanımı)}$$

7000 KN yük için D: 1200 mm için izolatörde kullanılacak kurşun çekirdek çapı 240 mm'dir

$$A_{kurşun}= 0,045 \text{ m}^2$$

$$Q= 0,0226 \times 10=0,45 \text{ MN}$$

Kauçuk rijitliği

$$K_r=K_2=K_{eff} \cdot Q/D_D$$

$$=4,507 \cdot 0,45/0,29=2,955 \text{ MN/m}$$

$$K_1=10K_2=10 \times 1,000=29,55 \text{ MN/m (U}_2, U_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$=29550 \text{ KN/m}$$

EK-1(Devam). Betonarme sistemde sismik izolatör tasarımı

$$D_y = Q/9K_2$$

$$=0,45/9 \times 2,955 = 0,0169 \text{ m}$$

Kauçuk kısmın alanı

$$A_{rub} = 1,131 - 0,045 = 1,086 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam kauçuk kalınlığı } t_r = GA_{rub}/K_{rub}$$

$$=0,7 \times 1,086 / 2,955 = 0,25 \text{ m}$$

$$=250 \text{ mm}$$

$$\text{Tek bir kauçuk kalınlığı } s = \Phi/4t = 1,2/4 \times 0,0 = 30 \text{ adet}$$

Düşey rijitlik

$$K_v = E_c A_s / t_r = 6 G S^2 A_s / t_r = 6 \times 0,7 \times 30^2 \times 1,131 / 0,25 = 17100,72 \text{ MN/m}$$

$$=17100720 \text{ KN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y = Q + K_2 D_y$$

$$=0,45 + 2,955 \times 0,0169$$

$$=0,499 \text{ MN (U2, U3 akma dayanımı)}$$

Çizelge 1.3. Kurşun çekirdekli mesnetlerin özellikleri

İzolatör Tipi	Sayısı	Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Kauçuk kalınlığı(m)	Kurşun Çekirdek Alanı (m ²)
Kurşun Kauçuk KK1	2500KN 10 adet	1610	10000	196,3	0,1	2233868	0,75	0,300	0,01767
Kurşun Kauçuk KK2	3500KN 4adet	2253,61	14700	256	0,1	3841992	0,85	0,300	0,0226
Doğal Kauçuk K1	3500KN 3 adet	2485	13638,53	331,9	0,091	1341630	0,85	0,322	-
Doğal Kauçuk K2	4200KN 4 adet	2982	16353,39	457,9	0,091	1677630	0,95	0,320	-
Kurşun kauçuk KK3	5400KN 2 adet	3477	23870	348	0,1	8242500	1,00	0,220	0,0314
Kurşun kauçuk KK4	7000KN 1adet	4507,22	29550	499	0,1	17100720	1,20	0,250	0,045

EK-2. Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

Şehzade Mehmet Cami'nin yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetle tasarlanması için yapılan hesaplar aşağıda belirtilmiştir.

Sistemin toplam ağırlığı

W: 159304 KN

Çizelge 2.1. Temele gelen yükler gruplandırılırsa

Yükler (KN)	Adet
500	8
1000	41
1500	40
2000	36
2600	3

1. Mesnet rijitlikleri

$$K_{\text{eff}} = \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 * \frac{W}{g}$$

$$K_{\text{eff1}} = 321,9 \text{ KN/m}$$

$$K_{\text{eff2}} = 643,8 \text{ KN/m}$$

$$K_{\text{eff3}} = 965,7 \text{ KN/m}$$

$$K_{\text{eff4}} = 1287,6 \text{ KN/m}$$

$$K_{\text{eff4}} = 1673,8 \text{ KN/m}$$

2. Tasarım yerdeğiştirmesi için D_D 'nin ilk tahmini için birleşik sönüm %10 kabul edilirse UBC 97'e göre,

$$D_D = \frac{9,81 \times 0,64 \times 2,5}{1,2 \times 4\pi^2} = 0,33 \text{ m}$$

3. Maksimum kayma deformasyonu $\gamma=1,5$ alınırsa, elastomerin toplam yüksekliği,

$$t_r = \frac{0,33}{1,5} = 0,22 \text{ m} \quad t_r = 250 \text{ mm olarak seçilir.}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

4. Yatay rijitliklere göre çaplar

$$A = \frac{K_D t_r}{G}$$

$$=0,08 \text{ m}^2$$

$$=0,160 \text{ m}^2$$

$$=0,241 \text{ m}^2$$

$$=0,321 \text{ m}^2$$

$$=0,419 \text{ m}^2$$

Disk çapı:

$$\Phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \text{ (Disk Çapı)}$$

$$=35 \text{ cm}=0,096 \text{ m}^2$$

$$=50 \text{ cm}=0,0196 \text{ m}^2$$

$$=55 \text{ cm}=0,237 \text{ m}^2$$

$$=65 \text{ cm}=0,332 \text{ m}^2$$

$$=75 \text{ cm}=0,442 \text{ m}^2$$

5. Yeni alanlara göre yatay rijitlikler baştan hesaplanır.

$$K_H=GA/t_r$$

$$=384 \text{ KN/m}$$

$$=784 \text{ KN/m}$$

$$=948 \text{ KN/m}$$

$$=1328 \text{ KN/m}$$

$$=1768 \text{ KN/m}$$

6. Sistemin birleşik rijitliği:

$$\Sigma K_H=8 \times 384 + 41 \times 784 + 40 \times 948 + 36 \times 1328 + 3 \times 1768$$

$$=126248 \text{ KN/m}$$

7. İzolasyonlu sistemin titreşim periyodu:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_H g}}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{159304}{126248 \times 9,81}} = 2,25s \text{ hedeflenen periyot } 2,5 \text{ s'ye yakın bir değer}$$

8. Sistemde oluşan toplam sönüm:

$$\beta = \frac{W_D}{2\pi K_H D_D^2} = \frac{K_H^A \beta_A + K_H^B \beta_B}{\Sigma K_H}$$

$$B = \frac{10 \times 1,768 \times 0,15 + 7 \times 2,268 \times 0,15 + 4 \times 2,836 \times 0,15 + 2 \times 3,140 \times 0,15 + 1 \times 4,524 \times 0,15}{53,424} = 0,15$$

9. Sönüm azaltma katsayısı β için UBC 97'de önerilen formül

$$\frac{1}{\beta} = 0,25 (1 - \ln B)$$

$$\frac{1}{\beta} = 0,25 (1 - \ln 0,15) = 1,38$$

10. Sistemde toplam sönüm ve rijitliğe göre yatay yerdeğiştirme tekrar hesaplanır.

$$D_D = \frac{9,81 \times 0,64 \times 2,25}{1,38 \times 4\pi^2} = 0,26m$$

11. Taban kesme kuvveti:

$$V_S = \frac{K_H D_D}{R}$$

$$V_S = \frac{126248 \times 0,26}{0,8} = 32824 KN$$

12. Sismik taban kesme katsayısı:

$$C_S = \frac{V_S}{W}$$

$$= 32,824 / 159,304 = 0,20 = \%20$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

13. Tek bir kauçuk katmanın kalınlığı $\Phi/40 \leq t \leq \Phi/80$ arasından bir değer seçilerek belirlenir.

$$t_o = \frac{0,35}{40} = 0,0087$$

$$t_o = \frac{0,50}{40} = 0,0125$$

$$t_o = \frac{0,55}{40} = 0,0138$$

$$t_o = \frac{0,65}{40} = 0,0162$$

$$t_o = \frac{0,75}{40} = 0,0188$$

14. Şekil faktörü hesaplanır.

$$s = \frac{0,35}{4 \times 0,0087} = 10$$

$$s = \frac{0,50}{4 \times 0,0125} = 10$$

$$s = \frac{0,55}{4 \times 0,0138} = 10$$

$$s = \frac{0,65}{4 \times 0,0162} = 10$$

$$s = \frac{0,75}{4 \times 0,0188} = 10$$

15. Tabaka sayısı belirlenir.

$$\begin{aligned} t &= \Phi/4s \\ &= 350/4 \times 10 = 8,75 \\ &= 500/4 \times 10 = 12,5 \end{aligned}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$\begin{aligned} &=550/4 \times 10=13,75 \\ &=650/4 \times 10=16,25 \\ &=750/4 \times 10= 18,75 \end{aligned}$$

$$n_t=250$$

$$n_1=29$$

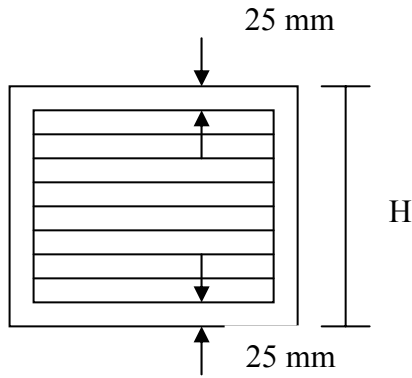
$$n_2=20$$

$$n_3=19$$

$$n_4=16$$

$$n_5=14$$

16. İzolatör detayı hesaplanan son değerlerle tamamlanmaktadır (Şekil 4.34).



Şekil 2.1. Hesaplar sonucu ortaya çıkan izolatör detayı

$$H=28 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 356 \text{ mm}$$

$$H=19 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 338 \text{ mm}$$

$$H=18 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 336 \text{ mm}$$

$$H=15 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 330 \text{ mm}$$

$$H=13 \times 2 + 250 + 25 \times 2 = 326 \text{ mm}$$

Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnedin Lineer Olmayan Modeli

Sistemin dizayn deplasmanı D_D : 0,26m ve C_s =%14 olarak bulunmuştu. Akma deplasmanı D^Y dizayn deplasmanının %10'u olarak alınır ve Q değeri C_s 'e bağlı olarak hesaplanırsa;

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$D^Y=0,026 \text{ m}$$

$$Q=C_s \times W$$

$$=500 \times 0,14=70 \text{ KN}$$

$$=1000 \times 0,14=140 \text{ KN}$$

$$=1500 \times 0,14=210 \text{ KN}$$

$$=2000 \times 0,14=280 \text{ KN}$$

$$=2600 \times 0,14=364 \text{ KN}$$

$$Q^D=K_{eff} \times D_D$$

$$=397,4 \times 0,26=104 \text{ KN}$$

$$=795 \times 0,26=207 \text{ KN}$$

$$=1192,5 \times 0,26=310 \text{ KN}$$

$$=1590 \times 0,26=413 \text{ KN}$$

$$=2067 \times 0,26=537 \text{ KN}$$

Buradan K2 plastik rijitliği

$$K_2=(Q^D-Q)/D_D$$

$$=(104-70)/0,26=130,76 \text{ KN/m}$$

$$=(207-140)/0,26=257,49 \text{ KN/m}$$

$$=(310-210)/0,26=384,61 \text{ KN/m}$$

$$=(413-280)/0,26=511,53 \text{ KN/m}$$

$$=(537-364)/0,26=665,38 \text{ KN/m}$$

$$Q_{K2}=K_2(D^D-D^Y)$$

$$=130,76 (0,26-0,026)=30,59 \text{ KN}$$

$$=257,69(0,26-0,026)=60,29 \text{ KN}$$

$$=384,61(0,26-0,026)=89,99 \text{ KN}$$

$$=511,53 (0,26-0,026)=119,69 \text{ KN}$$

$$=665,38 (0,26-0,026)=155,69 \text{ KN}$$

$$Q^Y=Q_D-Q_{K2}$$

$$=104-30,59=73,41 \text{ KN}$$

$$=207-60,29=146,71 \text{ KN}$$

$$=310-89,99=220,01 \text{ KN}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$=413-119,69=293,31\text{KN}$$

$$=537-155,69=381,31\text{KN}$$

Buradan elastik rijitlik K_1

$$0,026 = \frac{70}{K_1 - 130,76}$$

$$K_1=2823,038 \text{ KN/m}$$

$$0,026K_1 - 6,699=140 \quad K_1=5642,269 \text{ KN/m}$$

$$0,026 \quad K_1-9,999=210 \quad K_1=8461,5 \text{ KN/m}$$

$$0,026 \quad K_1-13,299=280 \quad K_1=11280,73 \text{ KN/m}$$

$$0,026 \quad K_1-17,299=364 \quad K_1=14665,34 \text{ KN/m}$$

Akma sonrası rijitliğin (K_2) akma öncesi rijitliğine oranı (K_1)

$$\alpha = K_2/K_1$$

$$=0,046$$

Mesnedin düşey rijitliği

Mesnedin düşey rijitliği; $K_v=E_cA/tr$

$$K_v=591,549 \times 0,08/0,25=189,29 \text{ MN/m}$$

$$=591,549 \times 0,160/0,25=378,591 \text{ MN/m}$$

$$=591,549 \times 0,241/0,25= 570,25 \text{ MN/m}$$

$$=591,549 \times 0,321/0,25= 759,54 \text{ MN/m}$$

$$=591,549 \times 0,419/0,25= 991,436 \text{ MN/m}$$

olarak belirlenir.

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

Çizelge 2.2.Şehzade Mehmet Caminin yüksek sönümlü kauçuk mesnet özellikleri

İzolatör Tipi	Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Mesnet Yüksekliği (m)
Yüksek Sönümleyici Kauçuk Mesnet	398	2823,04	73,41	0,046	189290	0,35	0,356
	795	5642,27	146,71	0,046	378590	0,50	0,338
	1193	8461,5	220,01	0,046	570250	0,55	0,336
	1590	11280,73	293,31	0,046	759540	0,65	0,330
	2067	14665,34	381,31	0,046	991436	0,75	0,326

Şehzade Mehmet Cami'nin yüksek sönümleyicili kauçuk mesnetle tasarlanması için yapılan hesaplar aşağıda belirtilmiştir.

Sistemin toplam ağırlığı

W: 159304 KN

Çizelge 2.3.Temele gelen yükler gruplandırılırsa

Yükler (KN)	Adet
500	8
1000	41
1500	40
2000	36
2600	3

1.Mesnet rijitlikleri:

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5} \right)^2 * \frac{500}{9,81} = 321,94 \text{ KN / m}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5} \right)^2 * \frac{1000}{9,81} = 643,88 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5} \right)^2 * \frac{1500}{9,81} = 965,832 \text{ KN / m}$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5} \right)^2 * \frac{2000}{9,81} = 1287,77 \text{ KN/m}$$

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2,5} \right)^2 * \frac{2600}{9,81} = 1674,11 \text{ KN/m}$$

$$\begin{aligned} 5. \text{ Sistemde her defada dağıtılan enerji } W_D &= 2\pi K_{\text{eff}} d_D^2 \beta_{\text{eff}} \\ &= 0,0254 \text{ MN/m} \\ &= 0,0509 \text{ MN/m} \\ &= 0,076 \text{ MN/m} \\ &= 0,1020 \text{ MN/m} \\ &= 0,1326 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6. \text{ } Q &= W_D / 4D_D \\ &= 0,0254 / 4 \times 0,29 = 0,0218 \text{ MN} \\ &= 0,0509 / 4 \times 0,29 = 0,0439 \text{ MN} \\ &= 0,076 / 4 \times 0,29 = 0,066 \text{ MN} \\ &= 0,1020 / 4 \times 0,29 = 0,0879 \text{ MN} \\ &= 0,1326 / 4 \times 0,29 = 0,1143 \text{ MN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \text{ } K_2 &= K_{\text{eff}} \cdot Q / D_D \\ &= 0,321 - 0,0218 / 0,29 = 0,246 \text{ MN/m} \\ &= 0,643 - 0,0439 / 0,29 = 0,492 \text{ MN/m} \\ &= 0,965 - 0,066 / 0,29 = 0,737 \text{ MN/m} \\ &= 1,287 - 0,0879 / 0,29 = 0,984 \text{ MN/m} \\ &= 1,674 - 0,1143 / 0,29 = 1,279 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. \text{ } D_Y &= Q / 9 \times K_2 \\ &= 0,0218 / 9 \times 0,246 = 0,00984 \text{ m} \end{aligned}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$=0,0439/9 \times 0,492=0,00991 \text{ m}$$

$$=0,066/9 \times 0,737=0,00995 \text{ m}$$

$$=0,0879/9 \times 0,984=0,00992 \text{ m}$$

$$=0,1143/9 \times 1,279=0,00993 \text{ m}$$

$$6. Q=W_D/4D_D$$

$$=0,0254/4(0,29-0,00984)=0,0226 \text{ MN}$$

$$=0,0509/4(0,29-0,00991)=0,045 \text{ MN}$$

$$=0,076/4(0,29-0,00995)=0,0678 \text{ MN}$$

$$=0,1020/4(0,29-0,00992)=0,0910 \text{ MN}$$

$$=0,1326/4(0,29-0,00993)=0,1183 \text{ MN}$$

6. Kurşun çekirdek kesit alanının belirlenmesi

500KN yük için gereken kurşun çekirdek

$$A_{pb}=Q/f_y$$

$$=0,023/10=0,0023 \text{ m}^2$$

60 mm'lik kurşun çekirdek 0,0028 m²

$$Q=0,0028 \times 10=0,028 \text{ MN}$$

Kauçuk rijitliği

$$K_r=K_2=K_{eff}-Q/D_D$$

$$=0,321-0,0226/0,29=0,243 \text{ MN/m}$$

$$K_1=10K_2=10 \times 0,243=2,43 \text{ MN/m (U}_2, \text{U}_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$D_y=Q/9K_2$$

$$=0,028/9 \times 0,243=0,0128 \text{ m}$$

Kauçuk kısmın alanı; 400 mm

$$A_{rub}=0,1256-0,0028=0,1228 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam kauçuk kalınlığı } t_r=GA_{rub}/K_{rub}$$

$$=0,7 \times 0,1228/0,243=0,353 \text{ m}$$

$$=354 \text{ mm}$$

Tek bir kauçuk kalınlığı s=10 adet

Düşey rijitlik

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$K_v = E_c A_s / t_r = 6 G S^2 A_s / t_r = 6 \times 0,7 \times 10^2 \times 0,1256 / 0,35 = 150,72 \text{ MN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y = Q + K_2 D_y$$

$$= 0,028 + 0,243 \times 0,0128$$

$$= 0,031 \text{ MN} (U_2, U_3 \text{ akma dayanımı})$$

1000KN yük için gereken kurşun çekirdek

$$A_{pb} = Q / f_y$$

$$= 0,045 / 10 = 0,0045 \text{ m}^2$$

80 mm'lik kurşun çekirdek 0,0028 m²

$$Q = 0,0050 \times 10 = 0,050 \text{ MN}$$

Kauçuk rijitliği

$$K_r = K_2 = K_{eff} - Q / D_D$$

$$= 0,643 - 0,045 / 0,29 = 0,487 \text{ MN/m}$$

$$K_1 = 10 K_2 = 10 \times 0,487 = 4,87 \text{ MN/m} (U_2, U_3 \text{ nonlineer rijitlik})$$

$$D_y = Q / 9 K_2$$

$$= 0,050 / 9 \times 0,487 = 0,0114 \text{ m}$$

Kauçuk kısmın alanı (500mm)

$$A_{rub} = 0,1963 - 0,0050 = 0,1913 \text{ m}^2$$

Toplam kauçuk kalınlığı $t_r = G A_{rub} / K_{rub}$

$$= 0,7 \times 0,1913 / 0,487 = 0,274 \text{ m}$$

$$= 280 \text{ mm}$$

Tek bir kauçuk kalınlığı $s = 10$ adet

Düşey rijitlik

$$K_v = E_c A_s / t_r = 6 G S^2 A_s / t_r = 6 \times 0,7 \times 10^2 \times 0,1963 / 0,28 = 294,45 \text{ MN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y = Q + K_2 D_y$$

$$= 0,050 + 0,487 \times 0,0114$$

$$= 0,055 \text{ MN} (U_2, U_3 \text{ akma dayanımı})$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

1500KN yük için gereken kurşun çekirdek

$$A_{pb}=Q/f_y$$

$$=0,068/10=0,0068m^2$$

100 mm'lik kurşun çekirdek 0,0078 m²

$$Q= 0,0078 \times 10 = 0,078 \text{ MN}$$

Kauçuk rijitliği

$$K_r=K_2=K_{eff}=Q/D_D$$

$$=0,965-0,0678/0,29=0,731 \text{ MN/m}$$

$$K_1=10K_2=10 \times 0,731=7,31 \text{ MN/m (U}_2, U_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$D_y= Q/9K_2$$

$$=0,078/9 \times 0,731=0,0118m$$

Kauçuk kısmın alanı; (550mm)

$$A_{rub}=0,2375-0,0078= 0,2297m^2$$

Toplam kauçuk kalınlığı $t_r=GA_{rub}/K_{rub}$

$$=0,7 \times 0,2297/0,731=0,2199 \text{ m}$$

$$=220 \text{ mm}$$

Tek bir kauçuk kalınlığı $s=10$ adet

Düşey rijitlik

$$K_v=E_c A_s/t_r=6GS^2 A_s/t_r=6 \times 0,7 \times 10^2 \times 0,2375/0,22=453,409 \text{ MN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y=Q+K_2 D_y$$

$$=0,078+0,731 \times 0,0118$$

$$=0,086 \text{ MN (U}_2, U_3 \text{ akma dayanımı)}$$

2000KN yük için gereken kurşun çekirdek

$$A_{pb}=Q/f_y$$

$$=0,0910/10=0,0091m^2$$

110 mm'lik kurşun çekirdek 0,0095 m²

$$Q= 0,0095 \times 10 = 0,095 \text{ MN}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

$$K_r=K_2=K_{eff}Q/D_D$$

$$=1,287-0,0910/0,29=0,973 \text{ MN/m}$$

$$K_1=10K_2=10 \times 0,973=9,73 \text{ MN/m (U}_2, \text{U}_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$D_y= Q/9K_2$$

$$=0,095/9 \times 0,973=0,010 \text{ m}$$

Kauçuk kısmın alanı; (600mm)

$$A_{rub}=0,2827-0,0095= 0,2732 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam kauçuk kalınlığı } tr=GA_{rub}/K_{rub}$$

$$=0,7 \times 0,2732/0,973=0,196 \text{ m}$$

$$=200 \text{ mm}$$

Tek bir kauçuk kalınlığı s=10 adet

Düşey rijitlik

$$K_v=EcAs/tr=6GS^2As/tr=6 \times 0,7 \times 10^2 \times 0,2827/0,200=593,67 \text{ MN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y=Q+K_2D_y$$

$$=0,095+0,973 \times 0,010$$

$$=0,1047 \text{ MN (U}_2, \text{U}_3 \text{ akma dayanımı)}$$

2600KN yük için gereken kurşun çekirdek

$$A_{pb}=Q/f_y$$

$$=0,1183/10=0,01183 \text{ m}^2$$

125 mm'lik kurşun çekirdek 0,0122 m²

$$Q= 0,0122 \times 10=0,122 \text{ MN}$$

Kauçuk rijitliği

$$K_r=K_2=K_{eff}Q/D_D$$

$$=1,674-0,1183/0,29=1,266 \text{ MN/m}$$

$$K_1=10K_2=10 \times 1,266=12,66 \text{ MN/m (U}_2, \text{U}_3 \text{ nonlineer rijitlik)}$$

$$D_y= Q/9K_2$$

$$=0,122/9 \times 1,266=0,010 \text{ m}$$

EK-2 (Devam). Tarihi yapıda sismik izolatör tasarımı

Kauçuk kısmın alanı; (600mm)

$$A_{rub}=0,2827-0,0122= 0,2705m^2$$

Toplam kauçuk kalınlığı $tr=GA_{rub}/K_{rub}$

$$=0,7 \times 0,2705 / 1,266 = 0,149 \text{ m}$$

$$=150 \text{ mm}$$

Tek bir kauçuk kalınlığı $s=10$ adet

Düşey rijitlik

$$K_v=EcAs/tr=6GS^2As/tr=6 \times 0,7 \times 10^2 \times 0,2827 / 0,150 = 791,56 \text{ MN/m}$$

Akma dayanımı

$$F_y=Q+K_2D_y$$

$$=0,122+1,266 \times 0,010$$

$$=0,1346 \text{ MN}(U_2,U_3 \text{ akma dayanımı})$$

Çizelge 2.4. Şehzade Mehmet Camide kullanılacak kurşun kauçuk mesnetlerin özellikleri

İzolatör Tipi		Sayısı	Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Kauçuk kalınlığı(m)	Kurşun Çekirdek Alanı (m ²)
Kurşun Kauçuk Mesnet	KK1	500KN 8 adet	322	2430	31	0,1	150720	0,400	0,354	0,0028
Kurşun Kauçuk Mesnet	KK2	1000KN 41adet	644	4870	55	0,1	294450	0,500	0,280	0,0050
Doğal Kauçuk Mesnet	K1	1500KN 40adet	966	7310	86	0,1	453409	0,550	0,220	0,0078
Doğal Kauçuk Mesnet	K2	2000KN 36 adet	1288	9730	104,7	0,1	593670	0,600	0,200	0,0095
Kurşun kauçuk mesnet	K3	2600KN 3 adet	1674	12660	134,6	0,1	791560	0,600	0,150	0,0122

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SOYLUK, Asena
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.11.1975
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 582 36 21
 Faks : 0 (312) 231 01 83
 e-mail : asenad@gazi.edu.tr.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	2010
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Yapı Eğitimi	2003
Lisans	Erciyes Üniversitesi / İnşaat Müh	2000
Lise	Ted Ankara Koleji	1993

Yıl	Yer	Görev
2003-...	Gazi Üniversitesi	Uzman
2002-2003	Özmen A.Ş.	Saha Sorumluluğu
2001-2002	Serbest	Fenni Mesullük
2000-2001	Nural Yapı Denetim	Kontrol Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

A. Ulusal Hakemli Dergi

1. Şimşek O., Dur A., Yaprak H., “Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Harçların Özellikleri”, Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi, V.7, N.2, s.169-178, 2004

B.Uluslar Arası Kongreler

1. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., “Reinforcement of Historical Structures through Seismic Ground Isolator Technology: The Clock Towers” World Universities Congress, Çanakkale Onsekiz Mart University, 20-24 October 2010, Çanakkale
2. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., “Reinforcement of Historical Structures and Preferred Methods” World Universities Congress, Çanakkale Onsekiz Mart University, 20-24 October 2010, Çanakkale
3. Soyluk A., Tuna M.E., “Seismic Rehabilitation of Sehzade Mehmet Mosque” 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Karadeniz Technical University, 27-30 September 2010, Trabzon
4. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., Tuna M.E., ‘Evaluation of Recycling of Construction Materials in developed world countries and Turkey’, International Sustainable Buildings Symposium-ISBS, 26-28 Mayıs 2010, Ankara
5. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., Tuna M.E., ‘Sismik Taban İzolasyonu Teknolojisi ve Mimarlık’, 22. Yapı ve Yaşam Kongresi, 26-27 Mayıs 2010, Bursa
6. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., Tuna M.E., “Mimarlıkta Yapı Malzemesi Olarak Doğal Taş ve Sınıflandırılması”, 2. Uluslar arası Mermer ve Doğaltaşlar Kongresi, 2-4 Şubat 2010, İzmir
7. Soyluk A., Özen A., Tuna M.E., “Yüksek Yapıların Giydirme Cephelerinde Doğal Taş Kullanımının Değerlendirilmesi”, 2. Uluslar arası Mermer ve Doğaltaşlar Kongresi, 2-4 Şubat 2010, İzmir
8. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., Tuna M.E., “Glass as a structural element”, I. International Ceramic, Glass, Porcelain Enamel, Glaze and Pigment Congress, Seres, 12-14 Ekim 2009, Eskişehir
9. Harmankaya Z.Y., Soyluk A., Tuna M.E., “Classification and the usage area of the glass material in the structures”, I. International Ceramic, Glass, Porcelain Enamel, Glaze and Pigment Congress, Seres, 12-14 Ekim 2009, Eskişehir
10. Dur A., Çelik H., Kanıt R., “Ankara Ulus Yenimahalle Güzergahında çalışan ticari minibüs sürücülerinin karakteristik özelliklerinin kaza oluşumuna

etkileri”, Trafik ve Yol Güvenliği II. Uluslar arası Kongresi, 5-7 Mayıs 2004, Ankara

C.Ulusal Kongreler

1. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., Tuna M.E., ‘Deprem Bölgelerine Göre Saat Kuleleri’, Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu,21-23 Mayıs 2010 Safranbolu
2. Soyluk A., Harmankaya Z.Y., Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistem ve Cephe Etkileşimi” 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi 15 -16 Nisan 2010, İzmir

D.Atıflar

1. Demir İ., “Aynı oranlarda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özelliklerine etkisi”, Int. J. Eng. Research & Development, Vol.1, No:2, 1-7,June 2009.
2. Demirel B., “Mineral katkı kullanımının karbon fiber takviyeli hafif betondaki etkileri”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, V.5, No: 2, 29-34,2007
3. Demirel B., Yazıcıoğlu S., “Silis Dumanının karbon fiber takviyeli hafif betonun mekanik özelliklerine etkisi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, V.11, No:1, 103-109,2007
4. Şimşek O.,Aruntaş H.Y., Demir İ., “Beton üretiminde süperakışkanlaştırıcı çeşidi ve oranının belirlenmesi”, Gazi Üniversitesi Müh-Mim Fak. Dergisi, V.22, No:4,829-835,2007