



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA PASİF SİSMİK KONTROL
YÖNTEMLERİ

HALİL İBRAHİM ÖZDAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY
ARALIK- 2008

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Yapının Dinamik Davranışı.....	1
1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.....	2
a) Yapı Tasarımında Geometri.....	4
b) Taşıyıcı Sistemin Sürekliliği.....	5
c) Taşıyıcı Sisteminde Yeterli Rijitlik ve Dayanım.....	5
d) Taşıyıcı Sistemin veya Elemanlarının Sünekliği.....	6
1.3. Deprem Etkisindeki Yapıların Hesabında Kullanılan Çözüm Yöntemleri.....	8
1.3.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	9
a) Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0).....	10
b) Bina Önem Katsayısı (I).....	10
c) Spektrum Katsayısı (S(T)).....	11
d) Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a).....	12
1.3.2. Mod Birleştirme Yöntemi.....	14
a) İvme Spektrumu.....	14
b) Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri.....	14
c) Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı.....	15
d) Mod Katkılarının Birleştirilmesi.....	16
e) Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Alt Sınır Değerleri.....	16
1.3.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi.....	16
1.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Modern Yaklaşımlar.....	16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1.Sismik Taban İzolasyon Sistemlerinin Özellikleri.....	30

3.1.1. Aktif Kontrol Sistemleri.....	31
3.1.2. Pasif Kontrol Sistemleri.....	32
3.2. Sismik İzolasyonların Avantajları.....	32
3.2.1. Ekonomik Maliyet.....	32
3.2.2. Güvenlik ve Depremlerden Sonra Kullanılabilirlik.....	33
3.2.3. Tasarım.....	33
3.2.4. Taşıyıcı Olmayan Elemanların Güvenirliği.....	33
3.3. Sismik İzolasyonunda Kullanılan Elemanlar.....	34
3.3.1. Elastik Malzemeli Sismik İzolasyon Mesnedi.....	35
3.3.2. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler.....	35
3.3.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler.....	39
3.3.4. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler.....	43
3.3.5. Kayıcı Mesnetli İzolatörler.....	44
3.3.5.1. Fransız Elektrik Sistemi.....	45
3.3.5.2. Bilye Mesnetler.....	46
3.3.6. Viskoz Sönümleyiciler ve Spiral Yaylar.....	47
3.3.7. Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyonu Mesnedi.....	49
3.3.8. Sürtünmeli Sarkaç Mesnedi.....	50
3.3.9. Çapraz Raylı İzolasyon Mesnedi.....	52
3.3.10. Yay Tipi Sistemler.....	55
3.3.10.1. GERB Sistemi.....	55
3.3.10.2. Sleeved- Pile Yalıtım Sistemi.....	56
3.3.10.3. Rocking Sistem.....	56
3.3.11. Kayma Esasına Dayanan Yalıtım Sistemleri.....	56
a) Electricite-de-France Sistemi.....	57
b) EERC Kombine Sistemi.....	57
c) TASS Sistemi.....	58
d) Resilient-Friction Taban Yalıtım Sistemi (R-FBI).....	58
3.3.12. Viskoelastik Sönümleyiciler.....	58
3.4. “Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ” e (DBYBHY-06) Göre Eşdeğer Yük Metodu.....	60

3.5. Amerikan Standart Yapı Kanunları (UBC- 97) Yönetmeliği.....	60
3.5.1. Standart Yapı Yönetmeliğine (UBC- 97) Göre Hesap İlkeleri.....	61
3.5.2. Mesnedin Disk Çapının Hesabı.....	66
3.5.3. İzolasyonlu Yapıda Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı.....	67
3.5.4. Burulma Nedeniyle Oluşan Toplam Deplasmanın Hesabı.....	67
3.5.5. Efektif Düşey Modülün Hesabı.....	68
3.5.6. Düşey Titreşim Periyodun Hesabı.....	68
3.5.7. Düşey Yük ve Kayma Gerilmesinin Hesabı.....	70
a) Kayma gerilmesinin hesabı.....	70
b) Ortak Alan Hesabı.....	70
c) Maksimum Düşey Yükün Hesabı.....	71
d) Şişme Riskinin Hesabı.....	71
3.5.8. Kurşun Tamponun Tasarımı	71
3.5.9. Çapın Kayma Kontrolü.....	72
3.5.10. Maksimum Kat Ötelenmeleri Oranı.....	74
3.6. Örnek Yapı Modelinin Tasarımı.....	74
3.6.1. Seçilen Yapı Modelinin Özellikleri.....	74
3.6.2. Ankastr Tem Sisteminin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	80
3.6.2.1. UBC – 97 Yönetmeliğine Göre Yapı Parametreleri.....	80
3.6.2.2. Hedef Periyot ve Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	80
3.6.2.3. Minimum Yatay Rijitliğinin Hesabı.....	80
3.6.2.4. Minimum Deplasmanın Hesabı.....	81
3.6.3. Mesnedin Disk Çapının Hesaplanması.....	81
3.6.4. İzolasyonlu Sistemin Titreşim Periyodunun Hesaplanması.....	82
3.6.5. Temel Deplasmanın Hesabı.....	82
3.6.5.1. Burulmadan Dolayı Oluşan Toplam Deplasman.....	83
3.6.6. Efektif Düşey Modülün Hesabı.....	83
3.6.7. Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması.....	84
3.6.8. Kayma Gerilmesi ve Düşey Yükün Hesabı.....	84
3.6.9. Ortak Alan Hesabı.....	85

	SAYFA
3.6.10. Maksimum Düşey Yükün Hesabı.....	85
3.6.11. Şişme Riskinin Hesabı.....	85
3.6.12. Kurşun Çekirdekli Model Tasarımı.....	86
3.6.12.1. Çekirdek Çapının Hesabı.....	86
3.6.12.2. Yerel Kayma Kuvvetinin Hesabı.....	86
3.6.12.3. Çapın Kayma Kontrolü.....	86
3.7. Sürtülmeli Sarkaç Sistemi Tasarımı.....	87
3.7.1. $T_D=2,5$ s Tasarım Periyodu İçin Eğrilik Yarıçapının Hesabı.....	87
3.7.2. Sistemde Efektif Sönüm.....	87
3.7.3. Efektif Rijitlik.....	87
3.7.4. Düşey Yer Değiştirme.....	87
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	88
4.1. Araştırma Bulguları.....	88
4.2. Çalışmada Kullanılan Deprem Girdisi.....	88
4.3. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Analiz Sonuçları.....	89
4.3.1. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Titreşim Periyotları.....	89
4.3.2. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Mod Şekilleri.....	91
4.3.3. Yapı Sisteminin Taban İzolatör Durumlarına Göre Enerji Sönümleme Diyagramları.....	93
4.3.4. Yapı Sisteminin Taban İzolatör Durumlarına Göre Deplasman-Zaman Grafikleri.....	94
4.3.5. Yapı Sisteminin Taban Mesnetlenme Durumlarına Göre Kesit Tesirleri.....	97
4.4. Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi.....	103
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	104
KAYNAKLAR.....	106
TEŞEKKÜR.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	109
EKLER.....	110
EK 1. Sap2000 Giriş Dataları.....	110
EK 2. Projeler.....	110

ÖZET

**DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA PASİF SİSMİK KONTROL
SİSTEMLERİ**

Bu çalışmada, deprem etkilerine karşı dayanıklı yapı tasarımında kullanılan kontrol sistemleri üzerinde bir sentez çalışması yapılmıştır. Seçilen bir yapı üzerinde deprem ivme kayıtlarından yararlanılarak, yapı ankastre temeli olarak, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. İzolatörlerin özellikleri değiştirilerek yapı davranışındaki değişimler incelenmiştir. Ayrıca, depreme dayanıklı yapı tasarımındaki geleneksel yaklaşım ile yapısal kontrolü esas alan modern yaklaşımın karşılaştırılması yapılarak, yapı kontrolünde kullanılan ana sistemler tanıtılmış ve yapısal kontrolün faydaları vurgulanmıştır. Bunun yanında, yapısal kontrol uygulamaları hakkında genel bilgiler verilmiş, taban yalıtımının doğrusal teorisi özetlenmiş, geleneksel ve yapısal kontrollü binaların depremsel performansının örnek bina modeli üzerinden karşılaştırılması yapılmış olup, analize ek olarak aynı model üzerinde izolatör özellikleri değiştirilerek yumuşak izolatör, orta sert izolatör ve sert izolatör kullanılarak analizler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılarak incelenmiştir. Çalışmanın genel bilgiler kısmında depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen sismik kontrol yöntemleri tanıtılmıştır. Bu amaçla yapılarda dinamik yük oluşturan etkiler, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı ve deprem etkisinin hesabı için kullanılan çözüm yöntemleri verilerek yapı kontrol sistemleri kısaca tanıtılmış ve konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalar verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde beş katlı bir yapı modeli üzerinde, sismik taban izolasyon sistemi ile sürtünmeli sarkaç sönümleyici sistemler kullanılarak zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Sistem üzerinde etkilerin daha iyi anlaşılması için karşılaştırmalı dinamik analizler yapılmıştır. Dinamik analizler için “SAP2000ed.10.01” eğitim programı kullanılmıştır.

Yapılan analizlerin sonuçları, sismik izolasyonun deprem kuvvetlerinin meydana getirdiği etkileri yapı periyodu değerini arttırma yoluyla azalttığını göstermiştir. Bu da, sismik izolatörlerin kullanıldığı yapıların yüksek şiddetli depremlerden daha az etkilendiğini göstermektedir.

2008, 109 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sismik İzolatörler, Sismik Taban İzolasyonu, Kauçuk İzolatör, Deprem Analizi, Aktif Kontrol Sistemleri, Pasif Kontrol Sistemleri

ABSTRACT
STRUCTURE RESISTANT AGAINST EARTHQUAKE IN PASSIVE
SEISMIC CONTROL BASE ISOLATION

In this study, a synthesis study that contains the control systems earthquake resistant building design. Dynamic analysis were done by using firstly for the fixed-based and secondly for the seismic isolated with lead rubber bearing and friction isolation. The changing the properties of the isolators structure properties changes. In addition earthquake resistant building design was done, seismic isolations were given and the useful Of seismic isolations are studied. In addition, general knowledge were given about structural control applications, the linear theory of the base isolation was abstracted, the comparison of earthquake performance of old generation and new generation on a model building was done, as an addition to the analysis, some analysis were done on the same model by changing the properties of the isolators (soft, medium-hard and hard isolator) and after that the results were discussed by comparing them. In the beginning part of the study, seismic control methods that are used for earthquake resistant building design was studied. For this reason, first the reasons for dynamic load, earthquake resistant building design and solution methods that was used for the earthquake analysis were studied in a simply way, and the studies that were done about this topic was given in the second part of the study on a five stair-building model. A Time-History Analysis were done by using Friction Isolation System and Seismic Base Isolation. The comparing dynamic analysis were done for understanding the effects on the system better. SAP2000 v. 10.01. education packed program was used for dynamic analysis.

The results of the analyses prove that the seismic isolation reduces the effects of earthquake forces by increasing the value of structure period. This indicates that structures on which seismic isolators were used less affected against the forces of earthquakes having a high magnitude.

2008, 109pages

Key Words: Seismic isolators, Seismic base isolation, lead rubber bearing, earthquake resistant structure, Active Control systems, Passive control systems,

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	Etkin Yer İvmesi
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
C, c	Sönüm Matrisi
C_A, C_v	Sismik Zemin Katsayısı
D, d	Yatay Deplasman
DBE	Tasarlanan Maksimum Deprem Yüğü
d_D	Tasarım Deplasmanı
d_M	Maksimum Deplasman
d_{tD}	Toplam Tasarım Deplasmanı
D_y	Plastik Deplasman
E	Elastisite Modülü
F_i	i Katınca Taşınan Sismik yük
F_r	İç Yaylardaki Moment
F_u	İç Yaylardaki Kuvvet
G	Kayma Modülü
H_i	i Katının Yüksekliği
I	Yapı Önem Katsayısı
K, k	Rijitlik Matrisi
k_1	Elastik rijitlik
k_2	Akma Sonrası Rijitliği
k_{eff}	Efektif Rijitlik
K_u, k_r	İç Yayların Lineer Rijitlik Katsayıları
k_y	Düşey Rijitlik
m	Kütle
M	Kütle Matrisi
m_b	Dengeleyici Kütle
MCE	Tasarlanan Efektif Deprem Yüğü
M_M	Meydana Gelebilecek Maksimum Deprem Katsayısı
N_a, N_v	Sismik Kaynak Faktörü
Q	Kurşunun Akma Gerilmesinden Hesaplanan Karakteristik Kuvveti
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
S	Şekil Katsayısı
S_D	Bölge Zemin Tipi
t	Elastomer Mesnet Yüksekliği
T	Periyot
T_D	Titreşim Periyodu
T_{eff}	Efektif Periyot
T_v	Düşey Periyot
u	Yerdeğiştirme vektörü
UBC-97	Amerikan Standart Yapı Kanunları
V_t	Taban Kesme Kuvveti
W	Yapı Ağırlığından Doğan Düşey Yük
W_i	i Katınca Taşınan Sismik Ağırlık
Z	Zemin Tipi
β	Sönüm Oranı

γ_v	DüŖey Yükten Doğan Kayma Gerilmesi
Δ_t	DüŖey Deplasman
λ	Modal Bağlantı katsayısı
τ_y	Kayma Gerilmesi
ω	Açısal Frekans

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin Uygulanabileceği Binalar	9
Çizelge 1.2. Etkin Yer İvmesi Katsayısı(A_0).....	10
Çizelge 1.3. Bina Önem Katsayısı(I).....	11
Çizelge 1.4. Yerel Zemin Sınıfına Göre Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B)....	12
Çizelge 1.5. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı(R_a).....	13
Çizelge 3.1. Sismik Kaynak Tipi.....	62
Çizelge 3.2. Meydana Gelebilecek Maksimum Deprem Katsayısı.....	63
Çizelge 3.3. Sismik Zemin Faktörü (Z).....	63
Çizelge 3.4. Sismik Deprem Katsayısı (C_a).....	63
Çizelge 3.5. Sismik Deprem Katsayısı (C_v).....	64
Çizelge 3.6. Kritik Sönüm Oranı(β).....	73
Çizelge 3.7. Sismik Zemin Katsayısı (C_{VM}).....	73
Çizelge 3.8. Sismik Zemin Katsayısı (C_{AM}).....	74
Çizelge 3.9. Kirişlere Aktarılan Yükler.....	78
Çizelge 3.10. Kolonlara Aktarılan Yükler.....	79
Çizelge 3.11. Minimum Yatay Rijitlik Hesabı.....	81
Çizelge 4.1. Modellerde Kullanılan Sismik İzolatörlerin Mekanik Değerleri.....	89
Çizelge 4.2. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Deprem İvmesi Altındaki Doğal Titreşim Periyotları.....	90
Çizelge 4.3. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Kesit Tesir Değerleri.....	97
Çizelge 4.4. Yumuşak, Orta Sert, Sert İzolatör Mekanik Değerleri.....	98
Çizelge 4.5. Yumuşak, Orta Sert, Sert İzolatör Durumunda Doğal Titreşim Periyotları....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

	SAYFA
Şekil 3.1. Ankastrre mesnetli yapı ile taban izolasyon'lu yapının deprem sırasında hareketi.....	34
Şekil 3.2. Düşük sönümlü kauçuk izolatör mesnet	36
Şekil 3.3. Düşük sönümlü kauçuk izolatör.....	38
Şekil 3.4. Kurşun çekirdekli elastomerik mesnet.....	40
Şekil 3.5. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör.....	41
Şekil 3.6. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet.....	44
Şekil 3.7. Çelik plak tabakalı elastik mesnet.....	46
Şekil 3.8. Viskoz sönümleyici.....	48
Şekil 3.9. Spiral yaylı izolasyon mesnedi.....	49
Şekil 3.10. Sürtünlmeli sarkaç sistemi.....	52
Şekil 3.11. Çapraz raylı mesnet.....	53
Şekil 3.12. Sismik kaynak faktörü.....	62
Şekil 3.13. UBC-97'e göre spektrum eğrisi.....	62
Şekil 3.14. Sönüm indirgeme faktörü.....	65
Şekil 3.15. Dönme etkisiyle oluşan eksantrisite grafiği.....	68
Şekil 3.16. Dairesel kauçuk kesitin parabolik basınç kuvveti dağılımı.....	69
Şekil 3.17. Kayma deplasmanı d_D ve ortak alan A'	71
Şekil 3.18. Temel histeresis eğrisinin parametreleri.....	73
Şekil 3.19. Analizde kullanılan modelin üç boyutlu (3-D) görünüşü.....	75
Şekil 3.20. Analizde kullanılan modelin 1. Kat planı.....	76
Şekil 3.21. Analizde kullanılan modelde izolatöre yapıdan gelen kuvvetler.....	77
Şekil 3.22. İzolatör mesnet detayı.....	83
Şekil 4.1. Analizlerde kullanılan L_p -th ve Lacc-nor ivme kayıtları.....	88
Şekil 4.2. Ankastrre temelli binanın y-z düzlemindeki: (a)şekil değiştirmemiş hali, (b) birinci mod şekli.....	89
Şekil 4.3. Kurşun çekirdekli kauçuk temelli binanın y-z düzlemindeki: (a)şekil değiştirmemiş hali, (b) birinci mod şekli.....	89
Şekil 4.4. Sürtünlmeli sarkaç temelli binanın y-z düzlemindeki: (a)şekil değiştirmemiş hali, (b) birinci mod şekli.....	90
Şekil 4.5. 1A köşe kolon altındaki taban izolatöründeki kesme kuvveti-yanal def. diyagramları: (a) Kurşun çek kauçuk temelli model, (b) Sürt. sarkaç temelli model.....	92

Şekil 4.6. Kurşun çekirdekli kauçuk temelli ve sürtünmeli sarkaç temelli izolatörler için giren enerji ve sönmülenen enerji grafiği.....	93
Şekil 4.7. Ankastre temelli (a), kurşun çekirdekli kauçuk temelli (b), sürtünmeli sarkaç temelli (c), ankastre-kurşun çekirdekli kauçuk arasındaki (d), ankastre-sürtünmeli sar. arasındaki(e), kurşun çekirdekli kauçuk-sürtünmeli sarkaç temelli(f) arasındaki mesnetlenme durumuna göre 1A köşe kolonda temel görelî ötelenmeleri.....	95
Şekil 4.8. 1A köşe kolonunda ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve sürtünmeli sar. mesnetli modellerin kesit tesir değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırması.....	98
Şekil 4.9. Yapı sisteminin izolatör durumlarına göre titreşim periyotları grafiği.....	99
Şekil 4.10. Yumuşak izolatörlü (a), orta sert izolatörlü (b) ve sert izolatörlü (c) mesnetlenme durumuna göre 1A köşe kolonunda temel görelî ötelenmeleri...100	
Şekil 4.11. Yumuşak izolatörlü (a), orta sert izolatörlü (b) ve sert izolatörlü (c) mesnetlenme durumuna göre 1A köşe kolonunda izolatör ötelenmeleri.....	102

1. GİRİŞ

1.1. Yapının Dinamik Davranışı

Deprem, önceden tahmin edilememesi açısından, doğal afetler arasında özel bir yeri vardır. En önemli doğal afet olan deprem, yapıları alışılmış yüklerin üzerinde zorlayarak, tasarım ve yapım hatalarını ortaya çıkarır. Dolayısıyla depremin sık ve şiddetli olduğu ülkelerde bu durumun incelenmesi Yapı Dinamiğinin ana problemlerinden biridir (Celep ve Kumbasar, 2000).

Deprem esnasında, yapıda değişik doğrultularda hareketlere neden olarak taşıyıcı sistemde ivmeler oluşur. Bu ivmeler, taşıyıcı sistem içinde, $F=ma$ ilişkisine bağlı olarak, bir yapıya etki eden kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Bir taşıyıcı sistemin analizini, yapının her noktasına etki eden sonsuz sayıda yük olduğunu dikkate alarak yapmak zaman alıcı ve zor olduğundan dolayı bir basitleştirme yapılarak, taşıyıcı sistemin kütlesi, kat seviyesinde toplanmış olarak göz önüne alınarak analizler yapılır (Celep ve Kumbasar, 2000).

Yapı, deprem esnasında değişik şekillerde enerji tüketir. Yapı deprem enerjisini tüketirken, dinamik yatay ötelenmeler yapan taşıyıcı sistem, “salınım modları” oluşturur. Bu salınım modları, yapının ötelenmesinin en büyük ve hareket hızının sıfır olduğu durumları yansıtır.

Yapı dinamiğinde yapı davranışının belirlenmesi aşamasında ilk adım, yapının basit bir modelle temsil edilmesidir. Dinamik analizlerde gerekli olan parametre sayısı, yapının serbestlik derecesini belirler. Bir yapı sisteminde, günümüzde yaygın olan bilgisayar çözümü için sistem basitleştirilerek çok serbestlik dereceli sistem halinde analizler yapılır.

Yapıda oluşan deprem kuvvetlerinin şiddeti

- Yapı kütlesi
- Yapının periyodu
- Yer ivmesi
- Zemin yapı etkileşimi gibi faktörlere bağlıdır.

Deprem etkisi altında yapı kendine özgü bir periyot oluşturarak dinamik tepki gösterir. Eğer taşıyıcı sistemin periyodu ile deprem etkisi altındaki zeminin periyodu birbirine eşit veya çok yakın olursa rezonans oluşabilir ve yapı kütlesinin ivmeleri büyür. Ayrıca deprem enerjisi yapı içerisinde değişik şekillerde sönmülenir. Deprem

enerjisinin tamamı yapı içinde tüketilmeli fakat bu süreçte yapı çökmemelidir. Diğer bir deyişle, yapı hasar görebilir fakat can kaybına sebebiyet verecek kısmi ya da tamamen çökme meydana gelmemelidir.

1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Bir yapının tasarımı ve boyutlandırılması, genel olarak güç tükenmesi durumunda yeterli güvenliğin sağlanması ve işletmeye açılması durumunda kararlılık, çatlama ve yer değiştirme gibi öngörülen koşulların yerine getirilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Bir yapı, taşıyıcı sistem inşa edilirken, başlangıçtan itibaren kendi ağırlığını taşımaya başlamaktadır. Hareketli yüklerin taşıyıcı sisteme etkimesi de ani olmayıp, belirli sürede gerçekleşmektedir. Bu sürede taşıyıcı sistemde bir kusurun ortaya çıkması durumunda yük boşaltılarak tedbir alma yoluna gidilebilir. Deprem yükleri ise, çok kısa sürede etkirler ve dinamik özellik gösterirler. Daha önce herhangi bir yatay yük altında kalmayan taşıyıcı sistem, deprem sırasında kısa zamanda önemli bir yatay etki ile zorlanır. Taşıyıcı sistemdeki kusurlar çok kısa zamanda ortaya çıktığı için, herhangi bir tedbir almak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle yapının tasarımı ve boyutlandırılmasında yapıya etkiyecek yüklerin iyi belirlenmesi ve bu yüklere göre yapının göstereceği performansın yönetmeliklerde verilen sınırlarda kalması sağlanmalıdır.

Basit olarak güvenlik, bir yapının taşıyabileceği yükün, beklenen yükten fazla olması şeklinde tanımlanabilir. Güvenliğin sağlanmasında, yapısal çözümlemenin verdiği sonuçlara uygun olarak deneyimi de dikkate alarak boyutlandırma yapılmalıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan ilke, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri, elastik sınırlar içinde kalarak; orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek şiddetli depremleri, büyük hasarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmaksızın karşılayabilmesidir. Bu amaçla boyutlandırmalarda, depremden oluşan ivme yapıların sünekliği ve yapı elamanlarının uyumu nedeniyle azaltılarak kullanılır.

Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında önce taşıyıcı sistemin tasarımının özenli bir şekilde yapılması önemlidir. İyi bir tasarımda taşıyıcı sistemin çözümlemeye

göz önüne alınan davranış şekliyle, deprem altındaki davranış birbirine yakın olur. Planda simetriden ayrılma sonucu ortaya çıkan düşey eksende burulma oluşmasından ve her türlü taşıyıcı eleman süreksizliğinin meydana gelmesinden olabildiğince kaçınılmalıdır. Bu suretle taşıyıcı elemanların kesit tesirlerinin gereksiz yere artması önlenmektedir. Bu tür tasarım her zaman mimari isteklere cevap vermeyebilir. Ancak, unutmamalıdır ki, simetri ve düzgünlük sağlayarak, kütle, geometri, rijitlik ve dayanımda önemli süreksizliklerden kaçınarak büyük ölçüde ekonomi sağlamak mümkündür. Yüklerin kısa yoldan zemine iletilmesi düşey yüklerde olduğu gibi hedef alınmalıdır. Yapı elemanlarının dayanımlarını birbirlerine göre biraz farklı düzenleyerek kuvvetli bir depremde oluşacak göçme mekanizmasını kontrol etmek ve orta büyüklükteki bir depremde, deprem sonrası onarımları sınırlı tutmak mümkündür. Örneğin, sistemin ani göçmesini önlemek için kolonların güçlü ve kirişlerin bunlara göre daha zayıf düzenlenmesi ve böylece ilk plastik mafsalların kirişlerde oluşmasını sağlamak yönetmeliklerde de önerilmektedir (Celep ve Kumbasar, 2000).

Çoğu ülkede depreme dayanıklı yapı tasarımında geleneksel yaklaşım, eleman boyutlarını ve rijitliğini arttırmak suretiyle sağlanacak yüksek dayanımı esas almaktadır. Özellikle yüksek yapılarda ve büyük köprülerde bu yaklaşımla yapılan tasarım, maliyeti önemli derecede arttırmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli iki adımından biri yapının iyi düzenlenmesi ve yeterli kalitede olması, diğeri ise, bu yapıda depremin oluşturması beklenen kesit zorlarını yeterli yaklaşıklıkta belirlenerek karşılanmasıdır (Celep ve Kumbasar, 2000).

Klasik yaklaşımda birçok sınırlama vardır. Modern yaklaşıma göre fazla miktarda malzeme kullanımı söz konusudur. Çok büyük kesitler oluşmakta hatta arzu edilen yapı mimarisi zarar görmektedir.

Yapı elemanlarının dayanımları, taşıyıcı sistemin dayanımı için gerekli olduğu gibi, elemanların birleşim bölgelerinin gerektiği gibi uygun düzenlenmesi de, elemanların öngörülen dayanımlarının ortaya çıkması bakımından önemlidir. Birleşim bölgelerindeki çözümler ve büyük dönmeler, taşıyıcı sistemdeki elemanlarda önemli zorlamalar oluşmadan göçmeyi doğurabilir. Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında, taşıyıcı sistemin tasarımının iyi yapılması çözümlenmeden daha önemlidir. Kötü tasarlanmış bir taşıyıcı sistemi, çözümlenme ile veya yapımda alınacak önlemlerle

düzeltilmek mümkün değildir. Buna karşılık iyi tasarlanmış bir sistemi basit yöntemlerle ve kolay inşa etmek mümkündür. Bu amaçla tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda verilmektedir.

a) Yapı Tasarımında Geometri

Yapılan gözlemlerden yapı ne kadar basit düzenlenmişse, depreme dayanıklılığın o derecede yüksek olduğu belirlenmiştir (DBYBHY-06). Bunu, çeşitli nedenleri göz önüne alarak açıklamak mümkündür. Basit ve düzenli yapıların yapımı da kolaydır ve yapımda hata yapma olasılığı azdır. Bu tür yapıların depremdeki davranışını tahmin etmek ve buna göre bir çözümleme yapmak daha kolaydır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak ortaya çıkan burulma etkisini göz önüne almak daha uzun işlemler gerektirir. Üç boyutlu çerçeve hesapları ile burulma hesaba katılabilirse de, ek bir zorlamanın ortaya çıkmasına müsaade etmemek, onu göz önüne almaktan her bakımdan daha mantıklıdır (DBYBHY-06).

Benzer nedenlerden dolayı yapının iki doğrultuda simetriye sahip olması istenir. Böylece çözümlemede bulunan davranış şekliyle, deprem altında meydana gelecek olan davranış modları birbirine yakın olur. Plandaki şekli H, L, T ve Y şeklindeki binalar meydana gelen depremlerde önemli hasar görmüşlerdir (DBYBHY-06). Simetri de her zaman yeterli olmayabilir. Örneğin, planda artı şeklinde yapı simetrik olmasına rağmen, deprem hareketinde orta kısımla kenar kısımlar farklı yatay rijitlikten dolayı birbirini zorlar. Binanın dış kısmına ve binaya bağlı olarak düzenlenen merdiven ve asansörler, rijitlik merkezini simetri merkezinden kenara çektikleri için, ek burulma meydana getirirler. Yani, simetri yalnız plandaki şekille değil, taşıyıcı sistemdeki ayrıntılarda da sağlanmalıdır. Ayrıca, deprem sırasında perde ve kolonlarda meydana gelen hasar elemanların dayanım ve rijitliklerini değiştirir ve statik konumda simetri olan yapı, dinamik durumda burulma etkisine maruz kalabilir. Mimari istekler çoğu zaman binanın simetri olmasını imkânsız kılabilir. Bu durumda binanın dilatasyon derziyle basit parçalara bölünmesi bir çözüm olabilir.

Planda uzun olan yapılar kısımlara göre daha çok zemin özelliklerinin değişimine ve farklı zemin çökmelerine maruz kalırlar. Özellikle tekil temellere sahip uzun yapılar zemin hareketlerine daha hassastır. Sürekli temellerde, zemin hareketinin bir kısmını kendi karşıladığı için taşıyıcı sistemin davranışı daha uygun duruma getirilebilir. Düşey kesitte de yapının plandaki boyutlarının ani azalmasında kaçınılmalıdır.

b) Taşıyıcı Sistemin Sürekliliği

Taşıyıcı sistemde plan ve düşeyde bulunan elemanların dayanımlarının düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi davranışı olumlu yönde etkilenmektedir. Kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması, sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önlemektedir. Bütün kolon ve perdeler temelden çatıya kadar sürekli olmalı ve elemanların birbirine dışmerkez mesnetlenmelerinden kaçınmalıdır. Taşıyıcı sistemde kolon rijitlikleri kiriş rijitliklerinden büyük olacak şekilde seçilmelidir. Kolon ve ona mesnetlenen kirişlerin eksenleri arasındaki dışmerkezlik de elden geldiği kadar önlenmeli ve bunların genişliklerinin birbirine yakın olmasına çalışılmalıdır. Böylece, özellikle betonarme elemanlarda, kesit etkilerinin geçişini sağlayan iyi bir donatı düzeni sağlanabilir. Bunun yanında birleşim bölgelerine gösterilen özenle, meydana gelebilecek yerel hasarlarda önlenmiş olur. Taşıyıcı sistemde süreklilik ile elemanların birbirine yardım etmesi sağlanırken, elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitesi arttırılmış olur. Ayrıca, bu sırada kirişlerde ortaya çıkacak plastik mafsalların sayısı dolayısıyla dinamik enerjinin yutulan kısmı da büyütülmüş olur. Bunun tersine, birleşimleri yeterli olmayan prefabrike yapılarda sistemdeki fazla bağların sayısının az olması nedeniyle, elastik davranışın sona ermesinden kısa bir süre sonra göçme yüküne erişilir. Bu durum prefabrike yapıların kuvvetli deprem hareketi altındaki zayıf bir noktasını oluşturmaktadır (Celep, 2000).

c) Taşıyıcı Sisteminde Yeterli Rijitlik ve Dayanım

Elemanların sürekliliği yanında rijitliklerinin de ani değişiklikler göstermeden devam etmesine gayret edilmelidir. Elemanların ve dolayısı ile yapının yeterli rijitliğe sahip olması istenmektedir. Yeterli rijitliğin sağlanmasıyla yapıda oluşacak ikincil mertebe momentlerin mümkün olduğunca küçültülmesi amaçlanmaktadır. Böylece sıkça oluşan depremlerde, yani kullanılabilirlik sınır durumuna karşılık gelen depremlerde, yapısal olmayan hasarlar azaltılabilmekte ve yapı içerisinde mevcut aletlerin çalışmasına engel olacak ve insanları rahatsız edecek şekil değiştirmeleri önlenmektedir.

Yapı rijitliğinin yeterli düzeyde olmasının en gerçekçi göstergesi, yapıda meydana gelebilecek yer değiştirme değerleridir. Yatay yükler etkisinde yapının

ötelenmesinin yükseklik boyunca değişimi, taşıyıcı sisteme bağlı olmaktadır. Çerçevesel sistem bir yapıda yükseklik ile birlikte katlar arasındaki görelî kat ötelenmeleri giderek azalmakta oysa perde duvarlı (betonarme duvarlı) bir yapıda söz konusu ötelenmeler, yükseklik arttıkça artmaktadır. Taşıyıcı sistemin perde duvar ve çerçeveden oluşması halinde ise alt katlarda perde duvarlar daha etkili olup çerçevenin ötelenmesini kısıtlarken, üst katlarda çerçeve perdenin ötelenmesini kısıtlamaktadır.

Yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçersek; titreşim periyodunu belirli aralığa getirerek deprem etkilerini azaltmak mümkündür. Bunun için ilk yapılacak iş, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodunu, yapının hakim periyodundan uzak tutarak rezonans olayını etkilemektir. Örneğın, uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede, kısa periyotlu rijit, az katlı yapılar uygun düşer. Genellikle bu tür bölgelerde, derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürür, geriye düşük frekanslı, uzun periyotlu kısım kalır. Bunun karşıtı olan kayalık, sert zemin bölgelerinde, yer hareketinin yüksek frekanslı bölümü hakim olur. Buralarda yüksek periyotlu, çok katlı yapılar uygun düşer. Alışılğelen yapılar da diğer başka isteklerin bulunmasından dolayı, yukarıdaki koşullar çoğu zaman sağlanamaz. Ancak, temele yerleştiren yer hareketi yalıtım düzeneklerinin kullanılmasıyla, yapının dinamik davranışı değiştirilerek, deprem kuvveti azaltılabilir (Doğangün, 2000).

d) Taşıyıcı Sistemin veya Elemanlarının Sünekliği

Taşıyıcı sistemin veya elemanlarının sünekliği, işaret değiştiren ve sistemi elastik sınırın ötesinde zorlayan etkiler altında taşıyıcı elemanların yardımlaşmasını sağlamak yanında enerji yutma sonucunu doğurduğundan, düşey yükler altındaki projelendirmeden daha çok dinamik deprem yüklerinin karşılanmasında önem kazanır.

Seyrek meydana gelecek şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının üzerinde şekil değiştirerek karşılaması öngörülür. Böyle bir durumda ise elastik olmayan davranış önem kazanır. Yapının elastik sınırı geçip, sünenek kesitin zorlanan kısımlarında önemli artmalar olmadan şekil değiştirme yapması arzu edilir. Bu yolla depremin dinamik etkisi elastik ve geri dönüşümlü olmayan enerji türüne dönüşerek yutulmakta ve sönlümlenmektedir. Bir doğrultuda yükleme durumunda ortaya çıkan çevrimlerin geniş olması ile süneklik artar. Süneklik güç tükenmesi sırasında elastik

olmayan büyük şekil ve yer değiştirmelerin ortaya çıkması olarak da görülebilir. Örneğin, basit bir eğilme taşıyan bir betonarme kesitin boyutlandırılmasında gc tükenmesi sırasında kesit donatısının elastik bölgeyi aşıp, akmaya erişerek büyük plastik uzamalar yapması da bir süneklik koşulu olarak kabul edilebilir. Donatının akmaya erişmesini sağlamak için kesitteki donatı oranı üzerine bir st sınır getirilebilir. Bir kesitin dönme şekil değiştirmesi göz önüne alınarak, kesit dönme sünekliği tanımlanabileceği gibi, bir taşıyıcı eleman için ve taşıyıcı sistem için uygun şekil veya yer değiştirme alınarak süneklik tanımlanabilir.

Bir yapı snekse, deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı elastik sınırın ötesindeki büyük genlikli titreşimler yapının dayanımını önemli bir kayba uğratmadan yutulur. Süneklik sayesinde, yüklemenin aşırı artmasından akmaya ulaşan kesitlerde plastik şekil değiştirmelerle enerji alınırken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlere dağılması sağlanır. Bu arada, sünekliğin müsaade edilen hasarla orantılı olduğu unutulmamalıdır. İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi, kontrollü harslarla, göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olur. Sünekliğin gereği olan plastikleşme bölgelerinin meydana gelebilmesi için sistemin yüksek mertebeden hiperstatik olması gerekir. Örneğin, tek başına duran kule ve bacalarda taşıyıcı sistem statikçe belirli olduğu için, önemli sünek şekil değiştirmeye müsaade edilmez.

Yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistemlerde elemanların birbirine moment iletecek şekilde bağlanması hiperstatiklik derecesinin artmasını sağlar. Hiperstatiklik derecesinin yüksek olması için, kolon ve kiriş birleşim bilgeleri birleşen elemanlar arası yük iletimini sağlayabilmelidir. Örneğin, betonarme bir çerçevenin birleşim bölgesindeki donatının aderansının sağlanmış ve kenetlenmenin yeterli olması gerekir.

Yapıda büyük hasarların ve toptan göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının büyük bir kısmını büyük elastik ötesi yer değiştirmelerde de devam ettirebilmesi ile mümkündür. Taşıyıcı sistemin veya elemanlarının veya kullanılan malzemenin elastik ötesi davranışta da, şekil ve yer değiştirmeler artarken, dayanımın önemli bir kısmını sürdürme özelliği de sünekliğe bağlıdır.

Süneklik kavramı aynı zamanda büyük şekil ve yer değiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemede enerji sndrebilme özelliğini de içerir. Depremler de sünekliğin sağlanamaması büyük hasar nedenlerinden biri olarak gözlenmiştir.

Kesit, kesitin bulunduğu eleman ve elemanların oluşturduğu taşıyıcı sistem için ayrı ayrı süneklik tanımlanabilir. Taşıyıcı sistemin sünek davranış göstermesi için kullanılan malzemeler sünek olmalıdır. Donatının kopma gerilmesinin öngörülen değeri sağlaması yanında kopma uzamasının da yönetmelikte verilen sınırın altına düşmemesi gerekir. Bunun yanında donatının basınç gerilmeleri altında da sünek davranış gösterebilmesi için burkulmaya karşı korunmuş olması zorunludur. Beton, esas olarak basınç gerilmeleri taşır ve en büyük kısalması sınırlı bir değere sahiptir. Betonda sıklaştırılmış etriye düzeni ile yanal basınç oluşturarak, betonun basınç dayanımını ve özellikle en büyük birim kısalma değerini, sünekliğini arttırmak mümkündür.

Betonarme elemanların eğilme momenti altında donatının akma gerilmesine erişmesi sonucu meydana gelen güç tükenmesi sünektir. Buna karşılık kesme kuvveti altında eğik çekme gerilmeleri veya eğik basınç gerilmelerinin betonda oluşturduğu güç tükenmesi gevrek olarak meydana gelir. Bunun gibi, donatı ile beton arasında aderansın sağlanmaması sonucu donatının betondan sıyrılması ile ortaya çıkan güç tükenmesi de sünek değildir.

Yakın zamanda bilgisayardaki gelişmelerde, taşıyıcı sistemin çözümlenmesini daha ayrıntılı bir şekilde yapma imkânını vermiştir. Bu arada depremlerden sonra yapılan incelemelerden bir kesitte yeterli eğilme momenti dayanımı bulunmamasının, taşıyıcı sistemin bütünlüğünü bozmamak ve sistemde yeterli süneklik bulunmak koşulu ile her zaman ağır hasara veya göçmeye götürmediği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar, normal orta ve yüksek katlı binaların tipik bir depremde zorlanması durumunda çözümlenmenin elastik veya elastik ötesi davranış esas alınarak yapılmasına bağlı olmaksızın aynı yer değiştirmelerinin meydana geldiğini göstermiştir (DBYBHY-06).

1.3. Deprem Etkisindeki Yapıların Hesabında Kullanılan Çözüm Yöntemleri

Bugün yürürlükte bulunan afet bölgesinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelikte, afet bölgelerinde yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek, onarılacak ya da güçlendirilecek, resmi ve özel tüm binaların ve bina türü yapıların bağlı olacağı koşulları belirtmektedir. Yönetmelik, deprem yer hareketine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli minimum koşulları tanımlamaktadır.

Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (Deprem Yönetmeliği) bina ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemleri; Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Aralığında Hesap Yöntemi şeklinde önermektedir. Aşağıda bu hesap yöntemleri kısaca açıklanmaktadır.

1.3.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Deprem Yönetmeliği'nde, yapıların deprem hesabı dolayısıyla da deprem yüklerinin belirlenmesi için, önerilen yöntemlerden, Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanımıyla ilgili olarak, yapının düzensizliğine, yüksekliğine ve inşa edileceği deprem bölgesine göre bir takım kısıtlamalar getirilmiştir. Bu kısıtlamalar göz önünde tutularak yapıların deprem hesabı için Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin yeterli olduğu durumlar Çizelge 1.1. 'de verilmektedir. Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yönteminin kullanılması durumunda elde edilen değerlerin Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminden elde edilen değerlerle karşılaştırılması öngörülmektedir.

Çizelge 1.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin Uygulanabileceği Binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı(H_N)
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\Gamma_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\Gamma_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

Bu yöntemle hesap yapabilmek için, Etkin Yer İvmesi Katsayısının (A_0), Bina Önem Katsayısının (I), Spektrum Katsayısının (S(T)), Deprem Yükü Azaltma Katsayısının (R_a) ve Hareketli Yük Azaltma Katsayısının (n) Deprem Yönetmeliği'nde verilen ve aşağıda da sunulan çizelgeler yardımıyla belirlenmesi gerekmektedir.

a) Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)

Etkin Yer İvmesi, deprem esnasında oluşacağı ve yapıya etkiyebileceği düşünülen deprem hareketinin ivmesidir. Bu ivme yer çekimi ivmesinin bir oranı olarak ifade edilmektedir. Bu oran Deprem Yönetmeliği'nde Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) olarak tanımlanmakta ve dört farklı deprem bölgesi için verilmektedir (Çizelge 1.2.). Yani 1. deprem bölgesi için Etkin Yer İvmesi Katsayısı 0.4 etkin yer ivmesi 0,4g olmaktadır. İlk bakışta bu katsayılara göre belirlenecek taban kesme kuvvetinin 4 kat artacağı kanısı oluşmaktadır. Ancak bu kuvvetin hesabında 1975 tarihli Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan yapı tipi katsayısı ile, 1998 tarihli Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı arasında önemli farklar bulunduğundan taban kesme kuvveti için peşinen bu kaniya varmak gerçekçi olmamaktadır.

Çizelge 1.2. Farklı Deprem Bölgeleri İçin Etkin Yer İvmesi Katsayı Değişimi

Deprem Bölgesi	Etkin Yer İvmesi Katsayısı A_0
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

b) Bina Önem Katsayısı (I)

Bir yapının öneminin belirlenmesinde içinde bulunduracağı insan sayısı, deprem sırasında ve sonrasında yapının kullanım ihtiyacı, yapıda bulundurulmuş malzemenin kimyasal özellikleri gibi hususlar etkili olmaktadır. Deprem Yönetmeliği'nde bu tür hususlar dikkate alınarak yapının kullanım amacı ve türüne göre Bina Önem Katsayısı verilmektedir (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. Bina Önem Katsayısı

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

c) Spektrum Katsayısı (S(T))

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre deprem hesabında zeminle ilgili olarak kullanılan parametre, Spektrum Katsayısı olmaktadır. Bu katsayı yerel zemin koşullarının yanında, yapı doğal periyodu (T)' ye bağlı olarak eşitlik 1.1.'de hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

Yukarıdaki denklemde T_A ve T_B spektrum karakteristik periyotları olup Çizelge 1.4.' de verilmektedir.

Çizelge 1.4. Yerel zemin sınıfına göre spektrum karakteristik periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

d) Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a)

Bu katsayı, deprem yüklerinin azaltılması amacıyla kullanılır. Çünkü yapı taşıyıcı sistemleri depremlerde elastik olmayan davranış da gösterebilmektedir. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a) Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısına ve Doğal Titreşim Periyoduna bağlı olarak belirlenmektedir. Deprem yüğü azaltma katsayısı (R_a) yapının taşıyıcı sistemine ve süneklik düzeyine bağlı olarak Çizelge 1.5 ' de verilmektedir.

Çizelge 1.5. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler (R_a)	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler (R_a)
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar...	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar.....	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	---	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar	---	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	6
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	---	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olma durumu	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	---	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	---	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

Buradan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a) için eşitlik 1.2 'den

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (1.2)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T)$$

olarak belirlenir.

1.3.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde, maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Yöntemin uygulanmasında aşağıdaki değerler kullanılmaktadır.

a) İvme Spektrumu

Herhangi bir r. titreşim modunda göz önüne alınacak ivme spektrumu ordinatı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik' te,

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ac}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (1.3)$$

bağıntısı ile belirlenmektedir.

Burada;

$S_{aR}(T_n)$ = r. doğal titreşim modu için ivme spektrumu ordinatı [m/s^2]

$R_a(T_n)$ = deprem yüğü azaltma katsayısı

$S_{ac}(T_n)$ = özel spektrum ordinatıdır.

b) Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

1) Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta aşağıda tanımlanan kaydırılmış kütle merkezlerinin her birinde, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınmaktadır. Kat kütleleri, her katın kütle merkezinde ve ayrıca ek dış merkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacıyla, kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlanmaktadır. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin göz önüne

alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm\%5$ 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır.

2) Döşeme süreksizliğinin bulunduğu (A2) ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik serbestlik derecesi göz önüne alınmalıdır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm\%5$ 'i kadar kaydırılmalıdır. Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri hesaplanabilmektedir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlik etkisi göz önüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak Mod Katkılarının Birleştirilmesi başlığı altında gösterilen kurallara göre birleştirilen büyüklüklere doğrudan eklenmelidir.

c) Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı (Y)

1) Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı (Y), göz önüne alınan birbirine dik düşey ve yatay (x,y) deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin $\%90$ 'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmelidir. Ayrıca, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki etkin kütlesi, bina toplam kütlelerinin $\%5$ 'inden büyük olan tüm titreşim modları göz önüne alınmalıdır (Denk 1.4).

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0,90 \sum_{i=1}^Y m_i$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0,90 \sum_{i=1}^Y m_i \quad (1.4)$$

2) Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların hesabında, sadece bodrum katların üstündeki katlarda etkin olan titreşim modlarının göz önüne alınması ile yetinilmektedir (Afet Yönetmeliği, 20006). Bu durumda, Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılacak hesapta, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın seçilen deprem azaltma katsayısı (R_a) katsayısı kullanılmalı ve sadece üstteki katların kütleleri göz önüne alınmalıdır.

d) Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi verilmektedir.

e) Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Alt Sınır Değerleri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, bina toplam deprem yükünün, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde hesaplanan bina toplam deprem yükü oranının mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırının belirlenmesi için kullanılan katsayı (β) değerinden küçük olması durumunda, Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, $B_D = (\beta V_t / V_{tB}) B_B$ bağıntısına göre büyütülmelidir. Planda burulma düzensizliği (A1), düşey doğrultuda yumuşak katlar için komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B2) veya taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B3) türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda $\beta=0,90$ alınmalıdır.

1.3.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Özel durumlarda, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen 'benzeştirilmiş deprem yer hareketleri' kullanılabilir.

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabında aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç benzeştirilmiş ivme kaydı kullanılacak ve elde edilen büyüklüklerin en elverişsiz olanları tasarıma esas alınmalıdır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki davranışını tanımlayan iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, yönetmeliğin genel felsefesi çerçevesinde, geçerliliği teorik ya da deneysel olarak kanıtlanmış yöntemlerle elde edilmektedir.

1.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Modern Yaklaşımlar

Yapısal kontrol veya yapının dinamik davranışının kontrolü deyimleri, dışsal dinamik yüklerin etkisinde yapı tepkisinin kontrolünü sağlamak amacıyla yapının ilgili

özelliklerinin düzenlenmesi anlamına gelmektedir. Bu kontroller birçok yöntemle sağlanabilir. Önerilen sistemlerin tamamı iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır.

1. Aktif yapısal kontrol sistemleri
2. Pasif yapısal kontrol sistemleri

Buna ilave olarak, bir üçüncü tip olan kombine tipi (Ristic, 1993) önermiş olup bu tip de her iki kontrol sisteminin kullanıldığı sistemlerdir.

Sistemlerin ortak özelliği aşağıda verilmiştir:

- 1) Her ikisi de devamlı olarak yapının dinamik tepkisini düzenleme yeteneğine sahiptir.
- 2) Her ikisi de kontrol kuvvetleri sistemini üretebilecek yeteneğe sahip mekanizmaları içermektedir (Ristic, 1993).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İlk defa, sismik izolasyon fikri, Tokyo Üniversitesi'nde, Milne(1875) tarafından geliştirilmiş olan sismik taban izolasyonu ile başlamıştır. Dr. Milne, örnek inşasında 25 cm çapında bilyeler kullanarak yapıyı zeminden ayırmış ve hafif depremler süresince memnun edici sonuçlara ulaşmıştır. Bu yöntem çok basit olmasına rağmen pratik ve kullanılabilir olamamıştır. Çünkü bilyeler üzerinde duran yapı rüzgâr yükü etkisiyle bile kolayca hareketlenebilmiş ve herhangi bir yükleme sonrasında ilk konumuna dönmemiştir. Daha sonra taban izolasyonunda kullanılan bilyelerin çapı 2,5cm'ye düşürülmüş ve sonuç daha memnun edici olmuştur. Fakat yapı deprem sonrası ilk konumuna dönme mekanizmasına sahip olmadığı için pek kullanım alanı bulamamıştır.

Yapıların deprem kuvvetleri etkisinden korunabilmesi için pek çok çalışmalar yapılmış farklı sistemler geliştirilmiştir. J.A. Calantarients (1909), binaların yapımı sırasında, yapı altına talk, mika veya kum bir tabakadan oluşan katmanın eklenmesi durumunda, yapıların hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek olacağını ve bu sayede de yapıya transfer olacak kuvvetin azaltılabileceğini savunmuştur. Bu önerilen yöntem tamamıyla yapının zeminden yalıtılarak deprem kuvvetlerinin etkilerinden korunmasına dayanır (Naeim ve Kelly, 1999).

Son yıllarda, J.M. Kelly bu konuyu ayrıntılarıyla ele almış bir bilim adamıdır. California Berkeley Üniversitesinde çalışmalarını sürdüren Kelly, özellikle elastomerik mesnetler üzerinde, teorik ve uygulama bazında ayrıntılı çalışmalar yapmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).

Kelly, (1986), uygulamaya 1920'li yıllarda geçirilmiştir. Fakat modern anlamda sismik izolasyonun uygulanması 1960'lı yıllarda olmuştur. 1970'de Yugoslavya Skopje' de bir ilkokulda ilk defa kauçuk izolatörler kullanılmış ve taban izolasyonu teknolojisine yeni ve tartışılır yaklaşımlar getirmiştir. Söz konusu ilkokul binası üç katlı bir betonarme yapı olup 1969'da tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak kullanılan kauçuklar arasında tabakalı halde çelik levhalar bulunmadığından düşey yönde istenilen rijitlik elde edilememiştir. Kullanılan izolatörler şimdikinden farklı olarak sadece kauçuk bloklardan ibarettirler. Zira kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi şeklinde sorunlar oluşmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği, yaklaşık olarak, yatay yöndeki rijitliğine eşit olduğundan deprem esnasında yapı yatay yönde salınırken düşey yönde de sızayabilmektedir. Sonuçta mesnetleri tabakalandırmak suretiyle araya

çelik levhalar atılarak düşey rijitlik büyük oranda arttırılmış ve bahsi geçen sığrama problemi aşılmıştır.

Kelly, (1988), doğal kauçuğun kullanımı ise, 1970 yılında Malezya Kauçuk Üretimi ve Araştırma Birliği tarafından kauçuk mesnetlerin geliştirilmesiyle başlamıştır. Bu mesnetler köprü ayaklarının zeminden yalıtımında kullanılmış ve daha sonra yapıların taban yalıtımında kullanım alanı bulmuştur. Aynı yıllarda ilk defa kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılması için çalışmalar başlatılmıştır. Yeni Zellanda'da uygulanan bu sistem, Japonya'da birçok yapıda ve Amerika Birleşik Devletlerin'de kullanım alanı bulmuştur (Kelly,1988). Gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan sistemin geliştirilmesi için özellikle Japonya'da birçok şirket tarafından önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Mostaghel, (1983), bir diğer sismik izolasyon yöntemi olarak önerilen sürtünmeli sistem taban izolasyon sistemi, bir sürtünmeli kayan mekanizmadan ibarettir. Yatay sürtünme kuvvetleri, enerjii yok eder ve harekete karşı koyar. Bina temelinde bir silindir veya bir kum tabakası kullanımı bu sisteme verilebilecek en basit örnektir. Özellikle Çin'de az katlı yapıları depreme karşı korumak amacıyla geliştirilmiştir. Mostaghel ve Tanbakuchi, (Kelly ve Beucke, 1983) tarafından sürtünmeli sistemin deprem ve sinüzoidal (dalga şeklinde) hareketler altındaki davranışları incelenmiştir. Ayrıca sürtünmeli izolasyon sistemlerinin geleneksel kauçuk mesnet sistemlerine göre; geniş frekans dağılımı için etkili olabilmesi, sürtünme kuvveti temelde meydana gelirken kayan mesnedin rijitlik merkezi ve kütle merkezi yapının kütlesi ile orantılı olabilmesi ve simetrik olmayan yapılarda meydana gelen burulma etkilerinin azalması gibi üstünlükleri bulunmaktadır.

Sismik izolasyonu; zemin ile yapı arasındaki etkileşimin azaltılması, yani yer hareketinin yapıda meydana getireceği hasarı da azaltılması anlamına geldiğini, yapının tabanında düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçülerde deplasman yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinin yüksek frekanslı etkisinden ayırma işlemi olarak tanımlayan Skinner yazdığı "Yapılarda Sismik İzalasyon" adlı kitabıyla bu metodun dünyaya tanıtılmasında önemli katkı sağlamıştır (Skinner, 1993).

Soong ve Constantinou, (1994), sismik izolasyonun etkili olabilmesi ve periyodun uzaması için yapının esnekliğinin arttırılması gerekmektedir. Periyodun artması ile yapının doğal frekansı azalacağından rijitlik de azalacak ve yapı belli bir

elastiklik kazanacaktır. Yapıdaki yer değiştirmelerin pratik olarak tasarlanan seviyeye indirilebilmesi için yapının enerji yutma kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Böylece yapıda oluşabilecek büyük rölatif yer değiştirmeler kontrol altına alınabilmektedir.

Chorpa (1995), sismik izolasyon konusunda pek çok teorik ve uygulamalı araştırmalar yapmıştır. Bu konuda ilk bilgisayar programı yazılarak hesapların yapılması daha kolay hale getirilmiştir. Daha sonra pek çok hazır paket program sismik izolasyon malzemelerini kullanarak hesap yapılmasını sağlayan seçenekler sunmuştur.

Ateş, (1999), yeni bir sismik izolasyon sistemi olan, sürtünmeli sarkaç sistemi, daha önce verilen sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. Sürtünmeli sarkaç sistemlerin geometrisi ve taşıdıkları ağırlık önemli parametrelerdir. Zira bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel ilkesine dayanmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemin uygulandığı yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sarkaç sistemi kayıcı olup silindirik içbükey yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu mesnet malzemesi yüksek basınç mukavemetine sahiptir.

Pasif kontrol sistemleri olarak adlandırılan sismik taban izolatörleri herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymadan enerji yutan sistemlerdir. Yapıya ilave edilen enerji yutucu cihazlar ve yüksüz yatak elemanlarla yapının deprem etkisindeki deplasmanlarını azaltmak pasif kontrol sisteminin temelini oluşturmaktadır. Bu elemanların kullanımı ile yapının kolon, kiriş ve duvarlarında meydana gelecek zorlanmalar büyük ölçüde azaltılır. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı değişen dış etkilere karşı kendilerini adapte edebilme yeteneğinden yoksun olmalarıdır.

Yapı kontrol sistemleri, araştırmacıların günümüzde yoğun bir şekilde ilgi duyduğu alanlardan biridir. Özellikle taban yalıtımı ve onun değişik yapılarda uygulanabilirliği, modellenmesi, tamamlayıcı sönümlenme aygıtlarıyla birlikte kullanımı, performansları bu alandaki başlıca ilgi noktalarıdır. Konu üzerinde çok sayıda çalışma ve araştırma yapılmıştır. Çok sayıda donanım geliştirilmiş, bunlardan bir kısmı patent altına alınmış ve ticari ürün haline gelmiştir. Aşağıda, bu çalışmalardan bir kısmının özeti verilmiştir.

Malhotra (1997), tabanı yalıtılmış yapılarda sismik vurgunun dinamiği üzerinde çalışmıştır. Çevresindeki istinat duvarları ile yalıtılmış binanın tabanı arasında sismik

etki sonucu ortaya çıkan çarpma için sistematik bir çalışma yapmıştır. Analizini boşluk elemanı kullanmaksızın gerçekleştirmiştir. Sayısal olarak elde ettiği sonuçları;

1. Bir elastik sistem için çarpma sonucu ortaya çıkan taban kesmesi yapının ağırlığından daha fazla olabilir;
2. Kesme miktarı çarpma hızı ile orantılıdır ve yapının rijitlik artışına karşılık artar;
3. Çarpma sonucu yapı kinetik enerjisinin önemli bir miktarını kaybeder;
4. Kayıp miktarı taban kütlesiyle doğru orantılıdır; şeklinde kaydetmiştir.

Almazan ve arkadaşları (1998), sismik etkiye maruz “sürtünme sarkacı sistemi” ile yalıtılmış yapılarda uygulanabilecek farklı modeller geliştirmek için bir çalışma yapmışlardır. Yapıların düşey dinamiğini ve iki doğrultulu deprem etkisi altında büyük yalıtım deformasyonlarının etkisini irdelemişler, tek katlı yapı için sürtünme sarkacı sisteminin farklı yapısal modellerini geliştirerek, tek katlı ve dört katlı gerçek bir yapıda test etmişler, sürtünme sarkacı sisteminin kuvvet-şekil değiştirme ilişkisini formüleştirmişlerdir. Analizden elde ettikleri sonuçlar kolon davranışının çok büyük oranda yalıtım seviyesindeki yalıtım rijitliğine ve mevcut kütleyle bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Kolon tabanındaki kesme kuvvetinin, düşey dinamiğin dikkate alındığı durumda göz ardı edildiği durumdakine nazaran üç kat büyük çıktığını kaydetmişlerdir.

Marioni ve arkadaşları, (1998), Şili’nin Santiago şehrinde 1992 yılında taban yalıtımlı olarak yapılmış dört katlı deneme amaçlı bir binanın depremsel davranışını incelemişlerdir. Yapı geleneksel olarak inşa edilen ikizi ile birlikte yapılmış ve üzerine dijital sayısal ivme ölçer ekipman ağı kurulmuştur. Bu binalarda, geçen üç yıl içerisinde farklı yoğunlukta en az 24 deprem hareketi kaydedilmiştir. Deprem kayıtlarından hareketle yalıtımlı bir yapının çatı katındaki maksimum ivmenin geleneksel ikizi ile karşılaştığında deprem karakteristiğine ve ivmesine bağlı olarak 1 ile 3,5 kez daha az olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kelly, (1999), sismik yalıtımda sönümlemenin rolünü araştırmıştır. Yakın fay tehdidi altındaki yalıtım sistemi için mevcut şartnameler tasarım mühendisini büyük izolator ötelenmeleri ile karşı karşıya getirmektedir. Bu ötelenmeleri azaltmak için genellikle yardımcı sönümleyiciler tavsiye edilmektedir. Fakat bu sönümleyiciler ötelenmeleri azaltırken kat ivmelerini ve katlar arası ötelenme miktarını önemli derecede arttırmaktadır. Çalışmasında bu ikilemi basit bir modelin analizi ile

göstermiştir. Bu çıkmazı çözebilmek için değişik stratejiler önermiştir. Bunlardan birisi, düşük deprem etkilerinde düşük rijitliği, şiddetli depremlerde de yüksek rijitliği verecek tasarımlar yapılması (FPS sisteminde küresel yüzeyin gezdiği eğimli yüzeyin dışa doğru kısmı yüksek sürtünme katsayısına sahip kılınarak bu sağlanabilir). Diğer, P. W. Clark, I. D. Aiken ve J. M. Kelly'nin (1999) çalışmalarında detaylandırdıkları elastomerik yatakların yüksek şekil değiştirme oranında (%150–200 gibi) kristalize olabilmeye yeteneğini kullanmaya dayanmaktadır.

Makris ve Changt, (2000), yalıtılmış yapıların sismik davranışına viskoz, viskoplastik ve sürtünmeli sönümleyicilerin etkisini araştırmışlardır. Yalıtılmış yapıları yakın fay etkisinden ve pulse tipi yer hareketlerinden korumak amacıyla değişik enerji dağıtıcıların verimliliğini araştırdıkları çalışmalarında, önce fiziksel olarak dairesel vurguları takdim etmişler, benzer yakın fay deprem kayıtlarını görsel olarak sunmuşlar ve bu kayıtların sarsıntı potansiyelini kontrol etmişlerdir. Diğerlerine göre düşük yalıtım periyotlu yapıların davranışı uzun süreli vurguyu (pulse) önemsiz kılan yüksek frekans dalgalanmalarından büyük oranda etkilenmektedir. Uzun süreli vurguları içeren zemin hareketleri için sismik yalıtım konsepti faydalıdır. Çalışma sonucunda sürtünme tipi dağıtıcı kuvvetler ötelenmeleri azaltmak için çok etkili olduğunu buna rağmen bazen sürekli ötelenmelerin sorumlusu olabildiğini, histeretik sönümleyicilerinde hemen hemen sürtünmeli sönümleyiciler kadar faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca nispeten düşük sürtünme ve viskoz kuvvetlerinin kombinasyonunun enerji dağıtımında kullanılmasının ötelenmeleri azalttığını, artan ivme ve taban kesme kuvvetinin nazara alınmadığını kaydetmişlerdir.

Robinson (2000), Yeni Zelanda'da sivil binalarda sismik yalıtım uygulamasını araştırmıştır. Bu ülkede endüstriyel tesisleri, köprüleri, yeni ve eski yapıları depremden korumak için sismik yalıtımın uygulandığını belirtmiştir. “An introduction of seismic isolation” adlı kitabından sismik yalıtım teoriği, denemeleri e uygulamaları adlı üç ana konunun özetine ve sismik yalıtımın temel prensiplerine yer vermiştir. Te Papa ve Maritime müzelerinin ve Yeni Zelanda'nın ilk banka binasının iyileştirme çalışmalarının nasıl yapıldığını anlatmıştır. Bu konuya ilişkin gelecekteki eğilimleri tartışmıştır.

Ryan ve Chopra, (2001) asimetrik plana sahip taban yalıtımlı binaların analizi için yaklaşık bir yöntem konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışmaların da mod

biçimlerini bulmak için Ritz vektörlerini kullanmışlar ve bu yaklaşım, titreşim özellikleriyle 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 dış merkezlik için 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 dış merkezlik içeren sistem parametreleri aralığında değerlendirmişlerdir. Yapı dış merkezliği ve yalıtım açısından eş değer alt küme sistemleri için metotlardan ikisinin tam doğru, üçüncüsünün ise yeterli yaklaşıklıkla doğru olduğu ve üçünün arasından rijit yapı kabulünün tercih edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Uetani ve arkadaşları, (2002), viskoz ve histeretik sönümleyici kullanılmış taşıyıcı sistem çerçevelerine uygulanabilen bir tasarım metodu üzerine çalışmışlar ve çalışmalarında geliştirdikleri tasarım sistemine bağımlı olan yeni bir metot önermişlerdir. Başlangıç tasarımı olarak Japonya'nın Osaka şehrinde bulunan 100 m yükseklikli bir binada metodun algoritmasını kullanmışlardır. Metot, yatay tasarım yüklerinin hesaplanmasında histeretik sönümleyicilerin etkisini de kapsamaktadır. Manuel modifikasyon için gerekli esnekliğe sahip olan bu metot iki aşamalı bir tasarım prosedürüdür. Birinci aşama viskoz sönümleyicili modelin rijitlik tasarımını içermektedir. İkinci aşama statik yüklere maruz bina için optimum tasarımın yapılmasıdır. Birinci aşamada yatay tasarım yükleri de hesaplanmaktadır. Yöntemin verimliliği için birkaç örnek tasarımı çalışmanın içerisinde vermişlerdir.

Colunga ve arkadaşları, (2002), üst yapıdaki asimetrik plandan dolayı burulma davranışı gösterme eğiliminde olan yapıların tabanını yalıtılarak davranışındaki iyileşmeleri araştırmışlardır. Nonlineer dinamik analizi kullanarak farklı dış merkezliklerde, tek ve iki doğrultulu seçilmiş zemin hareketleri ile pik davranışları incelemişlerdir. Etkili periyot aralığı 1,5 – 3 sn aralığında olan yapıları çalışmalarında dikkate almışlardır. Lineer izolatör sistemi için akma rijitliğini tam yapı ağırlığının %5 ve %10 u kadar, akma sonrası rijitliği %10 ve elastik rijitliği $k_2/k_1 = 0,10$ olarak kabul etmişlerdir. Simetrik yapı ile asimetrik yapının seçilmiş izolatörlerindeki 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 biçimi ile ve yeri ile değişmektedir, (4) burulma davranışının aşırı durumlarında, tüm köşe izolatörlerin toplam ötelenmesinin önemli bir katılımı vardır.

Yoo ve Kim, (2002) 1/8 ölçekli yalıtılmış test yapısını sismik davranışına “laminat kauçuk yataklarının” sönüm etkisini araştırmışlardır. Araştırmada tabana yalıtımlı ve yalıtımsız modeller kullanmışlardır. Yalıtımlı modellerde iki farklı sistemi modellemişlerdir. “kurşun tamponlu kauçuk yatak” içindeki kurşun tamponun çapını değiştirerek değişik sönümlenme oranlarına sahip 3 farklı tasarımı test etmişlerdir. 0,4 g lük yapay bir zemin ivmesini time history analizinde ve testte kullanmışlar ve yalıtım sisteminin beklendiği gibi ivmeleri önemli ölçüde düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Daha yüksek sönümlenme için arttırılan kurşun tamponun çapının izolatör rijitliğinin artmasına, yüksek frekanslardaki kat ivmelerinin büyümesine ve izolatör ötelenmelerinin azalmasına neden olduğunu kaydetmişlerdir.

Bayülke, (2002), sismik izolasyon, depreme dayanıklı yapı tasarımında başka bir seçenek olarak son yıllarda önem kazanmıştır. Bu yöntem ile yapıya gelen deprem yüklerini azaltma yolunda önemli adımlar atılmış ve bu amaçla değişik malzemeler geliştirilmiştir. Bu uygulamalar ile yapılan binalar pek çok önemli büyüklükteki depremi başarı ile atlatarak oldukça başarılı olmuşlardır. Bayülke 2002’ de taban yalıtımı ile depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkeleri, taban izolasyonunda kullanılacak lastik takozların özellikleri ve tasarımları hakkında detaylı bilgiler verilmekte ve bazı uygulamalardan ve sonuçlardan bahsedilmektedir.

Tezcan ve Erkal 2002’de ise yapılarda deprem etkilerini kontrol altına alabilmek amacıyla kullanılan çeşitli pasif kontrol elemanları tanıtmış ve bunlar hakkında yararlı bilgiler vermiştir. Histeretik sistemlerin viskoelastik sönümleyicilerin, sürtünmeli çelik levhaların ve kauçuk esaslı izolatörlerin davranışları incelenmiştir. Bu amaçla örnek bir çerçeve seçilmiş, bu çerçeve üzerinde enerji yutucu cihazlar ve sismik taban izolatörleri kullanılarak deprem etkisindeki davranışları incelemiş ve karşılaştırılmıştır. Deprem ivme kaydını olarak Marmara Depremi ivme kaydını kullanmıştır. (Tezcan ve Erkal 2002).

Kösedağ ve Ekiz (2002), izolatörler yapıya deprem hakim periyodundan daha büyük bir periyot kazandırarak, yıkıcı deprem etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Son

yıllarda meydana gelen depremlerde oldukça başarılı performans gösteren bu sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Şu aşamada bu sistemin uygulanmasının çok da ucuz olduğu söylenemez ancak insan hayatının önemiyle kıyaslanamayacağı için kullanımının giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Özellikle depremden sonra hemen kullanılması gereken hastane, itfaiye, havaalanları, enerji ve haberleşme ve tesisleri ile idari binalar, okullar, alışveriş merkezleri gibi insanların toplu olarak bulunduğu özel yapılarda bu sistemlerin kullanılmasının yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmesinin oldukça yararlı olacağı belirtilmektedir.

Samali ve arkadaşları, (2003) kütle dış merkezliğinden 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 sarsıntı tablası kullanılarak 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.

Calio ve Marletta, (2003), sanat eserlerinde, sismik sarsıntı altında ortaya çıkan titreşimin pasif sistemlerle kontrol altına alınabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla sanat eserlerinin rijit blok olarak mesnetlendiği ve viskoelastik sönümleyicilerle pasif kontrolün kullanıldığı durumu modellemişlerdir. Yapı modelinin doğrusal olmayan dinamik denkleminde hareketin her bir evresini büyük ötelenmeler için çözümlenmişlerdir. Aynı zamanda hareketin evreleri arasındaki geçiş şartlarını da tanımlamışlardır. Çarpma ve sismik etki açısından hem pasif kontrollü olan modeli, hem de sismik yalıtımlı olan modeli performansları açısından değerlendirmişlerdir. Sonuçta, deprem etkisini azaltması ve kullanım kolaylığı açısından sismik yalıtımın daha iyi performansa sahip olduğunu göstermişlerdir.

Alhan ve Gavin, (2004). pasif olarak doğrusal ve doğrusal olmayan sönümlenmiş sismik yalıtımlı binalar için parametrik bir çalışma yapmıştır. Birinci

mod sönümü %20 - %30 u geçen yapıların tipik olarak klasik mod davranışı göstermedikleri ve ayrılmamış ikinci derece denklemin basit süper pozisyonu simülasyonun da mümkün olmadığını, viskoz veya lineer viskoelastik aygıtlarla sönümleme sağlandığı zaman, birinci derece bir fonksiyon frekans domain metodunu kullanarak yapının dinamik davranışının anlaşılabilirliğini belirtmişlerdir. Sönümleme etkisi doğrusal olmayan aygıtlarla sağlandığında, yapı davranışının genliğine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında frekans domain analizini ve time history analizini daha yüksek mod etkilerini ve katlar arası ötelenme oranları üzerinde yalıtım sönümünün etkisini belirlemek için uygulamışlardır. Daha yüksek mod etkilerinin plandaki düzensizlikleri ve iki doğrultulu zemin hareketlerini dinamik davranışın önemli özellikleri kıldığını söylemişlerdir. Bu önemli detayların içeren yapıların dinamik davranışı üzerine olan çalışmalarında, planında L biçimli olan 8 katlı bir prototip ile farklı yalıtım periyotlarını yalıtım sönümleme karakteristiklerini ve yalıtımın rijitlik düzeyini araştırarak yorumlamışlardır.

Yozgat ve Hüsem (2004), bir başka çalışmada ise deprem etkilerine karşı dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen kontrol sistemleri üzerinde bir sentez çalışması yaparak, bunlardan kurşun çekirdekli tabakalı kauçuk mesnet izolasyon sistemi ve viskoz sıvı sönümleyicilerin kullanıldığı, farklı tür zeminler üzerine oturan, bir yapı modeli üzerinde etkilerini araştırmıştır. Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı ve deprem etkisinin hesabı için kullanılan çözüm yöntemleri verilerek pasif ve aktif yapı kontrol sistemleri kısaca tanıtılmış ve konuyla ilgili daha önce yapılan uygulamalar verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde altı katlı bir yapı modeli üzerinde, iki farklı zemin türü için sismik taban izolasyon sistemi ile viskoz-sıvı sönümleyici sistemler kullanılarak modal analiz yapmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda her iki zemin türü için sismik kontrol yöntemlerinin kullanıldığı yapılarda, ankastre mesnetli geleneksel olarak tasarlanmış yapıya göre, kesit tesirlerinin azaldığı belirlemiştir. Aynı zamanda sismik kontrol sistemlerinin Z1 yerel zemin sınıfı için, Z4 yerel zemin sınıfına nazaran, daha avantajlı olduğu tespit etmiştir.

Llera ve arkadaşları, (2005), sürtünmeli sönümleyicilere sahip elastik asimetrik yapıların burulmasını göz önüne alarak tasarımını 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 getirmişleridir. 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.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Depreme dayanıklı yapı üretiminde, yapı ile zeminin etkileşimi oldukça önemlidir. Yeraltında meydana gelen depremler ve patlamalar gibi etkilerden dolayı yeryüzündeki yapılarda dinamik etkiler oluşmaktadır. Bu dinamik etkiler esnasında zeminin tahmin edilemeyecek olan karmaşık, doğrusal olmayan (non-linear) davranışı tasarımı olumsuz etkilemektedir.

Yapılan araştırma ve çalışmalar sonunda deprem tasarımı için yeni teknikler geliştirilmektedir. Bu çalışmada da sismik izolasyon tekniği kullanılacaktır. Sismik taban izolasyonu, yapı ile zemin arasındaki etkileşimi minimuma indirebilecek sistemler kullanılarak, yapının zeminden yalıtılmasını sağlamaktadır.

Sismik yalıtımlı yapı tasarımında depremde yapıya etkileyen ve bunları azaltan tasarım yaklaşımları yapılmaktadır. Sismik yapı yalıtımı sistemi ile yapıya etkileyen deprem yükleri ve titreşim enerjisi, konvansiyonel (temele ankastre bağlı) yapılara oranla önemli ölçüde azaltılabilmektedir.

Depremler insanlık için felakete neden olur. Depreme karşı yapıların tasarımında geleneksel yaklaşım, her yapı elemanının sismik kuvvetlere direnç gösterebilecek dayanıma sahip olması ve sismik enerjiyi yutacak yeterli süneklik kapasitesini sağlamasıdır. Bu tasarım felsefesi benimsendiğinde, çok büyük bir enerji yapı tarafından yutulur ve bazı yapı elemanları çok büyük plastik deformasyon yapar. Bu yüzden modern yapı kontrol teknikleri kullanılarak binaların depreme karşı korunması son zamanlarda cazip hale gelmiştir.

Son dönemlerin depremleri esnasında modern mühendislik yapılarında gözlemlenen büyük hasarlar, yapılarda sismik güvenliğin artırılması gerekliliğine işaret etmektedir. Bu durum mühendisleri, yapıların yapımında ve tasarımında sismik dayanım açısından ilerleme sağlamak için yeni arayışlara itmiştir. Dolayısıyla mühendisler için daha dayanıklı bir yapı yapmaktansa, deprem kuvvetleri azaltılmış bir yapı yapma fikri ortaya çıkmıştır. Yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azaltılması özel yapı elemanlarının kullanılmasını gerektirmektedir. Bu elemanlar sismik yalıtım ve enerji sönmüleme yoluyla yapının titreşimini kontrol altına almaktır (Ristic, 1993).

Taban yalıtımının, duyarlı iç malzemelerin (müze, laboratuvar v.s.) bulunduğu önemli binalarda uygulanması çok yaygındır. Bir binanın sismik dayanımının sağlanmasında sorumlu yapı mühendislerinin yüz yüze geldikleri temel ikilem kat

ivmelerinin ve katlar arası ötelenmenin minimize edilmesidir. Katlar arası ötelenmenin büyük olması, taşıyıcı sistemden olmayan unsurların ve donanımların zarar görmesine neden olur. Katlar arası ötelenme, yapının rijitlenmesi ile minimize edilebilir. Fakat bu durum zemin hareketinin büyümesine ve dolayısıyla yüksek kat ivmelerine neden olur. Yüksek kat ivmeleri ise taşıyıcı sistemden olmayan donanımların hasar görmesine yol açar. Rijitliği düşürüp esnekliği artırarak kat ivmeleri azaltılabilir. Fakat bu katlar arası ötelenmenin büyümesine neden olur. Katlar arası ötelenme ile kat ivmelerinin eş anlamlı olarak azaltılmasının pratik yolu, taban yalıtımını kullanmaktır. Taban yalıtımı, ötelenmeleri yalıtım seviyesinde toplayarak sisteme gerekli esnekliğin verilmesini sağlar.

Taban yalıtımı düşüncesi oldukça basit bir mantığa dayanmaktadır: Yalıtım sistemi binayı, temel ile üstyapı arasına yerleştirilmiş düşük yatay rijitliğe sahip yapı elemanları ile yer hareketlerinin yatay unsurlarından büyük ölçüde ayırır. Bu sistemin yapıya verdiği frekans yer hareketinin baskın frekansından ve yalıtılmamış olan yapı frekansından daha düşüktür. Yalıtılmış yapının birinci dinamik modu yalnızca yalıtılmış sistemin deformasyonlarını içermektedir. Yapıda deformasyon üreten daha yüksek modlar birinci moda, dolayısıyla zemin hareketine diktir. Bu modların harekete katılımı yoktur. Bu nedenle daha yüksek frekanslı zemin hareketlerindeki yüksek enerji üst yapıya geçemez. Yalıtım sistemi, deprem enerjisini soğurmak yerine sistemin dinamiği yoluyla başka yöne çevirir ve bu etki sönümden bağımsızdır. Fakat belirli bir seviyedeki sönüm, olası bir rezonansı bastırmak açısından faydalıdır.

Yalıtılmış yapıların son örneklerinde ise katmanlı, ince çelik plakalarla güçlendirilmiş kauçuk yataklar kullanılmaktadır. Çelik plakalarla güçlendirmenin amacı, düşey doğrultuda yüksek rijitlik elde etmek fakat yatay doğrultuda da çok esnek olmalarını sağlamaktadır. (Naeim ve Kelly, 1999).

Deprem etkisini azaltmak için geliştirilen ve çok yaygın kullanılan stratejilerden biri de enerji dağıtıcılarla titreşimi kontrol altına alarak yapı davranışını iyileştirmelidir. Hatta bazı yapılarda hem izolatör hem de enerji dağıtıcı sönümleyiciler kullanılmaktadır.

Bir mühendisin mekanik bakış açısıyla bakıldığında; taban yalıtımı yapı davranışıyla seri olarak çalışırken, sönümleme; yapıya paralel bir davranış sergiler. Taban yalıtım sisteminde, hareket yapıya iletilmeden önce enerji filtre edilir. Yapı içi

sönümlemede ise enerjinin tamamı yapı içinde kombine bir sistem tarafından (taşıyıcı sistem ve aygıtların her bir unsurunun karakteristiklerine bağlı olarak) yutulur ve dağıtılır. Ayrıca, yapı içi sönümleme ile yapı davranışının iyileştirilmesinde taban yalıtımına oranla daha karmaşık bir tasarım problemi vardır.

Yapıya giren sismik enerjinin bir kısmı, yapıya ilave edilen yüksek sönümleme kapasiteli aygıtlarla yutulur ve sismik etki önemli derecede azaltılır. Dolayısıyla yapı hasarı azaltılmış olur (Kelly, 2001).

3.1. Sismik Taban İzolasyon Sistemlerinin Özellikleri

Taban yalıtımında kullanılan izolatör tipleri, şekil ve büyüklük itibarı ile ve yapıldıkları malzemeler bakımından farklılık teşkil ederler. İzolatörlerin büyük çoğunluğu elastomer malzemeden üretilmektedirler. Elastomer malzeme kalıba kolayca yerleştirilebildiğinden istenilen şeklin verilebilmesi bakımından avantaj sağlar. Metal malzeme ile aderansı güçlüdür, bu özelliğinden ötürü herhangi bir şekilde montajı güç değildir. Uygulamada maruz kalacakları kuvvete göre şekillendirilebilirler. İzolatör sönümü, rijit kütle rezonansında büyük yer değiştirmeleri engelleyecek, yüksek frekansta dalga hareketinden koruyacak düzeyde seçilmelidir. İzolatörler düşey doğrultuda çok rijit fakat aksine yatay doğrultuda ise esnekler. Deprem hareketinin düşey bileşenine karşı koruyuculuğu yoktur, yani depremin düşey bileşeni yapı tarafından karşılanır. Taban izolasyonu yapıların titreşim periyotlarını arttırdığı için, kısa periyotlu yapılarda kullanımı daha uygundur.

Sönüm gibi kauçuk malzeme özellikleri frekans ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle izolatörler en optimum sönüm ve rijitliğe göre uygulanmalıdırlar. İzolatörler zamanla yıpranabilirler. Bu nedenle izolatör kullanımında uzun süreli basınç ve düşük sıcaklıktaki etkileri düşünülmelidir.

Yaygın olarak kullanılan izolatör tipi elastomer malzemeden oluşan, tabakalı kauçuk mesnetlerdir. Kauçuklar arasındaki tabakalaşma izolatörün basınç altındaki mukavemetini artırır. Basınç altında diğer yönlerde genişlemeye olanak sağlar ve uniform yük dağılımını sağlar. Tabakalı kauçuk sistemlerinin düşey rijitliğinin belirlenmesinde, izolatör şekli önem taşımaktadır. Şekil faktörü, izolatörde yükün etkidiği alanın, serbest genişleme alanına oranı olarak tanımlanır. Yatay rijitlikte izolatör şeklinin önemi yoktur.

Şişe mantarı, keçe ya da kauçuk köpük gibi fiberglas içeren malzemelerde taban izolasyonunda kullanılabilir. Fakat bu malzemelerin mekanik özellikleri, elastomer malzemeler gibi net bilinmediği için, izolasyon performanslarının tahmini de zordur.

Helezoni yaylardan oluşan izolasyon sistemleri, kuvvet sistemlerindeki aletlerin titreşimlerini önlemek için kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde, yaylar düşey harekette yatay harekete göre çok fazla rijit değildirler. Oysa tabakalı kauçuk mesnetlerin düşey rijitlikleri, yatay rijitliğin birkaç yüz katı olabilmektedir.

Kayıcı sistemler, izolasyon ara yüzünde kesme kuvvetinin indirgenmesi prensibine dayandırılmaktadır. Genelde çelik mesnetlerden oluşmuş sistemlerdir. Sürtünme hareketi ile mekanizma iş görmektedir. Deprem hareketi esnasında yanal rijitlik ve her bir yatakta oluşan sürtünme kuvveti yatak üzerine mesnetlenen ağırlıkla direk olarak bağlantılıdır. Burada yapı ağırlık mesnedi ile yatakların rijitlik merkezleri çakışmalıdır.

3.1.1. Aktif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sistemleri sabit özelliklere sahiptir, dışsal bir enerji kaynağı gerektirmezler. Yapıya bir kez kurulduktan sonra modifikasyona ihtiyaç duymazlar. Dolayısıyla, etkili olabilmeleri için güvenilir bir tasarım yükü tahminini ve herhangi bir pasif kontrol taslağı için fiziksel sistemin sayısal modelinin doğru olmasını gerektirirler. Beklenmeyen bir yükleme değişikliği durumunda sistemde sonradan bir değişiklik veya telafi mümkün olmayacaktır. Pasif kontrolde karşımıza çıkan bu sınırlamalar, aktif kontrol sistemlerinin gelişmesini sağlamıştır.

Aktif kontrol sistemlerinde sistem özelliklerinin ve yüklemenin dinamik olarak modifiye edilebilmesi, performansı iyileştirme potansiyelini sağlamaktadır. Bir aktif yapı kontrol sisteminde, yapının mevcut durumunu belirleyebilme yeteneği vardır ve bu durumu arzu edilen duruma dönüştürebilmek için sistem, bir eylem setini kısa bir zaman periyodunda devreye sokabilir. Bu tür kontrol sistemleri, teorik olarak, beklenmeyen çevresel değişiklikleri barındırır, performans gereksinimlerini tam olarak karşılar ve sınırlı sayıdaki taşıyıcı sistem elemanlarındaki hataları telafi edebilir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak sistemin modifikasyonu mümkündür. Hem finansal hem de teknik olarak geniş bir uygulama aralığında daha verimli çözümler sunar.

3.1.2. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif yapı kontrolü, sismik yalıtım veya yapının sismik kontrolü anlamına gelmektedir. Bu kontrol belirli noktalara yerleştirilmiş özel elemanlarla başarılır. Pasif kontrol denildiğinde akla ilk olarak taban yalıtımı gelmektedir. Yapının tabanına yerleştirilen bu yalıtım elemanları üst yapının ivmesini, ötelenmeleri ve dolayısıyla depremsel kuvvetleri azaltmaktadır. Yalıtım elemanları çoğunlukla yapının tabanına yerleştirilir. Fakat taban yalıtımından başka pasif kontrol elemanları vardır. Şu şekilde basit bir sınıflandırma mümkündür:

- Pasif Kontrol Sistemleri
- Dağıtılmış Sönümleyiciler Sistemi (Distributed Damper)
- Histeretik enerji sönümleyiciler
- Viskoz sönümleyiciler
- Mekanik enerji dağıtıcılar, çapraz sistemler
- Sürtünmeli enerji sönümleyiciler
- Viskoelastik enerji sönümleyiciler
- Ayarlı Kütle ile Sönümlenme (Tuned Mass Damper)
- Ayarlı Sıvı Kütle ile Sönümlenme Sistemi (Tuned Liquid Damper)
- Taban Yalıtımı (Base Isolation)
- Esnek Kat

3.2. Sismik İzolasyonun Avantajları

3.2.1. Ekonomik Maliyet

İzolasyon için kullanılan izolatörlerin maliyetini belirleyen parametre, yapıdan izolatörlere aktarılan toplam yükür. İzolatörlere aktarılan yük aynı zamanda izolatörlerin sayısını ve boyutlarını belirleyen bir parametre olduğu için maliyetle doğrudan ilişkilidir. Fiyatlandırma birimi “maliyet/alan” dır. Bu durumda yapı yüksekliği ve boyutlarının artması maliyetin azalması anlamına gelmektedir. Genelde maksimum izolatör maliyeti, yüksek deprem derecesinde, yüksek hareketli yükler altında bulunan ve yüksekliği fazla olmayan yapılar için oluşur.

Sismik izolasyonun maliyeti yaklaşık olarak hesaplanırsa, ek olarak yapıda ikinci bir bodrum veya zemin katın yapımına ihtiyaç duyulur. Temel kazısı normalden daha derin olmalı ve tüm temel çevresi istinat duvarıyla çevrenmesi gerekmektedir bu

da yapıya ek bir maliyet demektedir. Ayrıca izolatör bağlantıları için temel kirişleri ve bağlantılarının yapılması içinde ayrı bir maliyet söz konusudur. Asansör veya merdiven tertibatlarının, yatay hareketi engellemeyecek şekilde düzenlenmesi, servis bağlantılarının esnek birleşimlerinin oluşturulması ve izolasyon seviyesinde deplasman mesafesinin ayarlanması mevcut yapılardan farklı olarak, izolasyonlu yapılarda sağlanması gereken hususlar arasındadır. Bütün bu sistemlerin imalat hesapları da maliyete dahil edilmelidir. Ayrıca, İzolatör maliyeti de hesaplanmalıdır. Bütün bunlarda yaklaşık olarak yapı maliyetinin %2-%4 arasında bir ek maliyete denk gelmektedir.(Türker, 2005)

3.2.2. Güvenlik ve Depremlerden Sonra Kullanılabilirlik

Depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında, şiddetli depremlerden sonra yapıların yapısal elemanlarında hasara müsaade edilir. Sismik izolasyon yönteminde yapısal olan veya yapısal olmayan elemanlarda, katlar arasında, kullanılabilirliği engelleyecek herhangi bir deformasyon meydana gelmez. Bundan dolayı depremlerden sonra yapılar güvenlikle kullanılabilir. Ve yapı onarım ya da herhangi bir güçlendirme gerektirmeyeceği için ekonomik olarak da fayda sağlar.

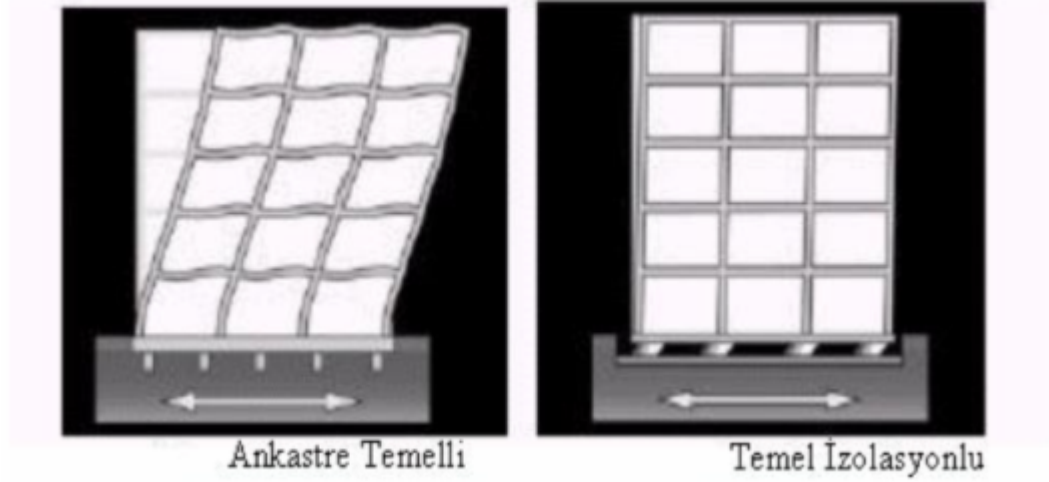
3.2.3. Tasarım

Depreme dayanıklı tasarımda yapıların tasarımları zor ve zaman alıcı olabilir. Tasarlanan maksimum yüke göre yapı elemanlarının boyutlandırılması ve yeterli sünekliğin sağlanması gerekir. Aynı zamanda tasarım maliyeti de zamanla eşdeğerde artabilir. Sismik izolasyon kullanıldığında tasarım ve detaylandırmak daha basite iner. Çünkü yapının serbest cisim diyagramları ve tüm yapısal elemanların hesap yükleri, zemin koşullarından ve yer hareketinden bağımsız hesaplanır. Bütün yapısal elemanlar statik yükler altında ve basit matematiksel modellerle hesaplanır.

3.2.4. Taşıyıcı Olmayan Elemanların Güvenilirliği

Sismik izolasyon kullanıldığında yapıların doğal titreşim periyotları uzar. Bununla birlikte katlar arasında herhangi bir ötelenme farkı olmadan, deplasmanlar sadece tabanda meydana gelmektedir. İzolasyonsuz yapıda ise katlar arasında büyük ötelenmeler meydana gelmekte ve üst katlara doğru artan kat ivmeleri nedeniyle, yapı büyük taban ivmeleri ile zorlanmaktadır. Bu büyük ivmeler etkisiyle yapısal olan

elemanlarda hasar oluşmasa bile mimari elemanlarda ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilmektedir. Sismik izolasyonlu yapıda tabandan üst katlara iletilen ivmeler az olduğu için elemanların güvenliği sağlanabilmektedir (Bayülke, 2002). Şekil 3.1’de ankastre temelli yapı ile sismik temel izolasyonlu yapının deprem etkisinde yapmış oldukları hareket görülmektedir.



Şekil 3.1. Ankastre temelli yapı ile temel izolasyon’lu yapının deprem sırasında hareketi (Bayülke, 2002)

3.3. Sismik İzolasyonda Kullanılan Elemanlar

Taban izolasyon sistemleri, temelde esneklik ve enerji tüketimi sağlama yöntemlerine göre gruplandırılabilir. Kauçuk ve elastik malzemelerden yapılmış olan izolasyon mesnetleri esneklik sağlayarak deprem kuvvetlerinin yapıya indirgenerek aktarılmasını sağlarlar. Genelde düşey ekseninde rijit ve yatay ekseninde esnekler.

Enerji tüketimini sağlamaya yönelik üretilen malzemeler ise yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin, meydana gelen deprem ve sürtünme enerjisini sönmüleyerek indirgenmesini sağlarlar. Kauçuk malzemeli mesnetlere ilave edilen teflon, kurşun veya çelik tabakalar ile hem esnek, hem de enerji sönmüleme kapasitesine sahip mesnetler üretilebilmiştir. Raylı sistemler, sürtümlü mesnetler ve spiral yayların kullanıldığı çelik mesnetlerde, deprem enerjisinin sönmülenmesi için tasarlanmış diğer mesnetlerdir.

3.3.1. Elastik Malzemeli Sismik İzolasyon Mesnedi

Doğal kauçuk sismik izolasyonda kullanılan ilk elastomerdir. Diğer elastomer malzemelerle kıyaslandığında kauçuğun daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür. En önemli özelliği ise uzun kullanım süresine sahip olmasıdır. İstenen davranışı, sistemde kullanıldığı sürece, zamandan ve kullanım sıklığından bağımsız olarak gösterirler. Doğal kauçuğun yorulma açısından iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bu mesnetler ağırlıkça büyük olarak tasarlanır, yapı ağırlığının yaklaşık %25 altında olan büyük kauçuk bloklardır. Bu mesnetlerin yatay rijitlikleri sadece kısa bir süreliğinedir. Bu mesnette yatay esneklik ve kuvvetler merkezde toplanır, büyük yatay deplasmanlardan, sadece küçük dirençler sağlar ve mesnet üst yüzeyi esneyerek eğilimli bir hal alır. İzolasyon sisteminin çeşitli karakteristikleri vardır. Yatay hareket, kuvvetli titreşim hareketine bağlıdır. Sadece yatay deprem yükleri titreşim modunda dikey ivmelenmeye sebep olur.

3.3.2. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler

Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler, kauçuk ve çelik plakaları gibi viskoz sönümlendiricilerle birlikte kullanılmaktadırlar. Başta Japonya olmak üzere birçok gelişmiş ülkede kullanım alanı bulmuştur. Mesnedin davranışı viskoelastik ve histeretik özellikte olup bu iki özelliğin kombinasyonu şeklindedir.

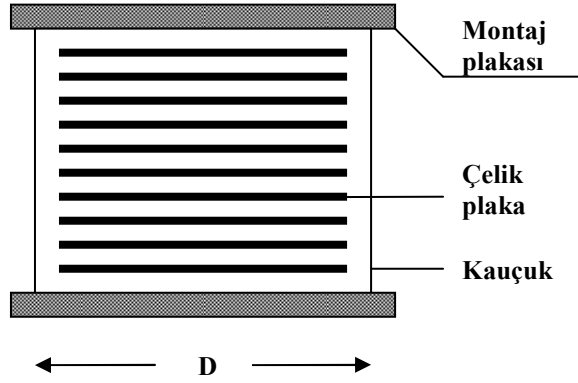
İzolatörler birkaç ince çelik sac ve son yüzeylerinde iki adet kalın plaktan oluşurlar. Kauçuk tek bir operasyonla ısı ve basınç altında kalıba sokularak, çelik katmanlarıyla bağlanır ve sertleştirilir.

Çelik saclar düşey yükler altında, kauçuğun yanal deformasyonunu önler ve yüksek düşey rijitlik sağlayarak, yükün üniform olarak dağılımını sağlar. Fakat çelik tabakalar yanal rijitliği etkilemezler. Yatay rijitlik elastik malzemenin kesit modülü tarafından kontrol edilir. Bundan dolayı bu mesnetler kesme ve burkulma altında yumuşaktırlar. Düşey rijitlikleri yatay rijitliklerinden daha büyüktür. İstenen rijitlik genellikle tabaka kalınlığı sabit tutularak, kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesiyle sağlanabilir. Yüksekliğin artması burulmaya sebep olabileceğinden dolayı yükseklik çapın yarısı ile sınırlandırılır. Düşük sönümlü kauçuk sistemlerde yer değiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak lineer değişim gösterir.

Bu sistemlerin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Üretimleri basittir
- Kolay modellenirler
- Mekanik özellikleri, ısı ve yorulma oranlarından etkilenmez.

Tek dezavantajı genellikle bütünleyici olarak sönümleyici bir sisteme ihtiyaç duyulmasıdır. Bu ek sistem çok dikkatli ve detaylı bir bağlantı gerektirir. Bir de metal sönümleyici eklenmesi durumunda, azda olsa yorulma eğilimi olabilir. Şekil 3.2’de düşük sönümlü kauçuk mesnet görülmektedir.



Şekil 3.2. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatör Mesnet

Doğal kauçuk yataklar ilk defa 1969 yılında Makedonya'nın başkenti Üsküp'te bir okul binasında kullanılmıştır. Fakat o dönem kullanılan büyük kauçuk bloklar günümüzdekilerden farklı olarak çelikle güçlendirilmiş plakalar içermiyordu ve yapı ağırlığı altında %25 civarında düşey deformasyon sergiliyorlardı. Elastomerik (doğal veya sentetik malzemedan yapılmış, biçimi bozulduğunda tekrar ilk haline dönebilen esnek bir kimya ürünü malzeme) yataklar yatay rijitliğin birkaç katı düşey rijitliğe sahiptir ve diğerlerine göre sönümsüzdür. Aynı zamanda sistemde kullanılan foam-glass bloklar (yakın hücre yapısında hafif donuk cam, karbon veya kireç taşı gibi kimyasal ajanlarla karıştırılarak hazırlanmış malzeme) aracılığı ile gerek rüzgâr etkisi altında gerekse düşük sismik etki altında binanın yatay hareketi engellenmiş olur.

Bu yapı tamamlandığı zamandan günümüze kadar doğal kauçuk yataklar üzerine birçok yapı inşa edilmiştir. Fakat bunlar çelik plakalarla güçlendirilmiş, bunun sonucu olarak ta düşey rijitlik artırılmış, yanal şişme ise azaltılmıştır. İç çelik plaklar yatay

rijitliğe nazaran 100 kat daha fazla düşey rijitlik sağlamaktadırlar. Bu çok katmanlı elastomerik yataklar apartman bloklarında, hastanelerde, konser salonlarında, demiryolu veya metro vb. gibi yapılarda titreşim yalıtımını sağlamaktadırlar.

Elastomerik yatakların günümüzde yüksek sönümü ve düşük sönümlü olmak üzere iki farklı türü mevcuttur (Naeim ve Kelly, 1999).

Bir Üretim Fabrikası: Bu yapı dört katlı olarak yapılmıştır. Uçuş simülatörlerini üreten bir yapıdır. Salt Lake City' de, Warm Springs ve East fayları arasında yer almaktadır. Yapı ölçüleri planda 85,34 m x 48,77 m dir. 98 izolatör üzerine oturmaktadır. Tasarım aşamasında yapılan maliyet karşılaştırmalarında sismik yalıtım lehine karar verilmiştir. Mühendisler taşıyıcı sistemin UBC' ye (Amerikan Yönetmeliği) uygun yapılmasına karar verdikleri için yapısal elemanlar geleneksel tasarımdakinin aynısı olmuştur. Dolayısıyla taşıyıcı sistemden tasarruf edilmemiştir.

Bridgestone Toranomon building; bilindiği gibi Bridgestone sismik yalıtım sistemlerini özellikle elastomerik tabanlı yalıtıcıları üreten ve geliştiren en büyük şirkettir. The Bridgestone Toranomon Ofis binası 12 adet laminant rubber bearing ile yalıtılmış ve 8 viskoz sönümleyici ile rüzgar ve düşük sismik etkilerde enerji soğurulması amaçlanmıştır. Büyük sismik etkilerde ise 25 adet çelik sönümleyicilerle de enerjinin dağıtılması ve soğurulması amaçlanmıştır.

Düşük sönümlü doğal kauçuk yataklar ve sentetik yataklar ilave sönümleme aygıtları ile birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Elastomer malzeme Japonya'da doğal kauçuktan yapılırken Fransa'da ise neoprene (yüksek moleküler yapıya sahip sentetik kauçuk benzeri bir ürün) malzemedен yapılmaktadır. İzolatör iki kalın plaka arasında yer alır. Kauçuk malzeme vulkanize edilmiştir ve bir kalıp içinde yüksek basınç ve sıcaklık altında tek bir işlemdе çelikle yapıştırılır. Çelik plakalar kauçuğun şişmesini ve düşey ötelenmeyi önler. Bunun yanında yatay rijitliğe bir etkisi yoktur. Yatay rijitlik elastomerin kayma modülü tarafında belirlenir. Kayma şekil değıştirmesi %100 e kadar lineerdir ve kritik sönümleme % 2 -3 civarındadır.

Malzeme yumuşamaya maruz kalmaz ve uzun dönem stabilite modüllerini korur. Tam bir lineer davranış gösteren sönümsüz izolatörlerin üretimi de mümkündür. Bir yalıtım sistemi için yapılmış böyle yataklar nükleer güç fabrikaları için önerilmiştir. Günümüzde bu tür yataklar keşfedilmiş olup, Almanya'da GERM Corp. Tarafından geliştirilmiş viskoz sönümleyicilerle birlikte kullanılmıştır.

Düşük sönümlü elastomerik yatakların birçok avantajı vardır:

- Üretim açısından basittirler,
- Modellemesi kolaydır,
- Mekanik reaksiyonları sıcaklıktan, kullanım süresinden, kullanım sıklığından ve yaşlılığından etkilenmez.
- Yatak kapasitesi geniş bir aralıktadır, bir tanesi 100 ile 2000 ton kapasiteye sahiptir.

Bu tür yatakların tek eksiği, tamamlayıcı bir sönümleme sistemine ihtiyaç göstermesidir. Bu tamamlayıcı sistemin ayrıntıları dikkat edilerek bağlanması gerekmektedir ve metalik sönümleyici kullanılır durumda düşük devirden dolayı yorulma eğilimi vardır.

Bu tip sistemlerin Japonya’da birçok uygulaması vardır. Şekil 3.3. ‘de düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet görülmektedir. Kullanılan sönümleyiciler histeretik sönümleyici türledir. Bu yaklaşımın bir varyasyonu lead-plug (kurşun tamponlu) yataklardır. 1970 li yıllarda Yeni Zelanda’ da geliştirilmiş lead-plug yataklar en sık kullanılan yalıtım sistemidir (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 3.3. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatör (Naeim ve Kelly, 1999)

3.3.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler

Kurşun çekirdekli mesnetler model olarak, düşük sönümlü kauçuk mesnetlerle benzer. Kauçuk katmanlarına sahiptir fakat bir ya da iki adet, bir delik içerisine

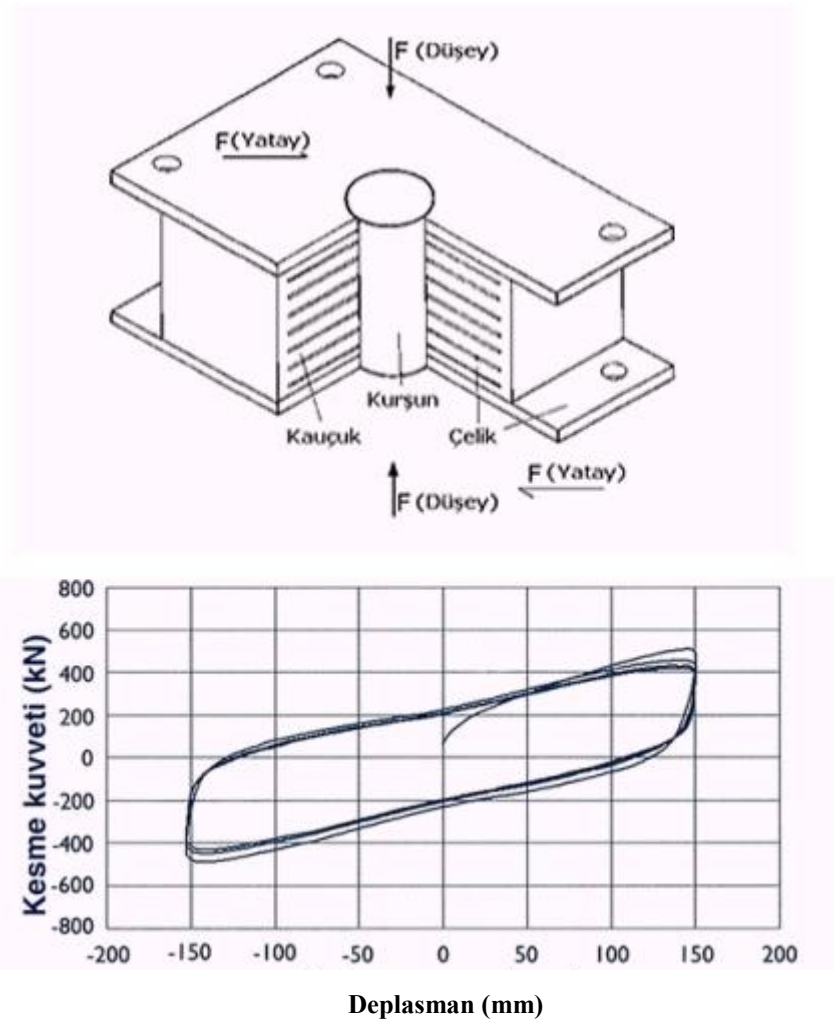
yerleştirilmiş kurşun çekirdek içerirler. Sistem yatay kuvvetlere maruz kaldığında çelik tabakalar, kurşun çekirdeği şekil değiştirmeye zorlar. Kurşun çekirdek ile elastomer güçlü bir şekilde birbirlerine bağlanmıştır. Ve kurşun çekirdeğin yaklaşık olarak akma gerilmesi 10 Mpa civarındadır. Kurşun çekirdeğin enerji absorbe edebilme kapasitesi izolatörün yatay yer değiştirmesini azaltmaktadır. Kurşun tamponlu bir mesnedin tipik bir kesiti Şekil 3.4'te görülmektedir.

Bu mesnetlerde malzeme olarak kurşun seçilmesinin nedeni kurşunun elastomerik mesnede yerli yerinde ve sıkıca yerleştirilebilmesidir. Ayrıca kurşun çekirdek, hem sönümü arttırmakta hem de düşük düzeydeki yüklerde, sistemin rijitliğini arttırarak yer değiştirmeleri kontrol altına alabilir. Aynı zamanda kurşun çekirdeğin akmasıyla birlikte mesnedin enerji tüketme kapasitesi de artacaktır.

Kauçuk üretimi şu şekilde gerçekleşmektedir; kauçuğa ozon dayanımı, mekanik dayanım, çekme dayanımı, rijitlik ve sönüm arttırıcı katkı maddeleri konulur. Rijitlik ve sönüm artışı için doğal kauçuğa karbon siyahı konulur ve malzeme karıştırılır. Daha sonra kauçuk özel koşullar altında rulo yapılır ve birkaç milimetre kalınlığında daire biçiminde kesilir. Ve kauçuklar kat kat yerleştirilir. Aralarına yine birkaç milimetre kalınlığında çelik levhalar konulur. Levhaların kauçuk lastiğe iyi yapışması için yüzeyleri temizlenerek parlatılır. Yüzeyle yapıştırıcı maddeler konulur. Bir kat kauçuk bir kat çelik kalıba konur ve sonra alt ve üst yüzeyler ile kalıp arasına kauçuk konur. 135°C de 14 saat bekletilir. Ve kauçuk ile çelik saclar yüksek ısı ve basınç altında preslenir (vulkanize edilir). Kauçuk katman vulkanize edilirken kalıptan çevreye taşabilir. Bu aşamada, çeliği paslanma ve yangın etkilerinden, çevreye konmuş olan kauçuk katman koruyacaktır. Bu mesnetten sönüm elde edebilmek içinde ortasına kurşun çekirdek yerleştirilir, kurşun çekirdek, yuvasından daha büyük tutularak kuvvetlice yuvaya yerleştirilmektedir. Kurşun çekirdekle kauçuk vulkanize işlemi sırasında birleştirilmektedir (Bayülke, 1998).

Bu sistemlerin en büyük dezavantajı güçlü depremlerden sonra mesnet içindeki kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin belirlenememesidir. Ancak bu sistemin yapılara uygulanmış ve büyük depremler geçirmiş birçok örneği mevcuttur.

Kullanılan izolatör dairesel olabileceği gibi köşeli olarak ta modellenebilir. Kuvvet- deplasman davranışı histeretik ve viskoz özelliktedir.



Şekil 3.4. Kurşun çekirdekli elastomerik mesnet (Bayülke, 1998)

Yeter derecede sönümlenme bileşenine sahip doğal kauçuğun geliştirilmesi ile tamamlayıcı sönümlenme aygıtlarına duyulan ihtiyaç ortadan kalkmıştır. Sönümlenme, extrafine karbon blokların, petrol veya reçinelerin ve patentli dolgu maddelerinin katılması ile artırılmış olur. Sönümlenmenin artırılması, %100 kayma şekil değiştirmesini, %10 -20 arasındaki seviyelere çekebilir. %20 den daha düşük bir şekil değiştirmede malzeme nonlineerdir ve daha yüksek bir rijitlik ile karakterize olur. Bu suretle rüzgâr yükü ve düşük seviyeli sismik yük altında tepki eğilimi minimize edilmiş olur. Şekil 3.5. 'de kurşun çekirdekli kauçuk izolator görülmektedir.

İzolatordeki sönümlenme tam olarak ne histeretik neden viskozdur, fakat bu ikisini arındırır. Viskoz sönümleyicilerde enerji dağıtma, ötelenme ile ikinci dereceden ilişki içindedir. Bu durum histeretik sönümleyicilerde lineer olma eğilimindedir. Ötelenmenin 3,4 -5 cm olduğu durumlarda ötelenme ile enerji dağıtım

döngüleri orantılıdır. Bu karakteristik, lineer viskoz ve elastoplastik sönümleyicilerle kombine olmuş yatak davranışının modellenmesini mümkün kılan bir avantajdır. Rastlantı sonucu keşfedilen diğer bir avantajı da bitişikteki metro gibi kaynaktan gelen yüksek frekanslı düşey titreşimleri yalıtmasıdır. (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 3.5. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör

Kurşun çekirdekli yataklar 1975 yılında Yeni Zelanda'da icat edilmiş ve Yeni Zelanda, Japonya ve ABD' de yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Kurşun tamponlu (lead-plug) yataklar düşük sönümlü kauçuk yataklara benzerler. Fakat içinde bir veya birden fazla kurşun tampon bir delik içerisine yerleştirilmiştir. Yatak içindeki çelik plaklar kayma etkisi altında kurşun tamponu deforme etmeye zorlarlar. Yatak içinde bulunan kurşun 10 MPa civarındaki bir akma gerilmesi altında fiziksel olarak deforme olur. Kurşun, yatak içerisine tam ve sıkıca yerleşmiş olmalıdır. Bu, kurşun tamponun yatak deliğinden az bir miktar büyük yapılarak ve yatağa girmesi için zorlayarak yerleştirilmesiyle sağlanır. Çünkü kurşun tamponlu yatağın etkili rijitliği ve etkili sönümlemesi ötelenmeye bağlıdır.

Elastomerik malzeme titreşimi yalıtırken, kurşun tampon sönüm üreterek enerjinin yutulmasını sağlar.

Bu yataklar Yeni Zelanda’da test edilmiş, model ve tasarımları için kullanım rehberleri çıkartılmıştır. 1995 Kobe’ de ve 1994 Northridge’ de çok iyi performans sergilemişlerdir.

The Toushin 24 Ohmori Building: Bu yapı zemin altı bir kat zemin üstü 9 kat olarak tasarlanmıştır. Yapı devamlı işleyen 2 adet demiryoluna bitişik olarak Tokyo da yer almaktadır. Yalıtıcı sistemden hem trafik titreşimlerini hem de sismik titreşimlerden korunma sağlanmıştır. Sistem Laminant LRB ile çelik çubuk sönümleyicilerinin kombinasyonu olarak geliştirilmiştir. Düşey mikro titreşimleri filtrelemek amacı ile LNRB deki kauçuk katmanlar kalınlaştırılmış ve düşey rijitlik azaltılmıştır.

Buradan yapı modeli için kullanılacak olan sismik izolatör mesnedi, kurşun çekirdekli mesnet olarak öngörülmüştür. Kurşun çekirdekli mesnetlerin matematiksel modellenmesine yüzeysel olarak değinecek olursak; modelleme her zaman doğrusal olmayan elemanlarla, elemanların karakteristik 3 parametresi esas alınarak yapılır. Bu parametreler ise, mesnedin elastik rijitliği “ k_1 ”, akma sonrası rijitlik “ k_2 ”, ve elastomerin karakteristik kuvveti “ Q ” dur. Elastik rijitlik hesaplanması zor bir büyüklüktür, bu yüzden deneysel olarak elde edilen bir katsayı ile akma sonrası rijitliğin çarpımına eşit alınır. Akma sonrası rijitlik ise (plastik bölgedeki rijitlik te denebilir), mesnedin kayma modülünden hesaplanabilir. Q ise kurşunun akma gerilmesinden hesaplanabilir.

Sistemin efektif rijitliği mesnedin histeretik döngüsel eğrisindeki parametrelerin maksimumları alınarak hesaplanan rijitliktir. Sistemde oluşan maksimum yatay deplasman “ D ”, plastik deplasman D_y ’ den daha büyüktür.

$$K_{eff} = k_2 + Q/D \quad D > D_y \quad (3.1)$$

$$\text{Akma deplasmanı ; } D_y = Q / (K_1 - K_2) \quad (3.2)$$

olarak ifade edilir.

$$\text{Sistemin doğal titreşim frekansı ise; } \omega = \sqrt{\frac{K_{eff}}{W}} = \sqrt{\omega^2 + \mu(g/D)} \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir.

Aynı zamanda efektif periyotta hesaplanmış olur.

$$T_{eff} = 2\pi / \omega \quad (3.4)$$

Burada;

W : Sistemde taşınan yük

μ : Q/W

$$\omega^2 : \sqrt{k_2 g / W}$$

T_{eff} : Efektif peryot

Kurşun çekirdekli döngüsel davranış eğrisi içinde kalan alan W_D , aynı zamanda mesnedin bir döngüde dağıttığı enerjiye eşittir. Bu durumda bir tam periyot zamanında dağıtılan enerji;

$$W_D = 4Q(D - D_y) \quad (3.5)$$

olur.

Sistemin genel efektif sönümü;

$$B_{\text{eff}} = \frac{\text{Döngüsel} \cdot \text{egrinin} \cdot \text{alanı}}{2\pi k_{\text{eff}} D^2} \quad (3.6)$$

Bulunan değerler yerine konulduğu zaman kurşun çekirdekli mesnedin efektif sönümü ;

$$B_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(k_2 D + Q)D}}$$

(3.7) şeklinde olur.

3.3.4. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Bu mesnetlerde doğal kauçuktan yapılmışlardır. Elastomerik mesnetler üst yapı ile temel arasında kullanılır. Katıksız doğal kauçuk mesnetlerin düşük ve orta derecede yer değiştirmelerde neredeyse sönümsüz bir davranış sergiledikleri bilinmektedir. Bu nedenle doğal kauçuk mesnetler, sönümleyiciler ile birlikte kullanılmışlardır. İlk defa İngiltere’de bir firma tarafından yüksek sönümlü kauçuk bileşimlerden oluşan izolatörleri piyasaya sürmüştür. Sönüm ilave edilen ekstra kaliteli karbon blokları, yağlar, reçine ve diğer özel doldurucularla arttırılarak yükseltilmiştir. Bu değişen özellikler dışında diğer özellikleri, üretim metotları, yapıştırma evreleri ve montaj tekniği aynıdır. Diğer bir fark ise kuvvet-yer değiştirme davranışlarıdır. İzolatörlerdeki sönüm ne histeretik nede viskozdur. İkisi arasında bir davranıştır.

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler yüksek enerji sönümleme kapasitesine sahiptirler. Boy uzamaları %20’den daha küçük olduğu zaman nonlineer davranır. %20–120 arası kayma modülü düşük ve sabittir, çok büyük şekil değiştirmelerde kayma modülü büyür. Yapının temel frekansı, deprem girdilerinin sıralanan en basit frekansından daha aşağıda tutulmuştur. Buna rağmen yapılan çalışmaların birçoğunda

görülmüştür ki, izolasyonlu sistemin düşük bir rijitliğe sahip olmasından ötürü, büyük deplasmanlar oluşmaz. Yüksek sönümlü sistemlerin kullanılması yüksek enerji dağılımı açısından güven vericidir. Şekil 3.6.'da yüksek sönümlü kauçuk mesnete örnek olarak gösterilmektedir. Bu sistemlerin avantajları şunlardır:

- Ortam titreşim derecesinin indirgenmesini sağlar.
- İzolatörler yüksek titreşim frekanslarını süzme dışında, trafik ya da yakın yeraltı tren yollarından doğan dikey titreşim durumlarını da filtre ederler.



Şekil 3.6. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet (Kelly, 2001)

3.3.5. Kayıcı Mesnetli İzolatörler

Kayıcı izolatörler, izolasyon ara yüzeyinde kesme kuvveti geçişinin sınırlandırılması ve yer hareketi sonucu ortaya çıkan enerjiyi sürtünmeyle sönümlendirme prensibine dayanmaktadır. İzolatörün periyodu, içbükey çapına bağlı

olarak kontrol edilir ve mesnetlenen yapının kütesinden bağımsızdır. İstenilen periyod değeri çap değiştirilerek elde edilmektedir.

Kayan sistem en basit ve en eski izolasyon sistemlerindedir. 1909 yılında İngiltere’de Doktor Johannes Calantarients tarafından bu sistemin kullanımı önerilmiştir. Doktor Calantarients yapıyı bir tampon tabaka ile temelden ayırmayı önermiştir. Bu metot görelî deplasmanlara dayanan yararlı bir metottur. Kayan mesnet için bir çok ortak malzeme kullanılır; dolu veya boş teflon, paslanmaz çelik gibi. Bu sistemin sürtünme karakteristikleri, ara yüzey hareketinin hızı, dayanıklılık derecesi, yüzey temizliği önem taşır.

Yaygın olarak kullanılan Düz kayıcı yüzeyler, Eğrisel Kayıcı Yüzeyler, Konikal Kayıcı yüzeyler olarak ele alınabilir.

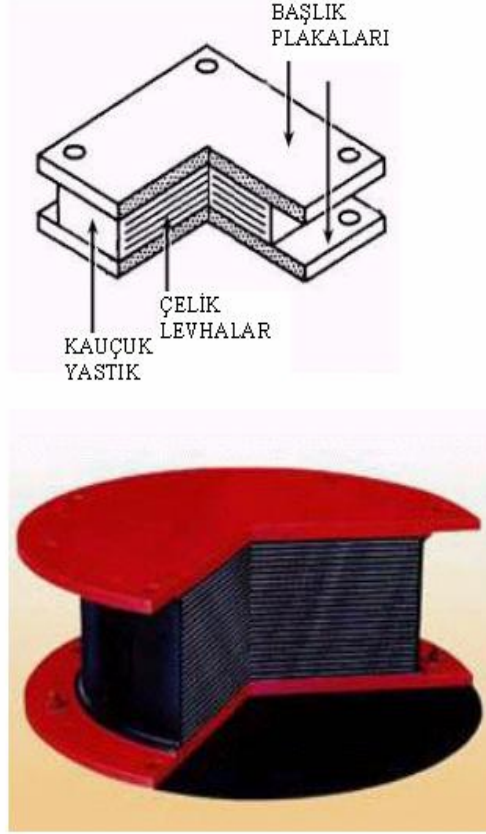
3.3.5.1. Fransız Elektrik Sistemi

Bu sistem 1970’li yıllarda Fransa’da “Nükleer Güç Santralleri” için geliştirilmiş bir sistemdir.

Sistem, çelikle güçlendirilmiş neopren mesnetlerle, paslanmaz çelikle temas halinde olan kurşun-bronz alaşımını birleştirirler. Çift parçadan oluşan kayma yüzeylerinden biri paslanmaz çelik, diğeri kurşun bronz alaşımdır. Bu teknoloji esasen nükleer santrallerde ve köprü mesnetlerinde kullanılır. Sürtünme katsayısı hizmet ömrü boyunca 0,2 g civarında kabul edilerek hesap yapılmaktadır. Sentetik yastık çok düşük deplasman kapasitesine sahiptir. Sürtünme yüzeyindeki neopren tabakanın çok düşük yer değiştirme kapasitesi vardır. $\pm 5,0\text{cm}$ ’den daha fazla olmaz.

Depremın tekrar eden yatay bileşenleri karşısında, titreşim izolasyonunun varlığı, memnuniyet verici sonuçlar göstermiştir. Pratik olarak titreşim izolasyonun yokluğu deprem titreşim hareketi ve düşey yükler için ciddi dezavantajlar doğurur. Çünkü çeklik levhalar dikey yönde sistemin rijitliğini arttırırken, neopren tabakalar yatay esnekliği sağlarlar. Enerjiyi sürtünmeyle emen bu sistemdeki elemanların değiştirilememesi ve onarılamaması gibi bir dezavantajı vardır. Sistemde enerji tasarlanana limiti aştığında yer değiştirmeler kalıcıdır. Nükleer santrallerin dikey doğrultuları aşırı derecede dikey titreşime maruz kalırlar ve bu nedenle bu sistemler nükleer santrallerde kullanım alanı bulmuştur. Güney Afrika’da büyük bir nükleer

santrale uygulanmıştır. Şekil 3.7.'de çelik plak tabakalı elastik mesnet örneği görülmektedir.



Şekil 3.7. Çelik plak tabakalı elastik mesnet (Kelly, 2001)

3.3.5.2. Bilye Mesnetler

Bilye mesnet yüzeyler, yapı altında temel ile yapıyı ayırarak sismik izolasyonu sağlarlar. Temelle zemin arasına yerleştirilen çelik bilyeler sürtünme mukavemetini sağlayarak küçük şiddette sarsıntılara karşı yapıyı izole ederler. Küçük şiddette deprem ve rüzgâr yüklerinin yapıya aktarılmasını önleyebilirler. Yatay yönde yapıya hareket serbestliği kazandırmış olmakla, birlikte dikey yönde rijitliği de muhafaza ederler. Fakat etkili bir sismik izolasyon, şiddetli depremlerde yapıyı yük etkilerinden izole edebilecek ve sonrasında kullanılabilirliği sağlayacak niteliklerde olmalıdır. Bilye mesnetlerde bazı yapıların korunmasında kullanım alanı bulmuştur.

3.3.6. Viskoz Sönümleyiciler ve Spiral Yaylar

Bir yapıya ilave edilmiş viskoz sönümleyiciler % 30 civarında bir kritik sönümleme sağlayabilirler. Bu da yapıdaki deprem etkisini önemli bir derecede azaltır. Viskoz sönümleyici, monte edildiği bir yapıda kat ivmelerini ve katlar arası ötelenmeyi % 50 den daha yüksek oran azaltabilmektedir.

Viskoz sönümleyiciler kuvvetin yarattığı sönümleme baskısıyla bir delikten sıvıyı iterek enerjiyi dağıtır. Bu sönümleme kuvvetleri yapıdaki ötelenmelerle oluşan kuvvetlere 90 dereceliktir. Bunun anlamı, sönümleme kuvvetlerinin sismik yükleri, yapısal deformasyonlara oranla önemli bir derecede arttırmadığıdır.

Yapılarda kullanılan viskoz sönümleyiciler, otomotiv sanayisinde kullanılan şok yutucularla etki açısından benzerdir. Fakat daha yüksek kuvvetlerle çalışırlar. Otomobil sönümleyicilerine göre çok daha büyüktür, en az 40 yıl ömre sahip olacak şekilde ve çok dayanıklı paslanmaz çelik malzemedен üretilmektedirler. Sönümleme sıvısı olarak yanmaz, zehirsiz, stabil ve uzun ömürlü silikon yağı kullanılmaktadır. Kullanılan sıvı yağ yüksek bir viskoziteye sahip, yüksek sıcaklığa ve çevresel etkilere dayanıklı bir malzemedir. Bu durum, çalışması esnasında viskozitesinde azalma olmamasını sağlar. Viskoz sönümleyicilerde kullanılan sıvılar, uzay araştırmalarında keşfedilmiş patentli ileri teknoloji ürünleridir.

Genentech FRC (USA/San Francisco, CA): 2002 yılında 3 katlı olarak yapılmıştır. Deprem etkilerinden kaynaklanan enerjiyi dağıtmak amacıyla 192 adet viskoz sönümleyici kullanılmıştır.

BC Polis binası (Canada/New Westminster): 4 katlı bina olarak 1939 da yapılmıştır. Bu binada yapı rijitliğindeki düzensizlikleri dengelemek için çelik çerçeve içerisine chevron çapraz kuşak şeklinde sönümleyiciler yerleştirilerek iyileştirme sağlamıştır. 12 adet viskoz sönümleyici kullanılmıştır. Şekil 3.8.'de vizkoz sönümleyici örneği görülmektedir.



Şekil 3.8. Viskoz Sönümleyici (Kelly, 2001)

Kauçuk esaslı ve kayıcı mesnetler, genellikle yatay yönde izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılırlar. Düşey yönde de izolasyon sağlamak isteniyorsa, kullanılması tercih edilen izolasyon sistemleri, helezoni yaylardan oluşan sistemler olmalıdır. Çelik spiral yaylar ve viskoz sönümleyiciler; mukavemet ve sönümü tüm üç boyutta sağlarlar. Tüm serbestlik derecelerinde sistem yaklaşık olarak 1–5 Hz arasında doğal frekans oluştururlar. Gerçek spiral yaylar kullanılarak yapı desteklenir ve net sismik etkinin minimuma indirgenmesi amacıyla, yapının doğal titreşim periyodu istenen seviyede tutulur. Büyük çelik spiral yaylar dikey ve yatay doğrultuda esnektir. Çelik yaylar sönümleyici özellik taşımazlar ve böyle sistemler daima viskoz sönümleyicilerle birleştirilerek tamamlanırlar. Böylece büyük yer değiştirmeler viskoz sönümleyiciler tarafından önlenir. Şekil 3.9.'da spiral yay kullanılan sismik izolasyon örneği görülmektedir.

Bütün üç boyutlu sistemlerde yatay hareket ve deprem hareketi arasında güçlü bir bağ vardır, çünkü her iki hareket esnasında yapının kütle merkezi, izolasyonlu sistemin kütle merkezince taşınır. Bu tip sistemlerde pratik durumda yük merkezi ile kütle merkezi benzer seviyeye getirilir. Örneğin nükleer güç santrallerindeki reaktörler gibi.

Spiral yaylar ve viskoz sönümleyiciler endüstriyel uygulamalarda, mekanik titreşim izolasyonu içinde zorunludur. Dünyada önemli üretimi ve dağıtımı yüzyıldan daha fazla bir süreden beridir yapılmaktadır. Şekil 3.9.'da spiral yaylı bir izolasyon mesnedi görülmektedir.



Şekil 3.9. Spiral yaylı izolasyon mesnedi (Kelly, 2001)

3.3.7. Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyonu Mesnedi

Bu sistem birçok tekil kayıcı mesnet ara yüzeyinde kullanılan, kayma hızı ve sürtünme katsayısı yüksek, paslanmaz çelikten ve teflondaki problemlerin üstesinden gelmek için, merkezi ve çevresel kauçukla birleştirilerek geliştirilmiştir. İzolasyon mesnedi, birbirleriyle sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plaklardan ve merkezi kauçuk sistemden oluşturulmuştur. Zira hız, mesnedi alt ve üst kısımlarının arasından katman sayısı kadar böler. Böylece her tabakaya düşen hız düşük olur. Kayıcı elemanlar eklendiğinde, düşey yükler kauçuğun merkezi tarafından taşınmaz, fakat yük dönüşümünü sağlar. Bu sistem test edildiğinde, kauçuk çekirdeğin, deplasmanların tekil ara yüzeyde toplanmaya başlamasını engellemediği bulunmuştur. Yani kauçuk çekirdeğin ara yüzeyindeki yer değiştirmeler yüzler boyunca homojen olarak dağılması sağlanamamaktadır. Bu yüzden kauçuk çekirdeğin içine merkezi çelik çubuk yerleştirilmiştir ve izolasyon sistemi birbirileri üzerinde kayabilen yassı halkalardan oluştuğu için, kayıcı tipli izolasyon sistemleri grubuna girer.

Esnek sürtünmeli sistem rijitlik merkezi ile kütle merkezi izolasyon seviyesinde çakıştırıldığından, simetrik olmayan yapıların düzenlenmesinde de kolaylıkla kullanılır. Sistemdeki sürtünme, rüzgâr gibi düşük genlikli yanal hareketlerden tabanı korumaktadır. Ağırlık yükleri genellikle daha rijit olan kayıcı bölümlerle taşınmaktadır.

Bu da ağırlık yükleri altında sünme ile ilgili problemleri azaltır ve böylece sistemin yer değiştirme kapasitesini ve stabilitesini de artırır.

3.3.8. Sürtünmeli Sarkaç Mesnedi

Bu tür sönümleyicilerde enerji dağıtma yöntemi olarak ‘’ sürtünme’’ kullanılır. Çeşitli tipte donanımları geliştirilmiştir. Bunlar yüksek enerji yutma kapasitelerine sahiptirler. Bu tür sönümleyiciler diyagonal kuşaklar şeklinde yerleştirilirler. Fakat duvar üstü ile giriş arasına yatay olarak da yerleştirilebilirler.

Sürtünmeli sönümleyicilerin çoğu kendine merkezlenmiş kuvvet üretecek tarzda konfigure edilmelerine rağmen dikdörtgen biçimli çevirim halkaları oluştururlar.

Sürtünmeli sarkaç sistemi enerji dağıtma modellerinin en yenilerinden biridir. Bu sistemler sürtünme vasıtasıyla enerji sönümleme yönteminden yararlanan izolasyon sistemleridir. Modelleme yapı sisteminin basitleştirilerek sarkaç hareketine uyarlanması ile depremden yapıya ulaşan enerjinin metalik yüzeylerde sürtünerek kısmen yada tamamen kaybolması prensibine dayanır. Kayma hareketi ve kuvvet geometrisini geri koyma kombinasyonlarından oluşur. Sürtünmeli sarkaç izolatörü, sarkaç karakterleri kullanılarak yapının doğal periyodunun uzamasına ve dolayısıyla güçlü deprem kuvvetlerinden kaçınılmasını sağlar. Bu yöntemde izolasyonun rijitliği ve yapının titreşim periyodu, sürtünene eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilir. Sürtünmeli sarkaç izolatörü paslanmaz çelikten yapılmış küresel bir yüzey içinde, kayıcı mafsalların taşınmasından oluşan bir sisteme sahiptir. Kayıcı mafsalları, küresel yüzeye kaplanarak birleştirilmiş ve düşük sürtünmeli kompozit bir malzeme oluşturulmuştur. Kaydırıcının diğer kenarı da küresel bir oyukla kaplanmıştır. İçbükey yüzeyin eğrilik yarıçapının seçilmesiyle izolatörün periyodu basitçe seçilir. Bu yapı mesnetlerinin kütlesine bağlı değildir. Yapının burulması minimuma indirilmiştir. Çünkü yük merkezi ile kütle merkezi otomatikman çakışır. İzolatörlerin periyodu seçilen içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı ile kullanılır.

Sürtünmeli sarkaç mesnedin üzerindeki rijit mesnetli yapının doğal titreşim periyodu, sarkaç eşitliğinden şöyle tanımlanır:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{R}{G}} \quad (3.8)$$

R: İçbükey yüzey eğrilik yarıçapı

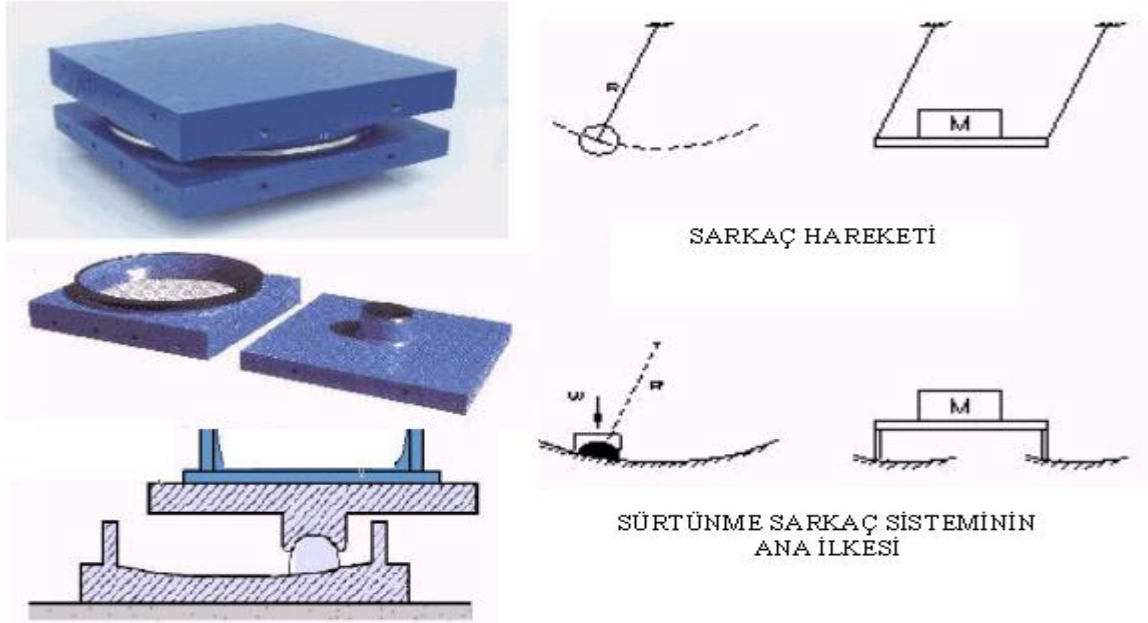
Sürtünmeli sarkaç mesnedi esnek özelliğe sahiptir. Kayma periyodu 3'ten 2'ye indirgenir, taban kesme ve ivmelenme deplasmanları değişir. Sürtünme katsayısı 0,10'dan 0,05'e indirgenerek, taban kesme kuvveti ve ivmelenme deplasmanları değişir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetleri seviyesinin altına geçtiğinde, sürtünmeli sarkaç mesnedi, ankastre mesnede benzer ve izolasyonsuz titreşim periyodu oluşur. Bir kez sürtünme kuvvetleri seviyesi aşıldığında yapının titreşim periyodu davranışı, dinamik davranışla birlikte sönüm, mesnet özellikleri tarafından kontrol edilir.

Sürtünmeli sarkaç mesnedinin yapı mesnetlerinin kütesinden bağımsız olduğu gerçektir ve önemli özellikleri yapı tarafından kontrol edilir. Periyot ağır yada hafif yapılarda değişmez, eğer yapının ağırlığı değişirse veya farklı kabul edilirse de periyot değişmez.

Sürtünmeli sarkaç sistemi elastomerik sistemlerde söz konusu avantajların hepsine sahip olduğu gibi kauçuk izolatörlerde dezavantaj sayılan hususları da içermemektedir.

Sürtünme sarkacı (Friction Pendulum) Sistemi sürtünme yoluyla yalıtım sağlar. Sistem, geometrisinden kaynaklanan kuvvetle tekrar ilk haline gelecek şekilde yapılmıştır. Şekil 3.10. 'da sürtünmeli sarkaç sistemi örneği görülmektedir.

Sürtünme sarkacı sistemindeki izolatörler küresel paslanmaz çelikten bir yüzey ve onun üzerinde hareket eden mafsallanmış kayıcıdan oluşmuştur. Kayıcının küresel yüzeyle temas halindeki yüzeyi düşük sürtünmeli kompozit malzeme ile kaplanmıştır. Kayıcının diğer yanı küresel olup paslanmaz çelik ile kaplanmıştır. Bu kısım bir küresel yüzey içerisine oturmuştur. Oturduğu yüzey, düşük sürtünmeli kompozit malzeme ile kaplanmıştır. Kayıcı, küresel yüzeyde hareket ederken, üstündeki yapı kütesini kaldırmak için destekler ve sistem için geri çağırma kuvveti bu şekilde sağlanmış olur. Mafsallanmış kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünme, izolatörde sönümlenmeyi sağlar. İzolatörün etkili rijitliği ve yapının yalıtım periyodu, küresel yüzeyin eğrilik yarı çapı tarafından kontrol edilir. Sürtünme katsayısı kayma hızına ve basınca bağlıdır. Artan basınç ile kat sayı azalır ve 51 mm/s nin üzerindeki hızlarda ve 0,137 MPa dan daha büyük basınç da sürtünme aşılmış olur. Eğer ötelenme belirli bir yarıçap faktöründen daha düşük ise, geri çağırma kuvveti sürtünme kuvvetinden daha küçük olur ve dolayısıyla sistemde geri çağırma gerçekleşmez (Kelly, 2001).



Şekil 3.10. Sürtülmeli Sarkaç Sistemi (Kelly, 2004)

3.3.9. Çapraz Raylı İzolasyon Mesnedi

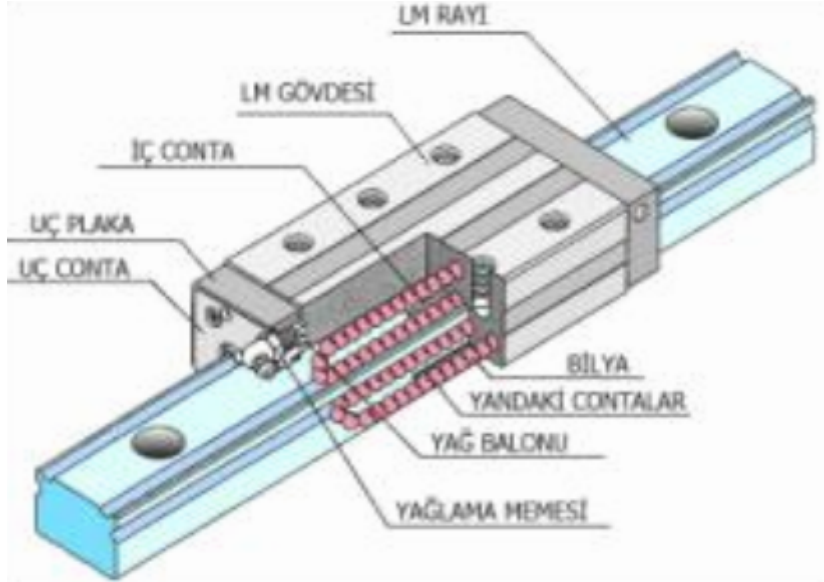
Çapraz raylı sistemler alışlagelmiş ince tabakalı kauçuk izolatör kullanımında ortaya çıkan ve izolatörün burkulması ya da çekmeden kaynaklanarak kopması gibi mühendislik sorunlarını gidermek için tasarlanmıştır. Pek çok deneysel veriler, deprem kayıtları, teori ve analiz sonuçları ile kıyaslanmış olan bu sistemler, tüm deneysel ve aplikasyon çalışmalarında üstün bir performans göstermiş, uygulanabileceği hususunda gerekli kriterleri sağlamıştır.

Bu sistemlerle amaçlanan:

- Sismik izolasyonu, hafif yapılara (ahşap ve çelik evler gibi) uygulayabilmek.
- Sismik izolasyonu, yüksek yapılara ve kule şeklindeki yapılara uygulayabilmek.
- Sismik izolasyonu, zemin taşıma gücü çok düşük zeminlerde inşa edilecek yapılara uygulayabilmek.

Bu sistemlerde sismik izolatörün iç mekanizması şöyledir; izolatör, kayan çelik bir gövdeden ve üzerinde bilyelerin hareket edebileceği yivler bulunan bir raydan meydana gelmektedir. Gövde ile ray arasında yuvarlanarak hareket eden çelik bilyeler bulunmaktadır. Gövde çok az sürtünme kuvveti ile hareket eder. Bu tip izolatörler yatay düzlemde birbirine dik doğrultuda çapraz olarak hareket ederler. İzolatörün taşıma kapasitesini, çelik bilyelerin çapı, etkili bilye sayısı ve ray adeti belirlemektedir. Bu

sistemlerde sismik izolasyonun kule tipi ve yüksek yapılara olduğu gibi hafif yapılara da uygulanması ve zemin taşıma gücü düşük olan zeminlere de sismik izolasyonun uygulanabilmesi hedeflenmiştir (12th World Conference on Earthquake Engineering, 1950).



Şekil 3.11. Çapraz Raylı Mesnet (Kelly, 2001)

Metal sönümleyicilerde, metallerin inelastik sınırları içindeki deformasyonu aşamadaki histeretik davranışlarından yararlanılarak enerji yutulur. Yani enerji dağıtılmasını ve yutulmasını, malzemenin çevrimsel inelastik davranışı ve bazı artık deformasyonlarla davranışın sonlanmasını sağlar. Enerji dağıtmayı sağlayan çevrimsel inelastik deformasyon bir histeretik döngü biçimindedir. Artık deformasyonlar yutulan enerjinin miktarını gösterir. Bu işlem genellikle histeretik sönümleme olarak adlandırılır.

Aygitların uzama, kesme ve bükülme deformasyonları ile enerji dağıtan çok sayıda türü geliştirilmiş ve test edilmiştir.

Histeretik sönümleyiciler genel olarak çelik malzemenin üretilir ve eğilmeye, kesmeye veya uzamaya çalışacak şekilde tasarlanabilir. Kesmeyi karşılayacak şekilde kurşun malzemenin de üretilebilir. Sönümleyiciler sismik kat ötelenmeleri esnasında deformasyon yapacak şekilde konfigure edilir.

Eksenel çalışan histeretik sönümleyiciler çapraz kuşaklı olarak yerleştirilebildiği gibi, kolona komşu duvarın üst kısmına yatay olarak da yerleştirilebilirler. Kesme veya eğilme etkili sönümleyiciler kat üzerindeki hatıl alt yüzünden panel duvarın tepesine bağlanacak şekilde yerleştirilebilirler. Panel duvara alternatif olarak bir çelik çerçeve de kullanılabilir. Bir yapıya giydirilmiş paneller kullanılarak kesme ve eğilme etkili sönümleyicilerin monte edilmesi tavsiye edilir. Sönümleyicilerde kullanılan yumuşak çelik, pekleşme sonrasında büyük bir akma şekil değiştirmesi yapabilir. Bir çelik sönümleyicide şekil değiştirme seviyesine bağlı olarak, ötelenme ile birlikte kuvvet de artmaktadır.

Bazı histeretik sönümleyicilerin konfigürasyonu (örneğin kuşak tarzında olanlar) bir yapısal elemandan ayırt edilemezler. Gerçekte de bir yapısal eleman gibi davranış sergilerler. Aygıtların kurulma amacı yapı içi sönümlemedir ki bunların enerji dağıtma fonksiyonları dayanım ve rijitlikten daha önemli bir özelliktir. Çok itinalı bir tasarım yapılmadıkça histeretik sönümleyiciler, işlevlerini gerçekleştiremezler. Sönümleme işlevini tam anlamıyla sağlayamasa da, başlıca etkinliği başlangıç elastik rijitliğidir. Daha yüksek rijitlik demek, daha yüksek enerji dağıtma özelliği demektir.

Histeretik bir sönümleyici yapısal bir eleman gibi davranırsa bile, tasarımda sönümleyici tasarım prosedürleri izlenmelidir. Çünkü sönümleyici genellikle yapı var olmadan önce (histeretik davranışı sağlayacak şekilde) tasarlanacaktır. Tasarım yükü seviyesinde ise gerçekte nonlineerlik söz konusudur. Oysa geleneksel tasarımda lineer elastik davranış kabulü yapılmaktadır.

Güney Kaliforniya Üniversitesi Hastanesi(1989): 17 Ocak 1994 tarihinde Northridge' de 6,7 Mw' lik bir deprem olmuş ve bu depremde şartnamelere uyan birçok yapı hasar görmüştür. Fakat depremde hasarlı yapıların tam ortasında yer alan Güney Kaliforniya Üniversitesi Hastanesi zarar görmemiştir. Çünkü yapıda sismik izolatörlerle taban yalıtımı uygulanmıştır. Deprem sonrasında onarıma bile gerek duyulmamıştır. Devam eden artçı şoklarda bile hastane içinde operasyonlar devam etmiştir. Bunun tam tersine Güney Kaliforniya Üniversitesi Hastanesine bir km den daha yakın bir sağlık merkezinde 400 milyon dolarlık zarar ortaya çıkmıştır. Ayrıca hassas tıp ekipmanları da işlevini kaybetmiştir. Taban yalıtımının maliyeti, yalıtımsız olana göre %2 daha fazla olmuştur.

Güney Kaliforniya Üniversite Hastanesine 8 katlı bir eğitim hastanesi olarak kullanılmaktadır. Bu hastane çevresine yerleştirilen çelik kuşaklarla desteklenmiş ve 149 adet izolatör ile tabanı yalıtılmıştır. Sismik tasarım, fay etkisinden dolayı %20 arttırılmış olan 0,4g'lik davranış spektrumuna dayanmaktadır. Taban yalıtımı kararı projenin ön tasarım aşamasında alınmıştır. Geleneksel yapı ile maliyet karşılaştırmasında taban yalıtımının daha ekonomik olduğu kaydedilmiştir. Taşıyıcı sistemden yapılan tasarrufun yalıtım sistemi için kullanılmasına karar verilmiştir. %1,3 civarında mekanik ve mimari detaylardan kaynaklanan bir artışa karşılık, %1,4 civarında perde duvarlardan dolayı tasarruf sağlanmıştı (yalıtım sisteminde perde duvar zemine mesnetlenmediği için geleneksel yapıya nazaran daha küçük hacimdedir). Dolayısıyla bir maliyet artışı söz konusu olmamıştır.

3.3.10. Yay Tipi Sistemler

Elastomerik ve kaymalı yalıtım sistemleri, yatay yalıtım sağlamak amacıyla kullanılacak şekilde konfigüre edilmişlerdir. Üç boyutlu(3-D) bir yalıtım gerekli olduğu zaman, elastomerik yataklar bu amaçla kullanılmamakta, bunun yerine genellikle yay tipi izolatörler kullanılmaktadır.

3.3.10.1. GERB Sistemi

Güç santrallerinde önemli ve hassas ekipmanların titreşimden yalıtılması için geliştirilmiştir. Dev helozonik çelik yaylar kullanılarak hem düşeyde hem de yatayda titreşim kontrolü sağlanır. Düşey frekanslar yatay frekansın 3-5 katı kadardır. Çelik yaylar tamamen sönümlemesizdir, sönümleme işlemi genellikle GERB viskoz sönümleyicileri ile sağlanır. Tüm 3 boyutlu sistemlerde yatay hareket ve sarsıntı hareketi güçlü kuvvet çiftlerini ortaya çıkarır. Çünkü yalıtılmış yapının ağırlığı yalıtım sisteminin rijitlik merkezi üzerindedir. Bu tip sistemler kütle merkezinin ve rijitlik merkezinin aynı seviyede bulunduğu yere uygulanmalıdır. Sistem Makedonya' nın Üsküp kentinde bir sarsıntı tablasında Huffman tarafından test edilmiştir. California Santa Monica da iki katlı çelik bir eve uygulanmıştır. 1994 yılında Northridge depreminde evin davranışı güçlü hareket aygıtlarıyla gözlenmiş ve yalıtım sisteminin sarsıntı hareketinden kaynaklanan ivmeyi azaltmakta etkili olmadığı görülmüştür (Naeim ve Kelly,1999).

3.3.10.2. Sleeved-Pile Yalıtım Sistemi

Derin kazık temeller kullanılması gereken durumlarda; örneğin çok yumuşak zeminler üzerindeki yapılarda yatay yöndeki esnekliği sağlayacak bir yalıtım gerektiğinde, avantajlı olan bir sistemdir. Bu sistem 1983 de taban yalıtım projelerinin ilklerinden olarak Yeni Zelanda Auckland da uygulanmıştır. Yapı yumuşak bir zeminde yer alıyordu. Zeminden itibaren 10m derinliğinde kazıklar inşa edilmiştir. Kazıklar 150 mm boşluklu çelik borularla kaplanmıştı. 12 katlı betonarme yapı harici kuşaklarla güçlendirilmiştir. Üst yapı çok rijit olup kazıklar üstündeki yapının periyodu 4 s civarındaydı. Bu sistemde, binanın çevresine zemin seviyesinde yerleştirilen ve gittikçe incelen çelik plaka setlerinin elastoplastik deformasyonu ile sönümleme sağlanmıştır. Sönümleyiciler kazıkların tepesine yerleştirilmiş ve desteklenmiş taban yapısının bağımsız hareketine karşı koyacak şekilde tasarlanmıştı. Bu şekilde yapı periyodu 2 s civarına çekilmiş ve sönümleme kat sayısı % 12' ye yükseltilmiştir.

3.3.10.3. Rocking Sistem

Stabilite sorunu olan çok yüksek narin yapılarda kaçınılmaz olarak oluşan devrilme momenti, zemin seviyesinde bir gerilme oluşturur. Böyle binaların zemine ankrajlanarak bu gerilmenin karşılanması oldukça pahalı bir çözümdür. Bir alternatif olarak kolon (köprülerde olduğu gibi) temelde bildirilebilir. Kısmi yalıtım sağlayan bu tarzda yapıdan geçen sismik yükler azaltılmış olur (Kelly, 2005).

Rocking yalıtım sistemleri enerji dağıtmanın özel bir durumudur ki, bu yanan harekete izin veren klasik yalıtım tanımıyla uyuşmaz. İnce uzun yapılar için kullanılan bu sistemin mantığı “ sarsıntı genliğinin artmasıyla birlikte davranış periyodunun artması” prensibine dayanır. Bu periyot değiştirme etkisini sağlar. Servis yüklerine dayanım yapı ağırlığı ile sağlanır. Sönümleme ise ilave edilen sönümleyicilerle sağlanabilir (Kelly, 2001).

3.3.11. Kayma Esasına Dayanan Yalıtım Sistemleri

Kayma esasına dayalı sistemleri yalıtımın basit ve ilk örneklerindedir. 1909 yılında İngiltere’ de tıp doktoru J.A. Calantarients, magnezyum silikat pudrası ile yapıyı ayırmayı önermiştir.

Daha öncesinde 1908 yılında İtalya’da yığma binaların altında 160 bin kişinin öldüğü şiddetli bir deprem sonrası, hükümetin önerdiği depreme dayanıklı yapı tasarım stratejilerinden biride taban yalıtımıydı. Deprem sonrası kurulan bir komisyon güvenli ve ekonomik olacak şekilde yeniden yapılanma kararı almıştı. Komisyon iki yaklaşım önermiştir: Birincisi yapının temel ile üstyapı arasına yerleştirilen bir kum katmanı ile yalıtılması, ikincisi ise binaların yapımında deprem kuvvetlerini dikkate alarak tasarımın gerçekleştirilmesi. Bunlardan ikincisi kabul edilerek uygulamaya konulmuş ve yalıtım kullanılmamıştır. Önerilen yalıtım, kayma esasına dayandırılmıştır.

Daha sonraki dönemde 1930 ve 1934 yıllarında Dhubai ve Bihar şehirlerinin Hindistan depreminde, temeli üzerinde kayan küçük yığma binaları hasar görmemesi ve sabit tabanlıların hasar görmesi dikkati çekmiştir. Gözlemlere dayanarak ve elastomerik yatakların küçük yığma binalar için pahalı olmasından dolayı kayma esasına dayanan yalıtım A.S.Arya tarafından önerilmiştir. 1976 Çin depreminde de mühendisler benzer olguları gözlemlemişlerdir.

Bu sistemin teorik analizlerinde Coloumb sürtünme kabulü kullanılır. Fakat bu yaklaşımın gerçek davranışı tam olarak ifade etmesi mümkün değildir. En yaygın kullanılan kayma yatağı malzemeleri paslanmaz çelik üzerinde teflondur. Sistemin sürtünme karakteristikleri sıcaklığa, hıza, yüzey temizliğine bağlıdır (Naeim ve Kelly, 1999).

a) Electric-de-France Sistemi

Bu sistem 1970’li yılların başında nükleer santralde uygulanmak için geliştirilmiştir. Sistem 0,2 g’ lik bir sismik harekette ekipmanlar için güvenli olacak derecede kaliteli olarak üretilmişti. Sistemde katmanlı elastomerik yatakların tepesine monte edilmiş paslanmaz çelikten olan sürtünme yüzeyi ile temas halindeki neoprene yataklar, kurşun-bronz alaşımıyla olmuştur. Bu sistem Güney Afrika’da yalnızca bir tek nükleer santralde uygulanmıştır.

b) EERC Kombine Sistemi

Kayma sistemi ile elastomerik yatakların kombinasyonu şeklinde geliştirilmiş ve EERC da sarsıntı tablasında test edilerek denenmiştir. Bu sistemde yapının iç kolonları paslanmaz çelik üzerinde kayan teflon yataklara, dış kolonları ise düşük sönümlü doğal

kauçuk yataklara oturur. Elastomerik yataklar binanın yeniden merkezlenmesini ve yapının burulmasını kontrol altına alınmasını sağlarlar. Kayma elemanları ise sönümlemeyi sağlarlar.

c) TASS Sistemi

TAISEI Corporations tarafından Japonya da geliştirilmiştir. Bu sistemde düşey yükler teflon-paslanmaz çeliklerle taşınır, yük taşımayan katmanlı neoprene yataklar yeniden merkezlenmeyi sağlarlar. Teflon kayma yüzeyi 10 MPa lık bir basınca sahiptir ve sürtünme kat sayısı düşük hızlarda 0,05 ve yüksek hızlarda ise 0,15 aralığında seyreder. Bu sistemin dezavantajı elastomerik yatakların düşey yük taşımasıdır. Hıza duyarlı kayma yüzeyleri de modellemeyi güçlendirmektedir.

d) Resilient-Friction Taban Yalıtım Sistemi (R-FBI)

Resilient-Friction taban yalıtımı yatağı bir yatak içerisinde ki birçok teflon kaplı paslanmaz çelik katmandan oluşur. Bu katmanlar arasında yüksek bir sürtünme kuvveti vardır. Deprem sırasındaki yüksek hızlarda, yalıtım sistemi, paslanmaz çelik üzerindeki teflonun yüksek sürtünme kuvvetini aşmaya çalışır. Hız, yatağın katmanları sayısına bölünmüştür. Her bir yüzeyde hız düşük seviyede kalır. Bu da düşük bir sürtünme katsayısını sağlar. Kayma elemanlarına ilave olarak yatağın merkezine kauçuk bir tampon yerleştirilmiştir. Bu tampon düşey yük taşımaz ama yapının yeniden eski konumuna dönmesini sağlar. Kauçuk tamponun merkezine yerleştirilen bir çelik çubukla kayma yüzeyleri arasındaki ötelenme dağılımları iyileştirilmiştir.

3.3.12. Viskoelastik Sönümleyiciler

Bir malzemenin deformasyon fonksiyonu bir tane ise bu malzeme elastik sayılır. Benzer şekilde, gerilme ifadesi yalnızca deformasyon oranlarına bağlı ise malzeme viskoz olduğu söylenir.

Bu aygıtlarda enerjinin dağıtılmasını sağlayan malzemenin viskozitedir. Bu olay, deformasyonların zamana göre değişimine bağlıdır. Bu durum malzeme sönümü olarak da adlandırılır.

Viskoelastik sönümleyiciler, sönüleme kuvvetine bağımlı bir rijitlik sağlarlar. Fakat sönümlemeye ilave olarak elastik bir rijitliğe de sahiptirler. En büyük ortak

yönleri, iki dış plaka ile bir merkezi plaka arasına yerleştirilerek yapıştırılmış iki polimer katmanla biçimlenmiş olmalarıdır.

Kelly (2001) 'nin yaptığı araştırma çalışmalarına göre sönümleyicilerin seçiminde kullanılabilecek birkaç genel kuraldan bahsetmek mümkündür.

- Histeretik sönümleyicilerin diğerlerine göre etkisi daha azdır. Kat ötelenmesi % 2 den daha büyük veya yapı periyodu 1,5 saniyeden fazla olanlar için kat ötelenmesini orta derecede azaltmaktadırlar. Histeretik sönümleyici, artan elastik rijitlikle bir sürtünme sönümleyicisi gibi davranabilir. Eğer histeretik sönümleyici kullanılmış ise, minimum gerekli akma dayanımı en az kat ağırlığının %3 ve periyot arttıkça dayanımda arttırılarak uzun periyotlu ($> 2,5$ s) yapılar için en az %10 olması gereklidir. Eşit dağılım sağlanmış bir yapıda histeretik sönümleyiciler verimlidir.
- Sürtünmeli sönümleyiciler yapıların birçoğu için verimlidir. Artan kesme kuvvetiyle verimlilik de artmaktadır. Kesme kuvvetinin, uzun periyotlu yapılarda kat ağırlığının %16 sı, orta periyotlu yapılar için kat ağırlığının %9 u olması durumunda kat ötelenmesinde orta derecede azaltma başarılabilir.
- Viskoz sönümleyiciler bütün yapılar için verimlidir. Kat ötelenmesinde orta derecede bir azaltma (en az %15) amaçlanmış ise 5 katlı yapı için, 3 veya 10 katlı yapıya nazaran daha küçük bir sönümleme sabiti gereklidir. %30 oranında veya daha fazla bir azaltma için artan yapı periyodu ile birlikte sönümleme sabiti arttırılmalıdır. Kat ağırlığının en az %16 sı kadar sönümleme kuvveti sağlayacak şekilde yüksek sönümleme sabiti gereklidir. Bazı durumlarda bu değer %70 e kadar çıkabilir.
- Viskoelastik sönümleyiciler eklenmiş yapının performansında, yapının karakteristikleri etkili olmaktadır. Dolayısı ile yalnızca periyodu aynı olan farklı bir yapıda uygulandığında aynı performansı göstermeyebilir.

Pearson Airport (Canada/Toronto): 2003 yılında hava trafik kontrol kulesi olarak inşa edilen bu yapıda rüzgar etkisiyle oluşan titreşimlerin kontrolü amacıyla TMD'nin bir parçası olarak viskoz sönümleyiciler Taylor Inc. tarafından kurulmuştur(8 adet 31kN, 89 mm vuruşlu).

HP Invent building 5 (USA/Corvallis): HP nin rijit ekipmanların üretimini yapan bu bina, çapraz kuşaklara yerleştirilen viskoz sönümleyicilerle depreme karşı Taylor Inc. tarafından iyileştirilmiştir. Toplam 18 adet 400 kN, 100 mm vurgulu ve 135 kN, 100 mm vurgulu sönümleyicilerle sismik enerjinin dağıtılması amaçlanmıştır.

3.4. “Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” e Göre Eşdeğer Yük Metodu

Toplam statik eşdeğer taban kesme kuvveti V_t , göz önünde bulundurulmuş deprem doğrultusunda, yapıda oluşan en büyük taban kesme kuvvetidir. Bu kuvvet, Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkında Yönetmeliği’nde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$V_t = \frac{A_0 I S}{R} W \quad (3.9)$$

Burada ;

V_t : Göz önüne alınan deprem doğrultusunda yapıda oluşan toplam taban kesme kuvveti

A_0 : Etkin yer ivmesi

I : Bina önem katsayısı

S : Spektrum katsayısı

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

W : Yapının hareketli yük katılım katsayısı eklenerek hesaplanana toplam ağırlığıdır.

Bu durumda her bir kat tarafından alınan sismik yükün hesabı:

$$F_i = \left(\frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i} \right) V_t \quad (3.10)$$

F_i : i katınca taşınan sismik yük

W_i : i katının hareketli yük katılım katsayısı ile hesap edilen ağırlığı

H_i : i katının yüksekliği

3.5. Amerikan Standart Yapı Kanunları (UBC- 97) Yönetmeliği

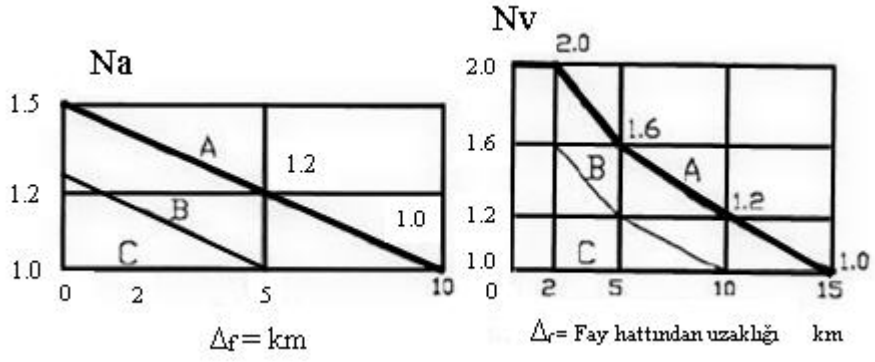
Amerikan Standart Yapı Kanunları Yönetmeliği, yer değiştirmenin taban izolasyon seviyesinde kaldığı ve üst yapının rijit davrandığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu nedenle bu yönetmeliğe göre ilk titreşim modu önemlidir. Yönetmelikte yer alan minimum koşullar, statik analiz sonucunda elde edilen kuvvet ve deplasmanlardır. Bu bakımdan statik analiz öntasarım için gerekli bir kıstas olmaktadır. Yönetmelikte yer alan hususlardan biri analiz tipinin belirtilmesidir. Zayıf zemin tipleri için, yapının maksimum deprem yükü altında periyodu $3s_n$ ’den büyük ise, spektral analiz şart koşulmuştur. Aynı zamanda spektral analiz, üstyapı yatayda ve düşeyde düzensiz ise,

dört kattan veya $19,8 \text{ m}^2$ 'den yüksek ise zorunlu tutulmaktadır. Zaman tanım alanında analiz de, davranış spektrumu analiziyle aynı koşullarda zorunludur. UBC-97 kanunlarında sıklıkla kullanılan ifadelerin tanımı kısaca aşağıda özetlenmektedir;

- a. Tasarım Depremi (DBE) : 50 yıl içerisinde meydana gelen ve aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir. 475 yılda bir oluşan deprem periyoduna tekabül etmektedir.
- b. Efektif Maksimum Dizayn Depremi (MCE) : Yapı mahallinde beklenen maksimum yer sarsıntısıdır. 1000 yıllık periyotlarda, 100 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir.
- c. Efektif Sönüm (β): İzolatörlerden enerji devri süresince, sistemin viskoz sönümleyicilere eşit değeridir.
- d. Efektif Rijitlik (k) : İzolasyon sisteminde, göz önünde bulundurulmuş yatay kuvvetin neden olduğu yer değiştirme oranı olan değeridir.
- e. Tasarım Deplasmanı (d_D) : İzolasyon sisteminin tasarımında ihtiyaç duyulan, ikinci mertebeden dönme ve hareket süresince, sistemde oluşan ek deplasmanlar haricinde, temel deprem tasarımında kullanılan yatay deplasmanlardır.
- f. Maksimum Toplam Deplasman (d_M) : Olması beklenen en büyük depremde, ikinci mertebeden dönme ve hareketler sonucu meydana gelen yatay deplasmanlar haricinde, burulmalarda dikkate alınarak hesaplanan yatay deplasmandır.
- g. Toplam Tasarım Deplasmanı (dt_D) : İzolasyon sisteminin tasarımında kullanılan temel deplasmandır
- h. Tasarım Titreşim Periyodu (T_D) : Dizayn deplasmanında sistemin periyodudur. Dizaynda kullanılan efektif periyottur.
- i. Maksimum Efektif Periyot (T_M) : Sistemin maksimum deplasmanında kullanılan periyottur.

3.5.1. Standart Yapı Kanunlarına (UBC- 97) Göre Hesap İlkeleri

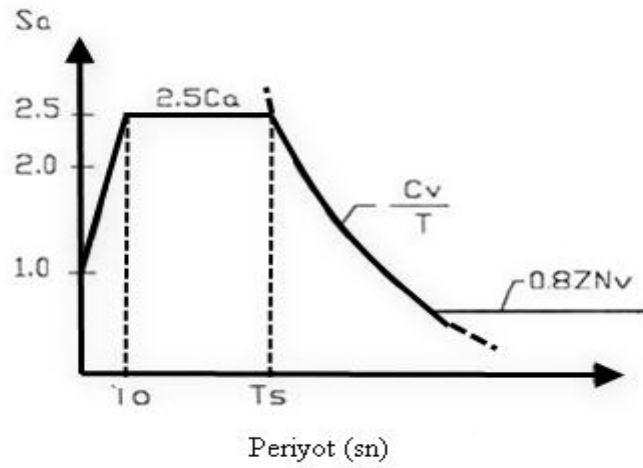
Amerikan Standart Yapı Kanunları Yönetmeliği'ne göre, zemin sınıfları için "sismik zemin faktörü" Bölüm4, Tablo 16-1'de ifade edilmektedir. Göz önünde bulundurulmuş sismik kaynak tipi, üç farklı deprem tipi için aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:



Şekil 3.12. Sismik kaynak faktörü

Çizelge 3.1. Sismik kaynak tipi

Kaynak Tipi	Magnitüt (M)	Kayma oranı (SR)
A	$M \geq 7$	$SR \geq 5$ mm
B	$6.5 < M < 7$	$2 < SR < 5$ mm
C	$M < 6.5$	$SR < 2$ mm



Şekil 3.13. UBC-97'e göre spektrum eğrisi

Çizelge 3.2. Tasarım Depremi Sarsıntı Şiddetine göre maksimum Deprem Katsayısı

Tasarım Depremi Sarsıntı Şiddeti (ZN_v)	Olabilecek Maksimum Deprem Katsayısı (M_M)
0,075	2,67
0,15	2,0
0,20	1,75
0,30	1,50
0,40	1,25
$\geq 0,50$	1,20

UBC- 97 Standartlarına göre sistemin dizaynında kullanılacak olan depremin sarsıntı şiddetinin ($Z.N_v$) hesabı, zemin faktörü (Z) ve sismik kaynak faktörü (N_v)'nün çarpımıyla hesaplanır.

Çizelge 3.3. Sismik zemin faktörü (Z)

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

Bu çizelge, dizaynda kullanılan deprem sarsıntı şiddeti kullanılarak okunur.

Sismik katsayının tanımı C_a ve C_v , UBC-97'de şu şekilde ifade edilir.

Çizelge 3.4. Sismik Deprem Katsayısı (C_a)

Zemin Tipi (UBC 97)	Sismik Zemin Faktörü, Z				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,2	Z=0,30	Z=0,40
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32Na
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40Na
S_C	0,09	0,18	0,20	0,30	0,40Na
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44Na
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36Na
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

Çizelge 3.5. Sismik deprem katsayısı (C_v)

Zemin Tipi (UBC 97)	Sismik Zemin Katsayısı C_v				
	$Z=0,075$	$Z=0,15$	$Z=0,20$	$Z=0,30$	$Z=0,40$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 N_v
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N_v
S_C	0,13	0,25	0,32	0,46	0,56 N_v
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64 N_v
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96 N_v
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

M_M , Z , N_A ve M_M , Z , N_v 'nin çarpınları kullanılarak α ve α' nün değerini bulabiliriz. Daha sonra C_{vM} ve C_{AM} nin ortalamasını UBC-97 Bölüm 4, Tablo A-16-F ve A-16-G kullanılarak şöyle hesaplanır :

$$\alpha = M_M \cdot Z \cdot N_A \rightarrow C_{AM} = 1,1 \cdot \alpha \quad (3.11)$$

$$\alpha' = M_M \cdot Z \cdot N_v \rightarrow C_{vM} = 1,6 \alpha' \quad (3.12)$$

UBC-97'de;

M_M : Maksimum deprem katsayısı

Z : Sismik Zemin Faktörü

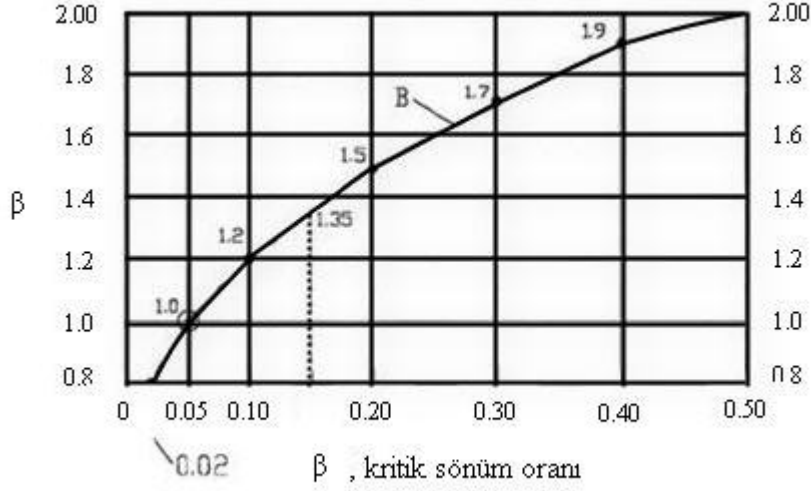
N_A : Sismik zemin kategorisi

N_v : Sismik kaynak faktörü

α : Sismik zemin katsayısı

olarak yer alır.

UBC-97 standartlarında kullanılan izolatör tipine göre etkin sönüm β_{eff} , Bölüm 4, formül 65-2'de ifade edilmektedir. Sönüm indirgeme faktörü B , aşağıdaki şekilde belirtilen B değerlerinden okunur.



Şekil 3.14. Sönüm indirgeme faktörü

Yapı indirgeme faktörü R, UBC- 97'de ifade edilmiştir. Taban kesme kuvveti V, UBC-97'den spektral değerler alınarak hesaplanır.

$$0.11CaIW \leq V = \frac{C_v I}{RT} W \leq \frac{2.5C_a I}{R} W \quad (3.13)$$

Burada W, Yapı ağırlığının % 25'idir. Bu orana, konutlarda 0,48KN/m² döşemeye hareketli yük ilave edilir, çatılarda ise toplam 1,44 KN/m² kar yükü eklenerek hesaplanır.

Standart yapı kanunları UBC-97'ye göre izolasyonlu sistemin temel titreşim periyodunun, 2 sn ile 3 sn değerleri arasında olması istenmektedir. Hedef periyod, dizayn periyodu (T_D) ve maksimum periyottur (T_M). Elastisite modülü E, kayma modülü G, maksimum kayma gerilemesi γ_{max} , seçilen mesnedin tipine göre tanımlanır.

Minimum yatay rijitliğin hesabı, UBC-97 göz önüne alınarak, izolasyonlu sistemin yatay doğrultudaki rijitliği k_{Dmin} ;

$$k_{Dmin} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \quad (3.14)$$

olarak ifade edilmiştir. Burada W, her bir izolatöre yapıdan aktarılan toplam ağırlığın yayılarak hesaplanması ve bir izolatör tarafından taşınan ağırlıktır.

Minimum deplasman (d_{Dmin}), UBC-97 'de, izolasyon sisteminin rijitlik merkezi gözönüne alınarak şöyle hesaplanır;

$$d_{Dmin} = \frac{gC_{vd}T_d}{B(4\pi^2)} \quad (3.15)$$

Maksimum deplasman (d_{Mmin}), rijitlik merkezi göz önünde bulundurularak;

$$d_{Mmin} = \frac{gC_{VM}T_M}{B(4\pi^2)} \quad (3.16)$$

Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak yapılar hakkında yönetmelik'e göre minimum deplasmanın hesabı;

$$d_D = \frac{V_t}{k} \geq A_0(0,10R) \frac{gT^2}{4\pi^2} \quad (3.17)$$

Spektrum katsayısı S, ve rijitlik k ;

$$S = 2,5(T_b/T)^{0,8} \quad (T_b < T) \quad (3.18)$$

$$k = \frac{4\pi^2 W}{T^2 g} \quad (3.19)$$

olarak ifade edilmektedir. Eşilik 3.5.9'da

$$d_D = \frac{A_0 S g}{4\pi^2 / T^2} = A_0 2,5(T_b / T)^{0,8} \frac{gT^2}{4\pi^2} \quad (3.19a)$$

$$d_D = 0,063.A_0.g.T_b^{0,8}.T^{1,2} \quad (3.20)$$

Sonuç olarak spektrum indirgeme faktörü β , formüllerden hesaplanır.

$$d_D = \frac{0,063}{\beta} A_0 g R T^2 \geq d_{min} \quad (3.21)$$

$$d_{min} = \frac{0,0025}{\beta} A_0 g R T^2 \quad (3.22)$$

bulunur.

3.5.2. Mesnedin Disk Çapının Hesabı

Mesnet yüksekliği (t) ;

$$d_D = t\gamma_{max} \quad (3.23-a)$$

$$t = d_D / \gamma_{\max} \quad (3.23-b)$$

Mesnedin kesit alanı (A) ;

$$k_D = AG/t \quad (3.24-a)$$

$$A = k_D t / G \quad (3.24-b)$$

Sonuçta çap ;

$$D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (3.25)$$

olarak hesaplanır.

3.5.3. İzolasyonlu yapıda taban kesme kuvvetinin hesabı

İzolatörlerin toplam rijitliği kullanılarak, etkin periyod hesaplanır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{\sum k_D g}} \quad (3.26)$$

Daha sonra hedef periyot ile kıyaslanır. İzolasyon sisteminin yapı elemanlarının taban kesme kuvveti;

$$V_D = (\sum k_D) d_D \quad (3.27)$$

Taban kesme kuvveti, izolatörlerden üstyapıya indirgenerek dağıtılır. R_i indirgeme faktörü olmak üzere;

$$V_{S,D} = (\sum k_D) d_D \frac{B}{R_i} = V_D \frac{B}{R_i} \quad (3.28)$$

İzolasyon sistemi için $R_i = 2$ dir. UBC-97 de T_D 'nin hesabında, ankastre temelli yapı için sismik yanal kuvvetlere gerek vardır.

$$V_{\text{fix}} = \frac{C_v I}{R T_D} W \geq 0,11 C_a I W \quad (3.29)$$

Taban kesme kuvveti $V_{S,D}$ değeri, ankastre mesnetli sistemin taban kesme kuvvetinden V_{fix} , küçük seçilemez ve izolasyon sisteminin yatay sismik faktörü 1,5'tan az olamaz.

3.5.4. Burulma Nedeniyle Oluşan Toplam Deplasmanın Hesabı

UBC-97’de toplam deplasman d_{total} şöyle ifade edilmiştir:

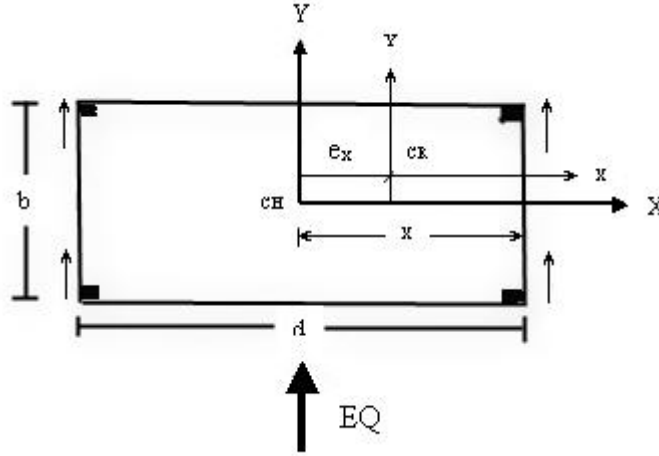
$$d_{total} = d_D \left(1 - \frac{12xe_x}{b^2 + d^2} \right) \quad (3.30)$$

e ve d , göz önünde bulundurulan deprem doğrultularıdır. UBC-97 yönetmeliğine göre d_{total} , d_D ’nin 1,1 katından daha küçük olamaz.

$$e_x = e_r \pm 0,05d \quad (3.31)$$

$$e_r = \frac{\sum x_i k_{yi}}{\sum k_{yi}} \quad (3.32)$$

Deprem y doğrultusu için bahsedilmiş olan bu ifadeler, x doğrultusu içinde hesaplamalarda tekrar edilmelidir. Bütün koordinat eksenlerine kendi değerleri girilir. İzolatörlerde dönme sebebiyle eksantrisite oluşuyorsa, indirgenme olmuyordur.



Şekil 3.15. Dönme etkisiyle oluşan eksantrisite grafiği

3.5.5. Efektif Düşey Modülün Hesabı

Kauçuk katmanının kalınlığı t_0 , aşağıdaki şekilde hesaplanır:

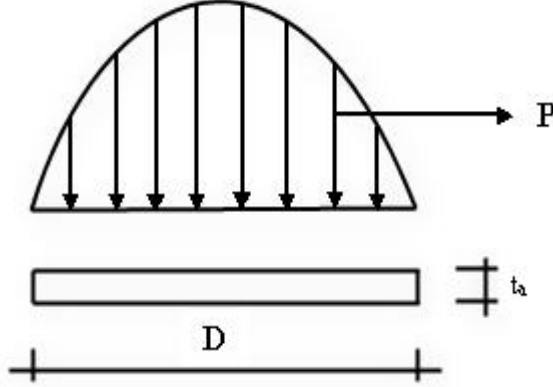
$$D/80 \leq t_0 \leq D/40 \quad (3.33)$$

Kauçuk katmanların şekil katsayısı S;

$$S = \frac{\text{Disk} \cdot \text{Alanı}}{\text{Kesit} \cdot \text{Alanı}} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D t_0} = \frac{D}{4 t_0} \quad (3.34)$$

3.5.6. Düşey Titreşim Periyodun Hesabı

Dairesel kauçuk izolatörlerde alınan bir kesit üzerinde yayılı yükün dağılımına bakıldığında merkezden kenara doğru gidildiğinde basınç kuvvetinin büyüklüğünün azaldığı görülmektedir(Şekil 3.16)



Şekil 3.16. Dairesel kauçuk kesitin parabolik basınç kuvveti dağılımı (Celep, 2000)

Tüm mesnetler için düşey rijitlik k_ϵ ;

$$k_\epsilon = \frac{AE_c}{t} \quad (3.35)$$

t: Mesnedin yüksekliği

Düşey deplasman Δ_t ;

$$\Delta_t = \frac{W_t}{AE_c} = \frac{W}{k_\epsilon} \quad (3.36)$$

Şişmeden dolayı oluşan dikey rijitlik k_γ ;

$$k_\gamma = \frac{W}{\Delta_t} = 6S^2 \frac{AG}{t} \quad (3.37)$$

Şişmeden dolayı oluşan Düşey Periyot:

$$T_v = 2\pi \sqrt{W / gk_\gamma (6S^2 \frac{AG}{t})} \quad (3.38)$$

Düşey Doğrultudaki Etkin Basınç Modülü :

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{k_\epsilon} + \frac{1}{k_\gamma} \quad (3.39)$$

olmak üzere,

k_ε : Basınçtan doğan düşey rijitlik

k_γ : Kayma gerilmesinden doğan rijitlik

E : Kompozit malzemenin basınç modülü

$$E_{\text{eff},v} = \frac{6GS^2 E_c}{6GS^2 + E_c} \quad (3.40)$$

Yatay Rijitlik k_h ;

$$k_h = \frac{AG}{t} \quad (3.41)$$

Yatay Periyot T_h ;

$$T_h = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gk_h}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g(AG/t)}} \quad (3.42)$$

Buradan;

$$\frac{T_h^2}{T_v^2} = 6S^2 \quad \rightarrow \quad \frac{T_h}{T_v} = \sqrt{6S} \quad (3.43)$$

Sonuç olarak, titreşim periyodu T_v ;

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} \quad (3.44)$$

olarak hesaplanabilir.

3.5.7. Düşey Yük ve Kayma Gerilmesinin Hesabı

a) Kayma gerilmesinin hesabı

Düşey yükten doğan kayma gerilmesi γ_v ,

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta_t}{t} \quad (3.45)$$

$$\gamma_v = 6S\varepsilon_z \quad (3.46)$$

Yatay yükten doğan kayma gerilmesi γ_s ;

$$\gamma_s = \tau/G = V_D/AG = k_D d_D/AG \quad (3.47)$$

Yatay ve düşey yükten dolayı oluşan maksimum kayma gerilmesinin hesabı :

$$\gamma_{\text{max}} = \gamma_s + \gamma_v \quad (3.48)$$

b) Ortak Alan Hesabı

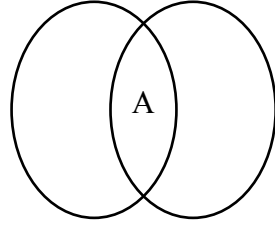
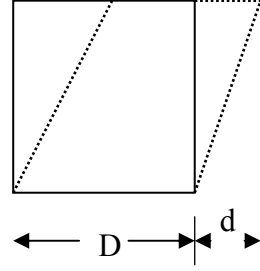
Ortak alan A, aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$A'=A[1-2/\pi (\theta+\sin \theta)] \quad (3.49)$$

$$\sin \theta=d_D/D \quad (3.50)$$

Burada;

d_D : Kayma deplasmanı



Şekil 3.17. Kayma deplasmanı d_D ve ortak alan A' gösterimi

c) Maksimum Düşey Yükün Hesabı

$$W=A'GS \gamma_v \quad (3.51)$$

d) Şişme Riskinin Hesabı

Şişme riski için P_{cr} kritik düşey yük olmak üzere,

$$P_{cr} = \sqrt{AG\pi^2 E_{eff} I / 3t^2} \quad (3.52)$$

$$I=\pi/4(D/2)^4 \quad (3.53)$$

3.5.8. Kurşun Tamponun Tasarımı

Kurşun tamponun çapı ve alanı şu şekilde tayin edilir;

$$t/1,5 > d_1 \quad (3.54)$$

$$A_{kurşun} = \pi d^2/4 \quad (3.55)$$

Yerel kesme kuvveti Q_y ;

$$Q_y = \tau_y A_{kursun} \quad (3.56)$$

τ_y yerel kayma gerilmesi olmak üzere;

$$\tau_y = 10,5 \text{ MPa} \quad (3.57)$$

Olarak kabul edilebilir. Q_y 'nin hesaplanabilmesi için alternatif diğer bir metot ise şöyledir:

$$A_{\text{kurşun}} = 4 Q_y (d_D - d_y) \quad (3.58)$$

d_y , önemsenmeyecek kadar küçük bir değerdir, d_y sıfır kabul edilirse ;

$$A_{\text{loop}} = 4 Q d_D \quad (3.59)$$

Ve yerel kesme kuvveti Q_y ;

$$Q_y = A_{\text{loop}} / 4 d_D \quad (3.60)$$

Olur. Tampon alanı;

$$A_{\text{loop}} = \beta (2\pi k_D d_D^2) \quad (3.61)$$

β formülden çekilirse;

$$\beta = \frac{2}{\pi} (A_{\text{loop}} / A_{\text{dikt}}) = \frac{A_{\text{loop}}}{2\pi K_D d_D^2} = 0,15 \quad (3.62)$$

elde edilmiş olur.

3.5.9. Çapın Kayma Kontrolü

İzolasyon mesnetlerindeki toplam kuvvet V_D , şekil 3.5.3'ten hesaplanmaktadır, histeresis eğrinin altında kalan alan kesme kuvvetini vermektedir.

$$V_D = V_{\text{kurşun}} + V_{\text{kauçuk}} = Q_y + k_2 (d_D - d_y) \quad (3.63)$$

Kurşun çekirdekdeki akma yer değiştirmesi;

$$d_y = \frac{Q_y}{k_1} \quad (3.64)$$

Burada k_1 ; kurşun çekirdeğin akma rijitliğidir ve Q_y ise akma kuvvetidir.

Toplam kesme kuvveti V_D ise en aşağıdaki ifadeyi almaktadır:

$$V_D = Q_y + k_2 \left(d_D - \frac{Q_y}{k_1} \right) = Q_y \left(1 - \frac{k_2}{k_1} \right) + k_2 d_D \quad (3.65)$$

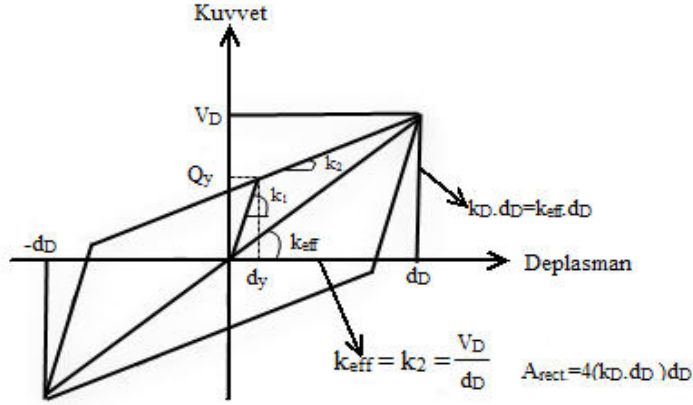
Genellikle $k_1 \approx 10k_2$ ve $k_{\text{eff}} = V_D / d_D$ dir. Buradan;

$$k_{\text{eff}} = \frac{V_D}{d_D} = \frac{Q_y}{d_D} \left(1 - \frac{k_2}{k_1} \right) + k_2 \quad (3.66)$$

Eğer $k_2/k_1 = 0,1$ ihmal edilirse; sadece kauçuğun rijitliği kalır ve mesnet kurşun çekirdeksiz tasarlanmış olur. Sonuç olarak;

$$k_2 \approx k_{eff} - \frac{Q_y}{d_D} \quad (3.67)$$

hesaplanır.



Şekil 3.18. Temel Histeresis eğrisinin parametreleri

Çizelge 3.6. Kritik sönüm oranı (β)

Sönüm Katsayısı	Kritik Sönüm Oranı, β						
	%2	%5	%10	%20	%30	%40	%50
B	0	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2

Çizelge 3.7. Sismik zemin katsayısı (C_{VM})

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti, $M_M ZN_a$				
	$M_M ZN_a=0,075$	$M_M ZN_a=0,15$	$M_M ZN_a=0,2$	$M_M ZN_a=0,30$	$M_M ZN_a=0,40$
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	0,09	0,18	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_a$
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	$1,1 M_M ZN_a$
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	$0,9 M_M ZN_a$
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

Çizelge 3.8. Sismik Zemin Katsayısı (C_{AM})

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti $M_M ZN_v$				
	$M_M ZN_v=0,075$	$M_M ZN_v=0,15$	$M_M ZN_v=0,2$	$M_M ZN_v=0,30$	$M_M ZN_v=0,40$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,8 M_M ZN_v$
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_v$
S_C	0,13	0,25	0,32	0,45	$1,4 M_M ZN_v$
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	$1,6 M_M ZN_v$
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	$2,4 M_M ZN_v$
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

3.5.10. Maksimum Kat Ötelenmeleri oranı

Taban izolasyonlu yapılarda, katlar arası maksimum ötelenme oranı ; $0.01/R_i$ değerini geçmemelidir.

3.6. Örnek Yapı Modelinin Tasarımı

Dinamik analizleri yapılmak üzere beş katlı bir yurt binası ele alınacaktır. Seçilmiş olan yapı x (yatay) ve y (düşey) yönlerinde simetrik olarak düzenlenmiş betonarme bir yapıdır. Ülkemizde yapılara örnek olması açısından incelenecek model, ilk önce sistem paket program (SAP 2000) 'de ankastre temelli olarak modellenecek, daha sonra ise kurşun çekirdekli izolatörler ve sürtünmeli sarkaç sistemi durumları için dinamik analizleri ayrı ayrı yapılacak ve sonuçlar irdelenecektir. Sismik izolasyon mesnedi modellenirken DBYBHY-06 ve UBC-97 de yer alan hükümler müşterek kullanılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, Zaman Tanım Alanında Analiz için deprem ivme kaydı kullanılarak deprem analizi yapılmış ve yapısal elemanlarda deprem etkilerinden meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

3.6.1. Seçilen Yapı Modelinin Özellikleri

Yapılan çalışmada kullanılan yapı modeli beş katlı koordinat ekseninde yatay (x) yönünde 3, düşey (y) yönünde 5 açıklıklı ve çift yönde simetrikdir. Taşıyıcı sistem betonarme kolonlar ve kirişlerden oluşmuş, plak döşemeli bir sistemden meydana gelmektedir. Kolonlar 40·60 cm, kirişler 30·60 cm ve döşemeler 12 cm olarak

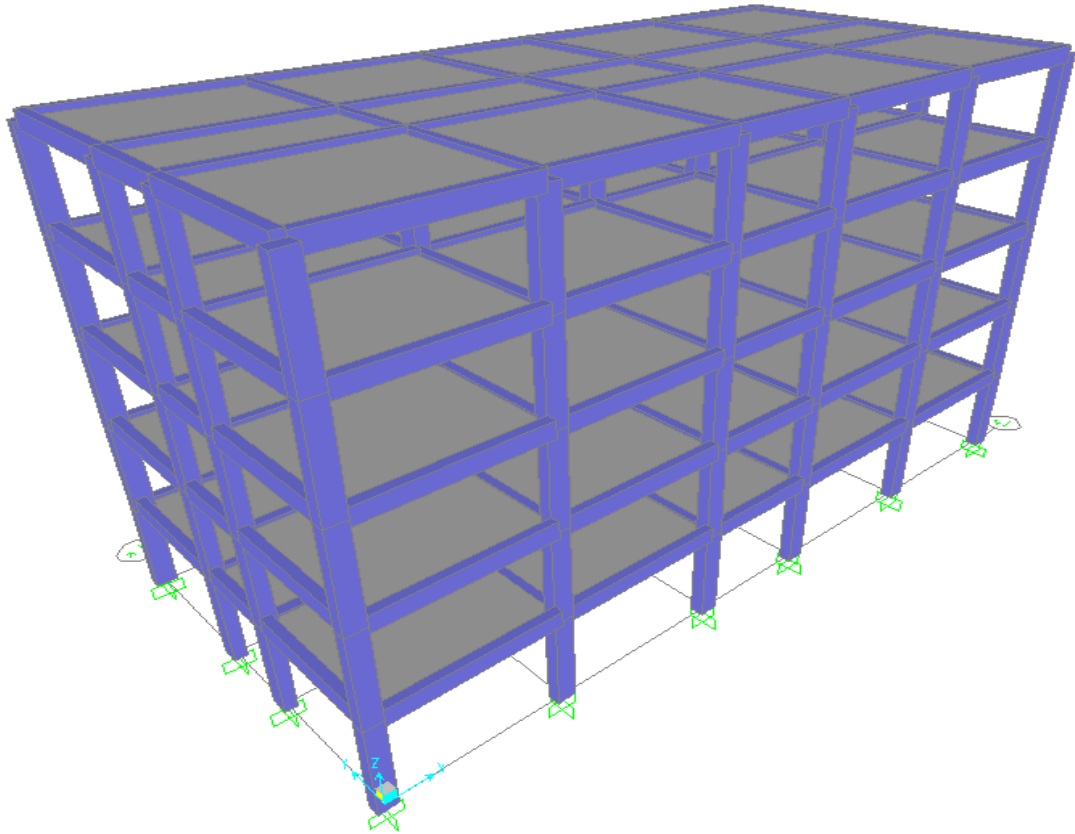
boyutlandırılmıştır. Kat döşemeleri rijit diyafram kabul edilmiş ve kat yükseklikleri her katta sabit 3,50 m olarak alınmıştır.

Yurt olarak kullanılan yapının 1. derecede deprem bölgesinde (yüksek deprem riskli bölge) ve D sınıfı zemin cinsinin (23) bulunduğu kabul edilmiştir. İzolatörleri, temellerin üstü ile birinci kat kolonlarının birleştiği noktalara konulması uygun görülmüştür. Bunun için yapıda en alt katta izolatörlerin üzerinde 15 cm kalınlığında rijit diyafram olarak ifade edilen döşemeyle birleştirilmiştir.

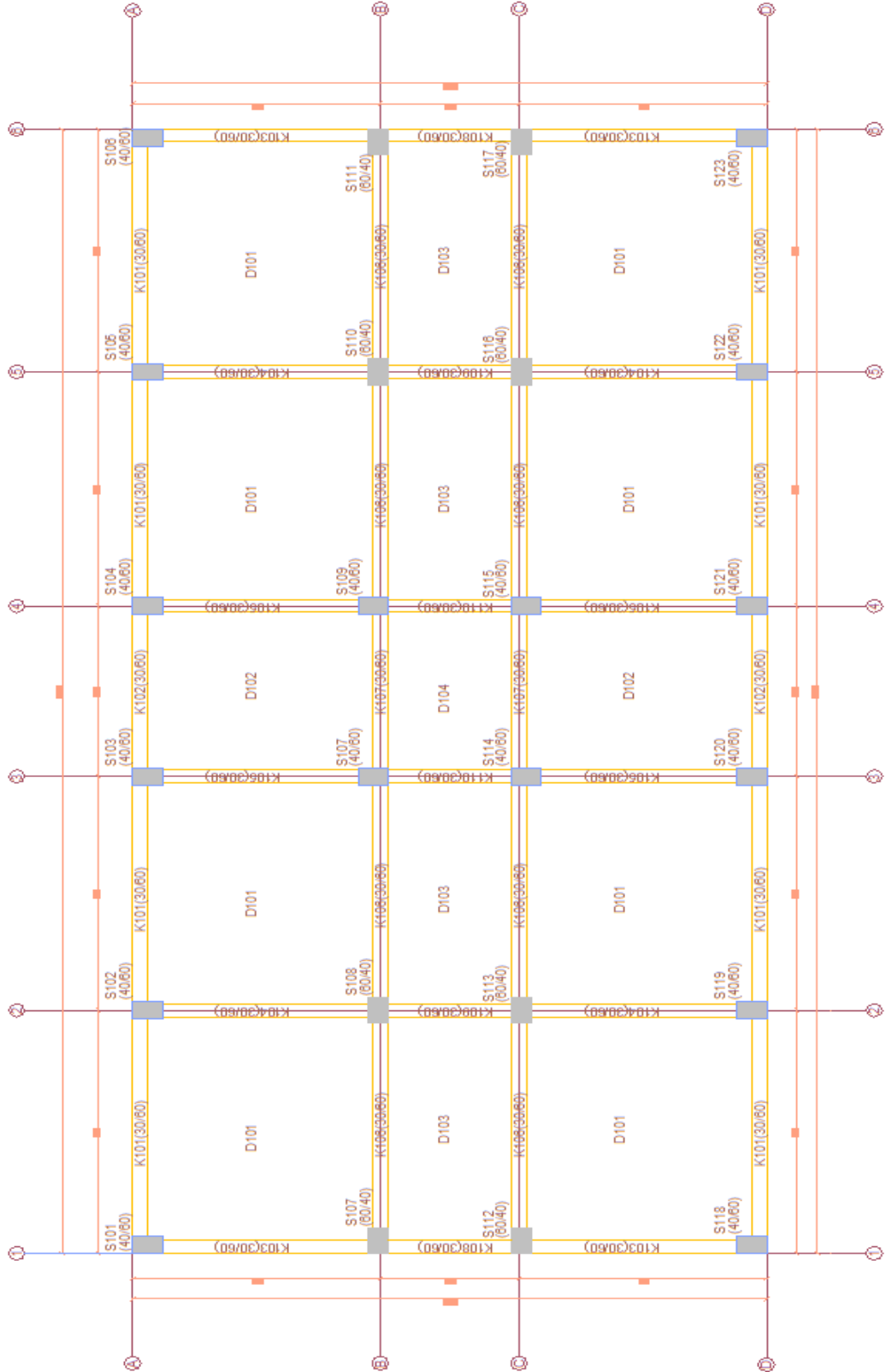
Yapıda kat döşemelerinde hareketli yük; $q = 2 \text{ KN} / \text{m}^2$ olarak dikkate alınmıştır. Deprem hesapları için kütle tanımlanırken toplam hareketli yükün sadece %30 'unu yapıda mevcut olduğu kabul edilmiştir. Kirişlere dış duvarlar için $4 \text{ KN} / \text{m}^2$ iç duvarlar için $2,5 \text{ KN} / \text{m}^2$ ek yük ilave edilmiştir.

Bu kabullerle yapılan hesaplamalar sonunda üst yapıda izolatörlere yaklaşık olarak 21406 KN düşey yük etki ettiği bulunmuştur. Her bir izolatöre gelen yük aşağıda belirtilmiştir.

Hesaplamalarda betonun öz ağırlığı $25 \text{ KN} / \text{m}^3$ alınır. Analizde kullanılan modelin üç boyutlu (3-D) görünüşü şekil 3.19.'da görülmektedir.

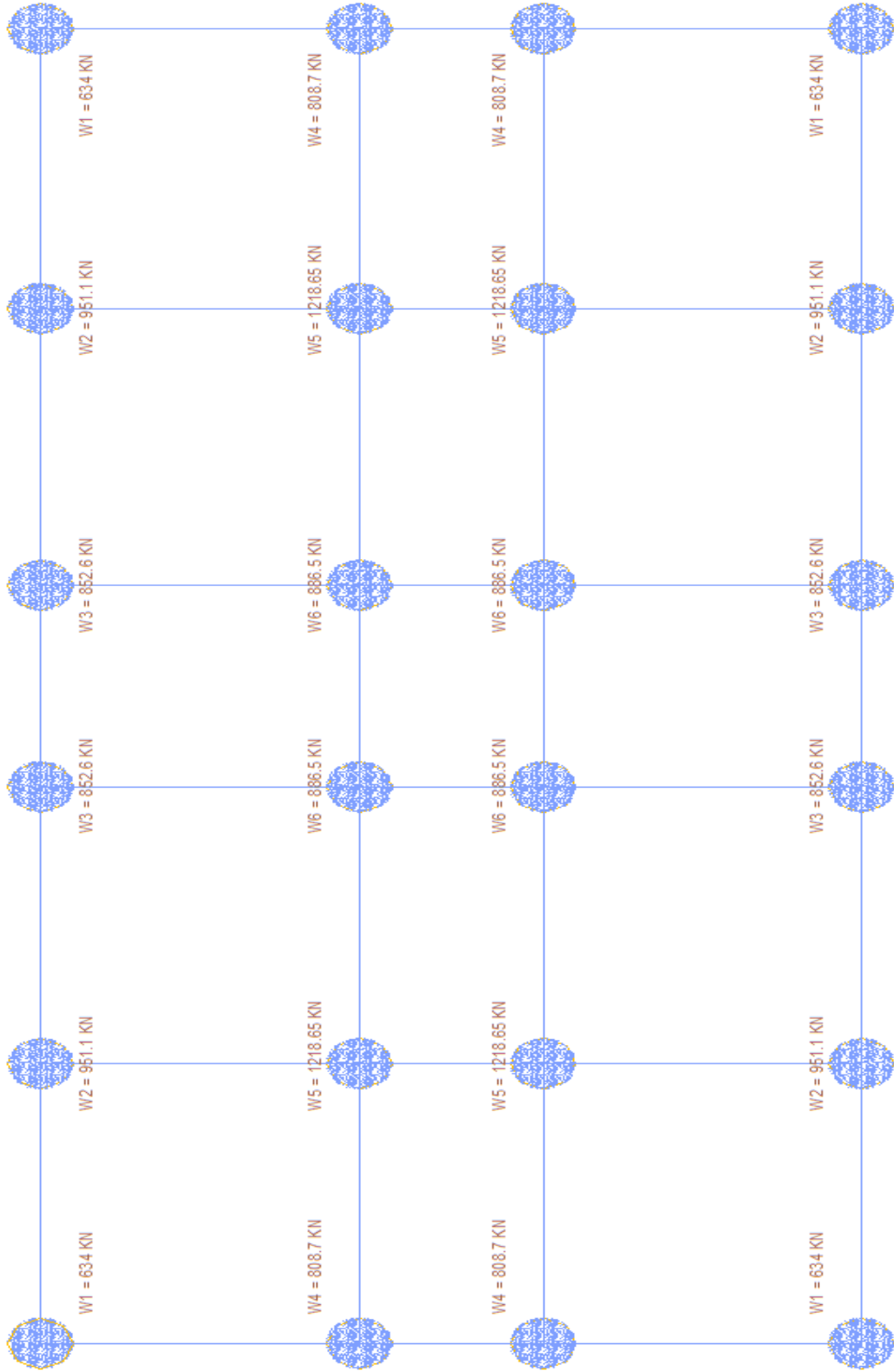


Şekil 3.19. Analizde kullanılan modelin üç boyutlu(3-D) görünüşü



1. KAT PLANI OLCEK:1/50

Şekil 3.20. Analizde Kullanılan Modelin 1. Kat Planı



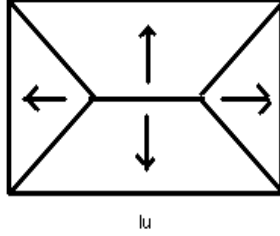
Şekil 3.21. Analizde Kullanılan Modelde İzolatöre Yapıdan Gelen Kuvvetler

a) Döşeme Yükleri

$$\text{Beton} = g = 0,12 \cdot 25 = 3 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} = q = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ kN} / \text{m}^2$$

TS-500 'den



$$\text{Kısa kenara} = \text{döşeme yükü} \cdot lk/3$$

$$\text{Uzun kenara} = \text{döşeme yükü} \cdot lk/3 \quad (1,5 - 1/2\text{m}^2)$$

$$M = lu / lk$$

Çizelge 3.9. Kirişlere aktarılan yükler

Kirişler	Döşemeden gelen yükler	Kirişten gelen yükler (g)	Duvar yükleri (g)	Toplam yük (g)
K101	g= 5,88 q= 1,18	4,50	11,60	21,98
K102	g= 4,55 q= 0,91	-	11,60	20,65
K103	g= 5,25 q= 1,05	4,50	11,60	21,35
K104	g= 10,50 q= 2,10	4,50	7,25	22,25
K105	g= 10,66 q= 2,15	4,50	7,25	22,41
K106	g= 13,18 q= 2,64	4,50	7,25	22,93
K107	g= 9,09 q= 1,81	4,50	7,25	20,84
K108	g= 5,25 q= 1,05	4,50	11,60	21,35
K109	g= 10,50 q= 1,05	4,50	7,25	22,25
K110	g= 8,85 q= 1,77	4,50	7,25	20,60

b) Duvar Yükleri

$$\text{Dış duvarlar} = 4 \text{ kn} / \text{m}^2 \cdot 2,90 = 11,6 \text{ kN} / \text{m}$$

$$\text{İç duvarlar} = 2,5 \text{ kn} / \text{m}^2 \cdot 2,90 = 7,25 \text{ kN} / \text{m}$$

c) Kolon Yükleri

$$\text{Beton} \dots\dots\dots 0,4 \cdot 0,6 \cdot 25 = 6 \text{ kN} / \text{m}$$

Çizelge 3.10. Kolonlara aktarılan yükler

Kolonlar	Öz ağırlık kiriş	Kolon (g)	Toplam yük (G)	Hareketli yük (Q)
S101	100,89	21	121,90	4,90
S102	158,80	21	179,80	10,41
S103	140,32	21	161,32	9,20
S104	140,32	21	161,32	9,20
S105	158,80	21	179,80	10,41
S106	100,89	21	121,90	4,90
S107	130,39	21	151,40	10,34
S108	177,57	21	224,46	19,27
S109	139,44	21	160,44	16,86
S110	139,44	21	160,44	16,86
S111	177,57	21	224,46	19,27
S112	130,39	21	151,40	10,34
S113	130,39	21	151,40	10,34
S114	177,57	21	224,46	19,27
S115	139,44	21	160,44	16,86
S116	139,44	21	160,44	16,86
S117	177,57	21	224,46	19,27
S118	130,39	21	151,40	10,34
S119	100,89	21	121,90	4,90
S120	158,80	21	179,80	10,41
S121	140,32	21	161,32	9,20
S122	140,32	21	161,32	9,20
S123	158,80	21	179,80	10,41
S124	100,89	21	121,90	4,90

d) 1. Kata Göre Yükler

$$S101, S106, S119, S124 \rightarrow W_1 = 5 \cdot (121,9 + 4,9) = 634 \text{ kN}$$

$$S102, S105, S120, S123 \rightarrow W_2 = 5 \cdot (179,8 + 10,41) = 951,1 \text{ kN}$$

$$S103, S104, S105, S122 \rightarrow W_3 = 5 \cdot (161,32 + 9,2) = 852,6 \text{ kN}$$

$$S107, S112, S113, S118 \rightarrow W_4 = 5 \cdot (151,4 + 10,34) = 808,7 \text{ kN}$$

$$S108, S111, S114, S117 \rightarrow W_5 = 5 \cdot (224,46 + 19,27) = 1218,65 \text{ kN}$$

$$S109, S110, S115, S116 \rightarrow W_6 = 5 \cdot (160,44 + 16,86) = 886,5 \text{ kN}$$

3.6.2. Ankastre Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

İzolasyonlu yapının yeni titreşim periyodu $T=2,5$ sn civarında hedeflenmektedir. Kayma şekil değiştirmesi boyutsuz büyüklük olup, en fazla $\gamma = 1,5$ olması istenmektedir. ($\gamma = D/tr$ – Disk çapının, elastomer yüksekliğine oranı)

3.6.2.1. UBC – 97 Yönetmeliğine Göre Yapı Parametreleri

- ❖ Sismik bölge faktörü :Z : 4. bölge çizelge , Z =0,40 olarak bulunur.
- ❖ Bölge zemin cinsi :Q : S_d
- ❖ Sismik fay tipi : A tipi , çizelge 3.2 dir. $M \geq 7$, Kayma oranı $SR \geq 5$ m/yıl okunur.
- ❖ Faya yakınlık faktörleri : $\Delta > 15 \text{ km}$, $N_e = 1$, $N_v = 1$

3.6.2.2. Hedef Periyot Ve Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Ön tasarım için, uygulanacak izolatörlerin malzeme özellikleri tayin edilmelidir. Bunun için periyot değerleri

$$T_d = 2,3 \text{ s} , (\text{ hedeflenen tasarım periyodu})$$

$$T_m = 2,7 \text{ s} , (\text{ hedeflenen max. Periyod}) \text{ Olarak seçelim.}$$

Yapı modelimiz için iki değişik tipte izolasyon mesnedinin kullanılması öngörülmüştür. Bu nedenle malzeme özellikleri 1. tip ve 2. tip mesnet için ayrı olarak seçilecektir. Büyük gerilmeler altında:

$$G_1 = 0,75 \text{ MPa}, G_2 = 1,0 \text{ MPa}, \gamma_{\max} = 1,5 \text{ ve Elastisite modülü } E = 2200 \text{ MPa};$$

Daha küçük gerilmeler etkisinde ise ;

$$G_1 = 1,0 \text{ MPa}, G_2 = 1,5 \text{ MPa}, E = 2200 \text{ MPa} \text{ olarak belirleyelim.}$$

3.6.2.3. Minimum Yatay Rijitliğin Hesabı

$$K_{D \min} = 4J^2W / (T_D^2 \cdot g)$$

$$K_{M \min} = 4J^2W / (T m^2 \cdot g)$$

Çizelge 3.11. Minimum yatay rijitlik hesabı

$K_{1D \min}$	0,405 MN/ m	$K_{1M \min}$	0,350 MN/ m
$K_{2D \min}$	0,723 MN/ m	$K_{2M \min}$	0,525 MN/ m
$K_{3D \min}$	0,648 MN/ m	$K_{3M \min}$	0,470 MN/ m
$K_{4D \min}$	0,615 MN/ m	$K_{4M \min}$	0,446 MN/ m
$K_{5D \min}$	0,926 MN/ m	$K_{5M \min}$	0,672 MN/ m
$K_{6D \min}$	0,674 MN/ m	$K_{6M \min}$	0,489 MN/ m

3.6.2.4. Minimum Deplasmanın Hesabı

UBC -97 yönetmeliğine göre minimum deplasmanın hesabı bölüm 5' de ifade edilmiştir.

$$d_D = g_{C_{VD}} T_D / B4J^2 = 9,81 \cdot (0,64) \cdot (2,3) / 1,2 \cdot 4 \cdot J^2 = 0,30 \text{ m}$$

$$d_M = g_{C_{AM}} \times T_M / B4J^2 = 9,81 \cdot (0,80) \cdot (2,7) / 1,2 \cdot 4 \cdot J^2 = 0,44 \text{ m}$$

DBYBHY- 06 Yönetmeliğine göre minimum deplasmanın hesabı denklem (3.21) ile ifade edilmektedir.

$$d_D = 0,063 / B \cdot A_{OD} \cdot g \cdot T_D^{0,8} \cdot T^{1,2}$$

$$d_M = 0,063 / B \cdot A_{Om} \cdot g \cdot T_D^{0,8} \cdot T^{1,2}$$

$$d_D = 0,063 / 1,2 \cdot (0,4) \cdot (9,81) \cdot (0,53)^{0,8} \cdot (2,3)^{1,2} = 0,34 \text{ m} \geq d_{D \min}$$

$$d_D = 0,063 / 1,2 \cdot (0,5) \cdot (9,81) \cdot (0,53)^{0,8} \cdot (2,7)^{1,2} = 0,51 \text{ m} \geq d_{M \min}$$

ve

$$d_{D \min} = 0,0025 / 1,2 \cdot (0,4) \cdot (g) \cdot (2) \cdot (2,3)^2 = 0,09$$

$$d_{M \min} = 0,0025 / 1,2 \cdot (0,5) \cdot (9,81) \cdot (2) \cdot (2,7)^2 = 0,15$$

3.6.3. Mesnedin Disk Çapının Hesaplanması

$$T = d_D / \gamma_{\max} = 0,34 / 1,5 = 0,23$$

$T = 0,25 \text{ m}$ olarak seçilebilir. Yatay rijitliklere göre mesnet çapını hesaplırsak;

$$A = k_D \cdot l / G$$

$$A = Jd^2/4 \rightarrow d = (4A/J)^{0,5}$$

Birinci tip izolasyon mesnedi için;

$$A_1 = 0,674 \cdot 0,25 / 0,75 = 0,225,$$

$$d_1 = (4 \cdot 0,225)^{0,5} = 0,53 \text{ m}$$

İkinci tip mesnet için;

$$A_2 = 0,926 \cdot 0,25 = 0,2315,$$

$$d_2 = (4 \cdot 0,2315)^{0,5} = 0,543 \text{ m}$$

Seçilen mesnet çapı $d=0,55$ m tir. Seçmiş olduğumuz bu mesnet çapına göre alanımız.

$$A = \pi \cdot (0,55)^2 / 4 = 0,238 \text{ m}^2$$

Yatay rijitlikler hesaplanırsa;

$$\text{Birinci tip için; } K_{D1} = AG_1 / t = 0,238 \cdot 0,75 / 0,25 = 0,714 \text{ MN/ m}$$

$$\text{İkinci tip için; } K_{D2} = AG_2 / t = 0,238 \cdot 1 / 0,25 = 0,952 \text{ MN/ m}$$

Sistemin toplam rijitliği ise;

$$\Sigma K_D = 16 \cdot 0,714 + 18 \cdot 0,952 = 19,04 \text{ MN/m} = 19040 \text{ KN/ m}$$

3.6.4. İzolasyonlu Sistemin Titreşim Periyodunun Hesaplanması

$$T_D = 2 \pi \sqrt{W / (K_D g)} = 2 \pi \sqrt{21406 / (19040 \cdot 9,81)} = 2,127 \text{ sn}$$

Hesaplanan hedef periyot değeri, başlangıçta seçilen periyot değerinden küçüktür ($T_D=2,3s$). Bu yaklaşım yeterlidir.

$$\gamma = d_D / t = 0,34 / 0,25 = 1,36 < \gamma_{\max}=1,5$$

3.6.5. Temel Deplasmanın Hesabı

UBC- 97 standartlarına göre temel deplasmanı;

$$d_D = g C_{VD} T / B 4 \pi^2 = 9,81 \cdot (0,64) \cdot (2,13) / 1,2 \cdot 4 \cdot \pi^2 = 0,22 \text{ m}$$

DBYBHY- 06 standartlarına göre;

$$d_D = 0,063 / B \cdot A_{OD} \cdot g \cdot T_D^{0,8} \cdot T^{1,2}$$

$$d_D = 0,063 / 1,2 \cdot (0,4) \cdot (9,81) \cdot (0,4)^{0,8} \cdot (2,13)^{1,2} = 0,24 \text{ m}$$

O halde taban kesme kuvveti

$$V_D = (\Sigma k_D) \cdot d_D = 19,04 \cdot 0,24 = 4,57 \text{ MN}$$

Üst yapı için; $V_{SD} = \Sigma k_D \cdot d_D \cdot B / R = 4,57 \cdot 1,2 / 2 = 2,74 \text{ MN}$ olarak hesaplanır.

Ankastre mesnetli yapı için yanal sismik kuvvetler ağırlık ile aynıdır. Ağırlık ve periyod izolasyon periyoduna eşittir.

$$V_{ANK} = (C_V I / R T_D) \cdot W \geq 0,11 C_a I W = (0,64 \cdot 1/8 \cdot 2,13) \cdot 21,406 \geq 0,11 \cdot 0,44 \cdot 1 \cdot 21,406$$

$$V_{ANK} = 0,804 \geq 1,036 \text{ (En büyük değer alınır)}$$

$$V_{ANK} = 1,036 \text{ MN}' \text{ dir.}$$

$$V_{SD} = 2,74 \text{ MN} > V_{ANK} = 1,036 \text{ MN}$$

3.6.5.1 Burulmadan Dolayı Oluşan Toplam Deplasman

$$e = 26,40 \cdot (0,05) = 1,32 \text{ m}$$

$$x = 1,32 + 26,40 / 2 = 14,52 \text{ m}$$

$$d_{top} = d_D [1 + (12ex)/(b^2 + d^2)] = 0,24 [1 + (12 \cdot 1,32 \cdot 14,52)/(12,8^2 + 26,40^2)]$$

$$d_{top} = 0,30 \text{ m}$$

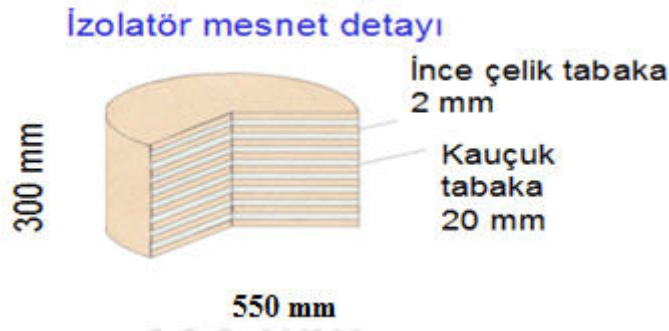
3.6.6. Efektif Düşey Modülün Hesabı

t_0 : kauçuk tabakalardan bir tanesinin kalınlığı olmak üzere;

$$t_0 = D/40 = 550/40 = 13.75 \text{ mm}$$

Buradan her bir kauçuk tabakanın kalınlığı $t_0 = 20 \text{ mm}$ seçilebilir. Çelik tabakaların kalınlığı 2 mm ve çapı ise mesnedin her iki tarafından 5 mm kaplama levhası ayrıldıktan sonra; $550 - 2 \times 10 = 540 \text{ mm}$ olarak hesaplanır. Aynı şekilde izolatörün alt ve üst kısmında 25 mm kalınlığında kaplama plakası yer almaktadır.

Şekil 3.22'den görüldüğü gibi 2 adet kaplama levhası (25 mm), 9 adet kauçuk tabakası, 8 adet çelik plakadan (2 mm) meydana getirilmesi uygundur.



Şekil 3.22. İzolatör mesnet detayı

S kauçuk tabakanın şekil katsayısı olmak üzere eşitlik 3.34' dan

$$S = D/4t_0 = 0,55/(4 \cdot 0,02) = 6,875$$

Her tip izolasyon mesnedi için düşey basınç altındaki düşey efektif modülü;

$$E_{eff} = 6GS^2E_C / (6GS^2 + E_C)$$

Birinci tip mesnet için;

$$E_{\text{eff}} = 6 \times 1 \times 6,875^2 \cdot 2200 / (6 \times 1 \cdot 6,875^2 + 2200) = 251,2 \text{ MPa}$$

İkinci tip mesnet için ;

$$E_{\text{eff}} = 6 \cdot 1,5 \cdot 6,875^2 \cdot 2200 / (6 \cdot 1,5 \cdot 6,875^2 + 2200) = 356,46 \text{ MPa}$$

3.6.7. Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Plan üzerindeki tüm kompozit temellerin düşey rijitlikleri eşitlik 3.35 ile hesaplanmaktadır;

$$k_E = \frac{A.E_c}{t} = \frac{[16 \cdot 251,2 + 8 \cdot 356,46] \cdot 0,238}{0,25} = 6541,08 \text{ MN/m}$$

Düşey deplasman eşitlik 3.36 ile

$$\Delta_t = \frac{W_t}{A.E_c} = \frac{W}{k_E} = \frac{21,406}{6541,08} = 0,00327 \text{ m}$$

olarak hesaplanır. Düşey titreşim periyodu ise eşitlik 3.38'dan;

$$T_V = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} = \frac{2,13}{\sqrt{6 \cdot 6,875}} = 0,126 \text{ s}$$

olarak bulunur.

3.6.8. Kayma Gerilmesi ve Düşey Yükün Hesabı

Kayma gerilmesi eşitlik 3.45 ile hesaplanmaktadır;

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta_t}{t} = \frac{0,00327}{0,25} = 0,0131$$

$$\gamma_v = 6S\varepsilon_z = 6 \cdot 6,875 \cdot 0,0131 = 0,54$$

Her iki tip izolasyon mesnedi için kayma gerilmesinin hesabı;

$$\gamma_s = \frac{\tau}{G} = \frac{V_D}{A.G} = \frac{k_D d_D}{A.G}$$

1. Tip izolasyon mesnedi için;

$$\gamma_s = \frac{0,714 \cdot 0,24}{0,238 \cdot 0,75} = 0,96$$

2. Tip İzolasyon mesnedi için;

$$\gamma_s = \frac{0,952 \cdot 0,24}{0,238 \cdot 1} = 0,96$$

olarak hesaplanır.

Minimum kayma gerilmesi ise;

$$\gamma_{\max} = 0,96 + 0,54 = 1,5$$

3.6.9.Ortak Alan Hesabı

Mesnetlerin ortak alanı A' , eşitlik (3.50)'e göre hesaplanır.

$$A' = A \left[1 - \frac{2}{\pi} (\theta + \sin \theta \cos \theta) \right]$$

$$\sin \theta = \frac{d_D}{D} = \frac{0,24}{0,55} = 0,44$$

$$\theta = 26,10^\circ = 0,45 \text{ rad}$$

$$\cos \theta = 0,89$$

$$A' = 0,238 \left[1 - \frac{2}{\pi} (0,45 + 0,44 \cdot 0,89) \right] = 0,11 \text{ m}^2$$

3.6.10.Maksimum Düşey Yükün Hesabı

Her iki tip izolatör için maksimum yük yeniden hesaplanmalıdır.

$$W = A' G S \gamma_V$$

(3.51)

$$W_1 = 0,11 \cdot 16,875 \cdot 0,54 = 0,408 \text{ MNt} < 0,674 \text{ MNt}$$

$$W_2 = 0,11 \cdot 15,6875 \cdot 0,54 = 0,613 \text{ MNt} < 0,926 \text{ MNt}$$

3.6.11.Şişme Riskinin Hesabı

Mesnetlerde oluşabilecek şişme için kritik yük P_{cr} , eşitlik (3.52) ile ifade edilmiştir.

1. Tip İzolasyon mesnedi için;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0,238 \cdot 1 \cdot \pi^2 \cdot 251,2 \cdot \pi \cdot 0,275^4 \cdot 0,25}{3 \cdot 0,25^2}} = 3,75 \text{ MNt} \gg 0,674 \text{ MNt}$$

2. Tip izolasyon mesnedi için;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0,238 \cdot 1,5 \cdot \pi^2 \cdot 251,2 \cdot \pi \cdot 0,275^4 \cdot 0,25}{3 \cdot 0,25^2}} = 4,6 \text{ MNt} \gg 0,926 \text{ MNt}$$

şişme riski yoktur.

3.6.12. Kurşun Çekirdekli Model Tasarımı

3.6.12.1. Çekirdek Çapının Hesabı

Kurşun çekirdeğin çapı eşitlik (3.54)' da ifade edilmektedir;

$$d_1 < \frac{t}{1,5} = \frac{0,275}{1,5} = 0,18 \text{ m}$$

$d=0,20\text{m}$ seçilebilir. Bu durumda mesnet ortasına yerleştirilecek olan kurşun çekirdeğin alanı;

$$A_{kursun} = \frac{\pi d^4}{4} = \frac{\pi \cdot 0,20^2}{4} = 0,031 \text{ m}^2$$

Olarak hesaplanır.

3.6.12.2. Yerel Kayma Kuvvetinin Hesabı

Birim kesme kuvveti Q , her iki tip izolasyon mesnedi için eşitlik (3.60)'den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{A_{Loop}}{4d_D}, \quad A_{Loop} = 0,10 \cdot 2\pi \cdot 0,82 \cdot 0,24^2 = 0,0297 \text{ MNt} - m$$

$$Q = \frac{0,0297}{4 \cdot 0,24} = 0,0309 \text{ MNt}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_{Kursun}} = \frac{0,0309}{0,0297} = 1,04 \text{ MPa} \ll \tau_{\max} = 10,5 \text{ MPa}$$

$$F = \tau \times A = 1,04 \cdot 0,0297 = 0,030 \text{ MNt}$$

Buradan da anlaşıldığı üzere kurşun çekirdek çapının 20cm seçilmesi uygundur.

3.6.12.3. Çapın Kayma Kontrolü

Elastoplastik rijitlik k_2 , yapıdaki tüm izolatörler için hesaplanmaktadır. Eşitlik (3.63)'dan;

$$k_2 = k_{eff} - \frac{Q_y}{d_D}, \quad k_{eff} = \frac{Vd}{d_D} = \frac{4,57}{0,24} = 19,04$$

$$k_2 = 19,04 - \frac{0,031}{0,24} = 18,91, \quad \frac{k_2}{k_1} = 1/10$$

$$V_D = Q_y \left(1 - \frac{k_2}{k_1}\right) + k_2 d_D = 0,031 \left(1 - \frac{1}{10}\right) + 18,91 \cdot 0,24 = 4,57 \text{ uygundur.}$$

3.7. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi Tasarımı

Yapının titreşim periyodunda tek değişken olan sürtünen yüzeylerdeki eğrilik yarıçapı belirlenir. Bu yöntemde model kurmak elastomerik mesnetli sistemlere göre daha kolaydır.

Sürtünmeli sarkaç sistemi ile izole edilmiş yapının periyodu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

3.7.1. $T_D=2,5$ sn tasarım periyodu için eğrilik yarıçapının hesabı

$$R = \frac{T_D^2 g}{4\pi^2} = \frac{2,5^2 \cdot 9,81}{4\pi^2} = 1,55 \text{ m}$$

Sistemde yatay rijitlik:

$$K_H = \frac{W}{R} = \frac{21,406}{1,55} = 13,81 \text{ MN/m}$$

3.7.2. Sistemde efektif sönüm

$$\beta = \frac{\text{Döngüsel eğilme alanı}}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$$\beta = \frac{4\mu W_d}{2\pi [(W/R)D + \mu W] D} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{D/R + \mu}$$

Sistemde sönüm faktörü deneysel olarak belirlenen büyüklüktür. $\beta=0,12$ ve sürtünme katsayısı $\mu=0,06$ olan sistemde D yer değiştirmesi:

$$0,12 = \frac{2}{\pi} \frac{0,06}{D/1,55 + 0,06} : D=16,7 \text{ cm}$$

3.7.3. Efektif rijitlik

$$K_{eff} = (W/R) + (\mu W/D) = (21,406/1,55) + (0,06 \cdot 21,406/0,167) = 21,5 \text{ MN/m}$$

3.7.4. Düşey yer değiştirme

$$\delta_v = R[1 - \cos(\arcsin D/R)]$$

$$\delta_v = 1,55[1 - \cos(\arcsin 0,167/1,55)] = 0,009 \text{ m}$$

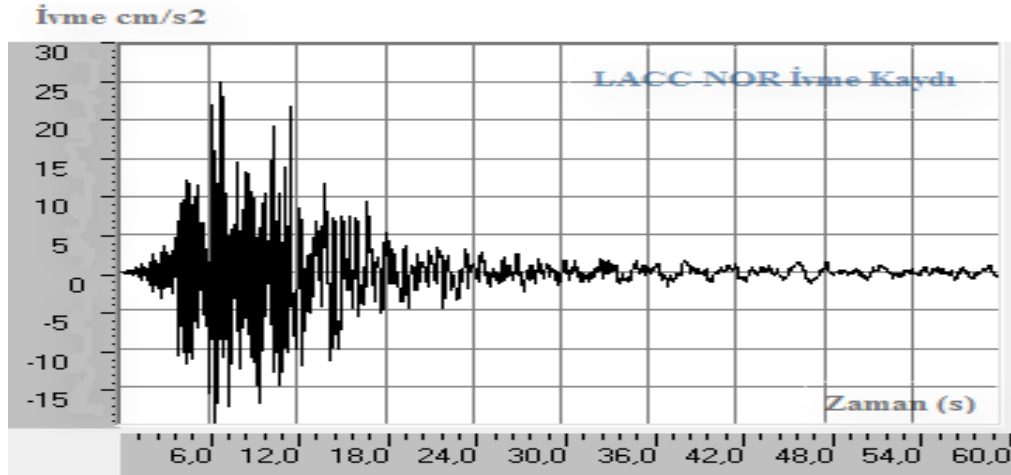
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

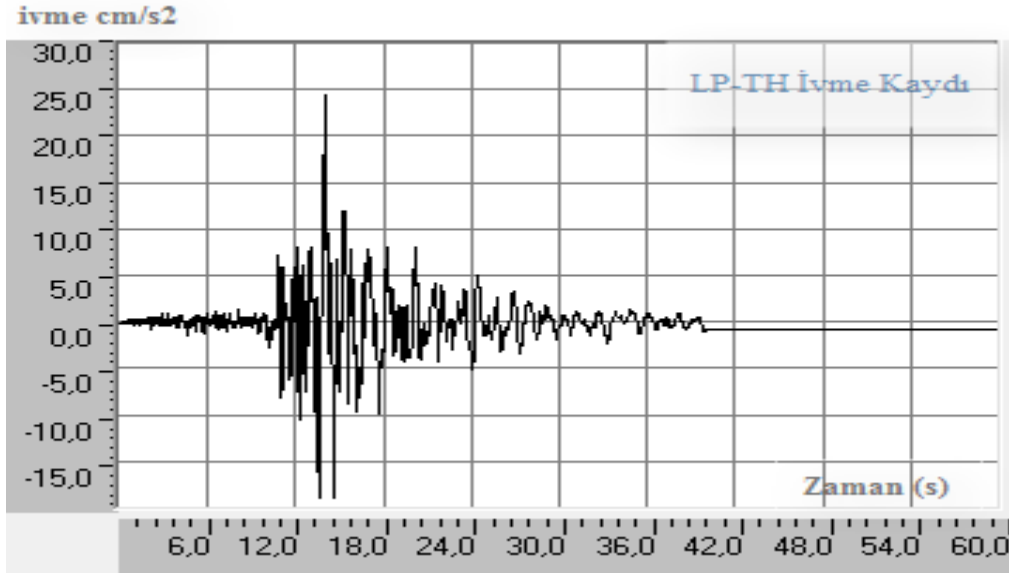
Bu tezde örnek olarak kullanılan yurt binası paket programda (SAP 2000v.10) tasarlanarak modelin, “zaman tanım uzayı” (Time History Analysis) yöntemi ile dinamik analizi yapılmıştır. Dinamik analizler yapının ankastre temelli, kurşun çekirdekli kauçuk temelli ve sürtünmeli sarkaç temelli modelleri için ayrı ayrı uygulanmış, izolatör özellikleri değiştirilerek uygulanmış ve bu sonuçlar karşılaştırılarak değişimler incelenmiştir. Dinamik analizlerde Lp-th ve Lacc-nor deprem ivme kayıtlarının SAP 2000 programına tanımlanması ile gerçekleştirilmiştir. İzolatörün sistem üzerindeki etkilerini görmek açısından grafiksel olarak bakılmış ve gerekli karşılaştırmalar yapılarak incelenmiştir.

4.2. Çalışmada Kullanılan Deprem Girdisi ve Mesnet Özellikleri

Bu analiz türünde bir örnek deprem girdisine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.1. (a) ve (b)’ de kullanılan deprem ivme kayıtları görülmektedir.



Şekil 4.1. (a) Analizlerde kullanılan Lacc-nor ivme kaydı



(b)

Şekil 4.1. (b) 'de Analizlerde kullanılan Lp-th ivme kaydı

Sismik izolatörlerin örnek uygulama çalışmalarında kullanılan, modellerde kullanılan izolatörlerin özellikleri çizelge 4.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Modellerde kullanılan Sismik İzolatörlerin mekanik karakteristik değerleri((Naeim ve Kelly, 1999'den) ve (Karabörk, 2000'ten) esinlenerek)

Mesnet yatak tipi	Eksenel rijitlik (kN/m)	Etkili kayma rijitliği(K_{eff}) (kN/m)	Başlangıç kayma rijitliği(K_1) (kN/m)	Kayma akma kuvveti (kN)	Akma sonrası/Akma öncesi kayma rijitlik oranı (K_2/K_1)	Yatak kütlesi (10^3 kg)
Kurşun çekirdekli kauçuk	$3 \cdot 10^6$	350	19040	18	0,2	0,175
Sürtünmeli Sarkaç	21500	500	13810	12	0,04 0,06	0,150

4.3. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Analiz Sonuçları

4.3.1. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Titreşim Periyotları

Yapı sisteminin mesnet durumlarına göre uygulanan deprem ivmesi altındaki yapının doğal titreşim periyotlarının değişimi, Ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü temeller için değerler Çizelge 4.2 'de verilmektedir.

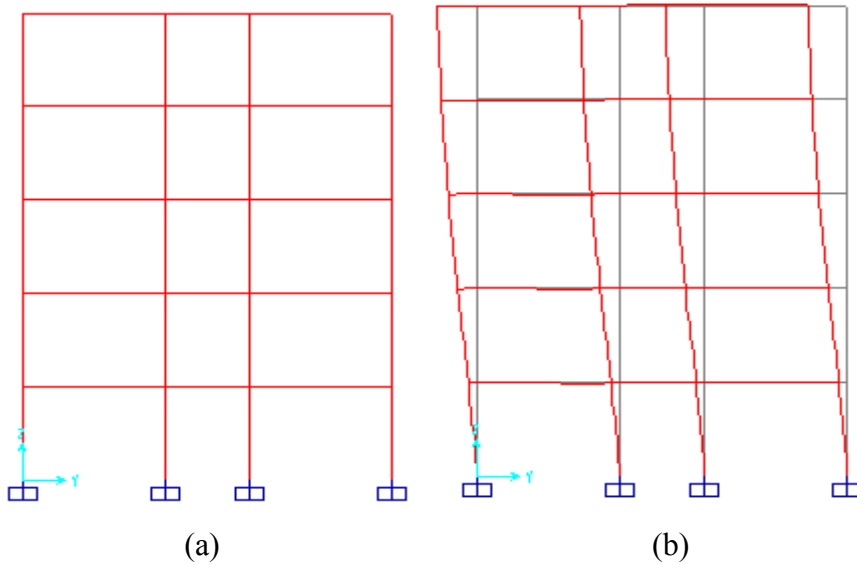
Çizelge 4.2. Yapı sisteminin mesnet durumlarına göre uygulanan deprem ivmesi altındaki yapının doğal titreşim periyotları

Doğal titreşim periyotları	Ankastre mesnetli	Kurşun çekirdekli Kauçuk izolatörlü	Sürtülmeli sarkaç izolatörlü
Mod 1	0,531	2,389	2,124
Mod 2	0,516	2,386	2,043
Mod 3	0,173	2,230	1,870
Mod 4	0,166	0,280	0,489
Mod 5	0,100	0,270	0,380

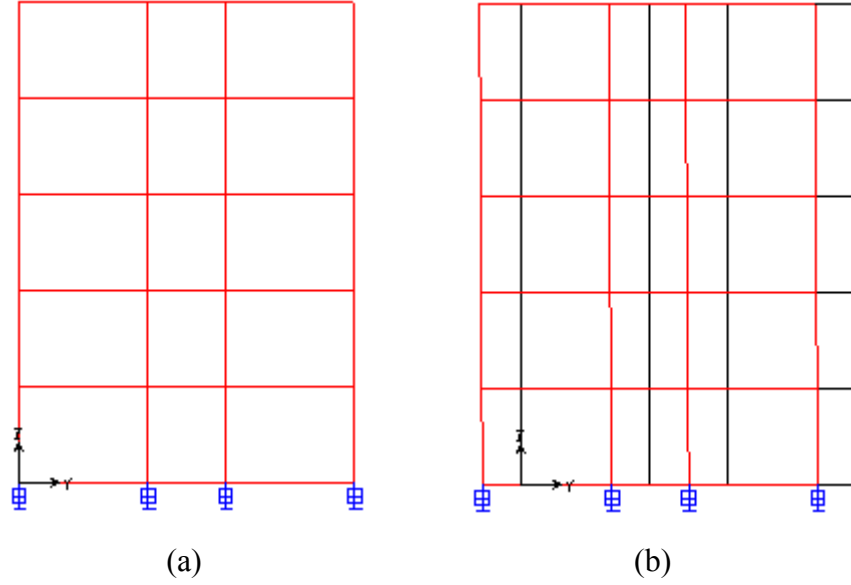
Çizelge 4.2’den görüldüğü üzere taban yalıtımının en önemli fonksiyonlarından biri de yapının doğal titreşim periyodunda meydana getirdiği büyük artıştır. Taban yalıtımlı modellerde periyot değeri ankastre temelli modele oranla birinci mod için sırasıyla % 450- % 400 artış ifade etmektedir. Bu yolla yapı, davranış ve tasarım spektrumlarında düşük periyotlara karşılık gelen yüksek ivme davranışından kurtulmuş olmaktadır.

4.3.2. Yapı Sisteminin Mesnet Durumlarına Göre Mod Şekilleri

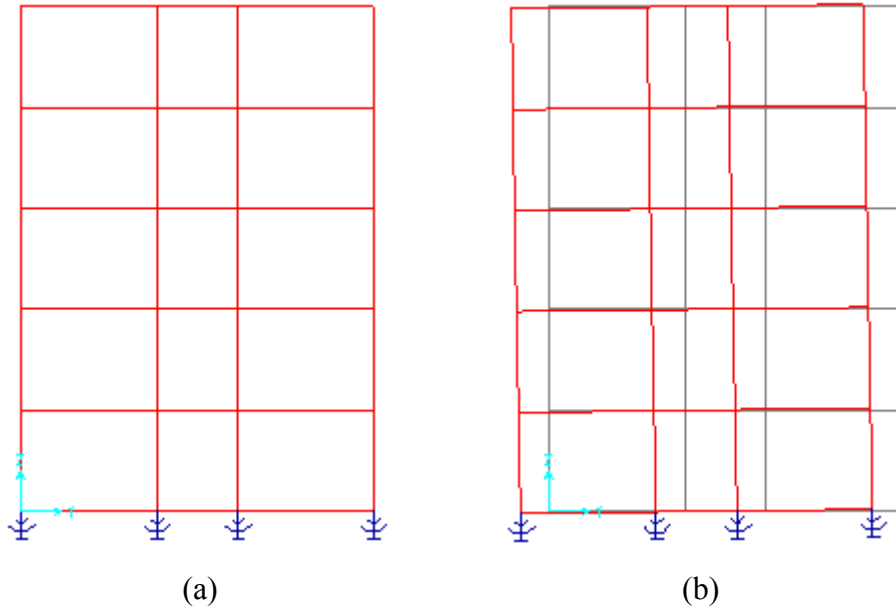
Yapı sisteminin ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli mesnetli ve sürtülmeli sarkaç mesnetli olarak birinci mod şekli için önce şekil değiştirmemiş hali ve şekil değiştirmiş halleri şekil 4.2., şekil 4.3. ve şekil 4.4. ‘ de görülmektedir.



Şekil 4.2. Ankastre temelli binanın y-z düzlemindeki: (a)şekil değiştirmemiş hali, (b) birinci mod şekli

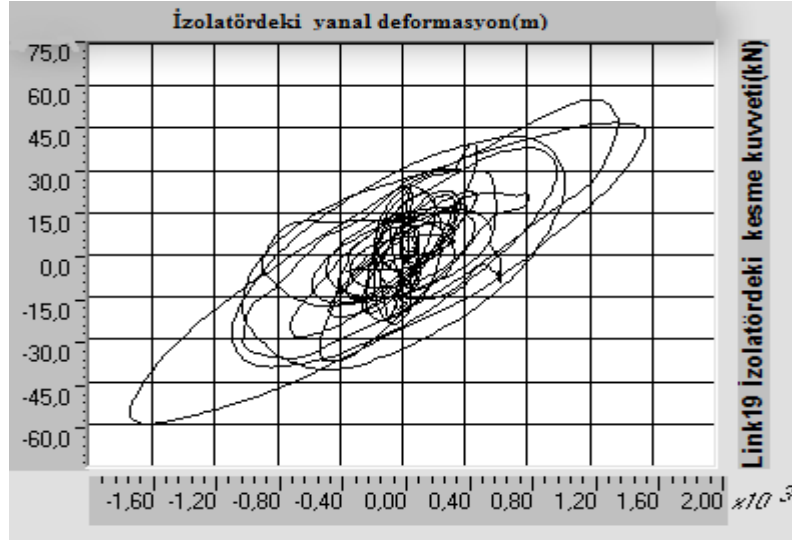


Şekil 4.3. Kurşun çekirdekli kauçuk temelli binanın y-z düzlemindeki: (a)şekil değiştirmemiş hali, (b) birinci mod şekli

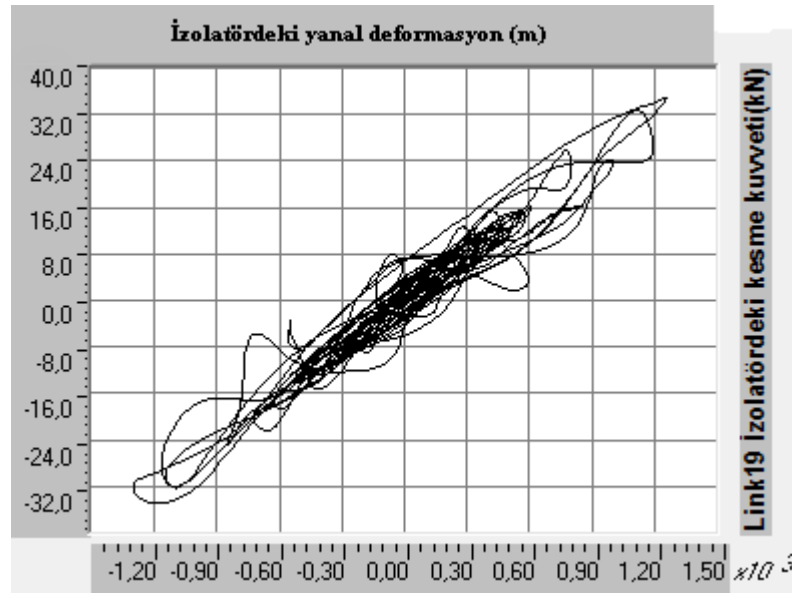


Şekil 4.4. Sürtünmeli sarkaç temelli binanın y-z düzlemindeki: (a)şekil değiştirmemiş hali, (b) birinci mod şekli

Kuvvet deformasyon ilişkisinin çevrim halkası olabilmesi için diyagramın kapalı bir şekilde olması gerekir. Şekil 4.5. (a) ve (b)'de kuvvet deformasyon eğrisi görülmektedir. Şekillerde açıkça görüldüğü gibi tam bir çevrim halkası oluşmuş ve sisteme giren enerji etkili bir şekilde yutulmuştur.



(a)

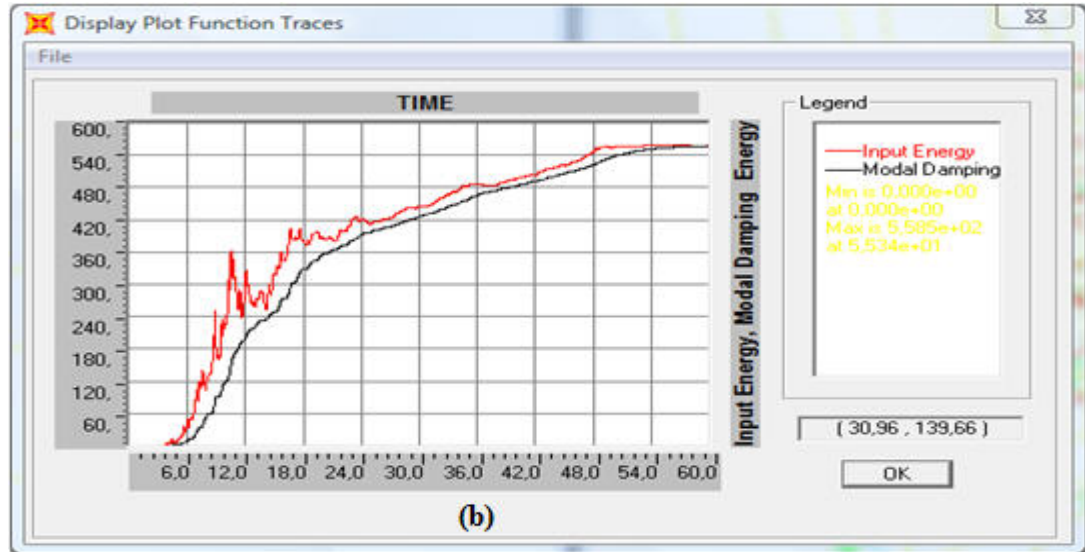
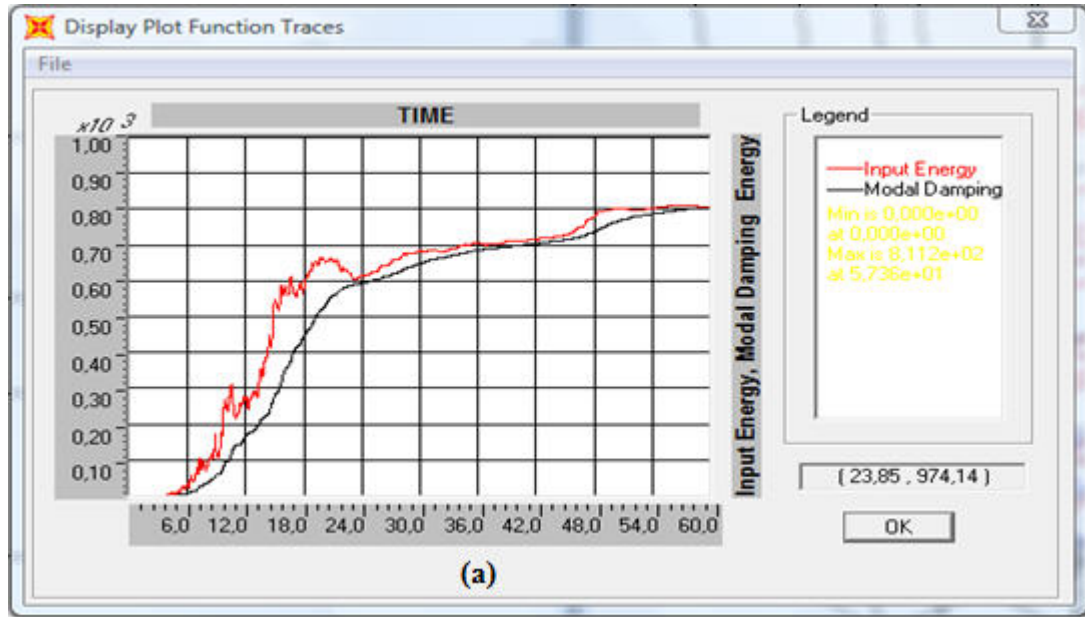


(b)

Şekil 4.5. 1A köşe kolon altındaki taban izolatöründeki kesme kuvveti-yanal deformasyon diyagramları: (a) Kurşun çekirdekli kauçuk temelli model, (b) Sürtünmeli sarkaç temelli model

4.3.3. Yapı Sisteminin Taban İzolatör Durumlarına Göre Enerji Sönümlenme Diyagramları

Şekil 4.6.a ve 4.6.b 'de sisteme giren ve sönümlenen enerji grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerden anlaşıldığı gibi sisteme giren enerjinin büyük bir kısmı izolatör tarafından sönümlenmektedir. Fakat görüldüğü gibi izolatör gelen enerjinin hepsini sönümlememekte bir kısmını da üst yapıya aktarmakta ve artan miktar üst yapıda sönümlenmektedir.

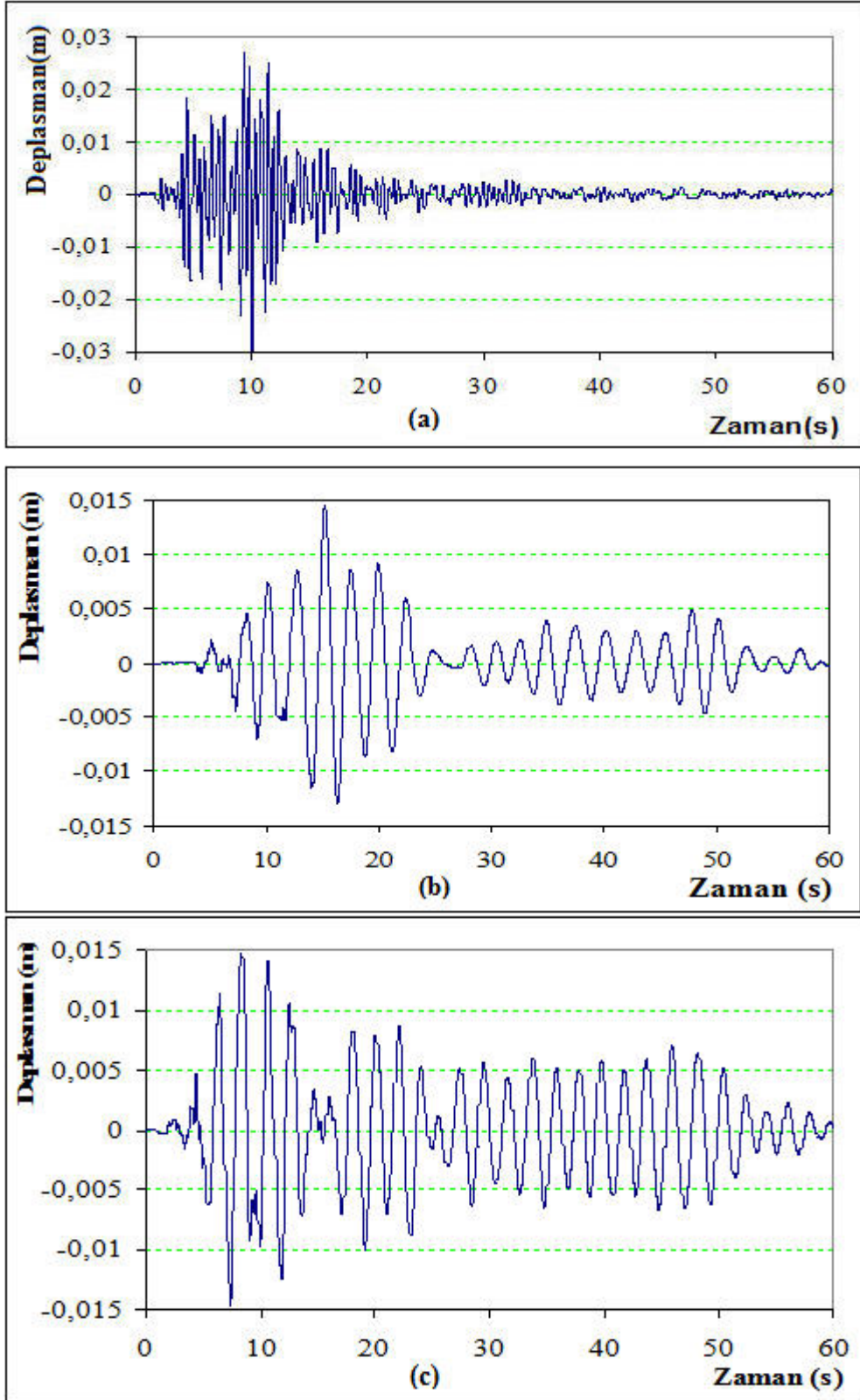


Şekil 4.6. Kurşun çekirdekli kauçuk temelli ve sürtümlü sarkaç temelli izolatörler için giren enerji ve sönümlenen enerji grafiği

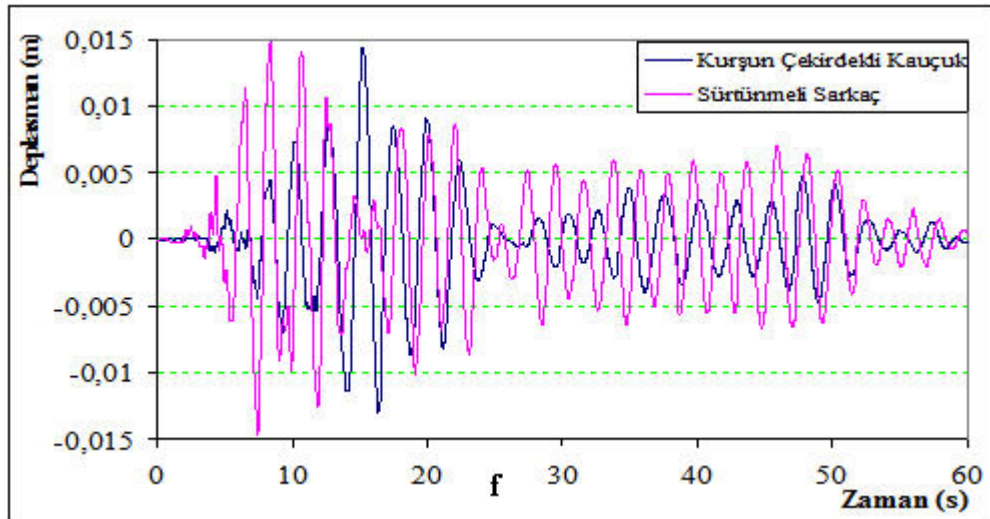
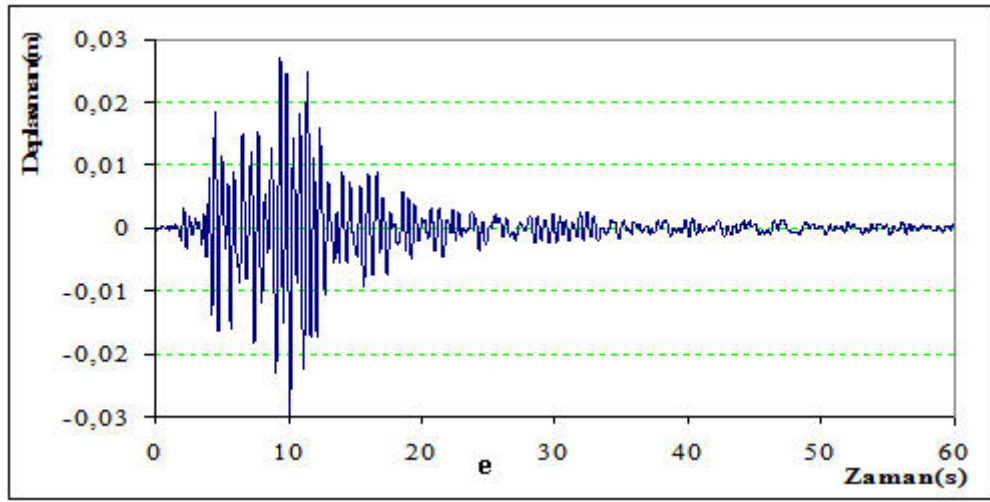
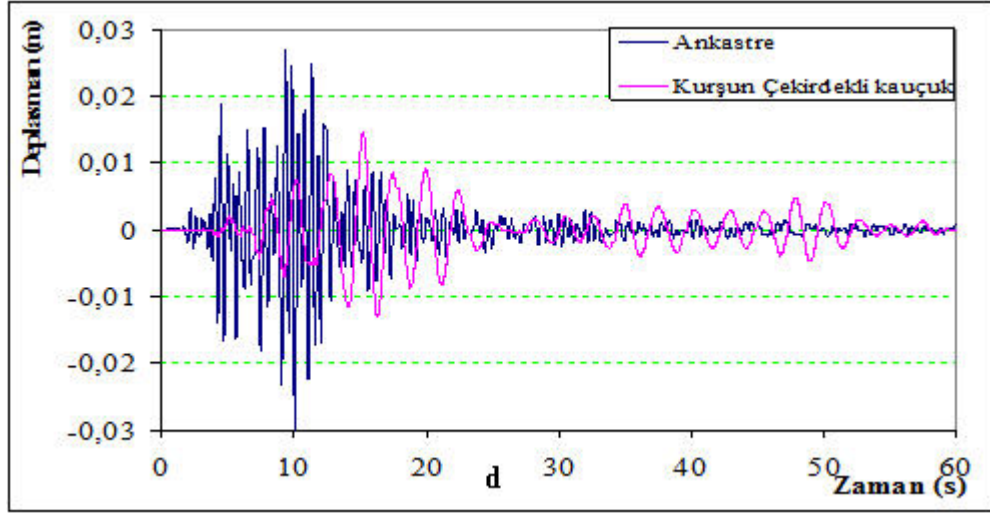
4.3.4. Yapı Sisteminin Taban İzolatör Durumlarına Göre Deplasman-Zaman Grafikleri

Yapı davranışının anlaşılmasını sağlayan en önemli kriterlerden biri ötelenme ile ilgili verilerdir. Şekil 4.3.4. (a), (b), (c) (d), (e) ve (f)'de mesnetlenme durumuna göre en üst kat ile taban arasındaki ötelenme farkı (görelî ötelenme) verilmiştir. Yalıtım ve çatı düzeyleri arasındaki görelî ötelenmeler çok önemlidir ve bu ötelenmelerin büyüklüğü, kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanlarda oluşan iç kuvvet büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. İzolasyon kullanılan (b) ve (c) grafiklerinde en üst kat ile taban arasındaki farkın daha küçük değerlerde olduğu görülmüştür. Yalıtımlı modellerde oluşan bu ötelenmelerin çok büyük bir kısmı taban düzeyinde gerçekleşmiştir. Kullanılan izolatörlerde izin verilen maksimum deformasyonun 400 mm olduğunu düşünürsek, aşırı bir deformasyon söz konusu değildir.

İzolasyon kullanılan sistemde ise görelî ötelenmenin bu belirtilen sınır değerden daha az yani 150 mm civarında olduğu Şekil 4.7.b , Şekil 4.7.c 'de grafiklerde görülmektedir.



Şekil 4.7. Ankastre temelli (a), kurşun çekirdekli kauçuk temelli (b), sürtümlü sarkaç temelli (c) arasındaki mesnetlenme durumuna göre 1A köşe kolonunda temel görelî ötelenmeleri



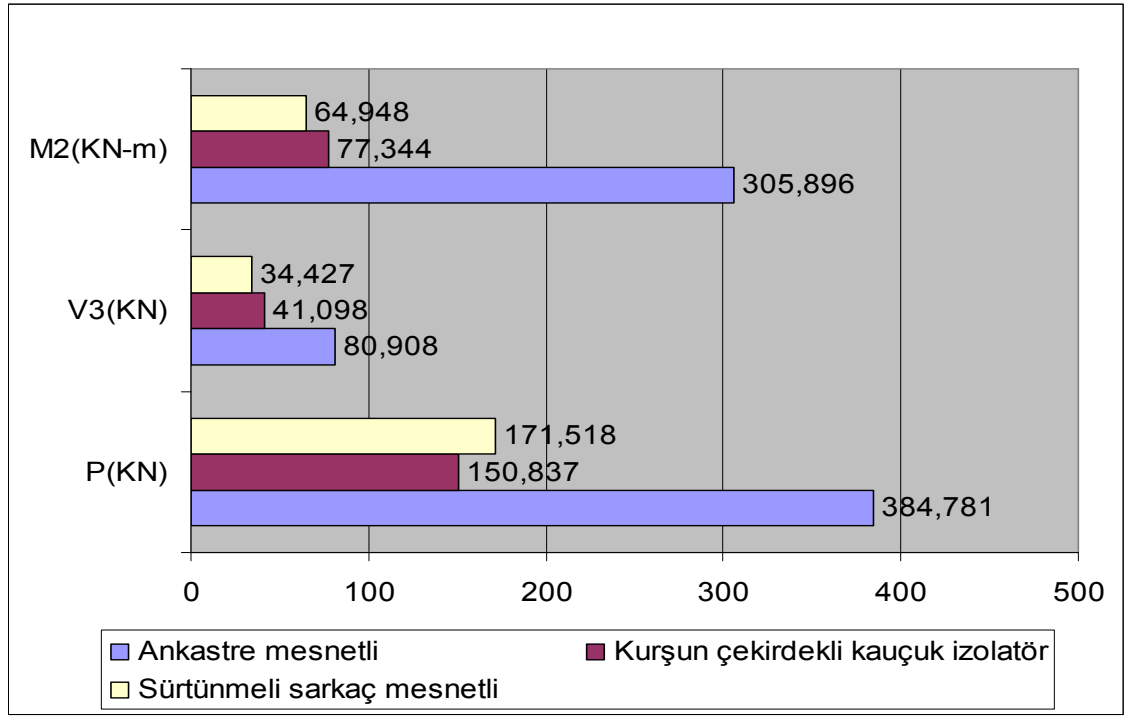
Şekil 4.7. Ankastrre-kurşun çekirdekli kauçuk arasındaki (d), ankastrre-sürtülmeli sarkaç mesnetli arasındaki(e), kurşun çekirdekli kauçuk-sürtülmeli sarkaç temelli(f) arasındaki mesnetlenme durumuna göre 1A köşe kolonunda temel görelî ötelenmeleri

4.3.5. Yapı Sisteminin Taban Mesnetlenme Durumlarına Göre Kesit Tesirleri

Yapıların deprem sırasındaki en önemli davranış karakteristiklerinden ikisi, yapının taban reaksiyonları olan taban kesme kuvveti ve devrilme momentidir. Taban yalıtımının doğrulukla kullanıldığı yapılarda bu reaksiyonlar büyük oranda azaltılabilmekte ve buna bağlı olarak görelî ötelenmeler, iç kuvvetler ve ivme gibi davranışlarda büyük ölçüde iyileştirme sağlanabilmektedir. Şekil 4.8. kesme kuvveti ve devrilme momentine bakıldığında, kesme kuvveti değeri ankastre mesnetli modele göre kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve sürtünmeli sarkaç mesnetli modelde sırasıyla %49.2 ve %57.5 azaldığı ve devrilme momenti değeri ankastre mesnetli modele göre kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve sürtünmeli sarkaç mesnetli modelde sırasıyla %74.7 ve %78.8 azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.3. Ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve sürtünmeli sarkaç mesnetli modellerin kesit tesir değerleri

	P(kN) Eksenel Kuvvet	V3(kN) Kesme Kuvveti	M2(kN-m) Burulma Momenti
Ankastre mesnetli	384,781	80,908	305,896
Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör	150,837	41,098	77,344
Sürtünmeli sarkaç mesnetli	171,518	34,427	64,948



Şekil 4.8. 1A köşe kolonunda ankastré mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve sürtünmeli sarkaç mesnetli modellerin kesit tesir değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırması

Ayrıca, yumuşak izolatörlü, orta sert izolatörlü ve sert izolatörlü örnek uygulama çalışmaları yapılmış olup, modellerde kullanılan izolatörlerin özellikleri çizelge 4.4. 'de verilmiştir.

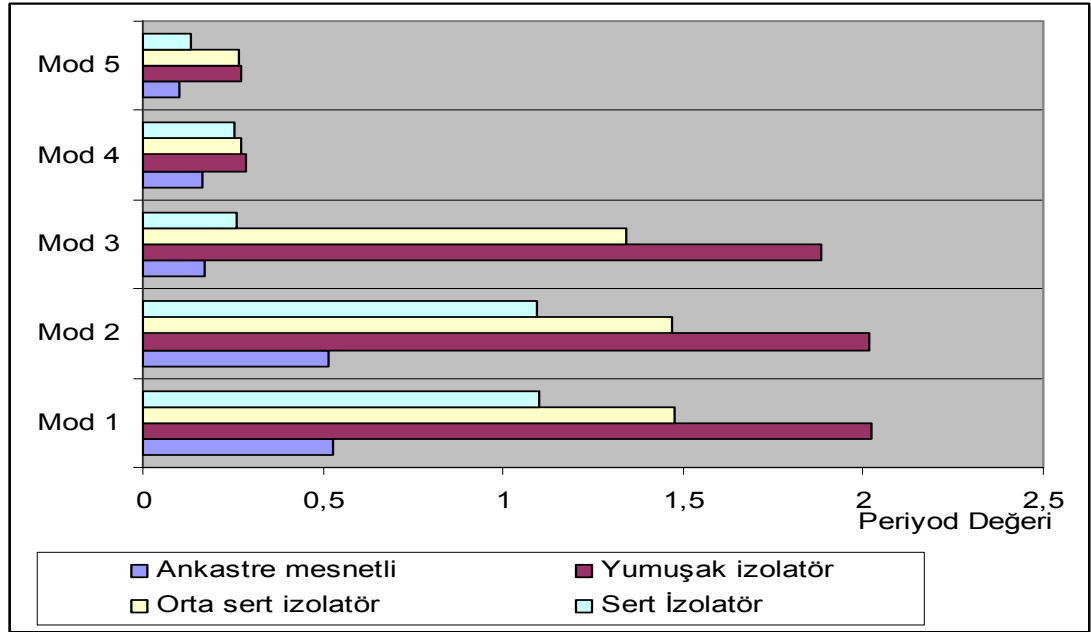
Çizelge 4.4. Modellerde kullanılan kauçuk yatakların mekanik karakteristik değerleri((Naeim ve Kelly, 1999'den) ve (Karabörk, 2000'ten) esinlenerek)

Kauçuk yatak tipi	Eksenel rijitlik (kN/m)	Etkili kayma rijitliği(K_{eff}) (kN/m)	Başlangıç kayma rijitliği(K_1) (kN/m)	Kayma akma kuvveti (kN)	Akma sonrası/Akma öncesi kayma rijitlik oranı (K_2/K_1)	Yatak kütlesi (10^3 kg)
Yumuşak	$0,5 \cdot 10^6$	500	1750	22,5	0,2	0,150
Orta sert	$1 \cdot 10^6$	1000	5000	80	0,04	0,150
Sert	$3 \cdot 10^6$	2000	10000	150	0,06	0,150

Yapılan analizlerde, kullanılan izolatörlerin özelliklerinin yapının titreşim periyodu doğrudan etkilediği görülmektedir (çizelge 4.5).

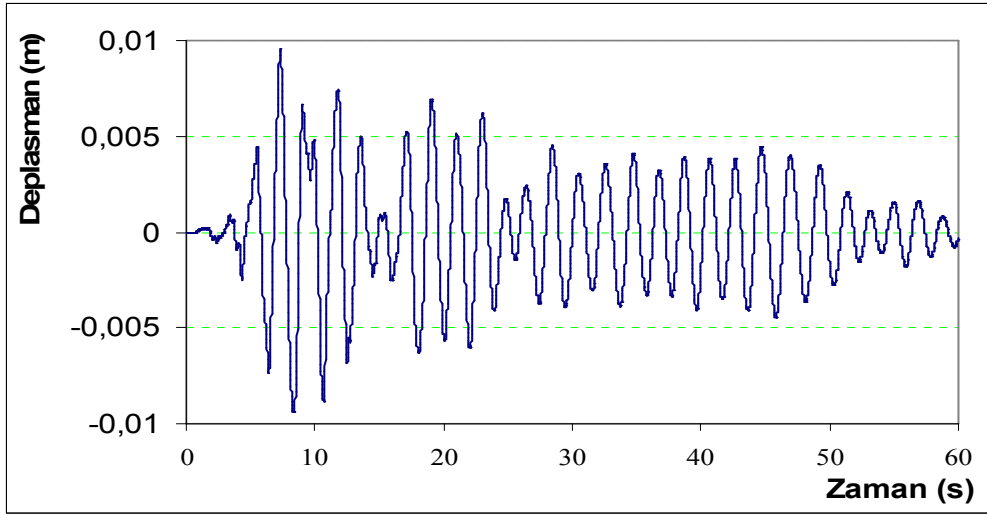
Çizelge 4.5. Yapı sisteminin izolator durumlarına göre titreşim periyotları

Doğal titreşim periyotları	Ankastre mesnetli	Yumuşak izolator	Orta sert izolator	Sert İzolator
Mod 1	0,531	2,02219	1,47381	1,10235
Mod 2	0,516	2,01645	1,46812	1,09680
Mod 3	0,173	1,88333	1,34010	0,26280
Mod 4	0,166	0,28790	0,27637	0,25597
Mod 5	0,100	0,27399	0,26669	0,13626

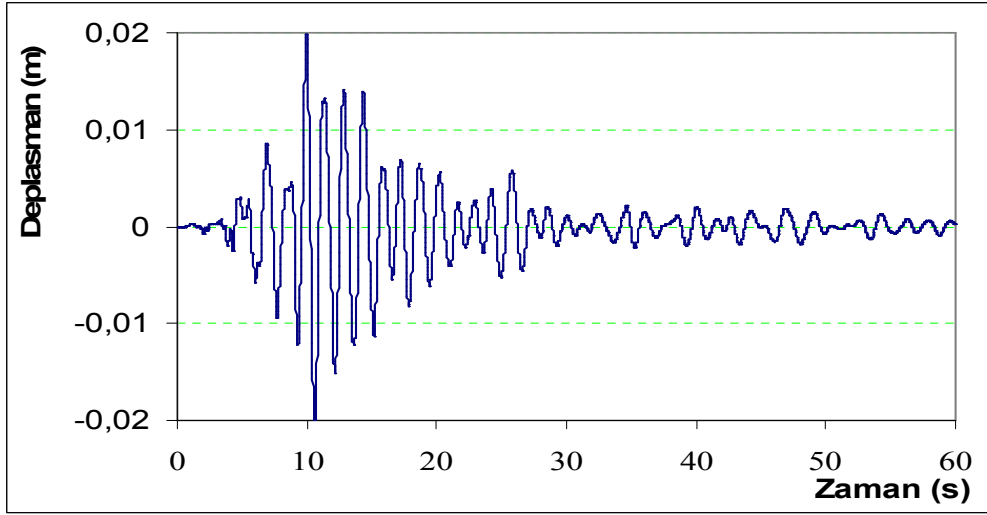


Şekil 4.9. Yapı sisteminin izolator durumlarına göre titreşim periyotları grafiği

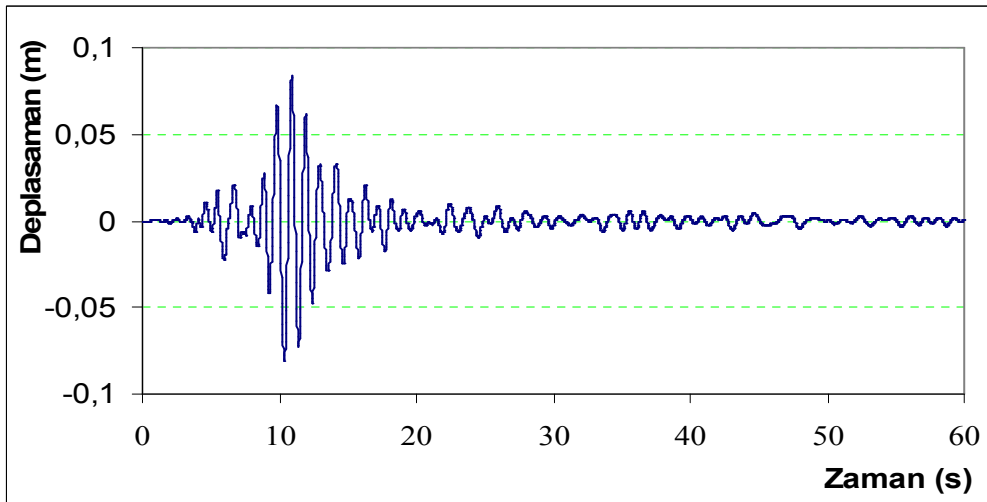
Çizelge 4.5. ve şekil 4.9. 'da görüldüğü gibi, yapı periyodunun ilk 5 periyodu Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Yapı titreşim periyodu izolatorlu tüm modellerde artmıştır. 1. doğal titreşim periyodu için, yumuşak izolator, orta sert izolator ve sert izolator olması durumunda ankastre modele göre sırasıyla %380,8, %277,6 ve %207,6 arttığı görülmektedir.



(a)



(b)

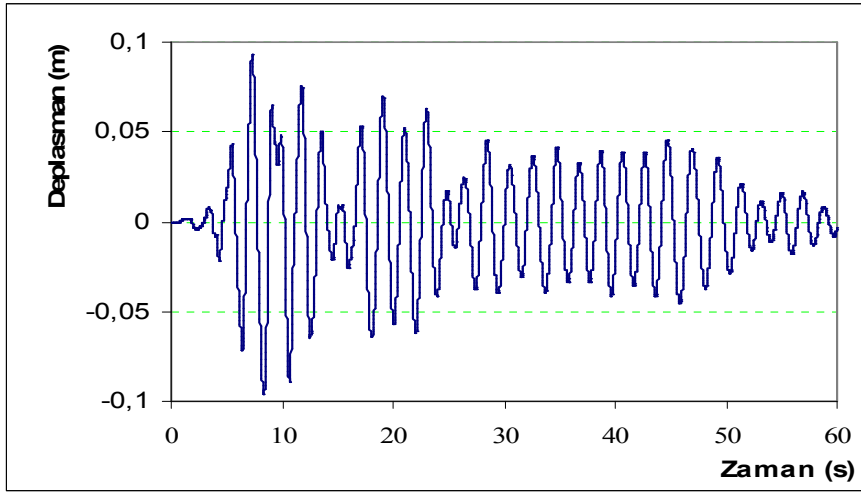


(c)

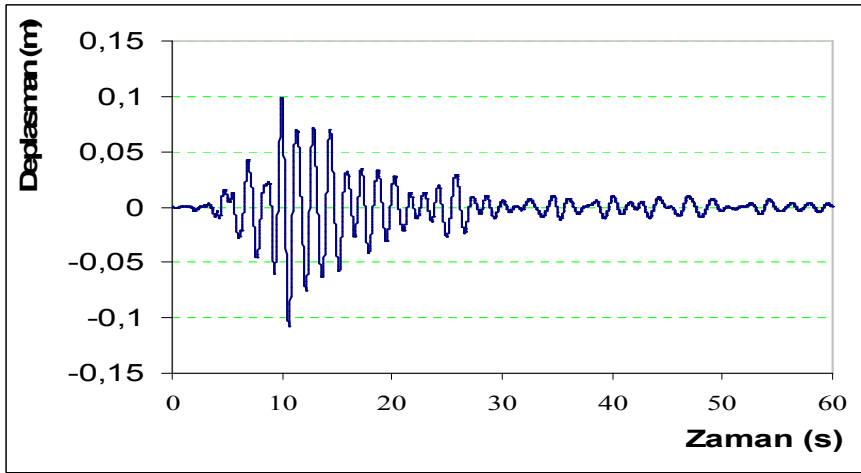
Şekil 4.10. Yumuşak izolotörlü (a), orta sert izolotörlü (b) ve sert izolotörlü (c) mesnetlenme durumuna göre 1A köşe kolonunda temel görelî ötelenmeleri

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, izolatörlü üç modelde de görelî ötelenme ankastre temelli modelimize göre daha uygun sonuçlar verilmektedir. Ancak Şekil 4.10.'da (a), (b) ve (c) grafiklerini kendi aralarında karşılaştırdığımızda yumuşak izolatörden sert izolatöre göre görelî deplasmanların azda olsa arttığı görülmektedir. İzolatörün sertliği arttıkça görelî deplasmanlar ankastre temelli modele yaklaştığı görülmüştür. O halde izolatörlü sistemlerde çok sert izolatör kullanılmasında mümkün mertebe kaçınılması gerekmektedir.

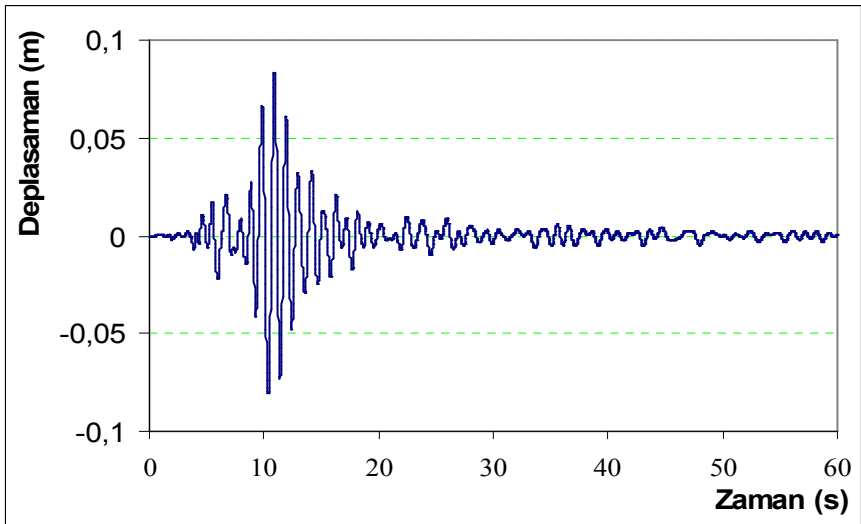
Şekil 4.11. 'de yumuşak, orta sert ve sert izolatör kullanılması durumlarında taban seviyesindeki deplasman – zaman grafikleri görülmektedir. Buradan, izolatörün sertliği arttıkça izolatörün yaptığı deplasmanın azaldığını görmekteyiz.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.11. Yumuşak izolatörlü (a), orta sert izolatörlü (b) ve sert izolatörlü (c) mesnetlenme durumuna göre 1A köşe kolonunda izolatör ötelenmeleri

4.4. Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi

Analiz sonuçlarından, deprem etkisiyle kesitlerde meydana gelen kesme kuvvetleri, eksenel kuvvetler ve eğilme momentleri, ankastre temelli sisteme göre sırasıyla %49, %40 ve %57 oranında azalmaktadır. Bu kesit tesir değerleri yapının aldığı hasarla doğrudan ilgilidir. Yani yapıya etkiyen kuvvet azalmış olduğundan yapı depremden daha az etkilenerak daha az hasar almış olur. Sismik izolasyonlu sistemin ankastre temelli sisteme kıyasla dört kat daha büyük bir deprem yükü ile analiz edildiği düşünülürse, kesitlerde meydana gelen i kuvvetlerdeki hesaplanan bu oranların düşüşünün depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkate değer bir düşüş olduğu söylenebilir.

Gz önüne alınan yapı taşıyıcı sistemin yapmış olduğu deplasmanlar incelendiğinde izolasyon katının da rijit diyafram diğer katlarla birlikte hareket ettiği ve bu durumun muhtemel büyük burulma etkilerinin önüne geçtiği açıktır. Ayrıca, göz önüne alınan sistemde katlar arası yer değiştirmelerin de, izolasyon kullanılmayan yapı taşıyıcı sistemine kıyasla minimum seviyede olduğu görülmektedir.

Analizler neticesinde depreme dayanıklı sismik izolatörlerin deprem etkilerini azalttığı ve ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen yük etkileri kıyaslandığında önemli derecede bir düşüşün (yaklaşık %50 oranında) meydana geldiği açıkça görülmektedir. Elde edilen bu sonuçların yapı güvenliği açısından sismik izolasyon yönteminin kullanılabilirliğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, sismik izolatörlerin yer aldığı taşıyıcı yapıların deprem tesirindeki davranışları araştırılmıştır. Bunun için farklı çeşit ve sertliklerde izolasyon sistemleri ile modellenen çerçeve sistemlerin, zaman tanım alanına göre dinamik analizleri yapılmıştır. Böylece elde edilen yapı periyotları, taban kesme kuvvetleri, kat ivmeleri, görelî kat ötelemeleri ve kolon eğilme momentleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıda sıralanmıştır.

Yapılan araştırma ve bulgular sonucunda, sismik izolasyon kullanarak yapının periyodunda artışlar gözlenmiştir. Sismik izolasyon kullanılan bir yapının, ankastre temelli bir yapıya göre yapının periyodunun artması, yapıya daha düşük ivmeler etki etmiştir.

Yapılan analizler neticesinde yapı periyodundaki değişiklikler, kuvvet-deformasyon ilişkisi, giren enerji-sönümlenen enerji, izolatör durumlarına göre en üst kat deplasmanı, taban seviyesi deplasman-zaman grafikleri çizilerek değişiklikler gözlemlenmiştir. Buna göre yapının periyodunun, izolatörlü durumdan ankastre mesnetli duruma göre dört kat arttığı görülmüştür.

Sismik izolasyon sayesinde yapıyı etkileyen deprem enerjisinin büyük bir bölümü taban yalıtımı mesnetlerinde sönümlenmekte ve üst yapıya daha az bir deprem enerjisi etki etmektedir. Bunun sonucunda yapıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda daha az bir etkilenme oluşmakta ve sismik izolasyon kullanılan ankastre temelli bir yapıya göre daha az kesit tesir değerleri oluştuğu görülmektedir.

Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu yapıların deplasman-zaman grafiklerine bakıldığında, sismik izolasyonlu bir yapının deplasman değerlerinin ankastre mesnetli yapıya göre daha büyük olduğu görülmüştür. Böyle bir sistemde, önemli olan yaklaşım, en üst kat ile taban seviyesindeki görelî ötelenmeler olup, sismik izolasyon kullanılan bir yapının görelî ötelenmesi ankastre mesnetli yapıya göre daha küçük deplasman değerlerinin oluştuğu görülmüştür. Bu çalışmada, izolatör kullanılan bir yapının, ankastre temelli duruma göre en üst kat deplasmanı yaklaşık üç kat fazla hesaplanmıştır. Yani, izolatörlü yapı daha fazla deplasman yapmıştır. Bunun yanı sıra, görelî ötelenmeler kıyaslandığında, izolatörlü yapının görelî ötelenmesinin ankastre mesnetli yapı duruma göre üçde bir (1/3) oranında olduğu hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar

neticesinde, taşıyıcı yapı sisteminin depremden daha az etkileneceğini söylemek mümkün olabilecektir.

Yapılarda sismik izolatörlerin kullanılması sonucu kesit tesir değerlerindeki, yaklaşık %50 oranında, azalmalardan, yapının kesit boyutlarının da önemli oranda küçülmesi yapı maliyetin azalması sonucu ortaya çıkmıştır. Ancak, ilgili deprem yönetmeliklerinde verilen kriterler bu tür yapıların tasarımında ekonomi sağlanmasından daha çok, güvenli yapı tasarımının yapılmasını hedeflemesine rağmen kullanılan depreme dayanıklı izolatörler ile güvenli yapı tasarımının yapılabildiği ortaya çıkmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolatörlerin kullanılması konusunda bu tür teorik hesaplamaların yanında özellikle deneysel ve uygulama çalışması yapılması, yani gerçek bir yapı üzerinde veya yapının prototipi üzerinde sismik izolatör uygulaması yaparak bu izolatörlerin mekanik mekanik ve fiziksel davranışlarının incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Alhan, C. ve Gavin, H.,2004. **Parametric analysis of passive damping in base isolation.** Proceedings of the 2004 Structures Congress - Building on the Past: Securing the Future,1375 – 1382.
- Almazan, j. ve arkadaşları, 1998. **Department of Civil Engineering.** University of California at Berkeley, Berkeley, CA, U.S.A.
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.** Afet İşleri Genel müdürlüğü, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2 Eylül 1997 tarih ve 23098 mükerrer sayılı resmi gazete.
- Amerikan Structural Engineering Design Provisions 1997, **Uniform Building Code, USA**
- Ateş, Ş., Dumanoglu A., 1999. **Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi TDV,** Teknik Rapor TR 026-42.
- Atım, E., 2000. **Betonarme Sistemlerin tasarımı.** ODTÜ Yayını, Ankara.
- Bayulke, N., 1998. **Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı.** İMO İzmir Şubesi Yayını.
- Bayulke, N., 1998. **Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi.** İMO İzmir Şubesi Yayını.
- Bayülke, N., 2002, **Yapıların Deprem Titreşiminden Yalıtımı.** TDV Kitap, İstanbul.
- Celep, Z., Kumbasar N., 2000. **Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.** 2. Baskı, İstanbul.
- Chopra, A.K., 1995, **Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering.** Prentice Hall, New Jersey.
- Christopoulou, E., Garofalakis, J., Makris C., Panagis J., Psaras A., Sakkopoulos E. ve Tsakalidis A.,2003, **Techniques and Metrics for Improving Website Structure.** Poster demo, Proceedings of the 12th International World Wide Web Conference (WWW), May 20-24, Budapest (Hungary).
- Calio, F., ve Marchetti, E.,2003. **On The Convergence of Collocation Spline Methods for İntegral Delay Problems.** Studia Üniv. Mathematica,Volume XLIX, number 3, September 2003.
- Calio, I., Marletta, M. ve Vinciprova, F., 2003. **Seismic Response of Multi-Storey Buildings Base-Isolated by Friction Devices with Restoring Properties.** Computers and Structures, 81, pp 2589- 2599.
- Chang, C.H., 2002. Modeling of Laminated Rubber Bearing Using an Analytical Stiffness Matrix, **International Journal os Solids and Structures.** 39.
- Colunga-Arturo, Tena., 2002, **Engineering Structures.** Volume 29, Issue 2.
- Dynamic Isolation System Inc. 1985. **Base Isolation of Building Architectural and Engineering Aspects.** Berkeley, California.
- Doğangün, Adem.,2008, **Betonarme yapıların hesap ve tasarımı.** Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Department of Civil Eng.
- Kelly, J., Bachas, N., Duenas, L. ve Wu, T.C., 2001. **The Rehabilitation for Improved Seismic Resis Tance of Mitchell Hall ,** Massachusetts Institute of technology High Performance Structures Design Project Report. İstanbul American Roberts High School, Turkey (yayımlanmamış).
- Kelly,TE., 2001. **Base Isolation of Structures- Design Guidelines,** Holmes Consulting Group Ltd., Wellington.

- Kelly, J.M., 1999. **The Role of Damping in Seismic Isolation**, Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- Kösedağ, S. ve Ekiz, İ., 2002. **Yapılarda Sismik İzolasyon**. Yıldız Teknik Üniv., 194 s, İstanbul.
- Kalaycı, S., Karabörk Ç. ve Kahya E., 2000. **Analysis of El Nino Signals on Turkish Streamflow and Precipitation Patterns Using Spectral Analysis**, Fresenius Environmental Bulletin, Volume 13, No.8, 719-725.
- Lee, D.G., Hong J.M., Kim, J., 2001. **Wind Effects on habitability of Base Isolated Buildings**, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.
- Li, J., Samali, B. and Crews, K.I., 2003, **Determining Individual Member Stiffness of Brise Structure Using a Simple Dynamic Procedure**, Aisa Pacific Vibration Conference, Gold Coast, Queensland, Australia, November 2003 in Proceedings of the 10th Asia Pacific Vibration Conference, ed Professor Joseph Mathew, Queensland University of Technology, Gold Coast, Queensland, Australia.
- Marioni, A., 2001. **Behaviour of Large Base Isolated Presressed Concrete Bridges During the Recent Exceptional Earthquakes İn Turkey**, Report
- María, A., García-Valiñas and Roberto Fernández Llera and Benno Torgler, 2005. **Center for Research in Economics, Management and the Arts (CREMA)**.
- Malhotra, P., 1997. **Method for seismic base isolation of liquid-storage tanks**, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 1.
- Naim, F., Kelly J.M., 1999. **Design of Seismic Isolated Structures**, From theory to Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Naem, F., and Kelly, J. M., 1999. **Design of seismic isolated structures: from theory to practice**, Wiley, Chichester, England.
- Ristic, D., 1993. **Control of Structural Behaviour- Part 2: Passive Structural Control**, Lectures for the International Post Graduate Studies, Skopje.
- Robinson, W.H., 2000. **Seismic Isolation os Civil Buildings in New Zealand**, prog.
- SAP 2000 Nonlinear Education Verison 7.12, **Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Sap2000n Detailed Tutorial Including Pushover Analysis**, CSI. Computers and Structurez Inc., Berkeley, California, USA.
- SAP 2000 Version Education 6.11, **Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures 1997** SAP2000 Verification Manuel, Computers and Structures, Inc. Bekeley, California, USA.
- Symans, M.D., and Kelly, S.W., 1999. **Fuzzy Logic Control of Bridge Structures Using Intelligent Semi-Active Seismic Isolation Systems**, Earthquake Engrg. and Structural Dynamics. 28, 37-60.
- Tezcan, S.S., ve A. Erkal, 2002. **Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices** Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları.
- Türker, H., 2005. **Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanış Tipleri Örnek bir Maliyet Analizi**. Deprem sempozyumu, Kocaeli.
- Uetani, K., ve ark., 2002. **Dept. Of Architecture and Architectural Engineering. Greduate School of Engineering**, Kyoto Üniversitesi, japan.
- Wilson, E.L., 1997, **Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures With emphasis on earthquake Engineering**. CSI. Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.
- Yozgat, E., ve Hüsem, M., 2004. **Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen sismik kontrol yöntemlerinin incelenmesi**. 204 sayfa, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisansım eğitiminin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana bilimsel çalışma disiplini veren danışman hocam, sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN' a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında değerli görüş, katkı ve bilgilerini esirgemeyen hocaların sayın, Yrd. Doç. Dr. Faruk Fırat ÇALIM ve Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŐ' a teşekkürlerimi sunarım.

Öğretim hayatımda bana emeği geçen hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtirim.

Hayatım boyunca bana maddi ve manevi olarak en büyük desteği sağlayan ailemin tüm fertlerine içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

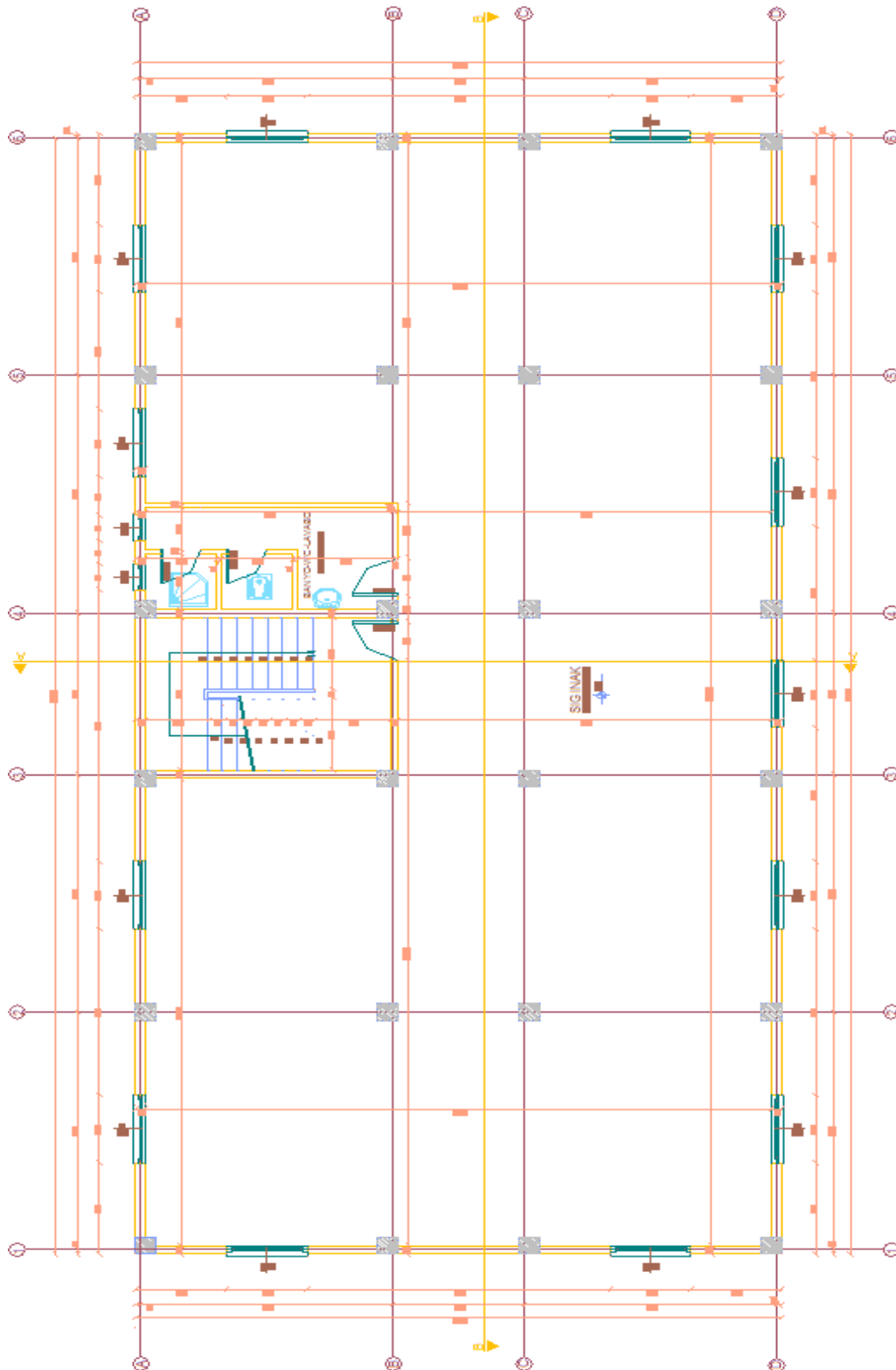
1980 yılında Osmaniye’de doğdum. İlk, Orta ve Lise eğitimimi Osmaniye’de tamamladım. 1999 yılında girmiş olduğum Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden, 2003 yılında İnşaat Mühendisi ünvanı ile mezun oldum. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladım. 2003- 2004 yılları arasında Adana’da Yapı Denetimde görev aldım. 2004- 2005 yıllarında Adana’da Prota Mühendislik Müşavirlik A.Ş. de Kontrol mühendisliği görevini yaptım. 2005- 2006 İstanbul’da Paket Okullarda (Güçlendirme- Onarım) Şantiye Şefliği görevini yaptım. 2006 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladım. 2006- 2008 Osmaniye’de Analiz Mühendislik de çalışmaktayım.

Ek-1. SAP 2000 GİRİŞ BİLGİLERİ

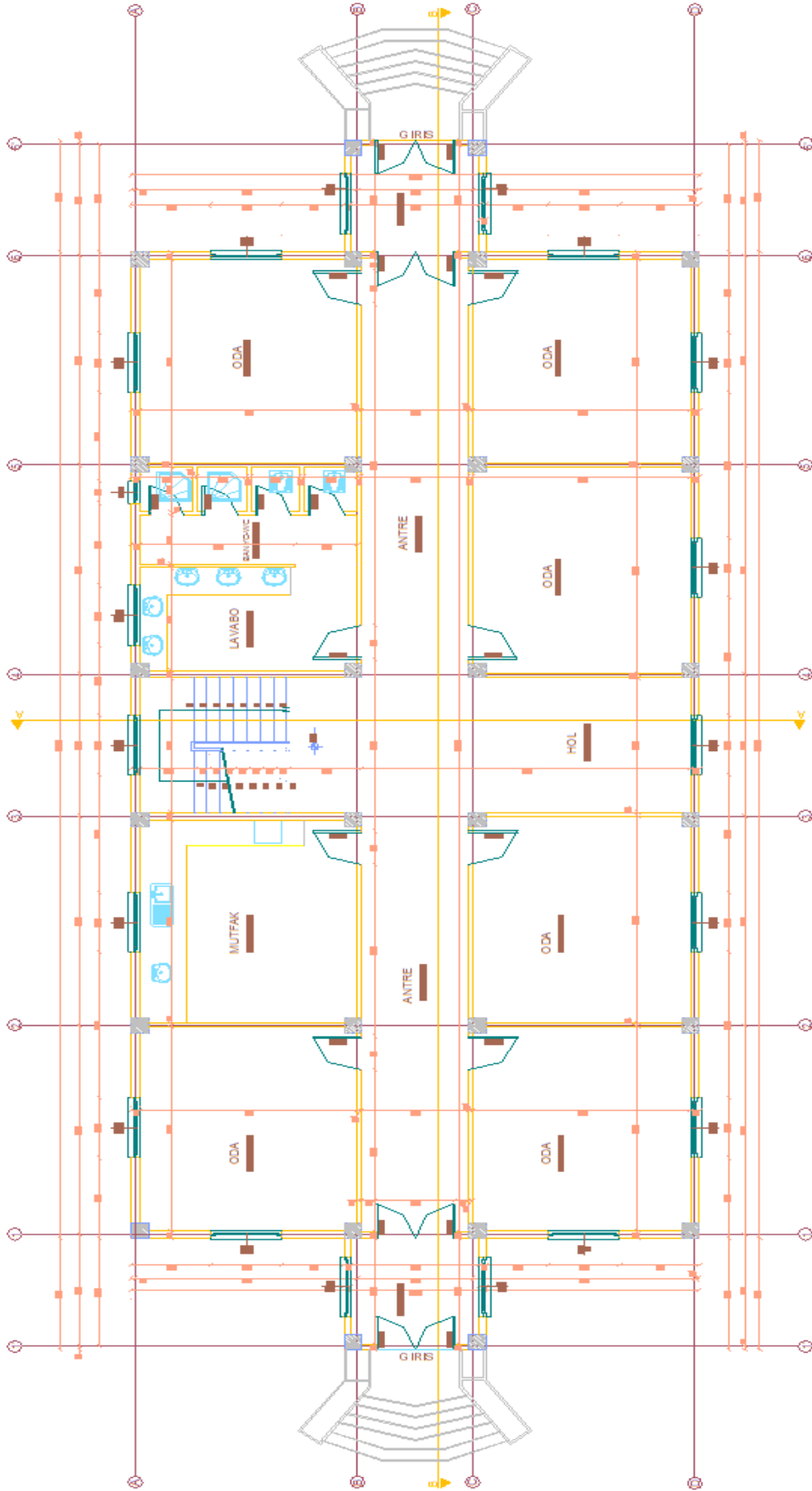
KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖRLER İÇİN SAP2000 GİRDİ BİLGİLERİ		Düşey Rijitlik	Etkili Kayma Rijitliği	Elastik Rijitlik	Akma Sonrası Rijitlik Oranı	Akma Kuvveti
Kauçuk Çapı	Kauçuk Kesme modülü (N / mm ²)	×10 ³ kN/m	×10 ³ kN/m	×10 ³ kN/m	-	kN
Ø 600	3,50	1791,710	0,971	14,440	0,05	42,5
	4,00	2441,843	1,088	16,709	0,05	42,5
	6,00	3009,209	1,434	23,870	0,05	42,5
Ø 700	3,50	4483,835	1,622	24,456	0,05	53,8
	4,00	1801,869	1,198	18,633	0,05	53,8
	6,00	5430,634	2,496	41,925	0,05	53,8
Ø 800	3,50	4407,394	1,409	22,501	0,05	53,8
	4,00	4407,394	1,570	25,715	0,05	53,8
	4,50	4878,711	1,731	28,930	0,05	53,8
	5,00	5339,955	1,891	32,144	0,05	53,8
	6,00	5370,208	2,213	38,573	0,05	53,8
Ø 900	3,50	5791,444	2,433	31,050	0,05	149,5
	4,00	5791,444	2,655	35,486	0,05	149,5
	4,50	6384,095	2,877	39,921	0,05	149,5
	5,00	6961,190	3,099	44,357x	0,05	149,5
	6,00	7010,567	3,542	53,229	0,05	149,5
Ø 1000	3,50	6498,698	2,567	33,533	0,05	170,1
	4,00	6498,698	2,813	38,464	0,05	170,1
	4,50	7174,454	3,060	43,395	0,05	170,1



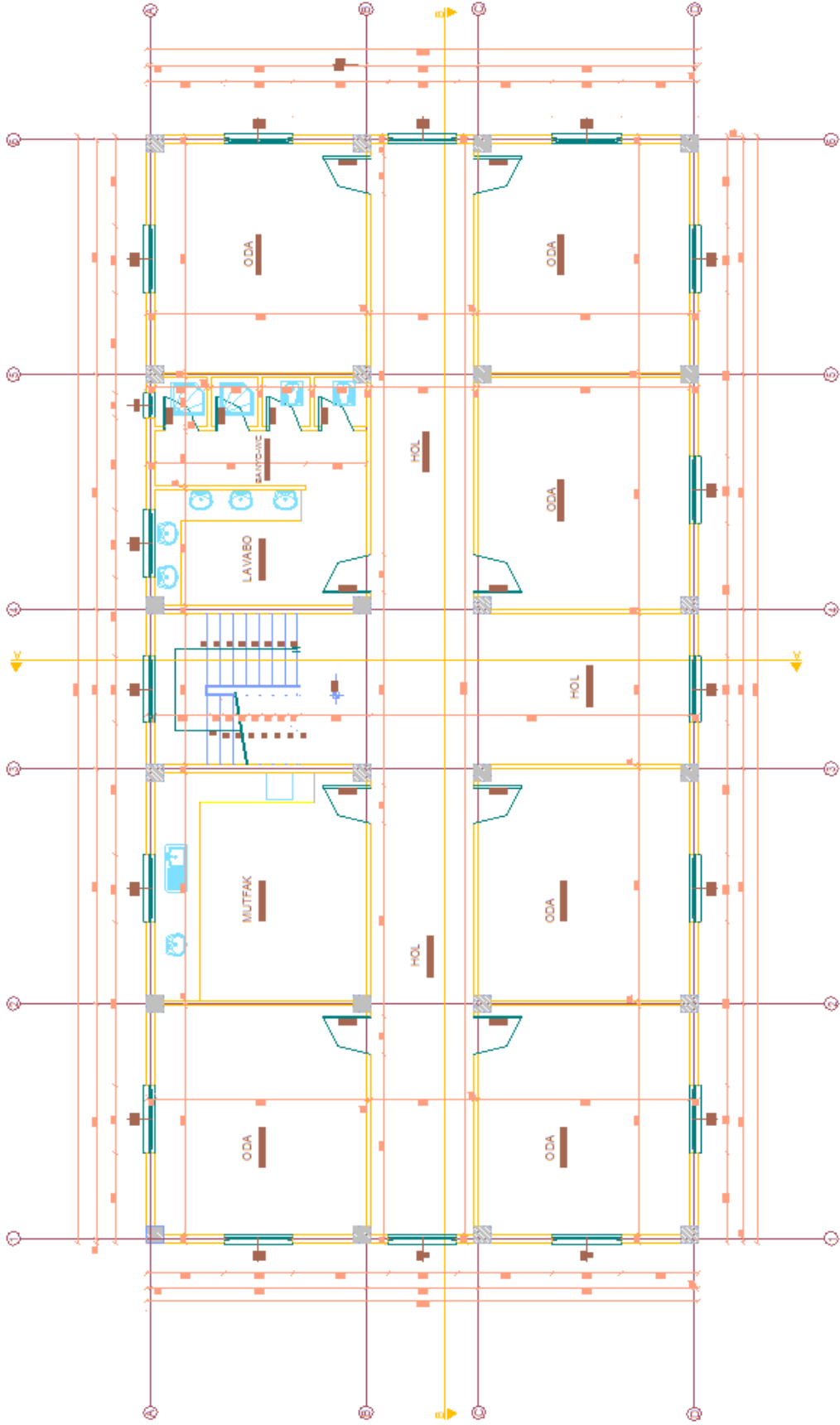
Ek-2.



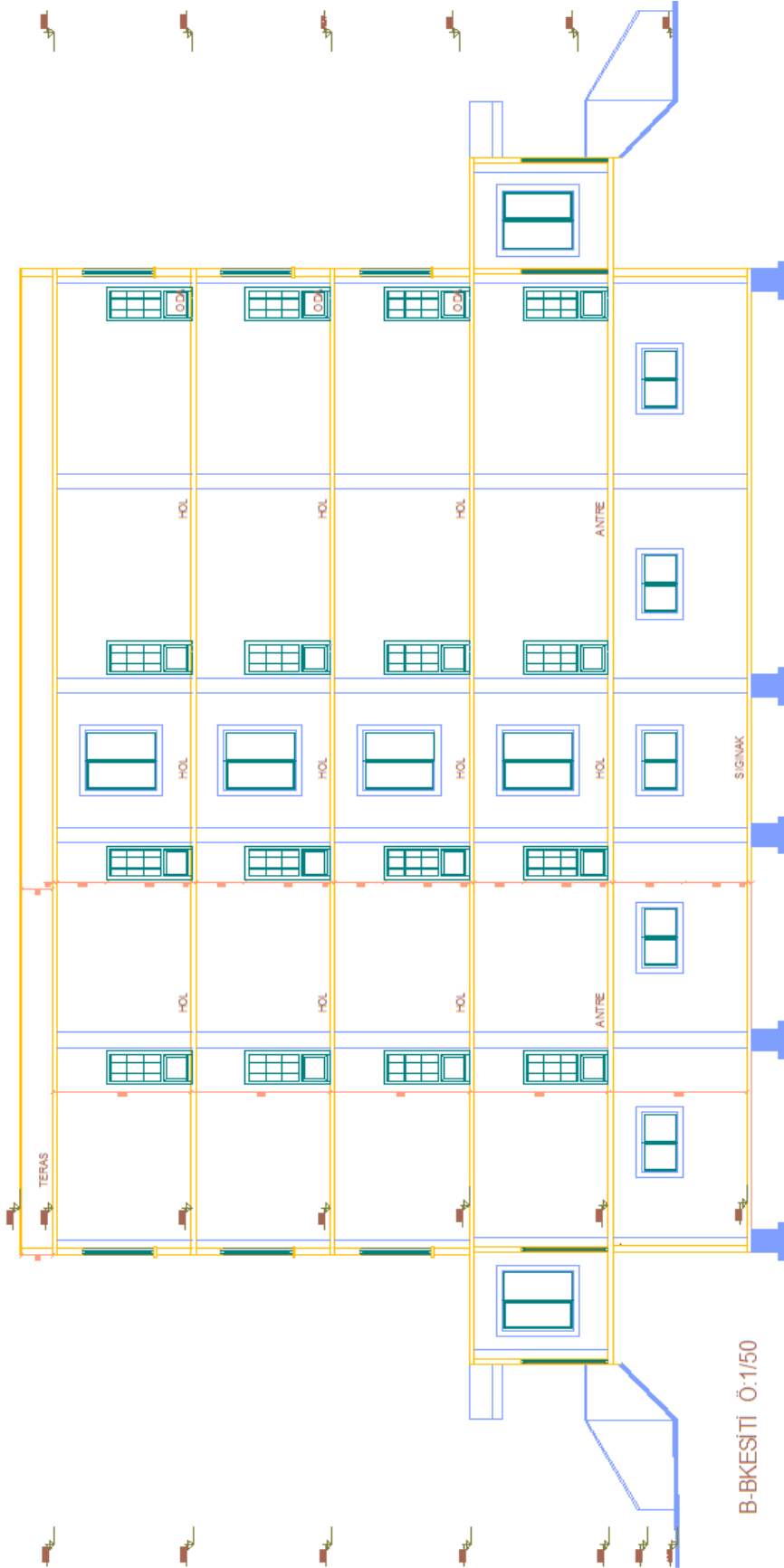
BODRUM KAT PLANI OLCEK:1/50

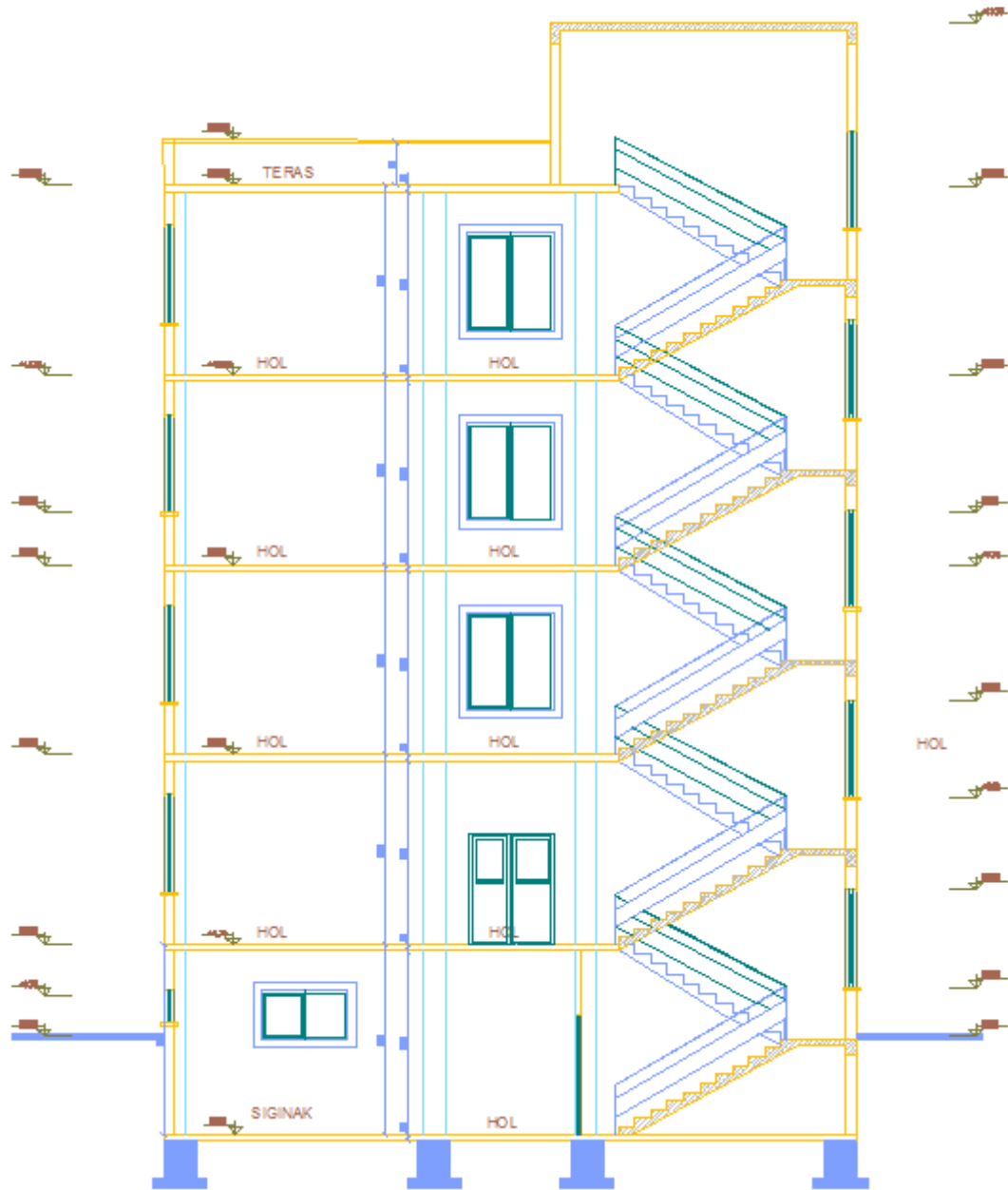


ZEMIN KAT PLANI OLCEK:1/50



1. KAT PLANI OLCEK:1/50





A-A KESITI

