

YAPILARDA TEMEL İZOLATÖRLERİNİN KULLANILIŞI

MUSTAFA UYAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği **Anabilim Dalı**

EYLÜL, 2005

IMPLEMENTATION OF BASE ISOLATION IN BUILDINGS

MUSTAFA UYAR

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

SEPTEMBER, 2005

YAPILARDA TEMEL İZOLATÖRLERİNİN KULLANILIŞI

Mustafa UYAR

Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yapı Bilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Nevzat KIRIÇ

Eylül, 2005

Mustafa UYAR' ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “YAPILARDA TEMEL İZOLATÖRLERİNİN KULLANILIŞI ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

Üye : Prof. Dr. Hasan GÖNEN

Üye : Doç. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Temel izolasyon sistemleri ve etkileri araştırıldıkça, binaların depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi sorununa kesin çözüm getiremeyen “Rijit yapı mı, esnek yapı mı?” tartışmalarına belki de gerek olmadığı düşünülecektir. Geleneksel yapı türleri ile izolasyonlu yapılar karşılaştırıldığında, dinamik etkilerin şaşırtıcı bir oranda azaldığı görülmektedir. Böyle bir tasarımla, binalarda dayanıklılık açısından ciddi bir sorun yaratan deprem etkisi asgari düzeye indirilebilmektedir. Dinamik yüklere karşı koymaya çalışmaktansa, izolatörlerle onları etkisiz hale getirme fikri daha mantıklı bir yaklaşımdır.

Fakat ülkemizde temel izolasyon sistemleri, ithal edilen pahalı bir teknoloji olması ve tecrübesizlik nedeniyle nadiren kullanılmaktadır. Konu incelendiğinde, uygulamasının çok kolay olduğu ve ülkemizde üretim ve projelendirme anlamında bilgi birikiminin yeterli olduğu görülecektir. Bu yolla maliyeti düşürerek, sismik etkilerin yüksek olduğu deprem bölgelerinde, sosyal konutlarda bile kullanılması sağlanabilir.

Bu çalışmanın ilk bölümlerinde, deprem hasarlarına karşı korunmak maksadıyla binanın temeline tesis edilen bir yay sistemi olarak nitelendirebileceğimiz temel izolasyonu ve izolasyonda kullanılan sistemler hakkında genel bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde yönetmeliklere göre kullanılan sismik veriler incelenmiş, dördüncü bölümde bu verilere göre izolatörlü ve izolatörsüz farklı yapı türleri için yapılmış analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda proje gereklerine göre izolatör sistemi seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlara yer verilmiştir.

Son bölümde izolatörlü bir binada açılı yöntemi denge denklemlerinin nasıl oluşturulabileceği araştırılmış, sistem belirlenen bir modele göre çözülmüş, ulaşılan sonuçlar ETABS Analiz Programı sonuçları ve Amerikan UBC-97 Yönetmeliğine göre yapılan statik hesap sonuçları ile karşılaştırılarak doğruluğu ispatlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Temel İzolasyonu, İzolatör, Periyod Yükseltme, Sönüm, Sismik Yükler

SUMMARY

While researching base isolations systems and their effects, we should think that the arguments which couldn't provide a solution, about 'Is a rigid structure or a flexible structure better for preventing earthquake damages?', is needless. When isolated buildings are compared with traditional ones, the surprising amount of reduction in dynamic effects can be seen. The earthquake effects which cause a serious problem for system durability can be minimized by this kind of design. The idea of making dynamic forces ineffective by using isolators, is absolutely logical than trying to resist them.

But in our country, base isolation systems are used rarely, because of being an expensive imported technology and inexperience. If this subject researched carefully, we will see how easy to install it and we have enough knowledge to design and produce it. After reducing the cost by this way, we can use this technology even in social houses on high seismic zones.

First chapters of this study provide general information about base isolation, which we can define as a spring system located between the base of a building and the ground. Third chapter deals with seismic inputs according to Codes. In Fourth chapter, analysis results for different types of isolated and non-isolated structures are compared. After this evaluation, selection of base isolation system according to characteristics of different types of projects is discussed.

At last chapter, how to form the equations for static analysis is searched, a system is solved by the method defined, and this model definition is proved by comparing the results with results of ETABS and with the results of general static method of UBC-97.

Key Words : Base Isolation, Isolator, Period Shift, Damping, Seismic Loads

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ve hatta master'a başladığım günden beri, mesleki ufkumun ve bakış açımın genişlemesinde bana liderlik eden, engin mühendislik bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana bilimsel çalışma disiplini ve analitik düşünme sistemini kazandıran, çok değerli Sayın Danışman Hocam Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ'a, çalışmamın başından beri bana destek veren ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. M.Ruhi AYDIN'a, başta Araştırma Görevlileri Özlem ÇALIŞKAN ve Hande GÖKDEMİR olmak üzere bütün Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine;

Bana çok değerli vaktini ayırarak çalışmama önemli katkılarda bulunan İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Sayın Kutlu DARILMAZ'a;

Tez çalışmam sırasında bütün bilgilerini benimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Sayın Abdülkadir MERAL'e;

Uygulamaya yönelik bilgilerini, tüm yoğunluklarına rağmen benimle paylaşan Obayashi firmasının Türkiye Temsilcisi Em-ke İnşaat Taahhüt ve San Tic. Ltd. Şti.'ne

Çalışmanın başından beri bana en büyük manevi desteği veren sevgili eşim Psk. Aysun Canbeken UYAR'a;

Sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunar, bu çalışmamın gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutmasını temenni ederim.

Mustafa UYAR

Temmuz, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Temel İzolasyonu Kavramı	1
1.2 Temel İzolasyonunun Amacı	3
1.3 Temel İzolasyonunun Özgeçmişi	6
1.4 İzolasyon Sisteminin Dayanıklılığı	7
2. TEMEL İZOLASYONU İLKELERİ	9
2.1 Esneklik-Periyod Yükseltme Etkisi	9
2.1.1 Deprem karakteristikleri	10
2.1.2 Yönetmeliklere göre deprem yükleri	11
2.2 Enerji Sönümleme – Sönüm Arttırma	14
2.2.1 Azaltma faktörünün doğruluğu	16
2.3 Esneklik ve Sönüm	23
2.4 İzolatör Üzerine Oturan Binalarda Hesap	24
2.4.1 Taban kesme katsayısına göre hesap	25
2.4.2 Maksimum deplasmana göre hesap	26
2.5 Kabul Edilebilir Periyod ve Sönüm Değerleri	27
2.6 Rijit Yapı Kabulünün Uygulanabilirliği	29
2.7 Sismik Olmayan Yükler	30
2.8 İzolatör Tipleri	31
2.8.1.Kayıcı sistemler	31

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.8.2 Elastometrik mesnedler	31
2.8.3. Yaylar	32
2.8.4 Silindirik ve küresel mesnedler	32
2.8.5 Yumuşak zemin kat (sleeved piles)	32
2.8.6 Beşik tipi sistemler	33
3. SİSMİK VERİLER	34
3.1 Sismik Veri Çeşitleri	34
3.1.1 Eşdeğer statik yükler	34
3.1.2 Response spektrum	35
3.1.3 Time history (Zaman tanım alanında hesap)	36
3.2 Kayıtlı Deprem Hareketleri	37
3.2.1 1971 Öncesi	37
3.2.2 1971 Sonrası Depremler	40
3.3 Yakın Fay Etkisi	42
3.4 Deplasman Farklılıkları	42
3.5 Zaman Tanım Alanı Kayıtları Seçimi	43
4. BİNALARDA İZOLASYON ETKİSİ	45
4.1 Prototip Binalar	45
4.1.1 Bina konfigürasyonu	45
4.1.2 İzolatörlerin dizaynı	46
4.1.3 Değerlendirme prosedürü	55
4.1.3.1 Response spektrum analiz	55
4.1.3.2 Zaman tanım alanı analizi	57
4.1.4 Statik hesapla ile diğer analizlerin karşılaştırılması.....	58
4.1.4.1 Response spektrum sonuçları ile karşılaştırma	58
4.1.4.2 Zaman tanım alanı sonuçları ile karşılaştırma	61
4.1.5 İzolasyon sistemleri performans değerlemesi	64
4.1.6 Kat kuvvetleri	67

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1.6.1 Response spektrum analizi sonuçları	67
4.1.6.2 Zaman tanım alanı analizi sonuçları..	69
4.1.7 Kat ivmeleri	79
4.1.7.1. Response spektrum analiz sonuçları	79
4.1.7.2 Zaman tanım alanında analiz sonuçları	81
4.1.8. Optimum izolasyon sistemi	85
4.2. Response Spektrum Analiz Hataları	88
4.2.1 Devrilme momenti ihmali	88
5. İZOLATÖR TİPLERİ	89
5.1 Elastomerik Mesnedler	88
5.2 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnedler	90
5.3 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnedler	91
5.4 Düzlem Kayıcı Mesnedler.....	93
5.5 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler.....	94
5.6 Küre ve Silindir Mesnedler.....	95
5.7 İzolatör Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları	96
6. ÖRNEK ÇALIŞMA	98
6.1 Örneğin Belirlenmesi	99
6.1.1 Ankastre durumunda açılı yöntemi ile statik hesap	101
6.1.2 İzolatörlü durumda açılı yöntemi ile statik hesap	123
6.1.2.1 İzolatörlerin boyutlandırılması	123
6.1.2.2 Açılı yöntemi ile statik hesap.....	130
6.1.3 ETABS analiz programı ile çözüm sonuçları.....	148
6.1.4 Karşılaştırmalar	149
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	151
KAYNAKÇA.....	153

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Temel İzolasyonu.....	1
1.2 Kapasite > Etki Kuvvetleri	4
1.3 Düktilite	4
2.1. İdealize Edilmiş Zemin Hareketi Aktarımı.....	9
2.2 Yapı İvme Ve Deplasmanları.....	10
2.3 İvme Bazında Periyod Arttırma Etkisi.....	11
2.4 Deplasman Bazında Periyod Arttırma Etkisi	12
2.5 Sönümün İvmeye Etkisi	15
2.6 Sönümün Deplasmana Etkisi	16
2.7 El Centro 1940 İvme Spektrumları.....	18
2.8 El Centro 1940 Kuzey_ Güney Deplasman Spektrumları.....	18
2.9 Northridge Sepulveda İvme Spektrumları.....	19
2.10 Northridge Sepulveda Deplasman Spektrumları	19
2.11 %10 Sönüm İçin B Faktörü	20
2.12 %10 Sönüm İçin B Faktörü	20
2.13 %30 Sönüm İçin B Faktörü	21
2.14 %30 Sönüm İçin B Faktörü	21
2.15 Eş Değer Viskoz Sönüm	22
2.16 Eş Değer Viskoz Sönüm Deplasman Grafiği Ku/Kr =12/1.	29
3.1 1971 Öncesi Elde Edilen Kayıtlara Göre Spektrumlar	37
3.2 1940 El Centro Depremi	39
3.3 1952 Kern Country Depremi	39
3.4 1979 El Centro Depremi	40
3.5 1985 Mexico City Depremi	40
3.6 1989 Loma Prieta Depremi.....	41
3.7 1992 Landers Depremi	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.8 1994 Northridge Depremi	41
3.9 Depremler Arası Deplasman Farklılıkları	43
4.1 Prototip Binalar	46
4.2 UBS 97 Dizayn Spektrumu	47
4.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetlerin Özellikleri	49
4.4 İzolasyon Sistemleri Histerisis Hareketleri	54
4.5 Efektif Rijitlik	56
4.6 Kompozit Spektrum.....	56
4.7 Üç Depremin Bileşik Spektrumu..	57
4.8 Response Spektrum-Statik Hesap Sonuç Karşılaştırmaları	60
4.9 T=1,5 Sn Periyodundaki Kurşun Çekirdekli Mesned Sonuçları	61
4.10 Zaman Tanım Alanı-Statik Hesap Sonuç Karşılaştırmaları	62
4.11 T=1,5 Sn Periyodundaki Kurşun Çekirdekli Mesned Sonuçları	63
4.12 Depremler Arası Farklılıklar	64
4.13 Taban Kesme Kuvveti Sonuçları Karşılaştırmaları.....	66
4.14 Deplasman Sonuçları Karşılaştırmaları.....	66
4.15 Üç Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat Kuvvetleri Dağılımı.....	67
4.16 Beş Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat Kuvvetleri Dağılımı.....	68
4.17 Sekiz Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat Kuvvetleri Dağılımı.....	68
4.18 Efektif Yükseklikler	70
4.19 İzolasyon Sistemlerinde Efektif Yükseklikler	73
4.20 Üç Katlı Bina (T=0.2) Zaman Tanım Alanı Yöntemi İle Kat Kuvvetleri.....	76
4.21 Beş Katlı Bina (T=0.5) Zaman Tanım Alanı Yöntemi İle Kat Kuvvetleri	77
4.22 Sekiz Katlı Bina (T=1.0) Zaman Tanım Alanı Yöntemi İle Kat Kuvvetleri.....	78
4.23 Üç Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat İvmeleri Dağılımı.....	79
4.24 Beş Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat İvmeleri Dağılımı.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.25 Sekiz Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat İvmeleri Dağılımı.....	80
4.26 Üç Katlı Bina ($T=0.2$) Zaman Tanım Alanı Yöntemi İle Kat İvmeleri.....	82
4.27 Beş Katlı Bina ($T=0.5$) Zaman Tanım Alanı Yöntemi İle Kat İvmeleri.....	83
4.28 Sekiz Katlı Bina ($T=1.0$) Zaman Tanım Alanı Yöntemi İle Kat İvmeleri.....	84
5.1 Elastomerik Mesnet Yük Kapasitesi.....	90
5.2 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesned.....	91
5.3 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesned.....	92
5.4 Sürtümlü Sarkaç Sistem Şematiği.....	94
5.5 Sürtümlü Sarkaç Mesned.....	95
6.1 Dört Katlı Bina Planı.....	99
6.2 A-A Aksı Y Yönü	101
6.3 B-B Aksı Y Yönü	103
6.4 1-1 Aksı X Yönü	105
6.5 2-2 Aksı X Yönü	107
6.6 İzolatör Katmanları	127
6.6 A-A Aksı Y Yönü	130
6.7 B-B Aksı Y Yönü	132
6.8 1-1 Aksı X Yönü	134
6.8 2-2 Aksı X Yönü	136

TABLOLAR

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Deplasmana Göre Taban Kesme Katsayıları.....	14
2.2 UBC 97 ye Göre Sönüm Oranları.....	15
2.3 Yönetmeliklerle Sönüm Oranlarının Karşılaştırılması.....	17
2.4 Esneklik Ve Sönüm Etkisi	23
2.5 Sabit Taban Kesme Katsayısına Göre Hesap.....	26
3.1 %5 Sönüm İçin Ortalama Spektrum Değerleri.....	38
4.1 UBC Hesap Çarpanları	47
4.2 İzolasyon Sistemi Varyasyonları.....	51
4.3 İzolasyon Sistemlerinde Maksimum Sonuçlar.....	59
4.4 Optimum İzolasyon Sistemi Seçimi.....	87
5.1 İzolatör Avantaj Ve Dezavantajları.....	97
6.1 Etabs Modal Analiz Çıktıları.....	148
6.2 Tanımlanmış Spektrumda Taban Kesme Kuvvetleri.....	148
6.3 İzolatörlerde Oluşan Deplasmanlar.....	149
6.4 Deplasman Karşılaştırmaları.....	149
6.5 Taban Kesme Kuvveti Karşılaştırmaları.....	150
6.6 Periyod Karşılaştırmaları.....	150

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	İzolatör kesit alanı
A'	Faydalı alan
A ₀	Etkin yer ivmesi
B	Kauçuk mesnedin toplam genişliği
C	Taban kesme kuvveti katsayısı
C _{VD} , C _{AD}	Tasarım deprem sismik katsayısı
C _{AM}	Maksimum olasılıklı deprem katsayısı
D	Deplasman
D _y	Kauçuk mesnedin akma deplasman değeri
d _D , d _M	Rijitlik merkezindeki tasarım deplasmanı
d _{total}	Bulunmaya ilave yer değiştirme
E _c	Kompozit basınç modülü
E _{eff.v}	Dikey yönde efektif basınç modülü
f _y	Kauçuk mesnedin akma kuvveti
G	Kauçuk malzeme kayma modülü
g	Yer çekimi ivmesi (m/sn ²)
H	Bina yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
K	Kauçuk mesnede ait Bulk modülü
K ₁	Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin elastik rijitlik değeri
K ₂	Kurşun çekirdekli kauçuk mesnede ait akma sonrası rijitlik değeri
k _D , k _M	Tasarım deplasmanında izolatör efektif rijitliği
k _{eff}	Efektif rijitlik
K _u	Elastik eğim
K _r	Plastik eğim
M	Devrilme momenti
N _a , N _v	Yakınlık faktörü
P	Tekil kuvvet
P _{crit}	Burkulma yükü

R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
Q _y	Kurşun çekirdekli mesned akma kuvveti
T	Periyod
W	Toplam bina ağırlığı
V	Taban kesme kuvveti
Z	Sismik bölge katsayısı
β	Efektif sönüm
μ	Sürtünme katsayısı
$\gamma_{\max}$	Maksimum kayma şekil değiştirme değeri
γ_s	Yatay yükte kayma şekil değiştirme değeri
γ_v	Dikey yükte kayma şekil değiştirme değeri

Kısaltmalar

AASHTO

CQC

DBE

EC-8

FEMA

HDR

MCE

SRSS

UBC

LRB

FPS

PTFE

Açıklamalar

Amerikan Devlet Karayolları Ulaştırma Kurumları Birliği

American Association of State Highways Transportation Officials

Tam Quadratik Kombinasyon (Complete Quadratic Combination)

Tasarım Depremi (Design Basis Earthquake)

Euro Code

Federal Emergency Management Agency

Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör

(High Damping Rubber Bearings)

Olası En Şiddetli Deprem (Maximum Capable Earthquake)

Karelerin Toplamının Kare Kökü

(Square Roots of the Sum of the Squares)

Uniform Building Codes

Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör

(Lead Rubber Bearing)

Sürtünmeli Sarkaç Sistem

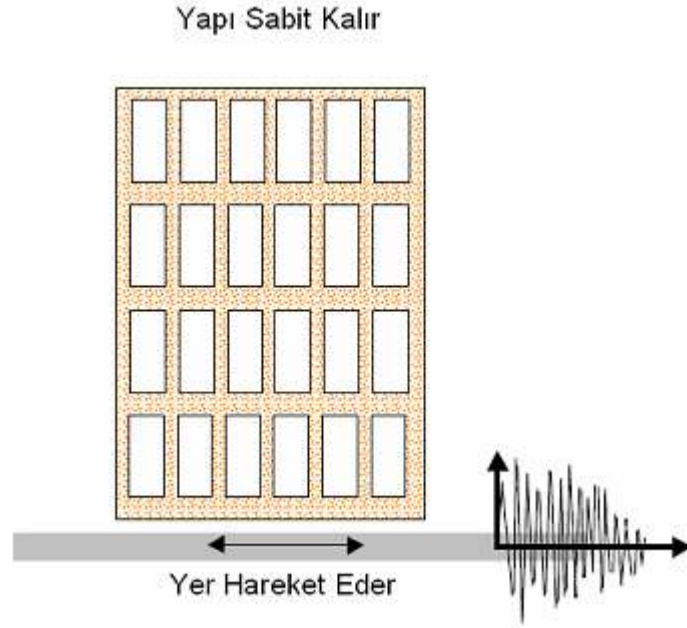
(Friction Pendulum Systems)

Polytetrafluoroethylene – Teflon

1. GİRİŞ

1.1 Temel İzolasyonu Kavramı

Temel izolasyonu terimi, izolasyon “birbirinden ayrılmış olma durumu” ve temel “bir nesneyi veya yapıyı tabanından destekleyen yapı” anlamına gelen kelimelerin birleşmesinden oluşmuştur. İnşaat Mühendisliği açısından bu terim tam olarak temelinden ayrılmış yapı (bina, köprü vs. . .) anlamına gelmektedir. Temel izolasyonu terminolojisi son zamanlarda yerini bazı durumlarda bu ayrımın temel üzerindeki yapısal bölümlerde de olabileceğini yansıtan **sismik izolasyon** terimine bırakmıştır. Konunun özünde sismik izolasyon terimi, yapının sismik ve deprem etkilerinden arındırılması anlamıyla daha doğru bir tabirdir.



Şekil 1.1 Temel İzolasyonu

Yapıya en büyük hasarı, deprem sonucu oluşan zemin hareketleri vermekte olduğu gerçeği ile yola çıkarsak, deprem etkilerini engellemenin en etkin yolunun, yapıyı oturacağı zeminden ayırmak ile mümkün olduğu sonucuna varılır. Deprem sırasında aynı bölgede havada uçan bir uçak etkilenir mi? O halde prensip basit. Yapıyı

zeminden ayır. Zemin hareket edecek fakat bina sabit kalacak. Ancak yapının yer çekimine karşı koyabilmesinin tek yolu da onu zemine oturtmaktır. Burada izolasyon işi, temel yapı mühendisliği gerekleriyle çatışmaktadır. Yapı nasıl olacak da her yerçekimine karşı koyacak, hem de deprem yükleri sebebiyle zeminden ayrılacak ?

Bütünyle ayırım daha idealdir. Ayırımın ilk etapta hava boşluğu, sürtünmesiz tekerlekler, iyice yağlanarak kayıcı hale getirilmiş yüzey, kancalama, manyetik kaldırıcı kullanılarak yapılabileceği düşünülebilir. Ancak bu yöntemler bazı kısıtlamalar içerir. Hava boşluğu dikey destek sağlamaz, kancanın bir noktaya asılma gereği vardır, sürtünmesiz tekerlekler, kayıcı yüzey ve manyetik kaldırıcı, sert rüzgarlarda dahi binanın blok halinde hareket etmesine engel olamayacaktır.

Bu güne kadar ideal izolasyon sistemi problemi henüz çözülememiştir ve yakın gelecekte de çözülemeyecek gibidir. Bu arada depremler yapılara ve yapı elemanlarına profesyonelce projelendirilmiş binalarda bile zarar vermeye devam etmektedir. İdeale ulaşılamasa da ideale yakın, yer çekimi kuvvetine karşı zemine tutunan ve depreme yüklerine karşı zeminden ayrı davranış sergileyebilen pratik izolasyon sistemleri geliştirilmiştir.

Yeni bir kavramı daha önce bilinen kavramlarla karşılaştırarak açıklamak bize yardımcı olabilir. Sismik izolasyon yapıdan sismik etkilerin azaltılması anlamına gelmektedir.

- Boksörlerin Savunma Hareketi : Bir boksör sabit durarak gelen yumrukların bütün kuvvetini karşılayabilir. Fakat zıplayarak geriye doğru harekete ederse yumruğun etkisi oldukça azalacaktır. İzole edilmemiş bir bina da dimdik duran bir boksör gibi tüm deprem yüklerini alacaktır. İzole edilmiş bir bina dinamik davranışıyla deprem kuvvetini asgari düzeyde alır.
- Otomobil Süspansiyonu : Hiç bir süspansiyon sistemi olmayan bir araç, yol üzerindeki tümsek ve çukurlardan gelen sarsıntıları direk yolculara iletir.

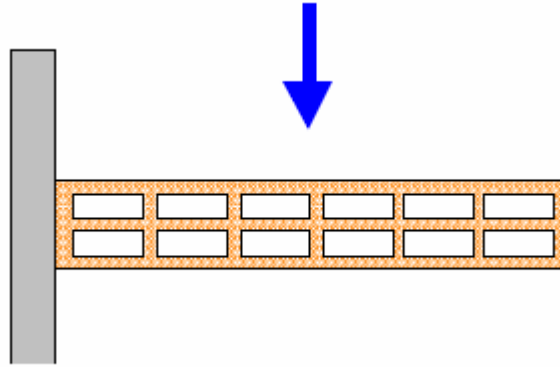
Üzerine etkiyen kuvvetleri modifiye ederek aktaran yay ve sönümleyicilere sahip süspansiyon sistemleri sayesinde yolcular, kasisli yollarda bile sarsıntıyı az hissederler. Daha sonra da anlatılacağı gibi yaylar ve sönümleyiciler pratik izolasyon sistemlerinin ana parçalarıdır.

- Masa Örtüsü Numarası : Üstü tamamiyle dolu bir masada masa örtüsü çok hızlı bir şekilde çekilirse, üzerindeki dengesiz, sıvı dolu bardaklar dahil, her şeyin sabit kaldığını görürsünüz. Bu örtü, hareketi üzerindeki nesnelere iletmeyen kaygan izolasyon sistemi gibi davranır. (KELLY, T.,2001)

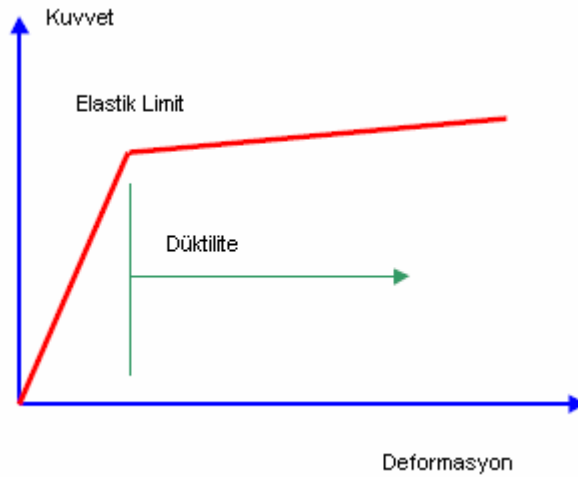
Temel izolasyonu (pasif kontrol sistemi) enerji sönümlenmesi genel kategorisi içinde yer alır. Yapıda sönümleme, sönümleme araçlarının yapıya eklenmesi yoluyla temel hareketine izin vermeden enerjinin absorbe edilmesi ile olur. Deprem etkisini azaltma kategorilerinden diğeri ise izolasyon ve / veya sönümleme araçlarının optimum performans sergileyecek ölçüde güçlendirilmesi esasını inceleyen “Aktif Kontrol” terimidir. Bu kategori güncel çalışmaların başlığını oluşturmaktadır. Fakat bu güne kadar tam anlamıyla uygulanabilir bir sistem geliştirilememiştir.

1.2 Temel İzolasyonunun Amacı

Dünyanın büyük bir bölümü deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır ve toplum inşaat mühendislerinin binaları depremden sağ salim kurtulabilecekleri şekilde dizayn etmiş olduklarını ummaktadır. Tasarım aşamasında karşı karşıya kaldığımız yer çekimi, rüzgar gibi yükleme durumlarında, şu basit denkleme ulaşmaya çalışırız.



Şekil 1.2 Kapasite > Etki Kuvvetleri



Şekil 1.3 Düktilite

Biliyoruz ki depremler engellenemez ve kontrol edilemez. Bu kanı ile, etkiyen kuvvetleri tam olarak bulup, kapasitenin ondan yüksek olmasını sağlamalıyız. Depremler yapının kütlesi ile ve yer ivmesi ile orantılı olarak atalet kuvvetleri oluştururlar. Yer ivmesi arttıkça, yapısal zararları önlemek için, yapının dayanıklılığının-kapasitesinin artırılması zorunludur.

Ancak binanın dayanıklılığını sınırsızca arttırmak pratik bir yol değildir. Yüksek sismik kuşaklarında yer ivmesinin binaya etkittiği kuvvet, yer çekimi (g) ivmesini bir, hatta iki katını bile geçebilir. Bu derecede bir yüke karşı gerekli dayanımı tasavvur etmek kolaydır. 1 (g) lik kuvvete dayanım, bina sanki bir yanına doğru 90°

yatırılmış ve yatay olarak hasar görmeden stabil şekilde duruyormuşçasına, yan yüzeylerinden etkiyen yerçekimi kuvvetine karşı koyabilmesidir. (KELLY, T.,2001)

Bu düzeyde bir dayanım için yapılacak dizayn ne kolay ne de ucuz olacaktır. Bu maliyeti düşünerek mühendisler, bu kapasiteye taşıma gücü yönteminden bildiğimiz duktiliteyi kullanarak ulaşmaya çalışırlar. Fakat elastik limitler üzerinde, yapısal elamanlar hassaslaşacak ve küçük gerilme artışlarında bile deplasmanlar artacaktır. Bu değişimler kalıcıdır, yük kaldırıldığında tersine hareket olmaz. Betonun çatlaması, çelik kirişlerin eğilmesi gibi dramatik sonuçları olacaktır.

Bir çok malzeme için duktilite yapısal hasar demektir. Malzemenin kullanılabilirlik özelliğinin zayıflaması, hasar tanımına uymaktadır. Duktilite genellikle görülebilir hasarlara sebep olur. Yapının dayanabileceği yük kapasitesi azalacaktır.

Kapasite üzerine odaklanmış dizayn felsefesi bizi iki kötü seçime yönlendirmektedir.

1. Elastik dayanımı sürekli arttırma. Bu hem pahalıdır hem de daha yüksek kat ivmelerine sebep olur. Yapısal hasarı ileri derecede güçlendirerek azaltmaya çalışmak, yapı elemanlarında daha düşük dayanımdaki bir binada oluşabilecek hasardan fazlasına sebep olabilir.

2. Elastik dayanımı limit alarak duktiliteye göre detaylandırma. Bu yaklaşım yapısal bileşenlere tamiri mümkün olamayacak hasarları peşinen kabul etmektir.

Temel izolasyonu daha farklı bir yaklaşımdır. Kapasiteyi arttırmadan ziyade, etki kuvvetlerini azaltmaya çalışır. Depremi kontrol edemesek de, binaya gelen deprem yüklerini, hareketin temelden üstyapıya aktarılmasını önleyerek değiştirme şansına sahibiz. (KELLY, T.,2001)

Demek ki izolasyonu kullanmanın temel nedeni, deprem etkilerini azaltmaktır. Doğal olarak izolasyon belli bir maliyet getirir. Sağladığı yarar, maliyetini aştığı takdirde bunun bir önemi kalmayacaktır. Tabiki diğer depreme dayanıklı bina yapım yöntemlerine göre daha cazip bir maliyet/fayda oranını sağlamalıdır.

1.3 Temel İzolasyonunun Özgeçmişi

Temel izolasyonunun ilk defa 1800’lü yıllarda gündeme geldiği ve örneklerinin 1900’lü yılların başında yapıldığı iddia edilse de (Tokyo Imperial Otel), inşaat mühendisliğinin bugünkü anlamda konusu haline gelmesi 1970’lerdir. İzolasyon, 1970’lerin başlarında köprülerde, sonlarında da binalarda uygulanmaya başlandı. Köprüler, genelde altyapıyı üst yapıdan ayıran taşıyıcılar kullanılarak yapıldıklarından izolasyon için daha uygun adaylardır. (ATEŞ, Ş.,1999)

Köprülerde ilk uygulamalar, fleksibiliteye enerji sönümünü eklemiştir. İlk kurşun çekirdekli kauçuk mesnet; LRB “Lead Rubber Bearing” 1970’lerde üretilmiş ve böylece tek bir üniteyle hem esneklik hem de sönümleme sağlanmıştır. Yaklaşık aynı zamanlarda yapılarda da kauçuk mesnet kullanılmaya başlandı. Fakat bu mesnetlerin düşük içsel sönümleme dezavantajı vardı ve hesap yüklerine dayanacak kadar rijit değillerdi.

1980’lerin başlarında kauçuk teknolojisindeki gelişmeler yüksek sönümlü kauçuk mesnet; HDR “High Damping Rubber” olarak adlandırılan yeni kauçuk bileşimlerinin kullanılmasına öncülük etti. Bu bileşimlerle düşey yöndeki kesme gerilmelerine karşı yüksek rijit, yatay yöndeki kuvvetlere karşı esnek davranış gösterebilen mesnetler elde edildi. Yükün boşalması durumunda bu mesnetler önemli miktarda sönümleme yapabilen histerisiz bağ oluştururlar. 1980’li yılların başlarında Amerikadaki ilk bina ve köprü uygulamalarında hem LRB hem de HDR mesnetler kullanılmıştır. (KELLY, T.,2001)

LRB ve HDR mesnetlerle birlikte aynı amaçla kayıcı mesnetler de kullanıldı. Kayıcı mesnetler yüksek düzeyde sönümleme kabiliyetine sahip oldukları halde tek başına izolasyon sistemi olarak kullanılmamışlardır. Çünkü geri döndürme kuvvetleri yoktur. Kayıcı mesnet üzerindeki bir yapı, depremin ardından muhtemelen başka bir konumda hareketini tamamlayacak ve artçı şoklarda da yer değiştirme devam edecektir.

Sürtünmeli sarkaç sisteminin; FPS “Friction Pendulum System” geliştirilmesi, kayıcı mesnetlerin en büyük dezavantajını ortadan kaldırarak küresel bir şekle dönüştürmüştür. Mesnet yatay hareketiyle aynı zamanda dikey de hareket etmektedir. Bu geri döndürme kuvveti sağlar. Bileşenleri silindirler kablolar vb. olan birçok izolasyon sistemi olmasına rağmen genelde temel izolatörü olarak uygulamalarda LRB, HDR, düzlem kayıcı mesnetler ve FPS’nin varyasyonları kullanılmaktadır.

1.4 İzolasyon Sisteminin Dayanıklılığı

İzolasyon sistemlerinin çoğu, yapı mühendisliğinde geleneksel olmayan malzemeler kullanır. Doğal veya sentetik kauçuk, PTFE polytetrafluoroethylene (Teflon olarak bilinir) gibi. İzolasyon sisteminin kullanımı ile ilgili yapı mühendislerinin sıkça üzerinde durdukları konu, bu bileşenlerin ömrü 50 yıl veya üzeri düşünülerek hesaplanan diğer yapı elemanları kadar uzun dizayn ömrüne sahip olup olamayacaklarıdır.

Doğal kauçuk 1840’lardan beri mühendislik malzemesi olarak kullanılmaktadır ve bu malzemelerden bazıları 100 yıl boyunca, üreticilerin, elastomerlerin bozulmaya karşı korunumu hakkındaki bilgilerden yoksun olmalarına rağmen dayanmıştır.

Elastomerik (Kauçuk ve çelik tabakaları) mesnetler, yaklaşık 40 yıldır köprülerde kullanılmaktadır ve bu periyotta güvenilirliklerini ispat etmişlerdir. 37 yaşındaki bir köprü mesnedinde yapılan kesme testleri, ortalama sadece %7’lik bir katılma olduğunu ve oksidasyonun yüzeyden 10-20 mm mesafeyle sınırlandığını

göstermiştir. Bu ilk mesnetlerin üretiminden bu yana oksijen ve ozona karşı direnci sağlayan teknoloji gelişmiştir. Böylelikle modern izolasyon mesnetlerinin 50 yıllık dizayn ömrünü kolayca geçecekleri beklenmektedir.

Bazı köprü mesnetleri soğuk birleşimlerdi. Bu mesnetler izolasyon mesnetlerinin ününü zedeleyerek kısa zamanda işe yaramaz hale geldiler. Elastomerik mesnetlerin üretimi volkanizasyon yöntemiyle yapılmaktadır. Demir plakalar taşlanır ve yağdan arındırılır. Kalıp içine kauçuk tabakalara paralel istiflenir ve birleştirme sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilir. Büyük izolatörler için bu işlem 24 saat veya daha fazla sürebilir.

Bazı köprü izolatörleri sentetik kauçuktan, genellikle de neoprenden üretilmiştir. Fakat neoprenin zamanla doğal kauçuğa göre çok daha yüksek derecede katılaştığını gösteren raporlar vardır. Bu sebeple neoprenin izolasyon mesnedi olarak kullanılamayacağı ortadadır.

PTFE 1938 yılında icat edilmiştir ve 1940'lerden beri her çeşit uygulamada yoğun olarak kullanılmıştır. Neredeyse hiçbir kimyasaldan etkilenmez ve korozyona karşı dayanımda bilinen en iyi maddedir. Kolay kolay kazınmaz ve yapışmaz. Bu özelliklerle dayanıklılığının sonsuz olduğu söylenebilir. Taban izolatörü uygulamalarında PTFE paslanmaz çelik yüzeyin üzerinde yüksek basınç ve hızda kaymaktadır. Bu esnada çelik yüzey üzerinde tortular bırakır. Sonuçta mesnet zamanla soyulacaktır. Ama araştırmalar bu durumun 10-20 km harekette oluşacağını göstermiştir. Binalar için bu durum söz konusu değildir. Çünkü kayma sadece deprem esnasında olur ve toplam hareket kilometreler yerine metrelerle ifade edilmektedir. Köprülerde, üzerinde bulunan küçük oyuklardaki silikon yağlarla yağlanan PTFE'ler kullanılmaktadır. (KELLY, T.,2001)

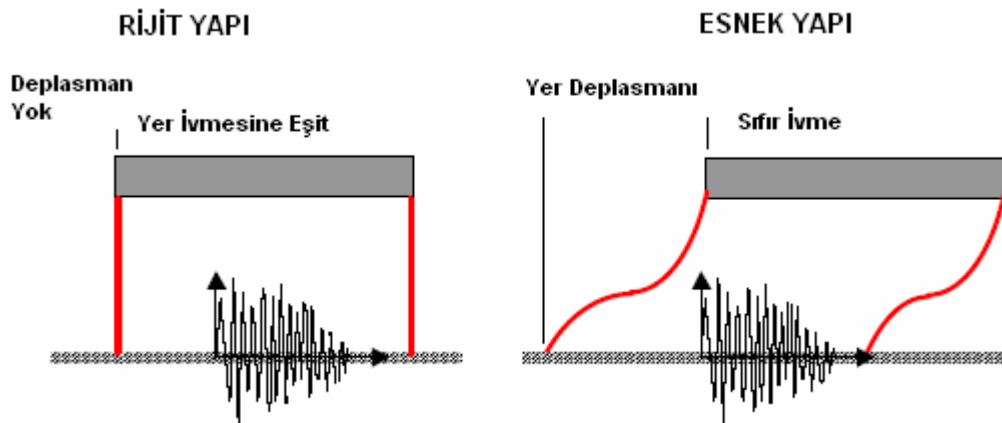
2. TEMEL İZOLASYONU İLKELERİ

2.1 Esneklik-Periyod Yükseltme Etkisi

Temel izolasyonun temel ilkesi zeminin, binanın altında deprem hareketlerini üst yapıya aktarmadan hareket edebilmesini sağlayarak, binanın davranışını düzenlemektedir. İdeal sistemde bu ayrım % 100'dür. Ama gerçekte mutlaka zemin ile yapı arasında bir etkileşim olacaktır.

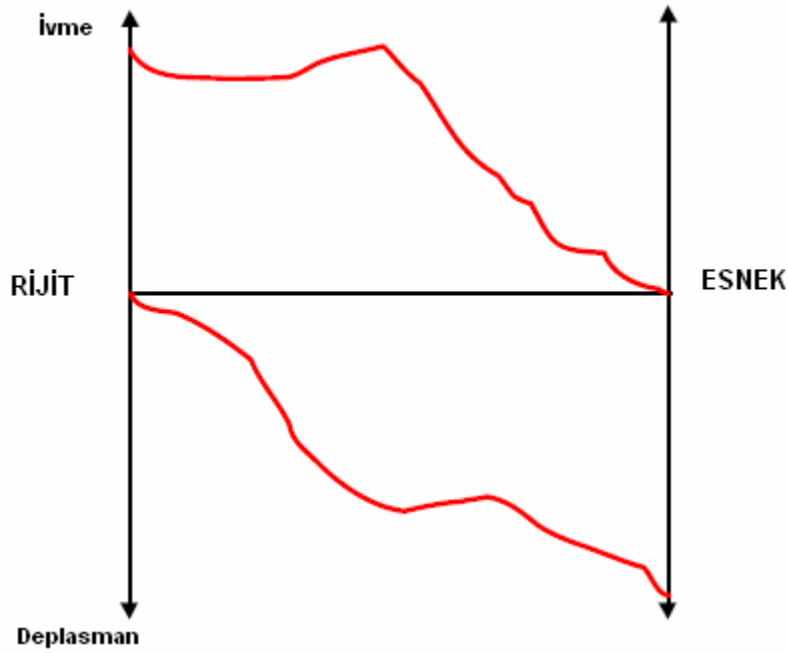
Tam rijit bir yapının periyodu sıfırdır. Zemin hareket ettiğinde yapı da aynı ivme ile hareket edecek ve yapı ile zemin arasındaki görelî deplasman sıfır olacaktır.

Tam esnek bir yapının periyodu sonsuzdur. Bu tip yapılarda, zemin hareketi söz konusu olduğunda, yapıda oluşacak ivme sıfır olacak ve yapı ile zemin arasındaki görelî deplasman zeminin yer değiştirmesine eşit olacaktır. (KELLY, T.,2001)



Şekil 2.1 İdaelize Edilmiş Zemin Hareketi Aktarımı

Fakat gerçek yapılar ne tam rijit ne de tam esnektir. Sıfır ve sonsuz periyod aralığında, maksimum ivme ve görelî deplasman, depremin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkar.



Şekil 2.2 Yapı İvme ve Deplasmanları

Her deprem için, yapıda oluşan ivmeyi maksimum zemin ivmesinin üzerinde değerlere büyütecek belirli periyod aralıkları vardır. Göreli deplasman genellikle maksimum zemin deplasmanı geçmeyecektir. Bu deplasman sonsuz periyod deplasmanıdır. Fakat özellikle yumuşak zemin özelliği gösteren ve depremi doğuran faya yakın bölgelerde istisnai durumlar oluşabilir.

2.1.1 Deprem karakteristikleri

Periyod arttığında, yapıda oluşacak ivme, bir deprem hareketi özelliği sonucu azalır. Yapısal tasarımda genellikle deprem ivme ve deplasmanları kullanılsa da, izolasyon etkisinin gerçek göstergesi hızdır. Deprem kaynaklı enerji, hızın karesiyle doğru orantılıdır.

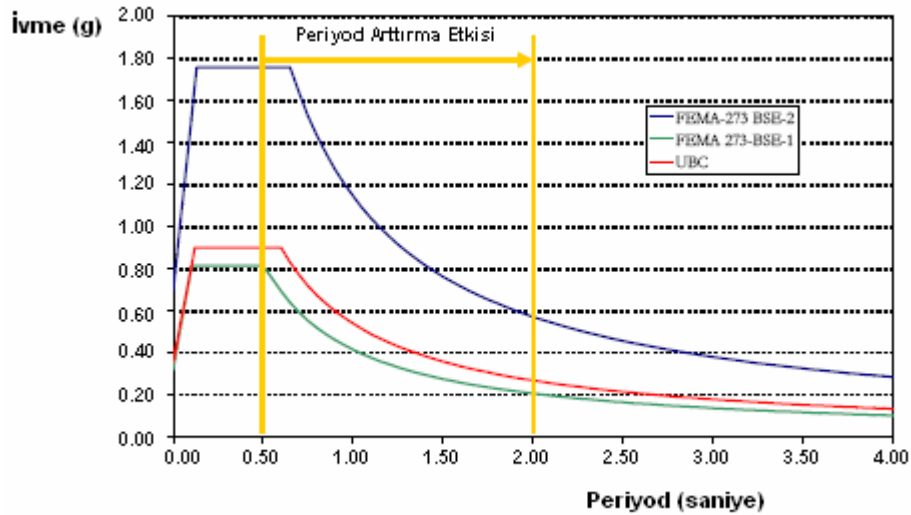
Şartnamelerdeki temel izolasyon uygulamaları orta frekans değerleri üzerinde, yaklaşık 0,5 ila 4 saniye periyod aralığında enerjinin sabit olduğu kabülüne dayanır. Sabit hız için, deplasman (D), periyod (T) ile doğru orantılı ve ivme periyodla ters

orantılıdır. Periyod iki katına çıkarsa, deplasman da iki katına çıkacak fakat ivme yarı yarıya azalacaktır.

2.1.2 Yönetmeliklere göre deprem yükleri

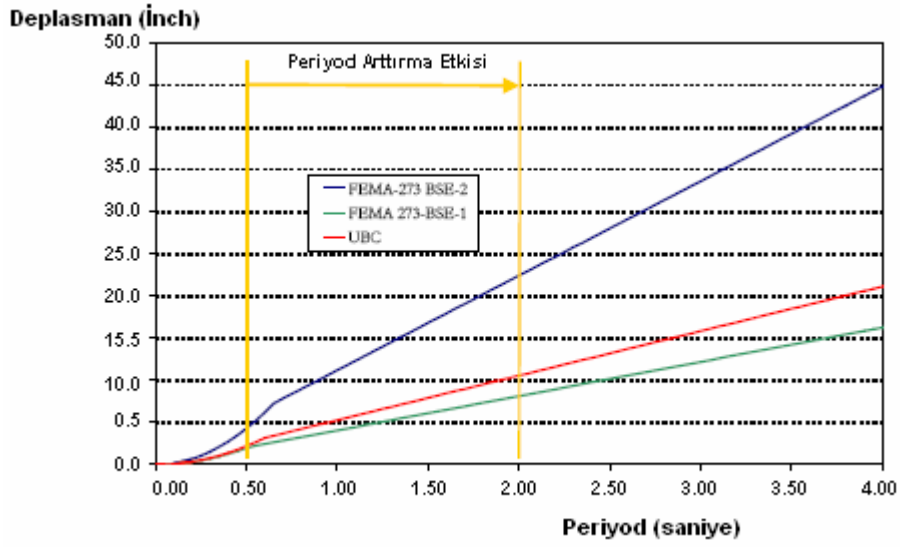
Periyod değiştirme etkisi şartnamelerle belirlenmiş yüklere göre direk hesaplanabilmektedir. Şartnamelerle genellikle periyodun bir fonksiyonu olan taban kesme katsayısı, C belirlenir. Bu katsayı yerçekimine bağlı ivmenin C kadar katı gibi bir spektral ivmeyi temsil eder.

Şekil 2.3 ve 2.4, ivmeye ve deplasmana göre periyod değişimini göstermektedir. Şekillerdeki eğriler yüksek sismik kuşak için ve FEMA 273 VE UBC'ye göre belirlenmiş katsayılarla dayanmaktadır. Periyod değişim eğrisi, küçük periyoddaki yapıların izolasyonla 2 saniye ve daha üzeri periyoda çıkarılması sonucu oluşacak etkiyi göstermektedir. (KELLY, T.,2001)



Şekil 2.3 İvme Bazında Periyod Arttırma Etkisi

Şekil 2.4'deki deplasmanlar taban kesme katsayısıyla hesaplanır. Bu katsayıyla temsil edilen ivme aşağıdaki denklem yardımıyla farazi bir spektral deplasmana dönüştürülebilir.



Şekil 2.4 Deplasman Bazında Periyod Arttırma Etkisi

$$S_d = \frac{g \cdot C}{\omega^2}$$

ω periyoda bağlı dairesel frekanstır.

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Buradan deplasman aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D = S_d = \frac{g \cdot C \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2}$$

Şartnamelerde taban kesme katsayısının sabitlenmeye başladığı minimum bir periyod değeri üzerinde hız da sabittir ve taban kesme katsayısı periyodla (T) ters orantılıdır.

$$C = \frac{C_v}{T}$$

Burada C_v toprak – arazi tipi, deprem bölgesi, yakınlık etkilerine bağlı bir sabittir. Bu kuşak için deplasman ve taban kesme katsayısı çarpımı sabittir;

$$D.C = C_v \cdot \left(\frac{g}{4.\pi^2} \right)$$

C_v standarttan alınan bir değerdir. $\frac{g}{4.\pi^2} = 248,5$ numerik değerinde bir sabittir.

Bu çarpımın sabit olması taban kesme katsayısı ile deplasman arasındaki ilişkiyi ortaya koyar. Taban kesme katsayısını yarıya düşürürseniz deplasman iki kat artacaktır.

Birçok standartta katsayı % 5'lik sönüm oranına göre belirlenmiştir ve değerler Tablo 2.1'de verilmiştir. Ancak şuna da dikkat etmek gerekir ki sistemde sönümün artmasıyla oluşan deplasman periyod değiştirme etkisini azaltabilir.

Yukarıdaki eşitlikler taban kesme katsayısını periyodla ters orantılı olarak ifade eden tüm standartlar için türetilir.

- Herhangi bir periyod için C katsayısı ve T_B zemin hakim periyodunun üzerinde T periyodu hesaplanır,
- Bu periyoddaki D deplasmanı $248,5.C.T^2$ formülü ile bulunur,
- $C.D$ çarpımı sabit kabul edilerek herhangi bir C_1 taban kesme katsayısında, D_1 deplasmanı hesaplanır.

$$D_1 = \frac{C.D}{C_1}$$

Taban Kesme Katsayısı C	Maksimum mm	Deplasman İnch	Periyod T Saniye
1.20	85	3.3	0.53
1.10	93	3.6	0.58
1.00	102	4.0	0.64
0.90	113	4.5	0.71
0.80	127	5.0	0.80
0.70	145	5.7	0.91
0.60	170	6.7	1.07
0.50	204	8.0	1.28
0.40	254	10.0	1.60
0.35	291	11.5	1.83
0.30	339	13.4	2.13
0.25	407	16.0	2.56
0.20	509	20.0	3.20
0.15	679	26.7	4.27

Tablo 2. 1 Deplasmana Göre Taban Kesme Katsayıları

2.2 Enerji Sönümleme – Sönüm Arttırma

Sönüm, bir etki durumunda harekete karşı koyan ve durgun haline dönmeye çalışan yapısal sistem karakteristiğidir. Sönüm bir çok kaynaktan doğar. İzolasyon sistemlerinde sönüm viskoz (hıza dayanan) ve histerik (deplasmana dayanan) olarak kategorize edilmiştir.

Periyod artış etkisi genellikle ivmeyi azaltıp deplasmanı artırırken, sönüm her zaman hem ivmeyi hem deplasmanı azaltır. Bu durum özellikle taban kesmenin etkin olduğu 1. modda görülür. Yüksek sönüm ileri modlarda ivmeyi artırabilir. Bu nedenle çok katlı yapılarda, yüksek sönüm oranı olumsuz sonuçlar doğurabilir.

Standartlarda verilen response spektrum eğrileri % 5 sönüm oranı içindir. Spektrum eğrisini farklı sönüm oranları için dönüştüren birkaç prosedür mevcuttur.

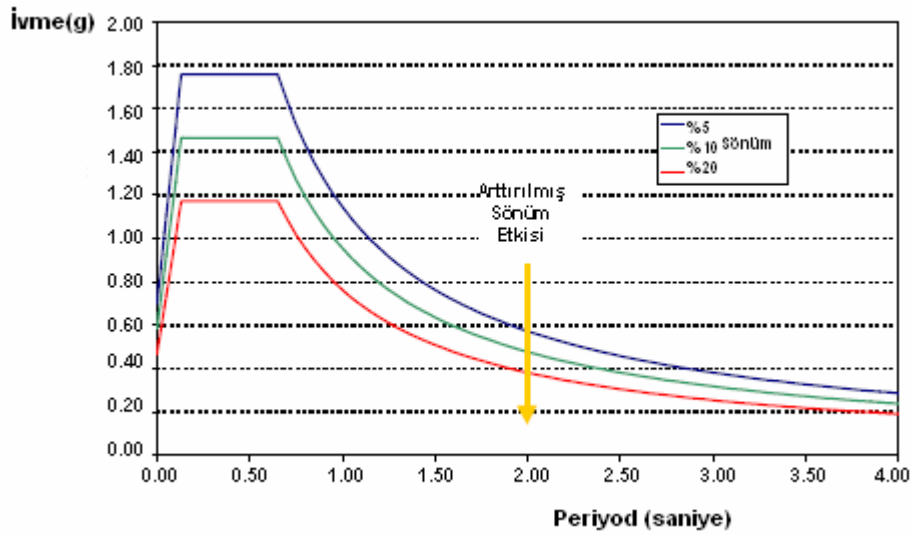
UBC ve AASHTO efektif sönüm için aynı tabloyu kullanırlar.

	<2%	5%	10%	20%	30%	40%	50%
B	0,80	1,00	1,20	1,50	1,70	1,90	2,00

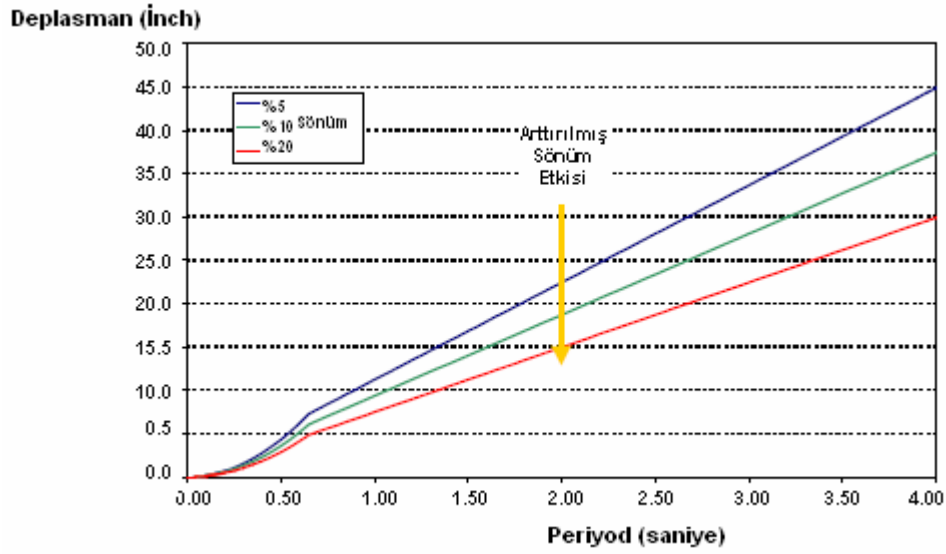
Tablo 2. 2 UBC 97'ye Göre Eşdeğer Viskoz Sönüm Sönüm Oranları

Fema-273, T_0 değerinin altı ve üstü için farklı B değerleri verir. T_0 üzerindeki B değerleri UBC ve AASHTO ile aynıdır. Euro Code EC8'de verilen değerler ise Fema-273 kısa periyodlar için verdiği azaltma faktörlerine yakındır. (KELLY, T.,2001)

Aşağıdaki şekillerde sönümün ivme ve deplasmana etkisi görülmektedir. İvme ve deplasman, β efektif sönüm katsayısı ile ters orantılıdır ve sönüm arttıkça her iki değer aynı oranda azalır.



Şekil 2.5 Sönümün İvmeye Etkisi



Şekil 2.6 Sönümün Deplasmana Etkisi

2.2.1 Azaltma faktörünün doğruluğu

B azaltma faktörünün doğruluğu, farklı sönüm oranları için response spektrum eğrilerinin oluşturulması ve bu spektrumların B faktörü ile azaltılması yoluyla değerlendirilir.

Burada iki deprem kaydını karşılaştıralım.

1. 1940 El Centro Depremi K-G bileşeni. Bu deprem yüksek genlikte güçlü hareket kayıtlarının elde edildiği ve birçok çalışmanın temelini oluşturmuş ilk depremlerden biridir. Şekil 2.7 ve 2.8 % 5'ten % 40 kritik sönüm arasında kalan sönüm oranları için ivme ve deplasman spektrumlarını göstermektedir.

2. Los Angeles, Sepulveda V. A Hastanesi, 1994 Nortridge depremi 360° bileşeni. Bu kayıt deprem merkezine sadece 8 km. mesafede alınmıştır ve yakın fay etkisi sergiler. Şekil 2.9 ve 2.10 sırasıyla aynı sönüm oranları için ivme ve deplasman spektrumlarını göstermektedir.

Görüleceği gibi yakın fay (Sepulveda) kayıtları çok daha büyük tepkiler üretmektedir. El Centro'da en yüksek ivme 0,9 g iken Sepulveda'da 2,8 g. 'dır. yine deplasman değerlerinde de 550 mm'ye 275 mm gibi iki kat fark vardır.

Bu kayıtlardan en gerçekçi B faktörü, belirli bir sönüm değerindeki tüm periyod, spektral ivme ve deplasman değerlerinin % 5 sönüm oranındaki değerlerine büyümesiyle hesaplanabilir.

Dikkat edilecek nokta, kullanılan B faktörü sabit değeri, bir ortalama değerdir. Tepkideki azalma tam olarak periyod ve deprem kayıtları fonksiyonu içindeki viskoz sönümlemedir.

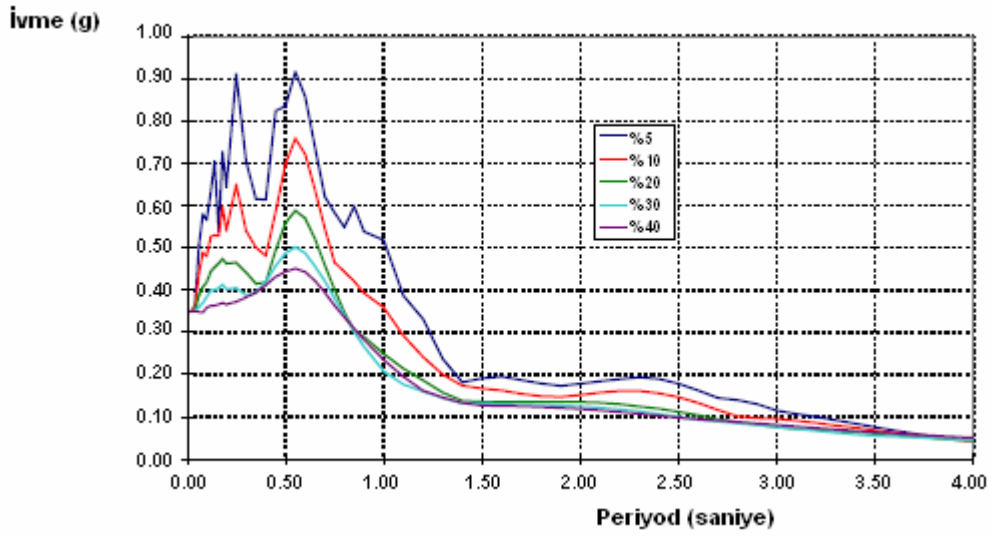
Tablo 2.3'de izolasyonlu sistemlerin genel periyod aralığı olan 0,5 ila 4 saniye arasındaki periyod değerleri için spektrum eğrisinden aritmetik ortalama alınarak hesaplanmış değerlerle UBC ve EC standart değerleri karşılaştırılmaktadır.

	10% Sönüm		30% Sönüm	
	İvme	Deplasman	İvme	Deplasman
Spektrum Ortalaması				
El Centro	0,84	0,81	0,65	0,49
Seulveda	0,83	0,80	0,70	0,47
UBC	0,83	0,83	0,59	0,59
EC	0,76	0,76	0,47	0,47

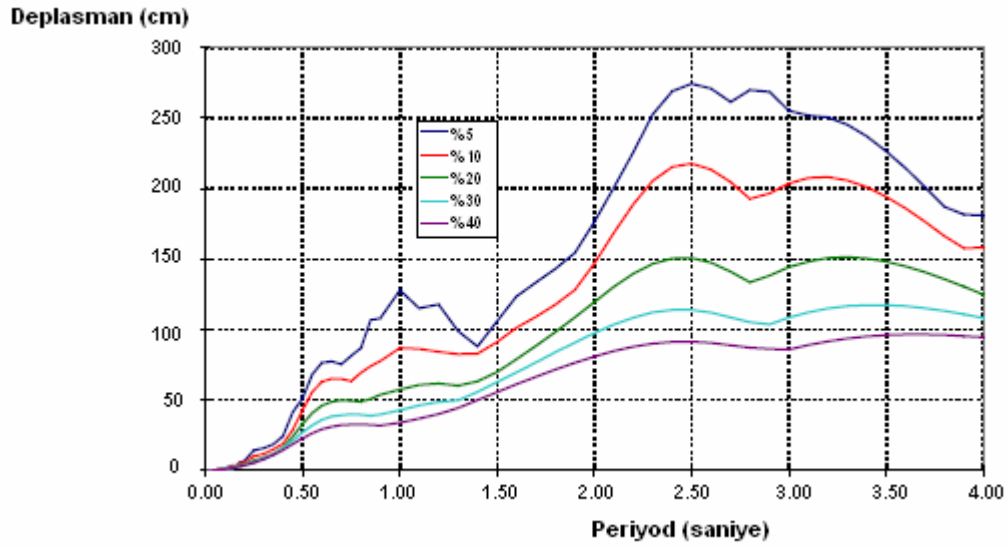
Tablo 2.3 Yönetmeliklerle Sönüm Oranlarının Karşılaştırılması

UBC'de verilen B faktörü hem ivme hem de deplasman için aritmetik ortalama ile elde edilen değere yakındır. Fakat sönüm oranı arttıkça sönümün deplasmanı azaltma etkisi, ivmeye göre oransal olarak artmaktadır. Yüksek sönümlerde UBC ivme için mantıklı değerler vermemektedir.

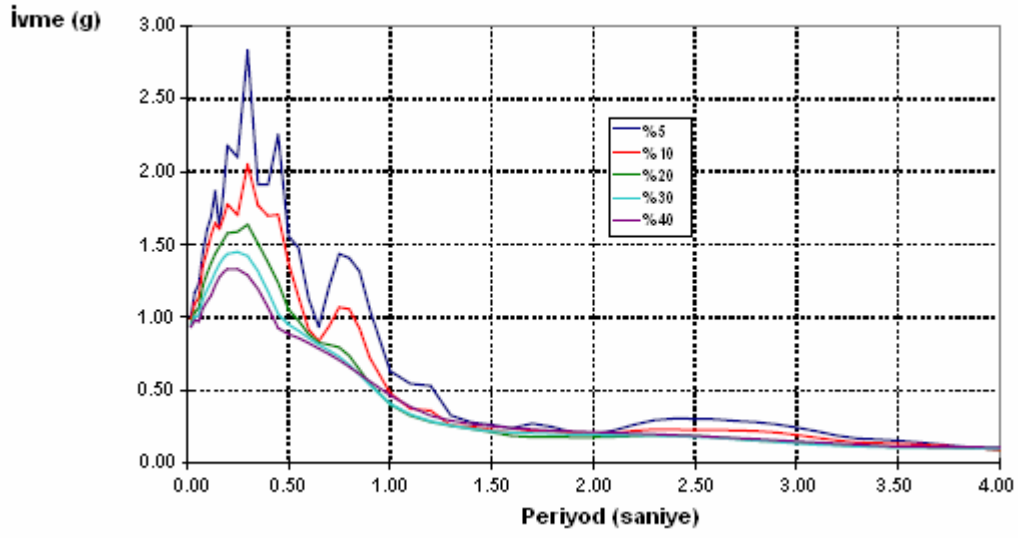
Deprem hareketlerindeki belirsizliğe dayanarak, UBC'deki B değerlerinin daha kabul edilebilir olduğu görülür. Ancak unutmayalım ki bu değerler sadece yaklaşıktır.



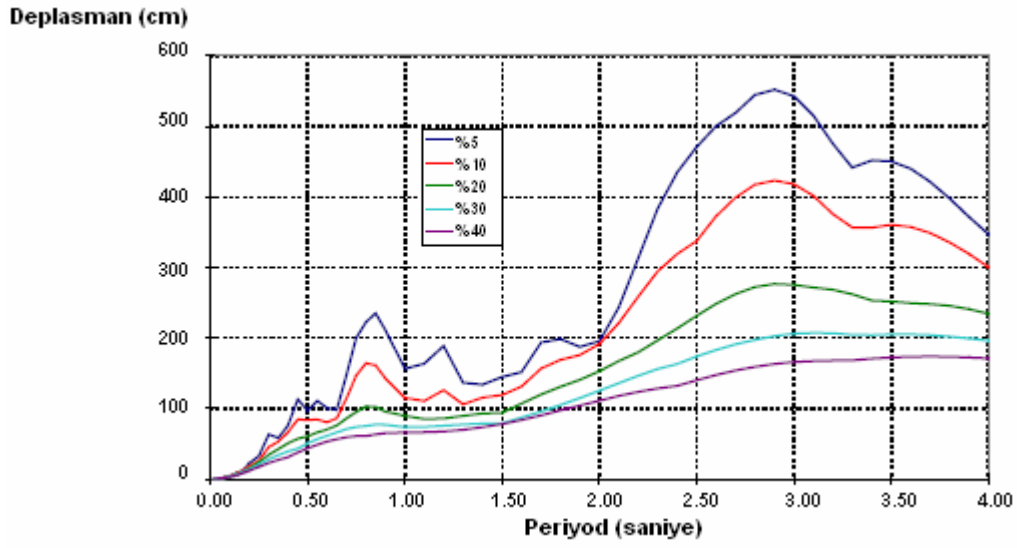
Şekil 2.7 El Centro 1940 İvme Spektrumları



Şekil 2.8 El Centro 1940 Kuzey-Güney Deplasman Spektrumları

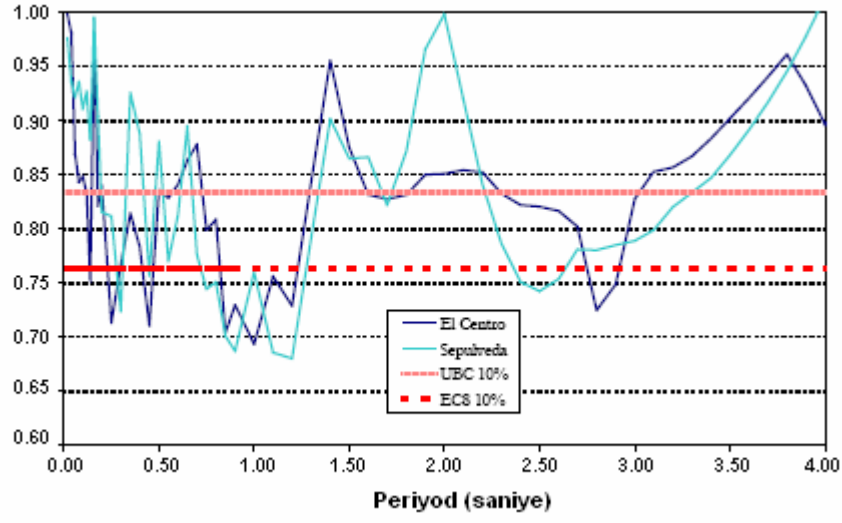


Şekil 2.9 Northridge Sepulveda İvme Spektrumları



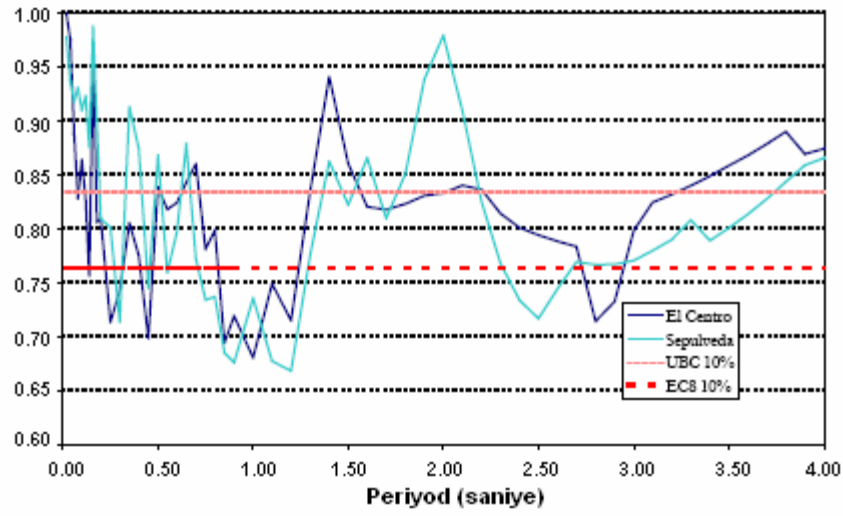
Şekil 2.10 Northridge Sepulveda Deplasman Spektrumları

İvme/İvme %5 Sönümlü



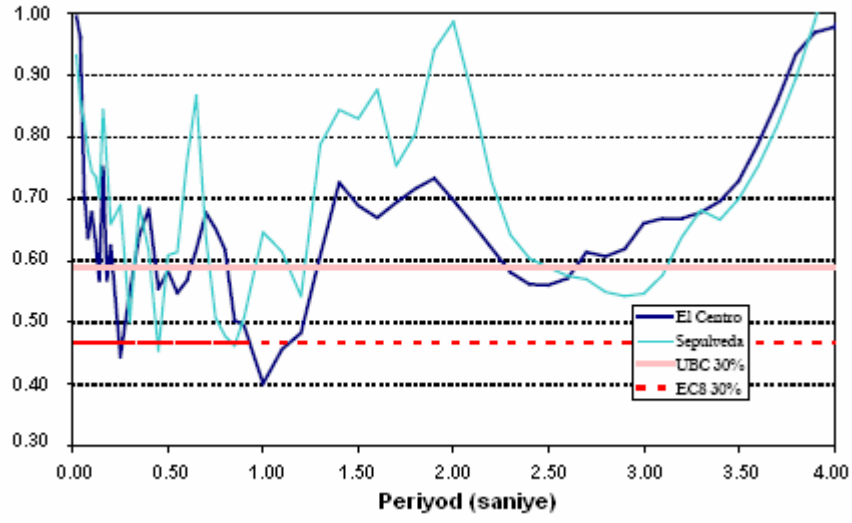
Şekil 2.11 %10 Sönüm İçin B Faktörü

Deplasman/Deplasman %5 Sönümlü



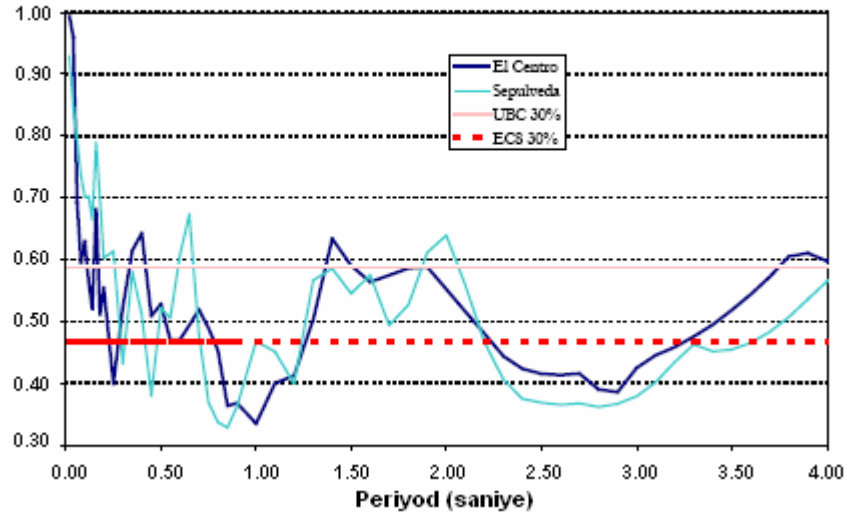
Şekil 2.12 %10 Sönüm İçin B Faktörü

İvme/İvme %5 Sönümlü



Şekil 2.13 %30 Sönüm İçin B Faktörü

Deplasman/Deplasman %5 Sönümlü



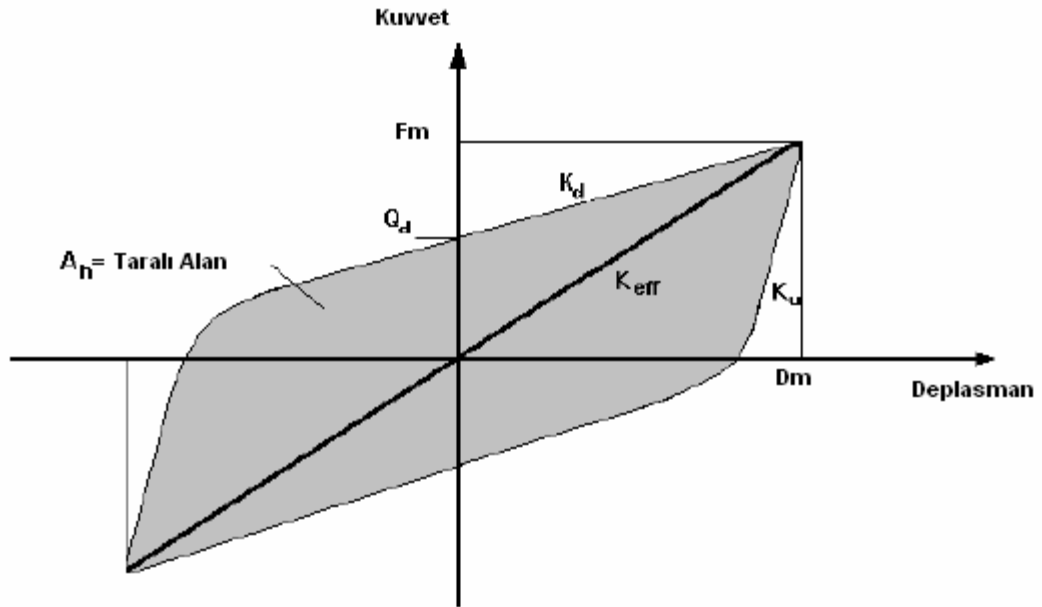
Şekil 2.14 %30 Sönüm İçin B Faktörü

Standartlar, sönümü herhangi bir kaynaktan doğan ve hızın bir fonksiyonu olan eşdeğer viskoz sönüm olarak tanımlar. İzolatörlerin çoğu, deplasmanın bir fonksiyonu olan ve histeritik hareket olarak isimlendirilen sönüm sağlar. (KELLY, T.,2001)

Herhangi bir deplasman değeri için efektif sönüm katsayısı β şu şekilde hesaplanır.

$$\beta = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{A_h}{K_{eff} \cdot D^2} \right)$$

burada A_h , histerisis döngünün toplam alanı, K_{eff} , efektif rijitliktir.



Şekil 2.15 Eşdeğer Viskoz Sönüm

B azaltma faktörü efektif sönüm katsayısı kullanılarak yaklaşık olarak şu formülle de ifade edilebilir. Çıkan sonuçlar tablo değerlerine yakındır. (NAEİM, F. and J.M. KELLY, 1999)

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

2.3 Esneklik ve Sönüm

İzolasyon sistemlerinin iki ana bileşenidir. Fleksibilitenin özellikle normal periyodu 0,7'sinin altında olan yapılarda etkisi çok daha fazladır.

Tablo 2.4'de 1 derece deprem bölgesinde ve faya yakın bölgelerdeki taban kesme katsayısı ve deplasman değerleri listelenmiştir.

- Yapı, 0.5 saniye periyodunda rijit bir yapı ise % 5 sönümlü ve 2 sn periyodlu izolasyon sistemi taban kesme katsayısını 1/3 oranında azaltarak 1,76'dan 0,57'ye düşürecektir. Sönüm oranı % 5'ten % 20'ye artırılırsa katsayı 2/3 oranında tekrar azalarak 0,38 değerine iner.
- Yapı, 1 sn periyodunda daha esnek bir yapı ise % 5 sönümlü ve 2 sn periyodunda izolasyon sistemi taban kesme katsayısını 2/3 oranında azaltarak 1,15'ten 0,57'ye düşürecektir. Sönüm oranı artınca yukarıdaki gibi katsayı 2/3 oranında azalarak 0,38 değerine iner.

İzolasyon sisteminin esneklik özelliğinden kaynaklanan yapısal ivmedeki azalma yapının rijitliği ile alakalı olmasına karşın sönüm kaynaklı azalma rijitlikten bağımsızdır.

	Taban Kesme Katsayısı	Toplam Deplasman (mm)
Ankastre Temelli Yapı		
T=0,5 sn	1,76	109
T=1,0 sn	1,15	285
İzolatörlü Bina T=2,0 sn		
Sönüm 5%	0,57	570
Sönüm 10%	0,48	475
Sönüm 20%	0,38	380

Tablo 2.4 Esneklik ve Sönüm Etkisi

Deplasman yönüyle incelersek, periyodun 2 sn çıkmasıyla oluşan esneklik deplasmanı artırırken sönüm artışı azalmaktadır. Ankastre temelli bir yapıda deplasman yapı rijitlik merkezinde ve yaklaşık olarak 2/3 bina yüksekliğinde iken, izolasyonla binada deplasmanın büyük çoğunluğu izolasyon düzleminde gerçekleşir.

2.4 İzolatör Üzerine Oturan Binalarda Hesap

Deplasman ve ivme spektrumları izolasyon uygulanmış rijit bir yapının performansını ölçmede doğrudan kullanılabilir. Eğer yapı rijitse bütün deplasman izolasyon düzleminde meydana gelecek ve yapıdaki ivme taban kesme katsayısına eşit olacaktır.

Eğer dizayn spektrumunu, rijitliği ve izolasyon sistemindeki sönüm oranını biliyorsak, taban kesme katsayısı ve deplasmanı hemen hesaplayabiliriz.

1. Toplam yapı ağırlığı W ve efektif rijitliği kullanarak izolasyon sisteminin periyodu bulunur. Bir ön dizayn için, 1,5 – 2,5 sn aralığındaki bir periyod tahmin ederek yaklaşık gerekli efektif rijitliği bulabiliriz.

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W}{g \cdot \sum K_{eff}}}$$

2. Periyod T , azaltma faktörü B 'den taban kesme katsayısı bulunur. C_v sabiti, kabul edilen dizayn spektrumun bir fonksiyonudur.

$$C = \frac{C_v}{B \cdot T}$$

3. Periyod ve taban kesme katsayısı yardımıyla D deplasmanı bulunur.

$$D = \frac{g \cdot C_v \cdot T}{4 \cdot \pi^2 \cdot B}$$

Ön hesap sırasında istenirse, bu denklemler farklı kullanılıp, örneğin maksimum taban kesme katsayısı belirlenerek arzu edilen periyoda göre gerekli sönüm hesaplanabilir.

UBC 97'ye göre 4.bölgede (Zone 4), S_B zemin sınıfında ve yakın fay faktörleri $N_a = 1,2$ ve $N_v = 1,6$ olan bir örnek seçelim. Sismik katsayılar tablolardan $C_a = 0,48$ ve $C_v = 0,64$ bulunur. Hızın sabit kabul edilmeye başlandığı minimum periyod değeri

$$T_B = \frac{C_v}{2,5 \cdot C_a} = 0,533 \text{ sn}$$

Yukarıdaki formüller 0,533 sn'nin üzerindeki periyod değerleri için uygulanabilir. Neredeyse tüm izolasyon sistemlerinde periyod asgari 1,5 saniyedir. 0,533 sn periyodlu ankastre bir sistemde taban kesme katsayısı $0,64 / 0,533 = 1,20$ 'dir.

2.4.1 Taban kesme katsayısına göre hesap

Taban kesme katsayısını % 20 oranında azaltmak istediğimiz varsayalım.

$$1,20 / 5 = 0,24 \quad B.T = \frac{C_v}{C}$$

BT çarpımı en az $C_v / C = 0,64 / 0,24 = 2,67$ değerinde eşit olması gerekir. Periyod 2 sn seçilirse, $B = 1,33$ olacaktır ve buna karşılık gelen sönüm % 12,6'dır. Bu farklı değerler için çeşitlendirilebilir.

Sabit bir taban kesme kuvveti katsayısı için, periyod artıkcı ihtiyaç duyulan sönüm azalır. Bununla birlikte periyod artıkcı deplasman artar.

Efektif Periyot T_e	Sönüm Çarpanı B	Eşdeğer Viskoz Sönüm β	Kuvvet Katsayısı C	Deplasman (mm) D
2,00	1,60	24%	0,200	199
2,10	1,52	21%	0,200	219
2,20	1,45	18%	0,200	241
2,30	1,39	16%	0,200	263
2,40	1,33	14%	0,200	286
2,50	1,28	12%	0,200	311
2,60	1,23	11%	0,200	336
2,70	1,19	9%	0,200	362
2,80	1,14	8%	0,200	390
2,90	1,10	7%	0,200	418
3,00	1,07	6%	0,200	447

Tablo 2.5 Sabit Taban Kesme Katsayısına Göre Hesap

2.4.2 Maksimum deplasmana göre hesap

Aynı spektrum için deplasmanı 30,5 cm’de sınırlayarak hesap yaparsak;

$$D = \frac{g \cdot C_v \cdot T}{4 \cdot \pi^2 \cdot B}$$

$$\frac{B}{T} = \frac{g \cdot C_v}{4 \cdot \pi^2 \cdot D}$$

2 sn periyod değeri için gerekli B değeri = 2 x 0,522 = 1,044’dür ve % 6,1’lik sönüme karşılık gelir. Yine farklı periyod değerleri için sonuçlar çeşitlendirilir.

Burada, sabit taban kesme katsayısının tersine periyod artıkça deplasmanı sınırlamak için gerekli sönüm artmaktadır. Bununla birlikte periyodun artmasıyla taban kesme kuvveti katsayısı azalır. Periyodun 2 saniyeden 3 saniyeye çıkmasıyla ihtiyaç duyulan sönüm %6'dan %23'e çıkar. Ancak taban kesme kuvveti katsayısının 0,307'den 0,135'e düştüğü görülecektir.

2.5 Kabul Edilebilir Periyod ve Sönüm Değerleri

Periyod ve sönüm değerlerini seçme özgürlüğümüz varsa, belirli bir dizayn spektrumunda yukarıdaki formülleri kullanarak herhangi bir taban kesme kuvveti katsayısı veya deplasman değeri için çözüm yapmamız mümkündür. Ancak gerçek uygulamalarda böyle bir özgürlüğümüz yoktur. Hesap prosedürleri (UBC vb.) yapının belirli bir rijitlik ve sönümde dizaynı için metodlar sunmaktadır. Bununla birlikte basit birkaç kural bize gerçek değerleri kullanarak tasarım yapmakta yardımcı olur.

Efektif periyod için ;

1. Periyod $\sqrt{\frac{M}{K}}$ ile orantılıdır. Kütle küçükse, rijitlik K 'da küçüktür.

Düşük rijitlik değerleri için izolatör dizaynı zordur. Eğer yapımız (tek katlı bina veya hafif çelik 2-3 katlı binalar gibi) hafıfse, 1,0 – 1,5 saniye üzerindeki periyodlarla izole etmek güç olacaktır.

2. Tersine ağır binaları 2,5 –3,0 saniye gibi uzun periyod değerlerinde izole etmek kolaydır.
3. Genelde hedef periyod değerleri 1,5 ila 2,5 sn arasında olmalıdır.

Sönüm için ;

Uygulamalarda kullanılan izolatör tiplerinin büyük çoğunluğu yaklaşık olarak tanımlanan başlangıçta elastik daha sonra zorlanan gerilme (plastik) özelliği gösteren kuvvet deplasman eğrisi üretirler. Kayıcı mesnetler bunun dışındadır. Onlarda akma noktası yoktur. Bununla birlikte kayıcı mesnetler elastik geri döndürme elementleri ile birlikte kullanılırlar.

Eğer akma ile elastik rijitlik arasında bir oran farz edersek, buna göre sönüm-deplasman fonksiyonu üretebiliriz. Şekil 2.16'da $K_u / K_r = 12 / 1$ tipik değeri için grafik çizilmiştir. Buradan şu sonuçlar çıkarılır;

1. Sönüm, küçük bir deplasman değerinde tepe noktasına ulaştıktan sonra deplasman artışıyla azalır.
2. Sönüm, akma noktası azaldıkça azalır.

Maalesef bu iki sonuç ideal izolasyon sistemi beklentilerine terstir.

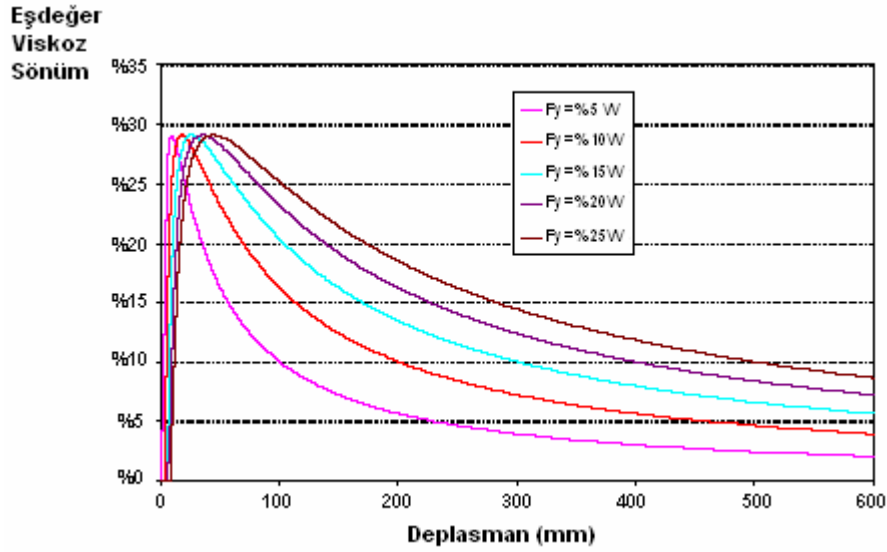
1. Büyük depremlerde büyük deplasmanlar oluşacağından, kuvvet ve deplasmanları kontrol edebilmek için maksimum sönüme ihtiyaç duyulur.
2. Yüksek akma seviyeleri küçük ve orta ölçekli depremlerde izolasyon sistemi etkisini azaltır. Çünkü izolasyon sistemi akma aşılmadığı sürece çalışmayacaktır. Eğer bu eşik yüksek tayin edilirse, sıkça yaşanan depremlerde sistemin fonksiyonu olmaz.

UBC'ye göre iki farklı deprem durumu için tasarım söz konusudur.

- Desing Basis Earthquake (DBE): Yer sarsıntısının 50 yılda % 10 olasılıkla aşacağı seviyedir (475 yılda bir olan).
- Maximum Capable Earthquake (MCE): Yapı bölgesinde görülebilecek en yüksek yer sarsıntısı seviyesidir. Bu seviye 100 yılda % 20 olasılıkla aşılabilecek yer sarsıntısı seviyesi alınabilir (1000 yılda bir olan) (NAEİM, F. and J.M. KELLY, 1999)

1. DBE seviyesindeki depremlerde, yaklaşık % 15 - % 20 arasında bir sönüme ulaşabilir.
2. Yüksek sismik kuşaklarda, MCE seviyesinde depremlerde, sönüm % 10 - % 12'yi genellikle aşmaz.

MCE hareketlerinin büyük olduğu bölgelerde yapılan projelerde yüksek deplasmanlarda sönümü artırmak için ilave sönümleyiciler kullanılabilir.



Şekil 2-16 Eşdeğer Viskoz Sönüm Deplasman Grafiği $K_u / K_r = 12 / 1$

Verilen bu sönüm değerleri rijit yapılar için geçerlidir. Esnek yapılarda sönüm tayin ederken farklı düşünülmesi gerekir. Yüksek sönümlü sistemler bu gibi yapılarda, düşük sönümlü sistemlere göre daha fazla kat ivmelerine neden olabilirler.

2.6 Rijit Yapı Kabulünün Uygulanabilirliği

İzolatörlerin üzerindeki yapının rijit olması durumu ideal bir kabuldür. Aşağı yukarı tüm yapılar, izolasyon sistemi - yapı birleşiminin tepkisini değiştirecek esnekliğe sahiptir. Köprüler ve yapıların çoğu basit rijitlik yaklaşımın ötesinde yeniden değerlendirilmelidir. Bununla birlikte rijit yapı kabulü, izolasyon sistemi dizaynında ilk basamağı oluşturur. (KELLY, T.,2001)

Esneklik etkisi binalarda ve köprülerde farklılık gösterir. Binalarda esneklik izolasyon düzleminin üzerindeki yapıdadır ve izolatörler üst yapıdaki hareket etkilerini değiştirirler. Oysa köprülerde, esneklik genellikle izolasyon düzleminin altındadır ve alt yapıdaki hareket etkilerini değiştirirler.

2.7 Sismik Olmayan Yükler

Temel izolasyonu, yapıyı zeminden ayırmakla birlikte etkiyen tüm yükleri zemine aktaracaktır. İzolatörler deprem yükleri için dizayn edildikleri halde, diğer kaynaklardan gelen yüklere de dayanmak zorundadırlar.

- Yer çekimi: İzolatörler sabit ölü ve hareketli yükleri taşıyabilecek kabiliyette olmalıdır.
- Rüzgar: Tüm izolasyon sistemi, alt ekipmanları dahil yanal rüzgar yüklerine dirençli olmalıdır. Tüm sistemler rüzgar yükleri altında sabit kalacak şekilde dizayn edilirler. Kuvvetin sönümlenmesi söz konusu değildir.
- Termal Hareketler: Daha çok köprü dizaynlarında etkilidir. Isı değişkenlikleri izolatörlerde harekete sebep olacaktır. Termal hareketlerin sıkça tekrarlanan yükler olması nedeniyle izolatörlerin çok sayıda pozitif ve negatif deplasmanlara dirençli olması gerekir.
- Uzama ve Büzülme: Bu yükler de daha çok köprüler için söz konusudur. Binalarda izolatörleri esnekliği büyük döşemelerin eksik yapılmasına izin verebilir. Bu gibi yükler tek yönlüdür ve tersinir değildir. Hatta büyük açıklıklı ve uzun köprülerde bu yükler en etkin yükler olarak kabul edilir. Ön deformasyon mesnetlerinin yerleştirilmesi veya yapım sonrası uzama deformasyonlarına serbest bırakılması gibi bazı önlemleri alınması gerekebilir.
- Operasyon-Darbe Yükleri

Özet olarak, uygulamada izolasyon sisteminin gereksinimleri aşağıdaki performans hedefleri ile açıklanır. (KELLY, T.,2001)

1. Esneklik
2. Sönüm
3. Direnç

2.8 İzolatör Tipleri

2.8.1. Kayıcı sistemler

Kayıcı sistemler, belirli bir sürtünme katsayısına sahip, ivmenin bu katsayı değeriyle sınırlandığı ve yük aktarımının da ancak kütle ile sürtünme katsayısı çarpımı değerine kadar gerçekleştiği yüzeylerdir.

Kayıcılar, sürtünme katsayıları servis yüklerine direnç gösterecek kadar büyükse pratik sistemin üç gerekliliğini yerine getirirler. Kayma hareketleri esneklik sağlar ve optimum eşdeğer viskoz sönümü olan dikdörtgen biçiminde kuvvet-deplasman grafiği üretirler.

Sürtünme katsayısı sıfıra yakın % 100 kayıcı bir sistem, üst limiti maksimum yer deplasmanına kadar çıkabilecek sınırsız deplasmana sebep olur. Böyle bir sistemin geri döndürücü kuvveti yoktur ve izole edilmiş yapı depremden sonra hareketini ilk konumundan farklı bir noktada sonlandıracaktır. Ayrıca artçı şoklarla da hareketine devam edecektir.

Geri döndürücü kuvvet eksikliği kayıcı mesnetlerin diğer mesnet tipleri ile paralel kullanımı ya da düzlem kayıcı yüzey yerine küresel yüzey gibi şekilli yüzeylerin kullanılması yoluyla giderilebilir.

2.8.2 Elastomerik mesnedler

Elastomerik mesnedler, doğal veya sentetik ince kauçuk tabakaların çelik plakalar arasına yapıştırılması sonucu elde edilen yatay tabaklardan oluşur. Çelik plakalar kauçuğun şişme ve burkulmasına engel olurlar. Böylelikle mesned, sadece küçük deformasyonla büyük dikey yüklere karşı koyabilir. Yatay yükler altında ise mesned esnektir.

Yalın elastomerik mesnedler esneklik sağlamalarına karşın yeterli düzeyde sönüm sağlamazlar. Normal servis yüklerinde bile hareket ederler. Elastomerik mesnedlerin bu eksikliği, mesned ortasına kurşun çekirdek yerleştirilerek, özel üretilmiş yüksek sönümlü küçük gerilmelerde rijit elastomerlerle veya paralelinde başka aletler yerleştirilerek giderilmektedir.

2.8.3.Yaylar

Yaylar genellikle makinelerin izolasyonunda kullanılmaktadır. Hem dikey hem yanal yönde esneklik özellikleri sebebiyle yapılarda tercih edilmemektedir. Dikey esneklik fırlatma etkisi gösterir. Yaylar düşük sönüme sahiptirler ve servis yükleri altında haddinden fazla harekete sebep olurlar.

2.8.4 Silindir ve küre mesnedler

Silindirik ve küresel şekle sahip mesnetlerdir. Yaylar gibi daha çok makine uygulamalarında kullanılırlar. Silindirik veya küresel mesnedin malzemesine göre, servis yüklerinde harekete karşı farklı direnç gösterir ve sönüm oluştururlar.

2.8.5 Yumuşak zemin kat

Esneklik, harekete izin veren boru içine yerleştirilmiş, uçları mandallı yapısal elemanlarla da (çelik çubuk gibi) sağlanabilir. Böylelikle yapıda yumuşak zemin kat meydana gelir. Bu elemanlar esneklik sağlarlar ancak sönüm ve servis yükü dirençleri yoktur. Bu yüzden başka izolasyon elemanları ile birlikte kullanılırlar.

2.8.6 Beşik tipi sistemler

Beşik sistemler, yanal dönmeye izin vermeleri sebebiyle klasik izolasyon tanımına uymayan, özel bir enerji sönümleme araçlarıdır. Beşik sistemler daha ince-narin yapılarda kullanılırlar. Sallanma şiddeti arttıkça yapının periyodunun artacağı prensibine dayanmaktadır. Bu periyod arttırma etkisi yaratır. Servis yüklerine direnç ağırlıkla sağlanır. Sisteme sönüm, sünek civatalar veya çelik takoz gibi elemanlarla eklenir.

3. SİSMİK VERİLER

3.1 Sismik Veri Çeşitleri

Deprem yükleri, yüklerin zamanla değişime sebep olan yer hareketlerinden doğan dinamik olaylardır. Bunlar, her depremin farklı yer hareketleri yaratması ve hareketlerinin geçtikleri bölgelerdeki farklı zemin özelliklerine göre değişim göstermesi sebebiyle kesin olarak ölçülememektedirler. Yapı mühendisleri, daha önce belirlenmiş az sayıda yükleri kullanmayı tercih ederler. Bu sebeple standartlar, dizayn koşullarına en uygun formatta deprem yüklerini temsile çalışırlar. Standartlar genellikle artan karmaşıklık sırasına göre üç sismik yük tanımlarlar.

3.1.1 Eşdeğer statik yükler

Depremle oluşacak kat kesme kuvvetlerini, belirli bir meydana gelme olasılığına göre bulma yöntemidir. Çoğu standart bu yükleri yapının bir fonksiyonuna (periyodla ifade edilen), yapının bulunduğu zemin tipine ve sismik risklere (deprem bölgesi) göre belirler. Statik yük, genellikle lineer olarak yükseklikle artan kat yükleri kabulüne dayanan özel bir dağılım yöntemi ile uygulanır. Bu dağılımda 1. mod temeldir ve yapısal karakteristiklere göre değişebilir.

Temel izolasyonu yapının dinamik karakteristiklerini değiştirir ve genellikle ilave sönüm doğurur. Bu etkilerin statik yük yöntemi ile ele alınması güçtür. Bu nedenle standartlar statik yük yönteminin uygulanacağı yapı tipi limitlerini kesin olarak belirlemişlerdir.

3.1.2 Response spektrum

Response Spektrum, belirli bir deprem hareketi için değişen periyodlarda tek serbestlik dereceli bir yapının tepkisini gösteren eğridir. Bu spektrum grafiği ivme hız ve deplasman cinsinden gösterilebilir ve farklı viskoz sönüm oranları oluşturulabilir. Standartlar spektrumu, toprak tipine ve bulunduğu deprem kuşağına göre belirli bir sahada, yapıda tepkiye neden olabilecek karma veya paket tüm deprem spektrumları olarak tanımlar. Standartlardaki spektrumlar düzgündür ve tek bir olayı (depremi) temsil etmezler.

Bir response spektrum analizi, yapının tepkisinin farklı modlara ayrılabilceğini kabul eder. Her modun tepkisi, o modun periyodundaki spektral ivmenin, belirli bir modun toplam tepkiye katılım ölçüsünü ifade eden katılım faktörü ile çarpımı kullanılarak hesaplanır. Her modun maksimum tepkisi aynı anda olmaz, bu sebeple bunları birleştirmek için olasılığa dayanan, Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS) veya son zamanlarda Tam Quadrik Kombinasyon (CQC) metodları kullanılmaktadır. İkinci metod, birbirine yakın modların kısmen beraber değerlendirilebileceği görüşünü hesaba katması sebebiyle SRSS'e göre daha doğru sonuçlar veren bir metod olarak kabul edilmektedir.

Modların ayrımı sadece lineer elastik yapılar için uygulanabilir, bu yüzden response spektrum metodu temel izolasyonlu yapılarda direk kullanılamaz. Bu sınırlama teoride sünek izolasyonsuz yapılar için de geçerlidir.

Çoğu standart response spektrum analizinin kullanımına eşdeğer statik yük yöntemine nazaran daha geniş çapta müsaade eder. Uygulamada izolasyon sistemi eşdeğer elastik sisteme göre modellenir ve sönüm, izolasyonlu mod için uygun sönümlü spektrum kullanılarak uygulanır.

Fakat response spektrum yönteminin, lineer olmayan sistemlerde büyük oranda kat ivmelerini ve devrilme etkilerini ihmal ettiği yönünde görüşler vardır.

3.1.3 Time history (Zaman tanım alanında hesap)

Binalardaki deprem yükleri zemindeki ivmeler sebebiyle oluşur. Bu yönüyle bakıldığında teoride, yer ivmelerinin zamanla değişimine göre belirlenmiş yükler deprem hareketlerini temsil eden en doğru metod olacaktır. Analiz yöntemleri bu tip yükler altında yapı tepkilerini hesaplayabilmektedir. Bu yöntemi uygulamadaki zorluk hangi time history ivmesinin kullanılacağına tam olarak bilinmemesidir.

Geçmiş deprem kayıtları bize olması muhtemel yer ivmeleri hakkında bilgi verse de, her kaydın farklı olduğu ve bulunduğumuz bölgede gelecekte olacak depremler için kesin bilgi sağlamayacağı unutulmamalıdır.

Zaman tanım alanı analiz yöntemi response spektrumda olduğu gibi karma grup hareketler kullanılarak uygulanmaz. Daha çok, fazla sayıda zaman tanım alanının beraber oluşturdukları ve tahmin edilen hareketi temsil edebilecek tepki kullanılmalıdır. Sismologlar belli bir bölgede ne gibi bir hareket meydana geleceğini kesin olarak önceden bildiremezler. Bu yüzden ancak çok sayıda zaman tanım alanı, gelecek için bu yöntemin belirleyici bir niteliği olabilir.

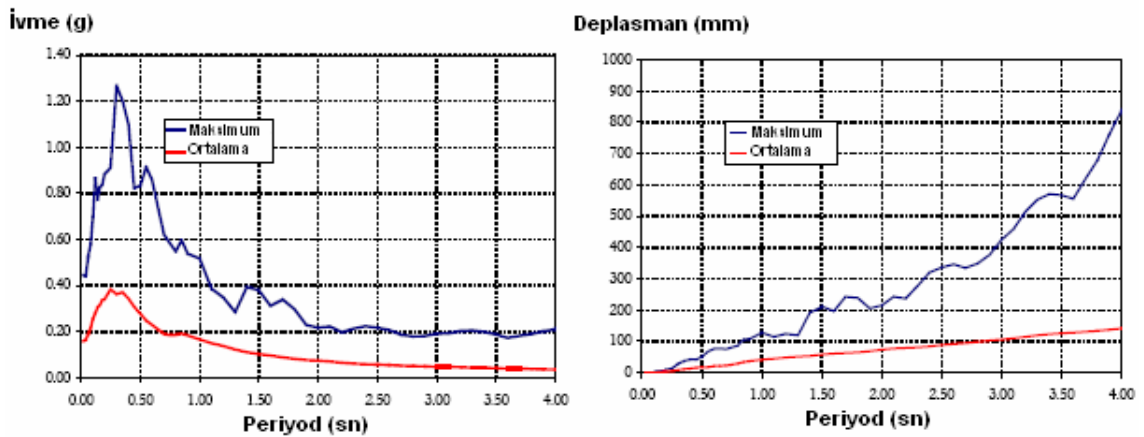
Standartlar, deprem hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklendirilmesi amacıyla bazı klavuzlar içerirler. Fakat bugüne kadar belirli bir toprak koşulu ve deprem kuşağı için özel ölçeklendirme çarpanı bulunan deprem listeleri vermemişlerdir. Her proje için en uygun deprem kaydının seçimi gerekecektir.

3.2 Kayıtlı Deprem Hareketleri

3.2.1 1971 Öncesi

Temel izolasyon sistemleri ile en büyük gelişmeler 1960'ların sonlarında ve 1970'lerin başlarında olmuştur. O yıllarda temel izolasyon sistemlerinde, o güne kadar kaydedilmiş yer hareketlerini kullanılmıştır. Veri setlerinden en önemlisi araştırmacı Caltech SMART'ın, 1933 Hong Beach olayından 1971 San Fernando depremine kadar, iki yatay ve bir dikey bileşen olmak üzere 3 bileşen kaydına sahip 39 set hareket takımıdır.

Bu setlerden özel alan etkileri içermeyen 27 kaydın iki yatay bileşeni ve bütün 54 bileşenin ortalaması hesap edilerek bir response spektrum oluşturulmuştur. Bileşenlerin % 5 sönümde maksimum ve ortalama ivme spektrumu aşağıdaki Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 1971 Öncesi Elde Edilen Kayıtlara Göre Spektrumlar

0,5 saniye ve daha büyük periyodlarda hem ivme hem de deplasman spektrumlarının, Tablo 3.1'de görüldüğü gibi $\frac{1}{T}$ ile orantılı bir eğriye uyduğu görülür.

- Eğer ivmenin 0,5 ve daha büyük periyod değerlerinde T (periyod) ile ters orantılı olduğu kabul edilirse, ivme katsayı denklemi ;

$$S_a = \frac{C_0}{T} \text{ olur.}$$

C_0 katsayısı 0,5 saniye periyodundaki ivmeden hesaplanırsa ,

$$C_0 = 0,5 \cdot 0,278 = 0,139$$

2,0 , 2,5 ve 3,0 saniye periyodlarında $S_a = \frac{0,139}{T}$ formülü ile hesaplanan ivmeler, gerçek ortalama spektrum ivmeleri ile karşılaştığı görülür.

- Spektral deplasmanlar da spektral ivme ile ilişkilidir.

$$S_d = \frac{S_a \cdot g \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2} \quad g = 9810 \text{ mm/sn}^2 \quad \text{alınırsa,}$$

$$S_d = 248,5 \cdot S_a \cdot T^2 \quad S_a = \frac{0,139}{T} \quad \text{yerine konulursa,}$$

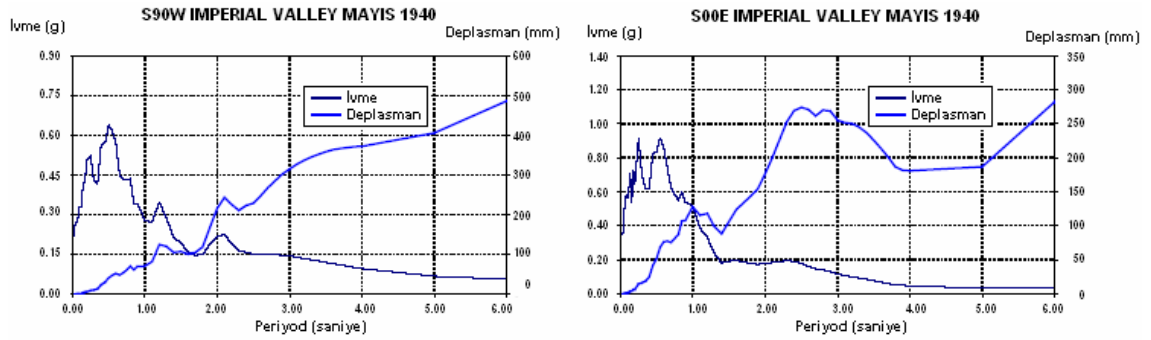
$$S_d = 34,5 \cdot T^2 \quad \text{değerine ulaşılır.}$$

Yine tabloda, formülle bulunan değerlerin gerçek ortalama deplasman değerlerine çok yakın olduğu görülür.

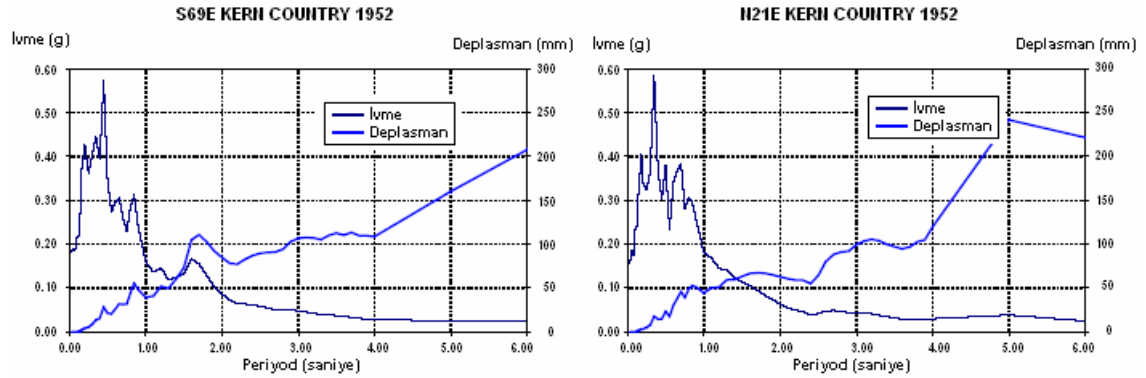
	Periyot 0,5 sn	Periyot 2,0 sn	Periyot 2,5 sn	Periyot 3,0 sn
İvme (g)				
Ortalama Değerler	0,278	0,074	0,057	0,048
0,139/T ile				
Hesaplanan	0,278	0,070	0,056	0,046
Deplasman (mm)				
Ortalama Değerler	17	73	89	106
34,5xT ile				
Hesaplanan	17	69	86	104

Tablo 3.1 %5 Sönüm İçin Ortalama Spektrum Değerleri

Bu sonuçlar periyodla ters orantılı olarak tanımlanmış standart sismik yük katsayılarının, gerçek deprem kayıtları karakteristiklerini yansıttığını gösterir. Şekil 5.3 ve 5.4'te sırasıyla tipik ilk deprem spektrumları formu olan 1940 El Centro ve 1952 Taft depremleri gösterilmiştir. Orta ve uzun periyodlarda ivme periyod artışıyla azalırken, deplasman artmıştır. Fakat daha sonraki yıllarda oluşan depremler aynı eğilimi göstermemiştir.



Şekil 3.2 1940 El Centro Depremi

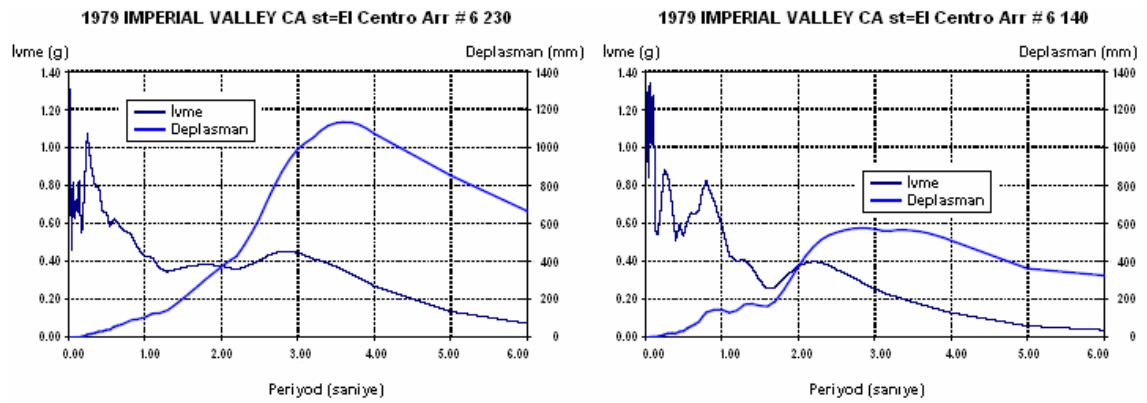


Şekil 3.3 1952 Kern Country Depremi

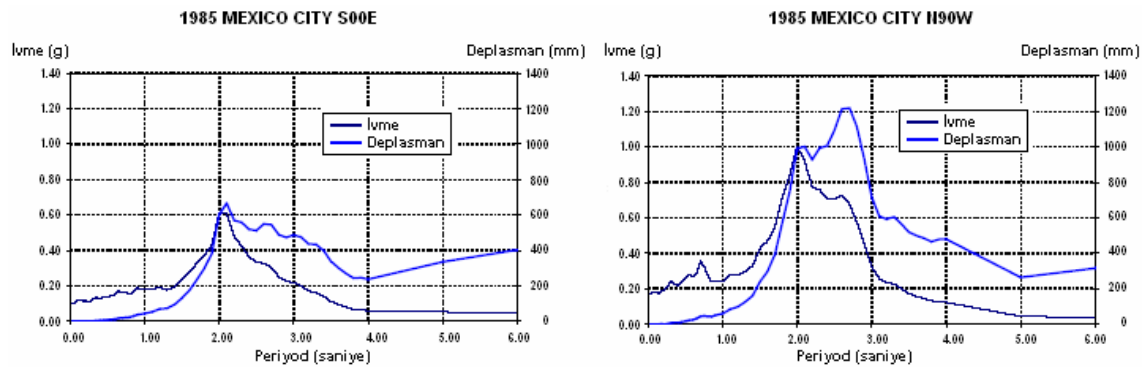
3.2.2 1971 Sonrası Depremler

1971'den sonra yer hareketleri kaydı için sismik dizi sayısı büyük oranda artmış böylelikle deprem kaydı veri tabanı da artmıştır. Daha fazla kayıt elde edilmesi yoluyla deprem kayıtlarında daha önce tahmin edildiğinden çok daha fazla varyasyon bulunduğu ortaya çıkmıştır. Yer ivmelerinin daha yüksek olduğu ve yakın fay etkilerinin yüksek periyod değerlerinde spektrumların formunu değiştirdiği anlaşılr.

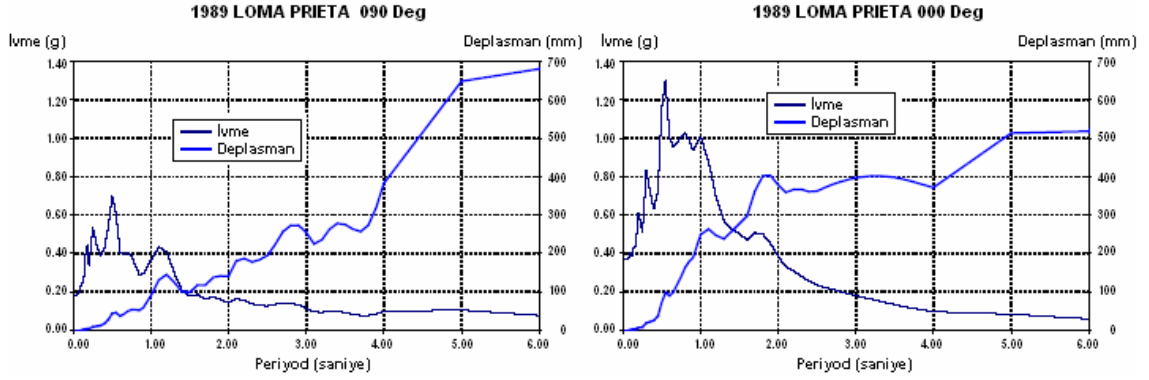
Aşağıdaki Şekil 3.4 ve 3.8, her bir deprem için iki yatay bileşenin % 5 sönümlü spektrumlarıyla bu etkilerin bazılarını göstermektedir.



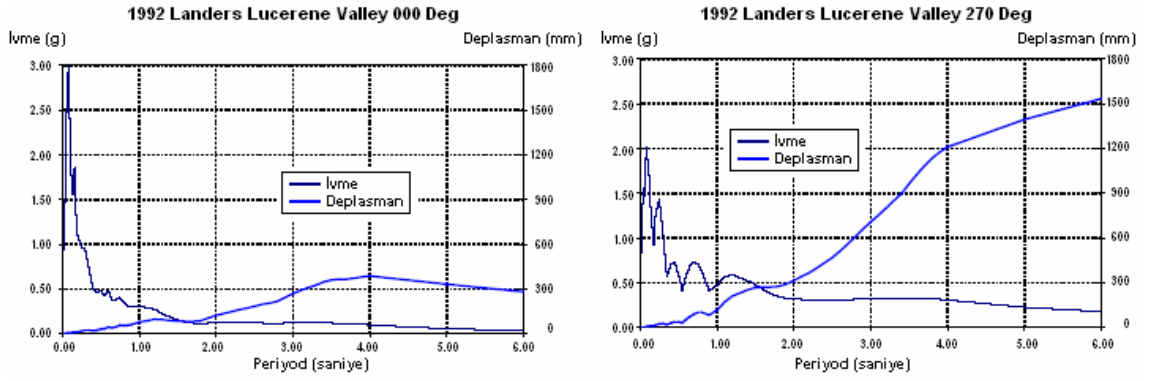
Şekil 3.4 1979 El Centro Depremi



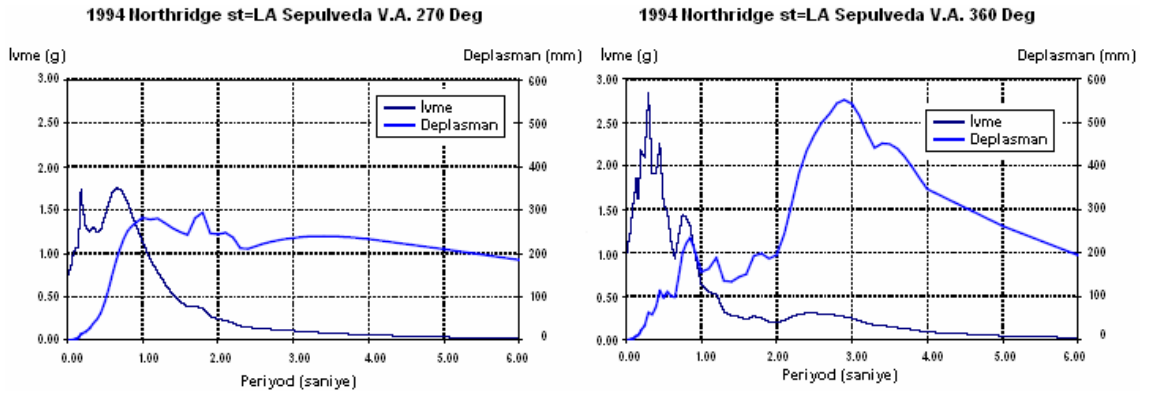
Şekil 3.5 1985 Mexico City Depremi



Şekil 3.6 1989 Loma Prieta Depremi



Şekil 3.7 1992 Landers Depremi



Şekil 3.8 1994 Northridge Depremi

Bütün bu depremlerin ortak yönü, her iki depremin kendine has karakteristiklerinin, o deprem için optimum bir izolasyon sistemi önermesidir. Buna göre, bir deprem için seçilmiş sistem, diğerleri veya hiçbiri için optimum olmayabilir.

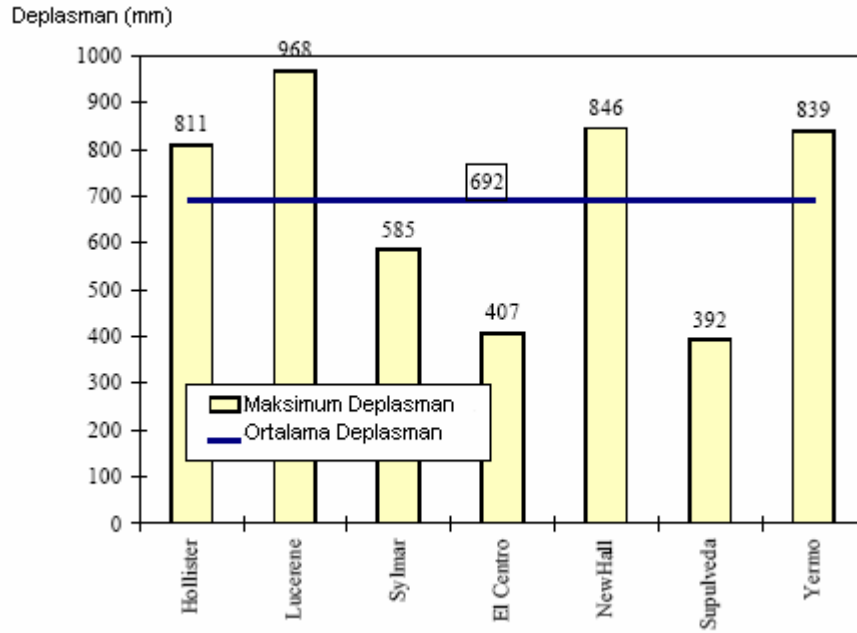
Zaman tanım alanı seçimi için standartlar, fay yakınlığına uyan kayıt kullanımını gerekli kılar. Genellikle bir proje için şekillerde gösterilenlere benzer bir veya birkaç kayıt kullanılacaktır. Ayrıca UBC 97 ve FEMA – 273 gibi standartlarla belirlenmiş ölçeklendirme yöntemi, bu kayıtların yüksek ölçeklendirme çarpanları ile çarpımı sonucu doğurur.

3.3 Yakın Fay Etkisi

Yakın fay etkisi, kırılma noktasına yakın bölgelerde yüksek hız artımlarına sebep olur. Etkiler 1 km içinde en yüksek seviyededir ancak 10 km'ye kadar genişler. UBC, en yakın aktif faya olan uzaklığa ve bu fayın yaratabileceği depremin şiddetine göre, sismik yüklerin 1,5 kata kadar artırılmasını önerir.

3.4 Deplasman Farklılıkları

Şekil 3.9'da, Californiya'daki bir bölge için UBC'ye göre ölçeklenmiş yukarıdaki 7 depremin maksimum deplasmanlarındaki farklılıklar gösterilmektedir. Deplasmanlar 392 mm ile 968 mm değerleri arasında 692 mm ortalama ile değişmektedir. En az 7 kaydın kullanılması durumunda, UBC hesap değerlerini belirlemek için ortalama değerin alınmasına izin verir. Bu kayıtlar her birinin yakın fay etkisi içermesi sebebiyle seçilmiştir. Ayrıca her biri, izolasyon periyodunda aynı genliğe ölçeklendirilmiştir. Bu depremlerden yayılım, aynı şekilde ölçeklendirilerek elde edilmiş yakın fay etkisi içermeyen depremlere göre muhtemelen daha büyük olacaktır.



Şekil 3.9 Depremler Arası Deplasman Farklılıkları

UBC-97 ile de kabul edilen üç hesap deplasmanı seçim yöntemi vardır.

1. 7 kaydın ortalama deplasmanı, 692 mm kullanılır
2. En yüksek üç kaydın maksimumu alınır, 968 mm
3. En düşük üç kaydın maksimumu alınır, 585 mm

3.5 Zaman Tanım Alanı Kayıtları Seçimi

Sismik izolasyon uygulamasında en büyük güçlük, zaman tanım alanı metodunun gerçek performans değerlendirmesinde en güvenilir metot olması fakat yönetmeliklere göre zaman tanım alanı seçiminin alternatif metotlara göre çok daha fazla veri girişine sebep olmasıdır.

Aşırı güvenli sismik veri seçimi sadece maliyete sebep olmayacak aynı zamanda olma ihtimali daha yüksek düşük şiddetteki depremlerde performans kaybına sebep olacaktır. Bütün pratik izolasyon sistemleri tanımlanmış bir deprem seviyesinde optimum performansı hedeflemelidir. Neredeyse her zaman olası en büyük deprem alınır

ki bu seviyedeki deplasmanlar kontrol edilebilsin. Görünen o ki yönetmelikler bizi oluşma ihtimali çok düşük deprem kayıtları seçimine zorlayabilir.

Hem MCE şiddetinde bir depremin oluşacağını, hem de bu depremin yakın fay etkisi yaratacak bir mesafede olduğunu varsayıyoruz. Bazen bu iki durumun beraber olma ihtimali, kullanım ömrü süresine kıyasla çok düşük olabilir.

Neticede yönetmeliklerin gereklerine uygun kayıtlar kullanmak zorundayız. Ancak imkan varsa, bölgenin yakın fay etkisine maruz kalma olasılığı ve belirli bir şiddetteki depremin periyodu hakkında bir sismologdan yardım alınabilir.

UBC ve FEMA 273 Yönetmelikleri diğer yönetmeliklere göre daha açıktır ve genellikle aynı yolu izlerler. Bu kaynaklar, minimum 3 adet zaman alanı seçimini zorunlu kılar. Eğer 7 veya daha fazla deprem kullanılırsa ortalama sonuçlar hesap değerleri olarak alınabilir. Aksi halde maksimum değerler kullanılmalıdır. Bu kayıtlar saha için uygun şiddet, mesafe ve kaynak mekanizmasına sahip olmalıdır. Simüle edilmiş zaman tanım aralıklarına da izin verilmektedir.

UBC, kayıtlarının ölçeklendirilmesi için açık bir metot vermektedir.

Her iki yatay bileşen çifti için, % 5 sönümlü spektrumun karelerinin toplamının kare kökü oluşturulur. Hareketler, karelerinin toplamının kare kökü (SRSS) spektrumunun ortalama değeri, % 5 sönümlü dizayn spektrumunun, $0,5 T_D$ periyodunun %10 fazlası ile $1,25 T_M$ periyod değerleri arasında 1,3 katından aşağı olmayacak şekilde ölçülendirilecektir. (NAEİM, F. and J.M. KELLY, 1999)

4. BİNALARDA İZOLASYON ETKİSİ

Daha öncede bahsedildiği gibi normal yükler altında üç esas koşulu a) esneklik, b) sönüm, c) rijitliği sağlayan birkaç tip izolasyon sistemi vardır. Diğer sistemler bu koşulların bazılarını sağlarlar ve komple bir sistem oluşturmak için bazı ilave elemanlarla birlikte kullanılırlar. Uygun bir sistem seçimi için rehber olabilmesi amacıyla üç prototip bina seçilmiş her biri farklı bir karakteristiğe sahip beş tip izolasyon sistemi için, sismik yükler altında tepkisi test edilmiştir.

4.1 Prototip Binalar

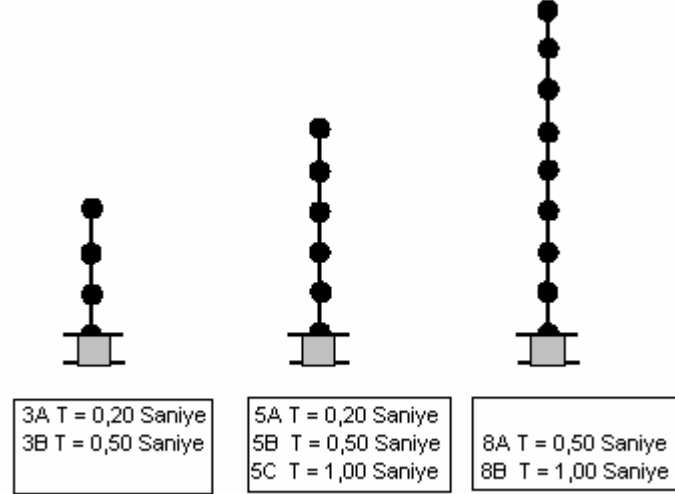
Prototip bina değerlendirmeleri, her bir sistemin tüm tepki özelliklerini vermek amacıyla yapılmıştır. Binalar linear elastik olarak kabul edilmiştir. Değerlendirme prosedürü tüm binalar ve izolasyon sistemi için tutarlıdır ve sistemlerin birbiriyle makul bir şekilde karşılaştırılmasını sağlar.

4.1.1 Bina konfigürasyonu

Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi üç basit bina ele alınmıştır. Her birinin, temel dahil bütün katlara eşit olarak dağılan toplam 5000 KN ağırlığa sahip olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım tüm binalarda aynı izolasyon sistemlerinin kullanımına olanak sağlar. Aynı zamanda binaların tüm seviyelerde eşit kat rijitliklerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Her bir binada kat rijitlikleri sabit hedef bir periyoda ulaşmak amacıyla ayarlanmıştır.

- Sırasıyla 0,20 ve 0,50 saniye periyodlarında iki farklı üç katlı bina kullanılmıştır. Kısa periyod yaklaşık olarak, büyük duvar alanına ve kat rijitliğine sahip donatısız tarihi taş binalara karşılık gelir. 0,50 saniye periyodlu diğer üç katlı bina da rijit bir çerçeveye veya yığma binaya karşılık gelir.

- Beş katlı binada periyodlar 0,20 , 0,50 ve 1,00 saniye olarak tanımlanmıştır. Bu aralıktaki periyodlar, bu yükseklikteki binalar için taşıyıcı sistemin, taş duvardan düktil çerçeve değişimine karşılık geldiği söylenebilir.
- Sekiz katlı bina 0,50 ve 1,00 saniye periyodlarına göre modellenmiştir.



Şekil 4.1 Prototip Binalar

Prototipler yüksekliklerine göre kısa periyodlu alçak ve orta yükseklikteki binalardan seçilmiştir. Bu tipte binalar temel izolasyon için en uygun adaylardır.

4.1.2 İzolatörlerin dizaynı

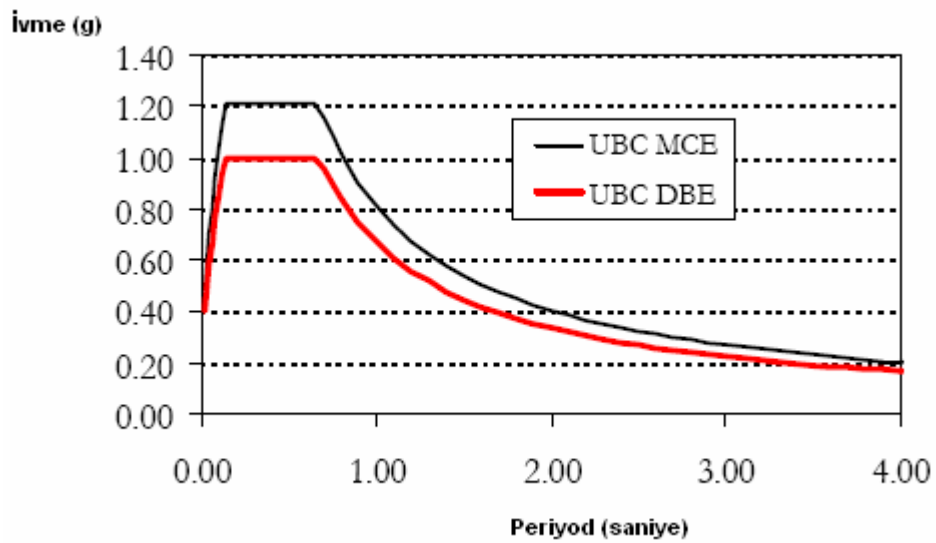
Değerlendirmede beş tip izolasyon sisteminin toplam 32 varyasyonu kullanılmıştır. Her bir sistem gerekli rijitlik ve dayanıklılık özellikleri tanımlanarak dizayn edilmiştir.

İzolasyon sistemi hesabında Tablo 4.1’de listelenmiş UBC sismik yük faktörleri kullanılmıştır. Bölgenin, $Z = 0,4$ olan en yüksek sismik kuşakta, Tip A fayı özelliği gösteren deprem merkezine 10 km mesafe içinde olduğu kabul edilmiştir. Buna göre dizayn spektrumu Şekil 4.2’de gösterilmiştir. UBC olasılık ve şiddetine göre iki tip

deprem tanımlanmıştır. DBE yapının değerlendirilmesi için, MCE ise maksimum izolatör deplasmanın elde edilmesi için kullanılır.

Deprem Bölgesi (Zone Factor), Z	0,4	Tablo 16-I
Zemin Tipi	S_c	Tablo 16-J
Spektral Sismik Katsayı, C_A	0,400	Tablo 16-Q
Spektral Sismik Katsayı, C_V	0,672	Tablo 16-R
Fay Yakınlık Çarpanı, N_A	1,000	Tablo 16-S
Fay Yakınlık Çarpanı, N_V	1,200	Tablo 16-T
MCE Sarsma Yoğunluğu, $M_M Z N_A$	0,484	
MCE Sarsma Yoğunluğu, $M_M Z N_V$	0,581	
Sismik Kaynak Tipi	A	Tablo 16-U
Deprem Merkezine Uzaklık (km)	10,0	
MCE Tepki Katsayısı	1,21	Tablo A-16-D
Azaltma Faktörü (İzolatörlü), R_I	2,0	Tablo A-16-E
Azaltma Faktörü (Ankastre), R	3,0	Tablo 16-N
Yapı Önem Katsayısı, I	1,0	Tablo 16-K
Spektral Sismik Katsayı, C_{AM}	0,484	Tablo A-16-F
Spektral Sismik Katsayı, C_{VM}	0,813	Tablo A-16-G

Tablo 4.1 UBC Hesap Çarpanları



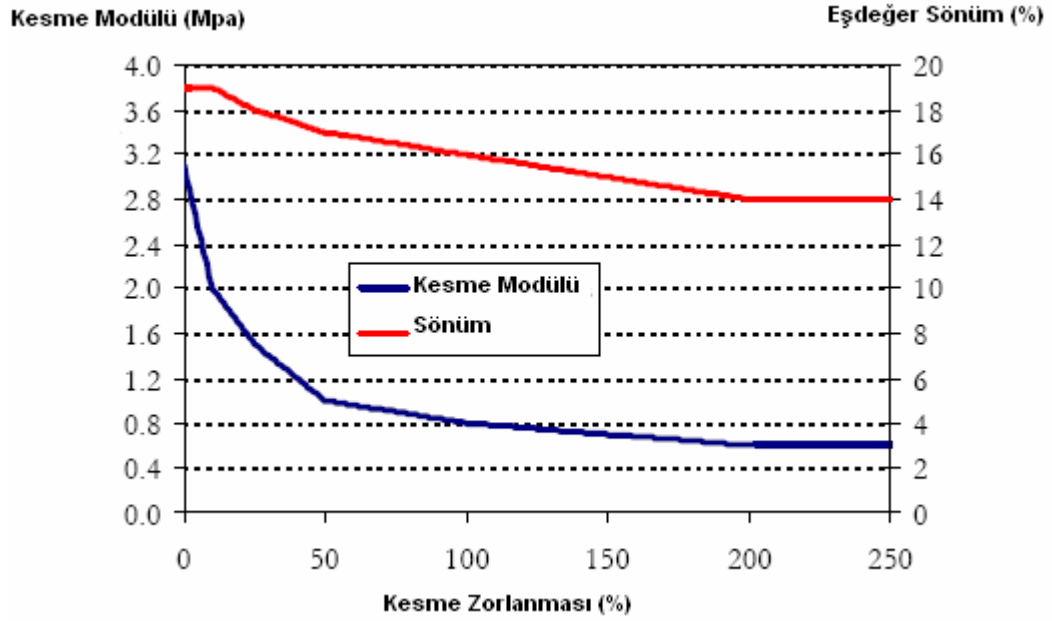
Şekil 4.2 UBC 97 Dizayn Spektrumu

Kayıcı mesnetler haricindeki diğer sistemler genel izolasyon sistemi periyodlarını kapsayacak şekilde 1,5 – 2,0 – 2,5 ve 3,0 saniye periyodlarında tanımlanmıştır. Genellikle yüksek periyodlu izolasyon sistemi esnek yapılar için kullanılacaktır. Kayıcı sistem sürtünme katsayılarına göre dizayn edilmiştir.

1. Elastik sistem, sönümsüz elastik yaydır. Bu tip sistemler yüksek deplasman yapacakları ve servis yükleri altında hareket edeceklerinden ilave sönümleyicilerle birlikte kullanılmamaları halinde pratik değildir. Bununla birlikte diğer sistemlerde sönüm etkisinin değerlendirilmesi için karşılaştırmalı analiz imkanı verir. Bu sistem, akma gerilmesi çok yüksek linear elastik yay olarak modellenmiştir.

2. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnette (LDR) varyasyonlar, akma yükü Q_y 'nin 0,05 W ve 0,100 W değerlerine göre belirlenmiştir. W yapı ağırlığıdır. Bu tip mesnetlerde efektif sönüm periyod ve akma yükünün bir fonksiyonudur, varyasyonlarımız için % 8 ile % 37 arasında değişmektedir.

3. HDR yüksek sönümlü kauçuk mesnet sistemidir. Bu elastomerler sertliğine ve sönüm değerlerine göre çeşitlenir. Özellikleri uygulanan kesme kuvvetinin bir fonksiyonudur. Örneklendirmede kullanılan elastomerin özellikleri şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetlerin Özellikleri

Bu özellikler orta seviyede bir elastomeri temsil eder. Düşük gerilmelerde kesme modülü yaklaşık 3 MPa iken, % 250 kesme durumunda 0,75 MPa değerine düşmektedir. Sönüm düşük gerilmelerde % 19 gibi bir maksimum değer alırken, % 250 kesme durumunda %14'e düşmektedir. Elastomerik maddeler % 250'yi aşan kesme durumlarında kesme modülünün artmasıyla katılaşmaya başlar. Eğer mesnetler bu gerilme seviyesine kadar çalışacaklarsa, bu katılaşmanın hesaba ve değerlendirmeye katılması gerekecektir.

Her ne kadar gerilme-deplasman grafikleri gerçekte daha kompleks histerisis şekiller de olsa, analizlerde bi-linear model yaklaşımı kullanılmıştır. Akma deplasmanı D_y 'nin kauçuk kalınlığının 0,05 veya 0,10 katında meydana geldiği ön görülür ve akmaya neden olan yük Q_y maksimum deplasman ve etkili rijitlik kullanılarak hesaplanır.

$$Q_y = \frac{\pi \cdot K_{eff} \cdot \beta_{eff} \cdot D^2}{2 \cdot (D - D_y)}$$

Örneklerimizde değerlendirme yapılan periyod aralıkları için %15 ve %19 aralığında değişmektedir.

4. PTFE bir kayıcı mesnet sistemidir. Kayıcı mesnetler genellikle kaygan polytetrafluoroethylen yüzey üzerinde kayan düz, sert, korozyona dayanıklı, paslanmaz çelik vb. bir yüzeyden oluşmaktadır. Bu mesnetler rijit-tam plastik eleman gibi modellenmiştir ($k_1 = \infty$, $k_2 = 0$) Birkaç farklı normal kayma katsayısı aralığını kapsayacak şekilde $M = 0,06$, $0,09$, $0,12$ ve $0,15$ sürtünme katsayısı değerleri için değerlendirme yapılmıştır. Kayıcı mesnet sürtünme katsayıları, kayma hızı ve normal basıncın bir fonksiyonudur.

Bu tip izolatörler için tek değişken sürtünme katsayısıdır, bu nedenle özel bir periyod hedeflenemez. Periyodlar, hesaplanan sismik deplasmandaki efektif rijitliğe göre bulunur. Histerisis şekil tam bir dikdörtgendir ve $2/\pi = \% 63,7$ 'lik optimum eşdeğer sönüm verir.

5. FPS, PTFE mesnetlere benzer fakat düzlem yüzey yerine küresel yüzeye sahiptirler. Bu tip izolatörlerin nitelikleri, sürtünme katsayısını ve periyodu belirleyen, çanağın eğrilik yarı çapıyla ifade edilir. Değerlendirmede sırasıyla $0,06$ ve $0,12$ sürtünme katsayılı örnekler kullanılmıştır. Çanak çapı diğer izolatör tipleri ile aynı periyodları sağlayacak şekilde tespit edilmiştir. Eşdeğer viskoz sönüm LRB mesnetlerle benzer şekilde % 9 ile % 40 arasında değişmektedir.

Bu mesnetler rijit-gerilmeye zorlanan elemanlar olarak modellenmiştir ($k_1 = \infty$, $k_2 > 0$). PTFE mesnetlerde olduğu gibi değerlendirme yaklaşık değerlere göre yapılır. Basınç ve hız sebebiyle sürtünme katsayısı değişimini dikkate alınmaz.

Tablo 4.2'de değerlendirmeye alınan varyasyonlar ve modellemede kullanılan histerisis hareket parametreleri listelenmiştir.

Sistem	Varyasyonlar	İzolasyonlu Periyod (Saniye)	β (%)	D (mm)	C	k1 (KN/mm)	k2 (KN/mm)	fy
Ankastre		0,0	0	0		100.000	0,00	100.000
Elastik		1,5	5	250	0,447	8,94	8,94	100.000
Elastik		2,0	5	334	0,336	5,03	5,03	100.000
Elastik		2,5	5	417	0,269	3,22	3,22	100.000
Elastik		3,0	5	501	0,234	2,34	2,34	100.000
LRB	Qy=0,050	1,5	8	230	0,417	62,83	7,98	287
LRB		2,0	11	272	0,273	32,82	4,10	287
LRB		2,5	15	310	0,199	19,87	2,40	287
LRB		3,0	20	342	0,153	12,82	1,49	287
LRB	Qy=0,075	1,5	13	194	0,349	60,52	7,05	426
LRB		2,0	20	229	0,227	28,94	3,30	426
LRB		2,5	26	262	0,168	15,96	1,77	426
LRB		3,0	31	295	0,134	9,81	0,96	426
LRB	Qy=0,100	1,5	20	167	0,299	55,10	5,96	562
LRB		2,0	28	203	0,206	24,72	2,60	562
LRB		2,5	33	240	0,156	11,56	1,14	562
LRB		3,0	37	276	0,128	6,83	0,41	562
HDR		1,5	15	186	0,184	45,28	7,62	514
HDR		2,0	16	242	0,140	20,06	4,28	462
HDR		2,5	17	303	0,110	10,34	2,60	414
HDR		3,0	19	348	0,094	9,02	1,74	414
PTFE	$\mu=0,06$	5,6	64	467	0,060	500	0,00	300
PTFE	$\mu=0,09$	3,7	64	312	0,090	500	0,00	450
PTFE	$\mu=0,12$	2,8	64	234	0,120	500	0,00	600
PTFE	$\mu=0,15$	2,2	64	187	0,150	500	0,00	750
FPS	$\mu=0,06$	1,5	9	200	0,417	500	8,94	300
FPS		2,0	13	231	0,292	500	5,03	300
FPS		2,5	17	253	0,223	500	3,22	300
FPS		3,0	21	269	0,180	500	2,34	300
FPS	$\mu=0,12$	1,5	21	135	0,359	500	8,94	600
FPS		2,0	28	150	0,270	500	5,03	600
FPS		2,5	34	159	0,222	500	3,22	600
FPS		3,0	40	164	0,193	500	2,34	600

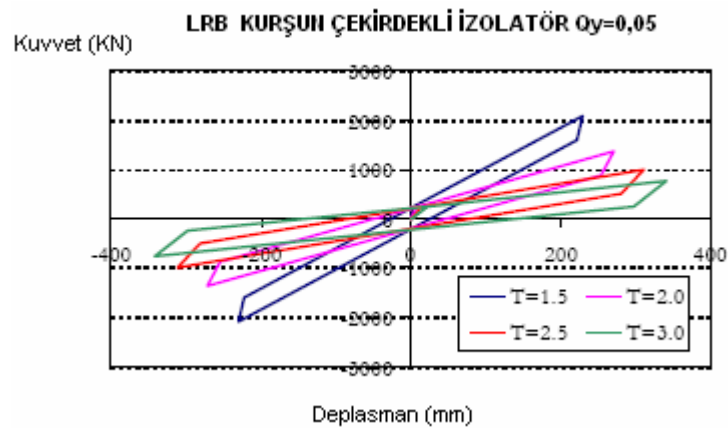
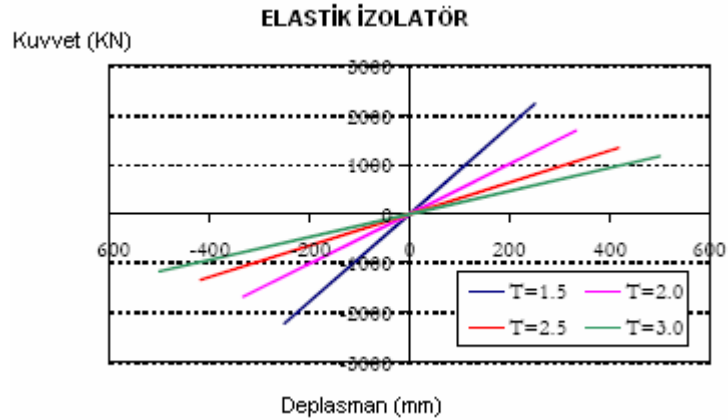
Tablo 4.2 İzolasyon Sistemi Varyasyonları

Şekil 4.4’de değerlendirmeye alınan bütün izolatör tip ve varyasyonları için histerisis kuvvet-deplasman eğrilerini göstermektedir. Elastik izolatörler histerisis eğri altındaki alanı sıfır olan tek izolatör tipidir. Bu viskoz sönümün sıfır olması anlamındadır. LRB ve HDR izolatörler elastik ve akma rijitliklerine göre değişen bi-

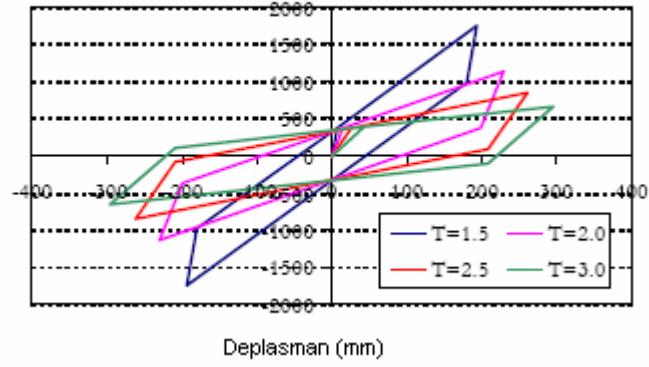
linear kuvvet deplasman fonksiyonu üretirler. PTFE ve FPS mesnetleri kaydırma kuvvetine erişinceye kadar rijittirler. Daha sonra rijitlik PTFE’lerde sıfır ve FPS’lerde pozitif bir değer alır.

Buradaki örneklendirmelerin belirli bir izolasyon sistemi tipi için mutlaka optimum dizayn olmadığı dikkate alınmalıdır.

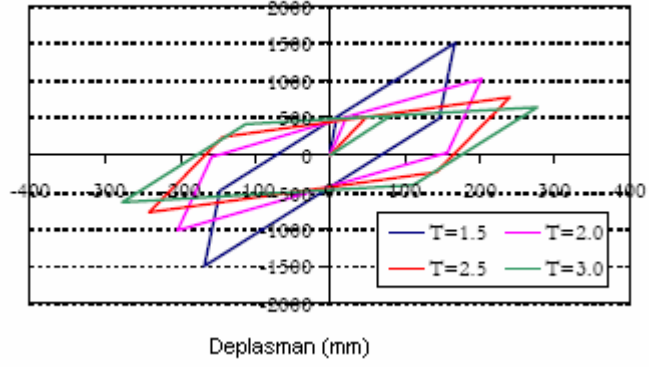
UBC’ye göre geri döndürme kuvveti olmayan izolatörlerin, hesaplanan deplasmanın üç katı bir deplasman için dizayn edilmesi gerekir. Geri döndürme kuvveti, hesap deplasmanında en az $0,025W$ ve hesap deplasmanının yarısındaki kuvvetten daha büyük olan kuvvet olarak tabir edilir. Bu, $R = \frac{k_2 \cdot 0,5 \cdot D}{W}$ formülüyle Tablo 4.2’deki değerlerden kontrol edilebilir. Tüm PTFE kayıcı izolasyon sistemlerinde ve izolasyon periyodu 3,0 saniye ve $Q_y = 0,100$ durumundaki LRB mesnette ve geri döndürme kuvvetinin olmadığı görülür.



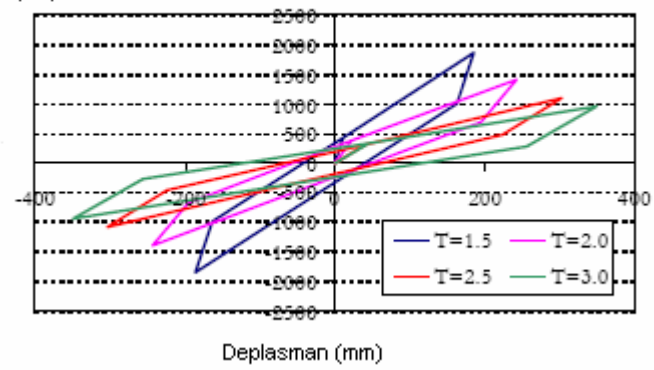
Kuvvet (kN)

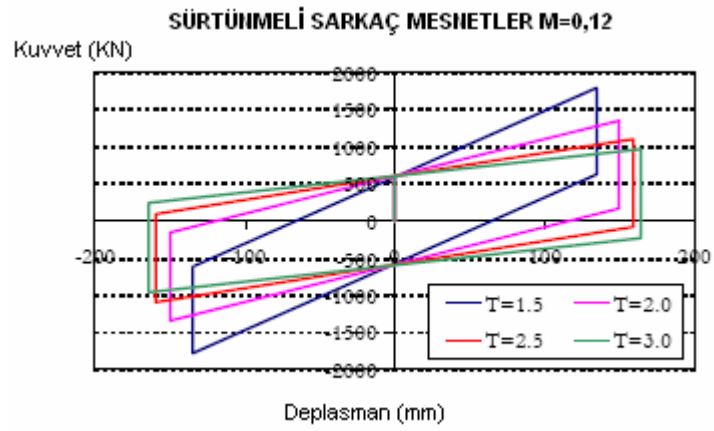
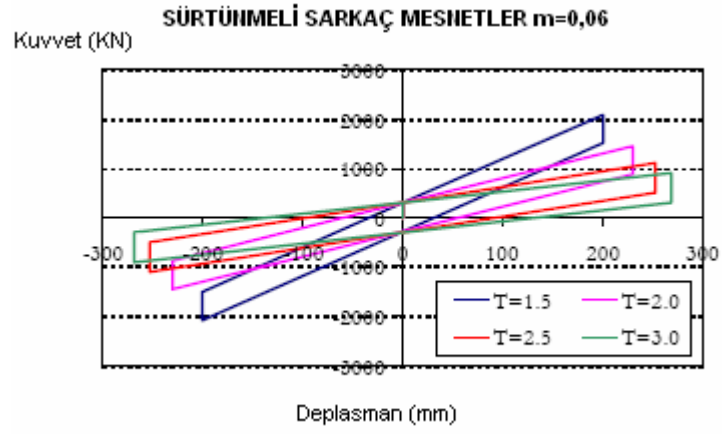
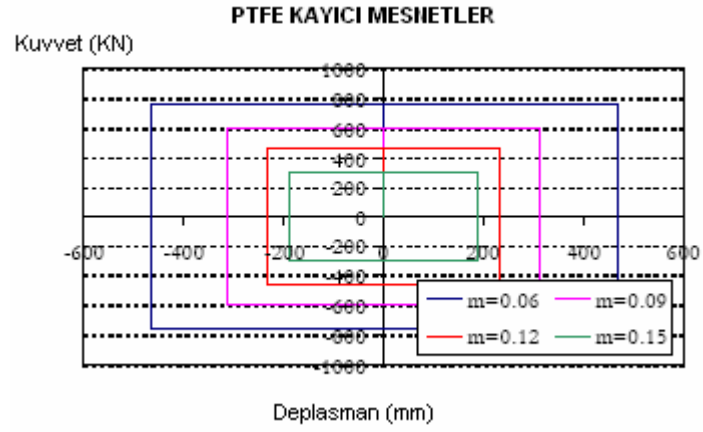
LRB KURŞUN ÇEKİRDEKLİ İZOLATÖR $Q_y=0,075$ 

Kuvvet (kN)

LRB KURŞUN ÇEKİRDEKLİ İZOLATÖR $Q_y=0,100$ 

Kuvvet (kN)

HDR YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAUÇUK İZOLATÖRLER



Şekil 4.4 İzolasyon Sistemleri Histerisis Hareketleri

4.1.3 Değerlendirme prosedürü

Daha önce de belirtildiği gibi izolasyonlu yapıları değerlendirme prosedürleri artan karmaşıklık sırasına göre 1. Statik Analiz 2. Response Spektrum Analizi ve 3. Zaman Tanım Aralığı Analizleridir. Statik analizin kullanımı sınırlandırılmıştır. Response Spektrum ve Zaman Tanım Alanı analizleri daha çok kullanılır. Response Spektrum metodunda nadiren de olsa bazı yapılar için engel teşkil edebilecek sınırlamalar vardır. Zaman tanım alanının kullanımında sınırlama yoktur. Bir model için her iki analiz tipinin kullanılması, tepki tahminini kolaylaştırmak açısından tercih edilmektedir. (KELLY, T., 2001)

Teoride Response Spektrum analizinin değerlendirilmesi daha kolaydır. Her deprem seviyesi için tek bir spektrumda tek dizi sonuç verir. Zaman tanım alanı metodu en az üç deprem için ve genellikle deprem kaydı için her iki adımda bir dizi sonuç üretir. Fakat uygulamada bilgisayar programları kullanımı ve sonuçların her iki yöntem için aynı formatta oluşu bunu bir sorun olmaktan çıkarır. Response Spektrum analiz yöntemi, efektif rijitlik formülasyonunu temel alır ve genellikle iterasyon işlemidir. Efektif rijitlik ölçülen deplasmana dayanarak hesaplanır ve analiz sonuçlarına göre ayarlanır. (KELLY, T., 2001)

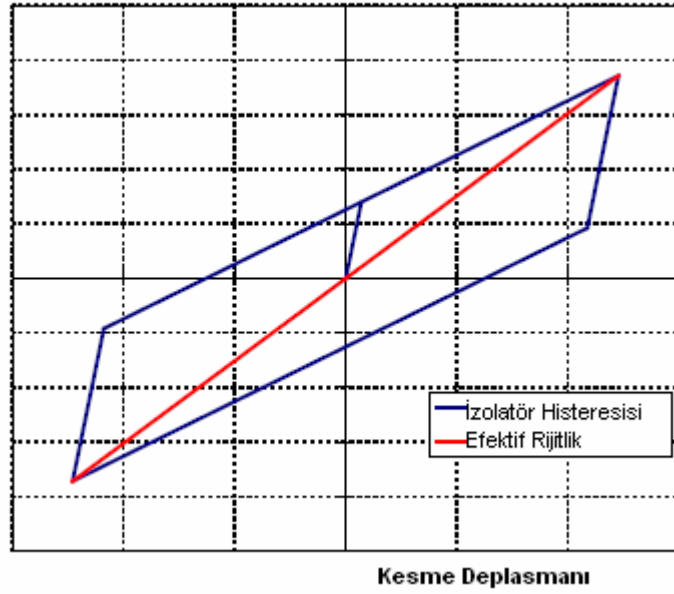
Buradaki değerlendirmeler her iki analiz metodu esas alınarak yapılmıştır.

4.1.3.1 Response spektrum analiz

Response Spektrum analizi, izolasyon sistemi hesabı için iki değişiklik haricinde normal prosedürü takip eder.

1. Yapının temelini zemine bağlamak için yaylar modellenmiştir. Bu yaylar izolatör efektif rijitliğine sahiptir. Birçok izolasyon sistemi için bu rijitlik deplasmanın bir fonksiyonudur.

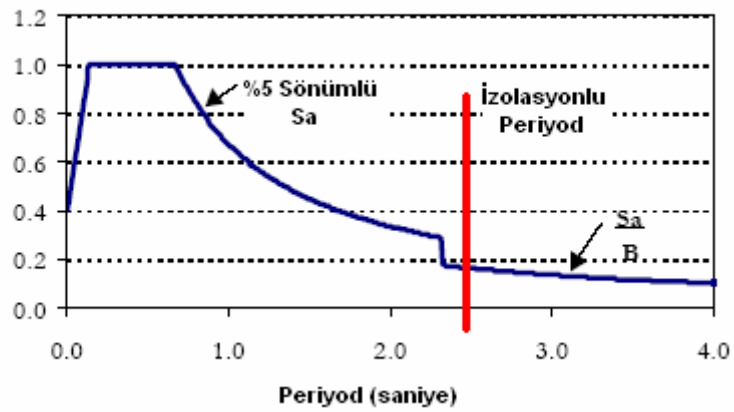
Kesme Kuvveti



Şekil 4.5 Efektif Rijitlik

2. Response Spektrum, izolasyonlu modlardaki sönüm artışından dolayı modifiye edilir. Bazı analiz programları spektrumun, verilen değişken sönüm oranlarına göre alınabilmesini sağlar. Aksi halde % 5 sönümlü spektrum, izolasyonlu modlarda B faktörü ile azaltılmış kompozit spektruma dönüştürülür.

İvme (g)

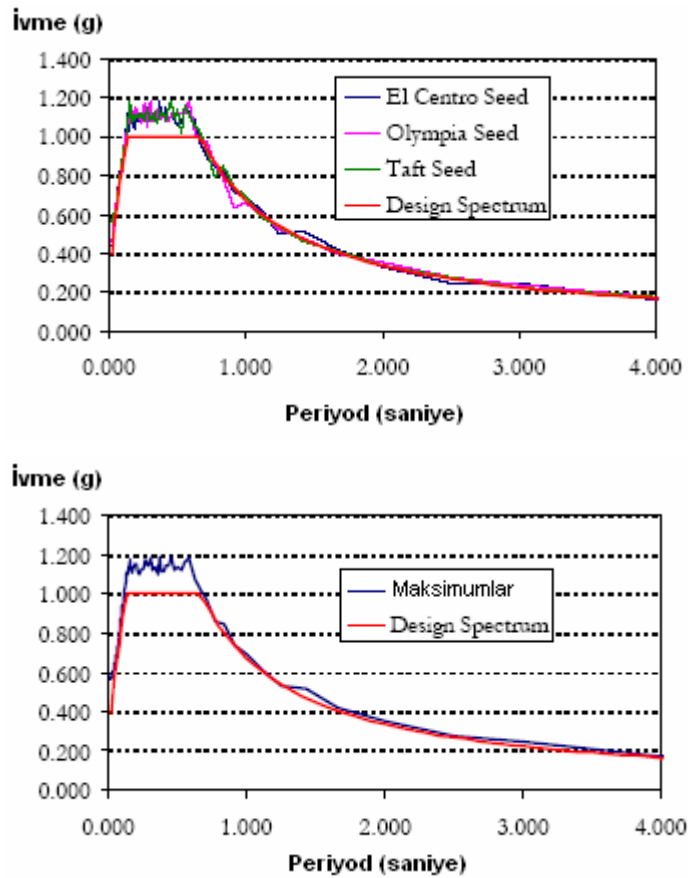


Şekil 4.6 Kompozit Spektrum

4.1.3.2 Zaman tanım alanı analizi

Örneklendirmemizdeki her bina ve izolasyon sistem kombinasyonu, UBC dahil birçok yönetmelikte minumum şart alan üç deprem kaydı için değerlendirilmiştir. Kayıt seçimleri, iki boyutlu modele tek bileşen uygulanması ve kayıtların dizayn spektrumu ile karşılaştırmak için frekans bazında ölçeklendirilmesi sebebiyle yönetmeliklere tam uygun değildir. (KELLY, T., 2001)

Frekans ölçekli kayıtlar, dizayn değerlerine ulaşmaktan çok izolasyon sistemlerinin karşılaştırılması amaçlanması sebebiyle seçilmiştir. Yönetmeliklere belirlenen zaman tanım alanı seçim yöntemi response spektrum değerlerine göre daha yüksek sismik verilerle sonuçlanır. Bu sebeple buradaki raporlamalardan daha yüksek sonuçlar doğar. (KELLY, T., 2001)



Şekil 4.7 Üç Depremin Bileşik Spektrumu

Her bina modeli ve izolasyon sistemi konfigürasyonu 0,01 sn zaman adımlarında her kaydın 20 saniyelik süreci için analize tabi tutulmuştur. Her bir zaman adımında her seviyedeki ivme ve deplasman değerleri her kattaki kesme kuvvetleri ile birlikte kaydedilir. Bu değerler daha sonra izolatör deplasman ve kesme kuvvetleri, katlar arası göreceli yer değiştirmeler ve toplam devrilme momentinin bulunması için birleştirilir.

4.1.4 Statik hesapla ile analiz karşılaştırmaları

İzolatör performans parametreleri kesme kuvveti katsayısı C (Yapısal ağırlıkla normalize edilmiş maksimum izolatör kuvveti) ve izolatör deplasmanı, D 'dir. Statik analiz bu değerleri tekil kütle kabulüne göre hesaplar.

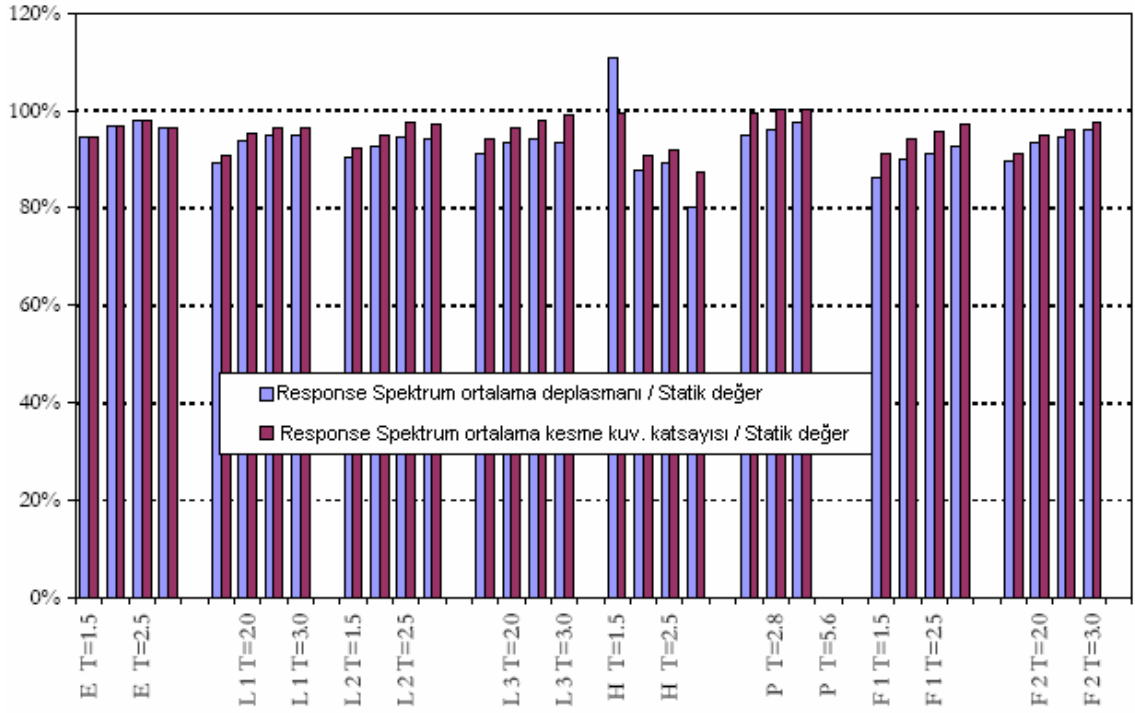
4.1.4.1 Response spektrum sonuçları ile karşılaştırma

Response spektrum analiz sonuçlarına bölünmüş statik hesap değerleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu değerler bütün binaların ortalama değerleridir. Numerik değerler Tablo 4.3'de listelenmiştir. % 100 değeri analiz sonuçları ile statik hesap sonuçlarının çakıştığını; % 100'den yüksek değerler response spektrumun, statik hesap sonuçlarından daha yüksek sonuçlar verdiğini gösterir.

Şekil 4.8'e bakıldığında spektrum analiz deplasman ve kesme katsayılarının, dizayn spektrum değerlerine göre biri hariç tüm örneklerde uyumlu bir şekilde daha düşük değerler aldığı görülür (Hem kesme katsayıları ve hem de deplasmanlar % 0 ile % 10 arasında daha düşüktür). Sadece HDR mesnetler + % 10 ile - % 20 oranları ile farklılık oluştururlar. Çünkü bu tip mesnetlerde statik hesap prosedürü bölümlendirilmiş viskoz sönüm oranına dayanırken, analiz eşdeğer histerisis kuvvet-deplasman eğrisine göre yapılır.

			Statik Hesap		Response Spektrum Analiz		Zaman Tanım Alanı Üç Deprem	
Sistem	Varyasyonlar	İzolasyonlu Periyod (Saniye)	D (mm)	C	D (mm)	C	D (mm)	C
Ankastre		0,0	0		0	0,668		1,551
Elastik		1,5	250	0,447	236	0,423	309	0,552
Elastik		2,0	334	0,336	323	0,325	369	0,371
Elastik		2,5	417	0,269	409	0,263	434	0,279
Elastik		3,0	501	0,234	483	0,225	528	0,247
LRB	Qy=0,050	1,5	230	0,417	206	0,379	144	0,280
LRB		2,0	272	0,273	256	0,260	213	0,225
LRB		2,5	310	0,199	295	0,192	269	0,180
LRB		3,0	342	0,153	325	0,148	344	0,153
LRB	Qy=0,075	1,5	194	0,349	175	0,322	140	0,272
LRB		2,0	229	0,227	212	0,216	195	0,204
LRB		2,5	262	0,168	248	0,164	258	0,167
LRB		3,0	295	0,134	278	0,130	332	0,141
LRB	Qy=0,100	1,5	167	0,299	152	0,282	140	0,267
LRB		2,0	203	0,206	190	0,199	197	0,203
LRB		2,5	240	0,156	226	0,153	269	0,163
LRB		3,0	276	0,128	258	0,127	384	0,137
HDR		1,5	186	0,184	206	0,366	148	0,277
HDR		2,0	242	0,140	212	0,254	177	0,225
HDR		2,5	303	0,110	270	0,202	269	0,202
HDR		3,0	348	0,094	279	0,165	320	0,179
PTFE	$\mu=0,06$	5,6	467	0,060			430	0,060
PTFE	$\mu=0,09$	3,7	312	0,090	305	0,090	309	0,090
PTFE	$\mu=0,12$	2,8	234	0,120	225	0,120	223	0,120
PTFE	$\mu=0,15$	2,2	187	0,150	177	0,149	204	0,150
FPS	$\mu=0,06$	1,5	200	0,417	179	0,328	124	0,280
FPS		2,0	231	0,292	216	0,255	160	0,221
FPS		2,5	253	0,223	239	0,213	199	0,188
FPS		3,0	269	0,180	259	0,188	228	0,162
FPS	$\mu=0,12$	1,5	135	0,359	117	0,381	103	0,301
FPS		2,0	150	0,270	135	0,277	111	0,231
FPS		2,5	159	0,222	145	0,214	122	0,198
FPS		3,0	164	0,193	152	0,176	130	0,178

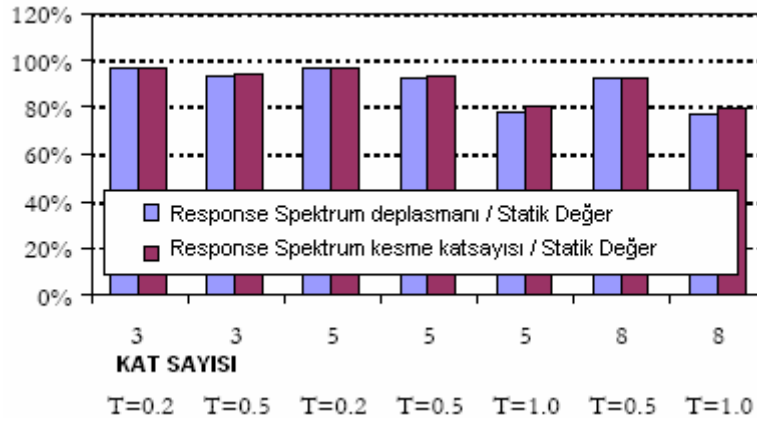
Tablo 4.3 İzolasyon Sistemlerinde Maksimum Sonuçlar (Tüm Bina ve Depremlerde)



Şekil 4.8 Response Spektrum – Statik Hesap Sonuç Karşılaştırmaları

Bu iki metod arasındaki yakın ilişki şaşırtıcı değildir. Çünkü her ikisi de efektif rijitlik ve viskoz sönüm kavramlarını temel alır. Ana farklılık, dizayn prosedürünün (UBC'ye göre Statik Hesap Yöntemi) izolatör üzerindeki yapıyı rijit kabul ederken, response spektrum analizi esnek yapı etkisini de hesaba katar.

Üst yapı esnekliğinin etkisi, 1,5 saniye periyodunda LRB 1 kurşun çekirdekli kauçuk mesnet için response spektrum analiz sonuçlarının, dizayn prosedürü sonuçlarına oranlanmasıyla Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.8, aynı mesnet tipi için ortalama % 90 oran verirken, aslında Şekil 4.9'da gerçek oranların 0,2 sn periyodlu yapılarda % 97 oranından, 1,0 sn periyodlu yapılarda % 77'ye düştüğü görülür.



Şekil 4.9 T=1,5 sn Periyodundaki Kurşun Çekirdekli Mesned Sonuçları

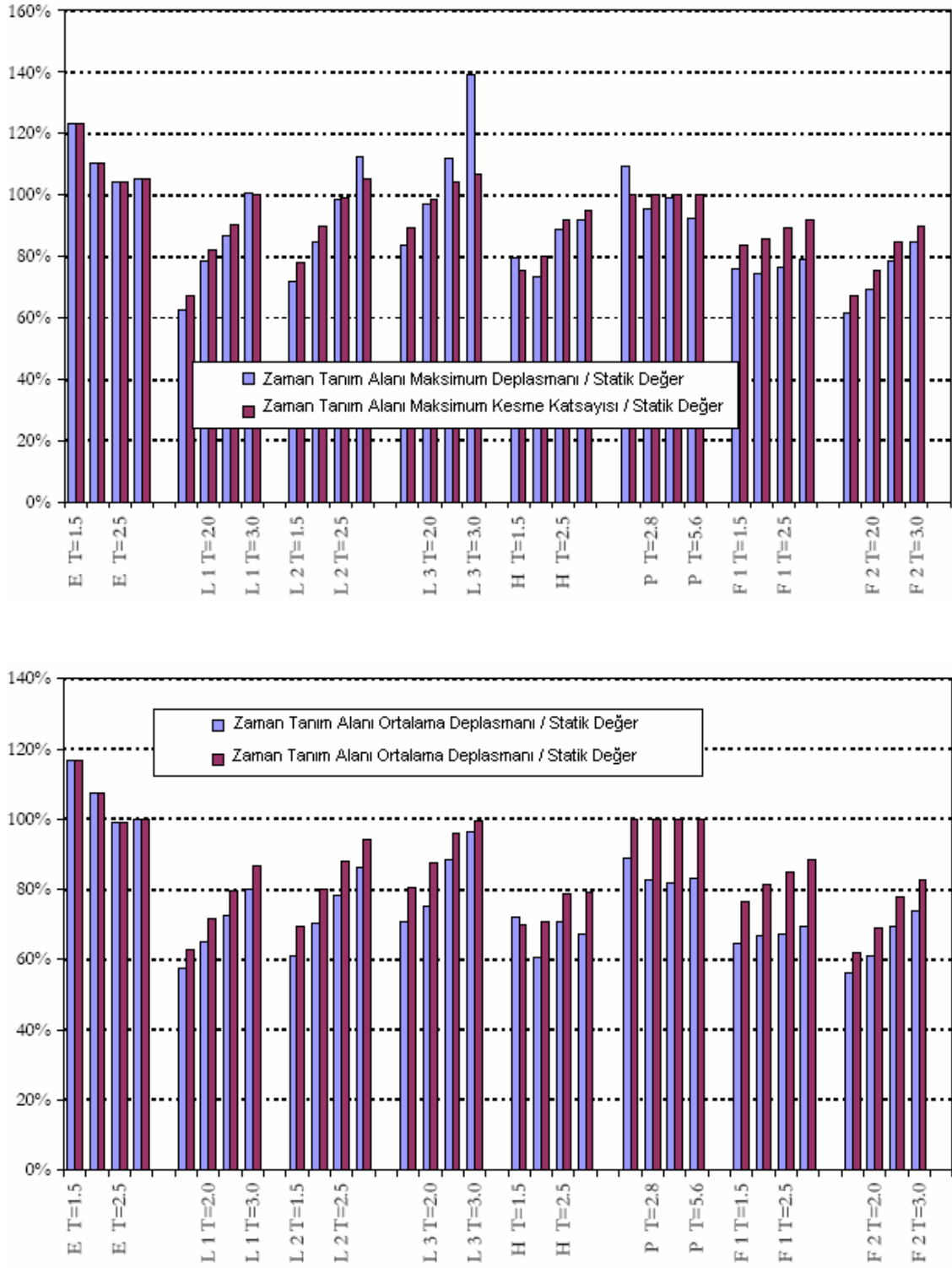
Binanın periyodu arttıkça esnekliğin etkisi daha önemli olur ve response spektrum sonuçları, dizayn prosedürü sonuçlarından ayrılır. Bu eğilim tüm diğer örnekler için de geçerlidir. Taban deplasman ve kesmeleri yüksek periyodlu binalarda daha düşüktür.

4.1.4.2 Zaman tanım alanı sonuçları ile karşılaştırma

Zaman tanım alanı analizinden elde edilen deplasman ve taban kesmelerinin dizayn prosedürü sonuçlarına oranları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. İki ayrı durum için;

- üç zaman tanım alanının maksimum değerleri ve,
- üç zaman tanım alanının ortalaması alınmıştır.

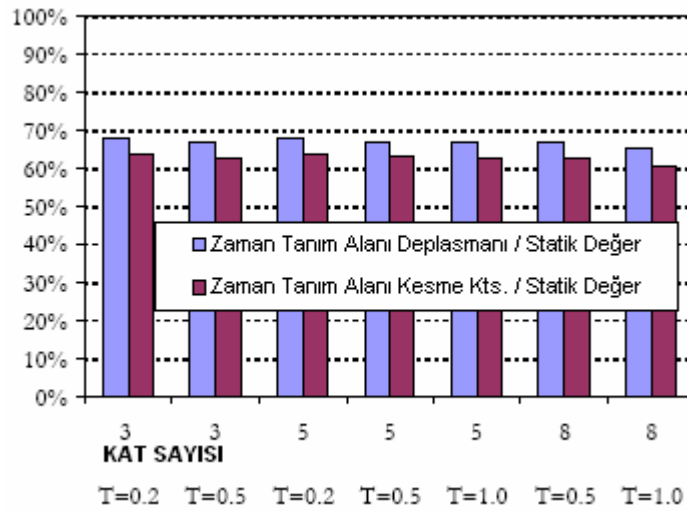
Zaman tanım alanı sonuçları dizayn prosedürü değerlerinden response spektrum analizine göre daha farklıdır. Bu farklılık maksimum değerlerde + % 40 ile - % 40 arasında iken ortalama değerlerde + % 20 ile - % 40 arasında değişmektedir. Elastik sistemler için zaman tanım alanı sonuçları dizayn prosedürü sonuçlarına, periyodun artışıyla yaklaşma eğilimindedir. Fakat bu eğilim diğer izolasyon sistemlerinde tam tersidir. Elastik sistem eşdeğer viskoz sönümü kullanmayan tek sistem olduğuna göre, bu durum histeritik sönüm ve eşdeğer viskoz sönüm kullanan model arasında tepki farklılıklarını belgeler.



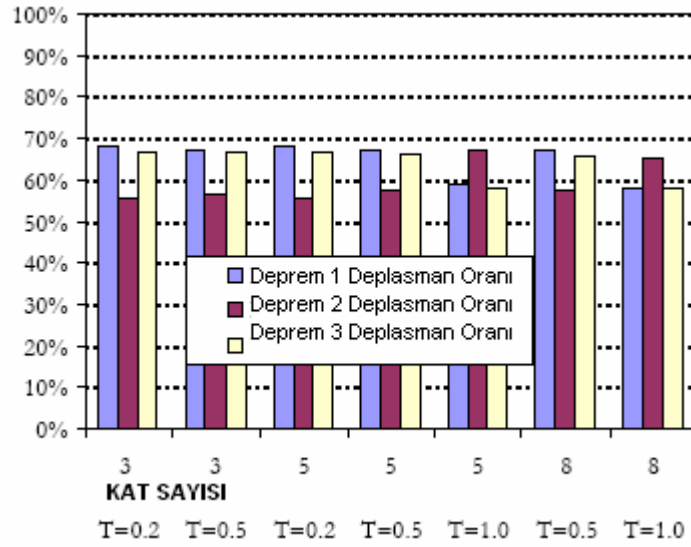
Şekil 4.10 Zaman Tanım Alanı – Statik Hesap Sonuç Karşılaştırmaları

Histerik sistemlerde periyod artışıyla deplasman da artar ev eşdeğer viskoz sönüm azalır. Şekil 4.10'daki sonuçlar viskoz sönüm formülasyonunun büyük deplasmanlar için küçük deplasmanlara göre daha doğru olduğunu gösterir.

Şekil 4.11, yine 1,5 saniye periyodunda LRB1 kurşun çekirdekli kauçuk mesnet için üç depremden elde edilen maksimum değerlerin, statik hesap değerlerine oranlarını göstermektedir. Şekilden, sonuçların üst yapının periyodundan etkilenmediği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, üç depremi ayrı ayrı gösteren Şekil 4.12'de response spektrum analizinde olduğu gibi 1 ve 3 nolu depremlerde sonuçlar, 1.0 saniye periyodlu esnek binalarda rijit yapılara göre düşüktür. Bu zaman tanım alanında tepkinin aynı spektrumu veren deprem kayıtlarında bile çok farklılık gösterebileceğini ispatlamaktadır.



Şekil 4.11 T=1,5 sn Periyodundaki Kurşun Çekirdekli Mesnet Sonuçları



Şekil 4.12 Depremler Arası Farklılıklar

Ortalama zaman tanım alanı sonuçlarından, statik hesabın genellikle elastik izolasyon sistemleri haricinde diğer izolasyon sistemlerinde daha güvenli tarafta kaldığı anlaşılmaktadır.

4.1.5 İzolasyon sistemleri performans değerlemesi

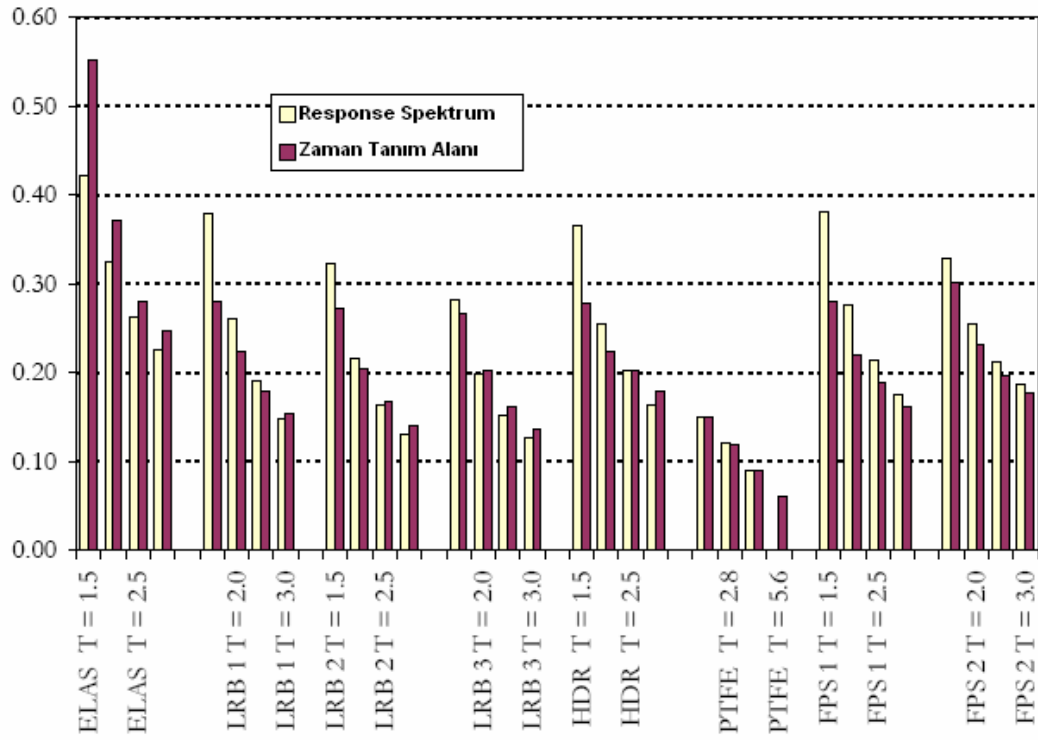
Üç ayrı zaman tanım alanından deplasman ve taban kesme katsayılarının maksimum ve ortalama değerleri alınarak, Statik hesap prosedürü ve response spektrum prosedürü sonuçları ile karşılaştırma yapıldı. Boyutlandırma için üç zaman tanım alanı kullanılıyorsa ortalama değerler yerine maksimum değerler alınmalıdır. UBC gibi yönetmelikler, en az 7 deprem kaydı kullanılması şartıyla ortalama değerlere göre hesaba izin verirler. (NAEİM, F. and J.M. KELLY, 1999)

Tablo 4.3’de her bir sistem için, 7 bina konfigürasyonunda ortalama izolasyon tepkileri listelenmektedir. Her bir izolasyon sisteminde, response spektrum ve zaman tanım alanı için sırasıyla kesme katsayıları ve deplasman sonuçları karşılaştırmaları Şekil 4.13 ve 4.14’de gösterilmiştir.

- Çizelgeler, izolasyon sistemlerinin çoğunda her iki analiz metodunun benzer çözüm yollarını takip etmelerine rağmen, response spektrum sonuçlarının birçok durumda daha yüksek olduğunu gösterir. Bu daha önceki dizayn prosedürü karşılaştırmasında da böyleydi.
- Bütün izolasyon sistemlerinde, periyod artışıyla taban kesme katsayısı azalır, deplasman artar. Bu bütün izolasyon sistemlerinin ortak prensibidir.
- PTFE kayıcı mesnetleri, FPS haricinde diğer sistemlerden daha küçük kesme katsayıları ve deplasman üretirler. Fakat bu sistemlerin geri döndürme kuvvetleri olmadığı için hesap deplasmanları 3 kat arttırılır ve bu çarpımla PTFE mesnetlerinin deplasmanı tüm diğer sistemlerinkinden daha yüksek olur.
- LRB kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin üç tipinin aralarında küçük farklılıklar vardır. Sadece sırasıyla kütle ile orantılı olarak akma kuvveti artırılmıştır. LRB sistemleri, PTFE kayıcılarından sonra en düşük kesme katsayısını üretirler.
- İki Sürtünmeli Sarkaç Sistem (FPS) arasında fark sürtünme katsayılarıydı. Sürtünme katsayısının artırılması taban kesme katsayısı üzerinde fazla etki yaratmaz. Ancak deplasmanı azaltır. Sürtünme katsayısı $\mu = 0,12$ olan FPS mesnedi tüm diğer sistemlere göre en düşük deplasmanı doğurur.

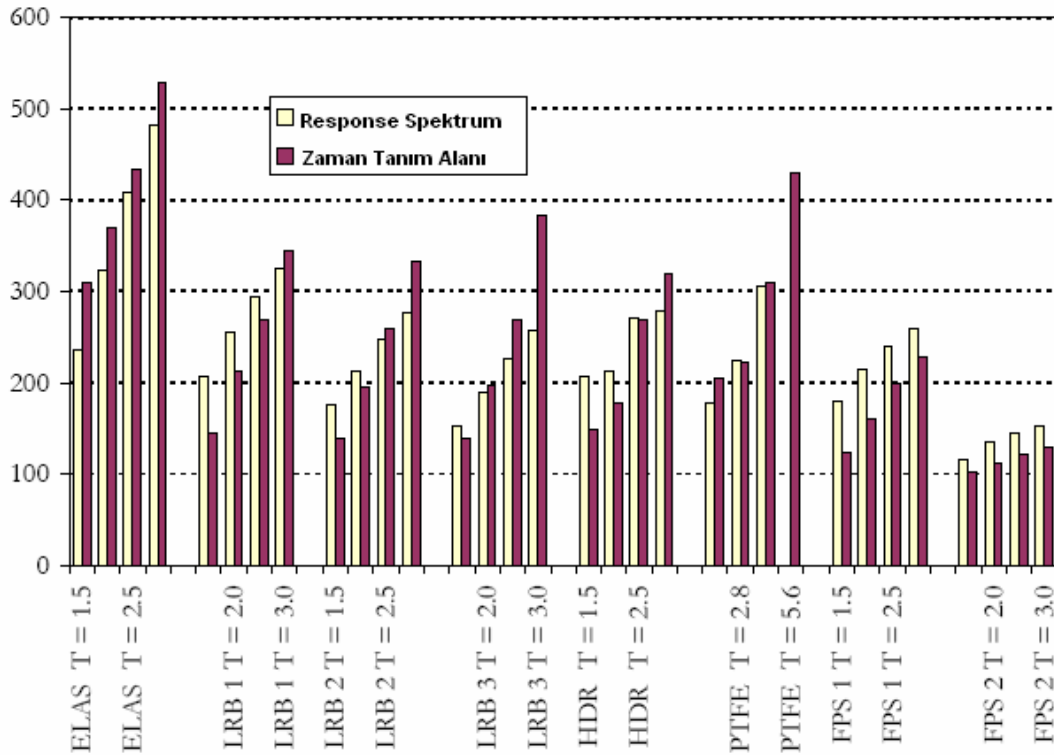
Taban kesme katsayısı ve deplasmanı birlikte minimize edecek bir optimum sistem ve periyod yoktur. Bu karşılaştırmalar sadece izolasyon sistemi seçimi için bir öngörü oluşturmak için yapılmıştır. Projenin gereklerinin önemine göre en uygun performansı sağlayacak sistem seçilmelidir.

TABAN KESME KUVVETİ



Şekil 4.13 Taban Kesme Kuvveti Sonuçları Karşılaştırmaları

İZOLATÖR DEPLASMANI (mm)



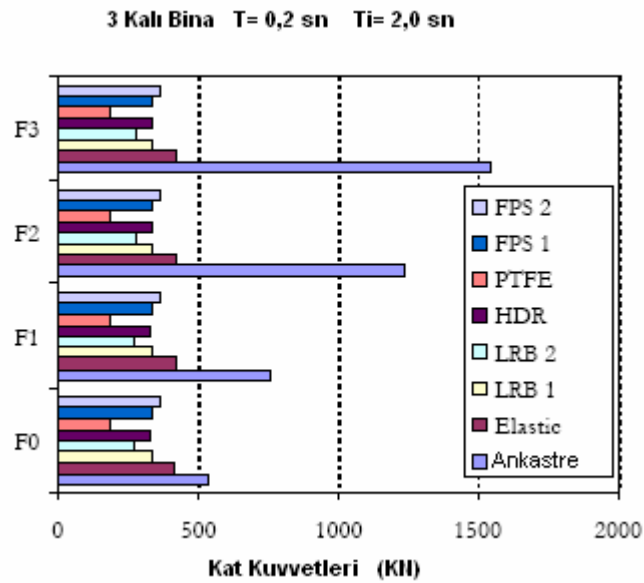
Şekil 4.14 Deplasman Sonuçları Karşılaştırmaları

4.1.6 Kat kuvvetleri

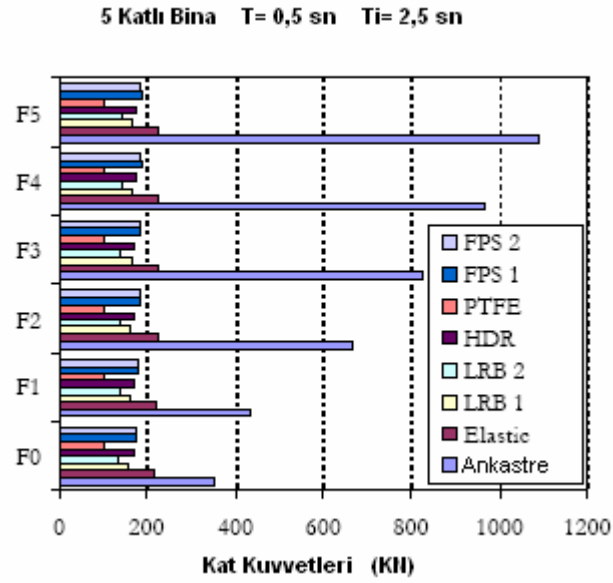
İzolasyon sistemi tepkisiyle doğan taban kesme kuvveti aynı zamanda izolatör düzlemi üzerindeki tüm kat kesme kuvvetlerinin toplamıdır. Bu kuvvetlerin binanın yüksekliği boyunca dağıtımı, kat hesap kesme kuvvetlerini ve binada oluşacak toplam devrilme momentini belirler.

4.1.6.1 Response spektrum analizi sonuçları

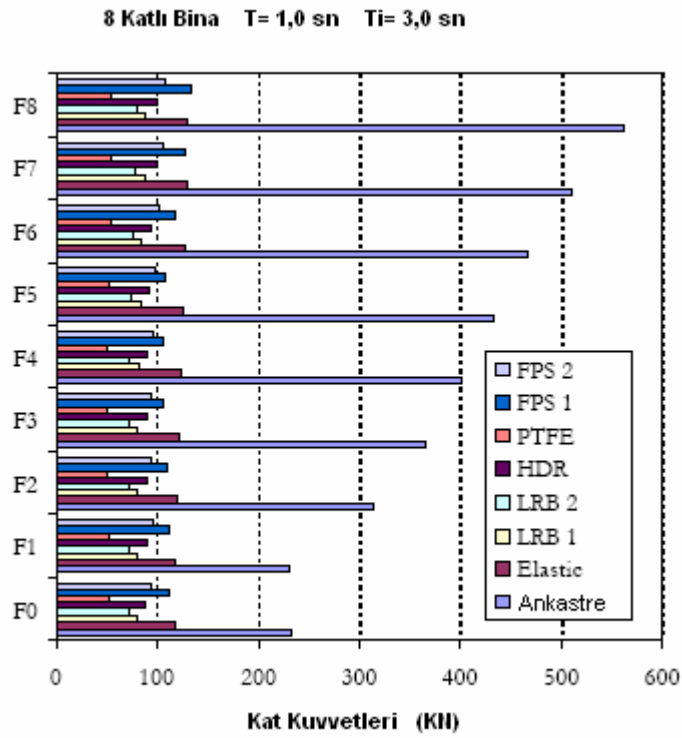
Response Spektrum analizinde kat kuvvetleri, modal kat kuvvetlerinin, o moddaki spektral ivme, modal katılım faktörü ve kütlenin çarpımı olduğu modların bireysel tepkilerinin tam quadratik kombinasyonu (CQC) elde edilir. (CELEP,Z., KUMBASAR,N., 2004). Şekil 4.15 her bir izolatör tipinde efektif periyodda, üç bina konfigürasyonu için kat kesme kuvvetleri dağılımını göstermektedir. Bina ve izolatör periyodları uygulamalarda kullanılan tipik değerlerden seçilmiştir.



Şekil 4.15 Üç Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat Kuvvetleri Dağılımı



Şekil 4.16 Beş Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat Kuvvetleri Dağılımı



Şekil 4.17 Sekiz Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat Kuvvetleri Dağılımı

İzolasyonsuz binalarda kat kuvvetleri dağılımının birçok yönetmelikte öngörüldüğü gibi yükseklikle yaklaşık lineer arttığı görülmektedir. Karşılaştırma

yapılabilmesi için ankastre temelli yapıların temel altına rijit bir yay yerleştirilmiş ve böylelikle temel kütleleri dahil edilmiştir. Yayla doğan modun ivmesi yer ivmesine eşittir.

Bütün izolasyonlu sistemler, izolasyonsuz sistemlerden bütün binalarda tüm yüksekliklerde nerdeyse sabit olan farklı bir dağılım sergiler. Bazı sistemlerde yükseklikle birlikte az bir artış gözlenirse de bu etki oldukça küçüktür. Buradan response spektrum sonuçlarının bütün sistemler için kat kuvvetlerinin uniform dağıtımının en iyi yöntem olduğunu önerdiği söylenebilir. Fakat zaman tanım alanına göre analiz yöntemi bu görüşle uyuşmaz.

4.1.6.2 Zaman tanım alanı analizi sonuçları

Yukarıda söz edildiği gibi birçok yönetmelik, ankastre temelli normal binalarda 1. modun en etkin mod olduğu kabulünü temel alan ve yükseklikle lineer artan üçgen kuvvet dağılımını kabul eder. Bu dağıtım, aynı zamanda sabit kat kütleli binanın temelden yüksekliğinin 2/3'ü olan üçgen merkezinde efektif yüksekliğe sahiptir. Kat kuvvetlerinin uniform dağıtımını durumunda efektif yükseklik, yüksekliğin yarısıdır.

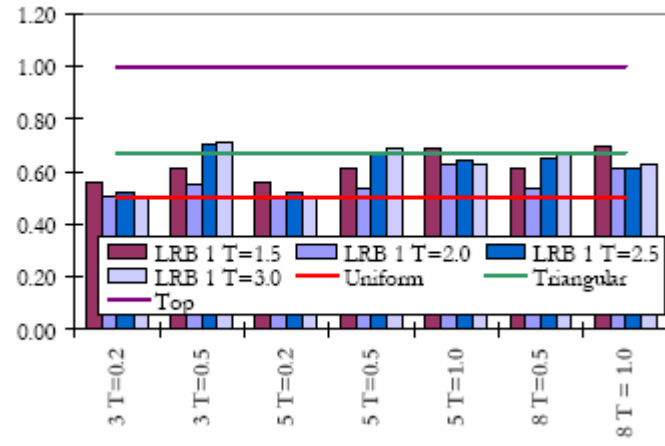
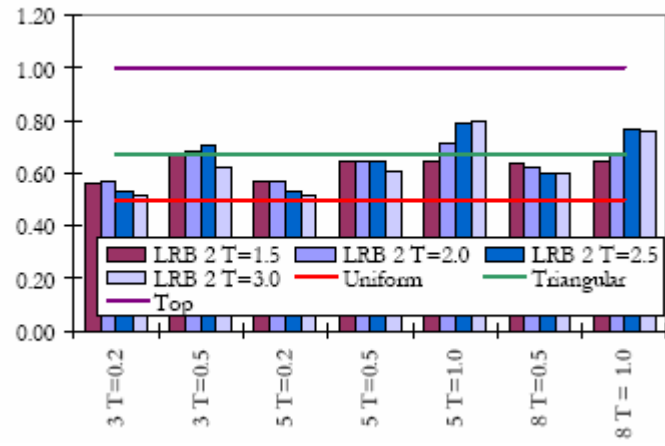
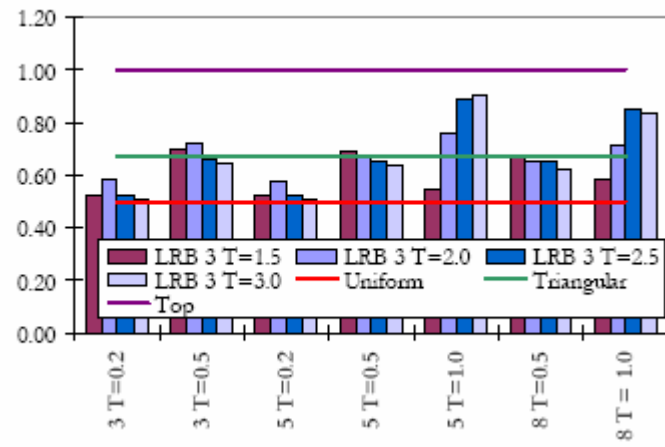
Zaman tanım alanında efektif yükseklik, kaydı alınan tüm depremlerden en yüksek devrilme momenti veren deprem seçilip;

$$H = M / V H \quad M : \text{Devrilme momenti}$$

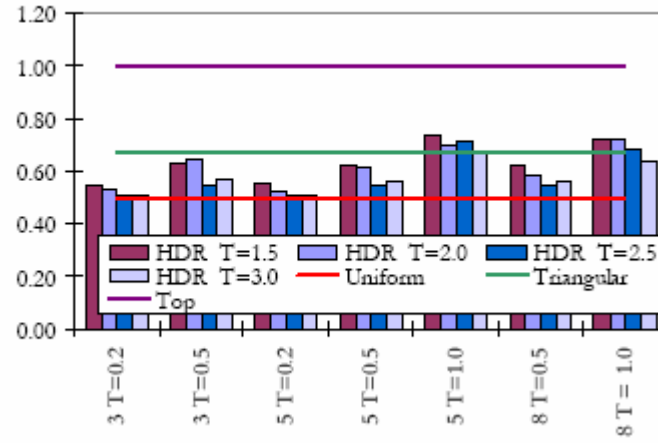
$$V : \text{Taban kesme kuvveti}$$

$$H : \text{Bina yüksekliği}$$

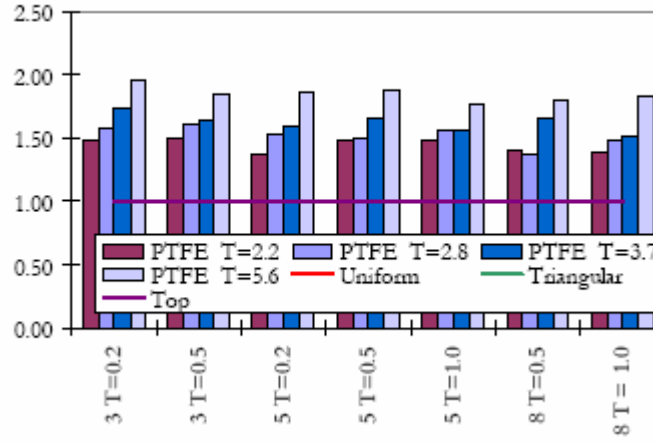
Formülü ile bulunur. Şekil 4.18'de ankastre temelli bina konfigürasyonu için efektif yükseklikler gösterilmiştir. Ufak tefek farklılıklar olsa da sonuçlar üçgen dağılım yönteminin uygun bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Efektif Yükseklik / H**Efektif Yükseklik / H****Efektif Yükseklik / H**

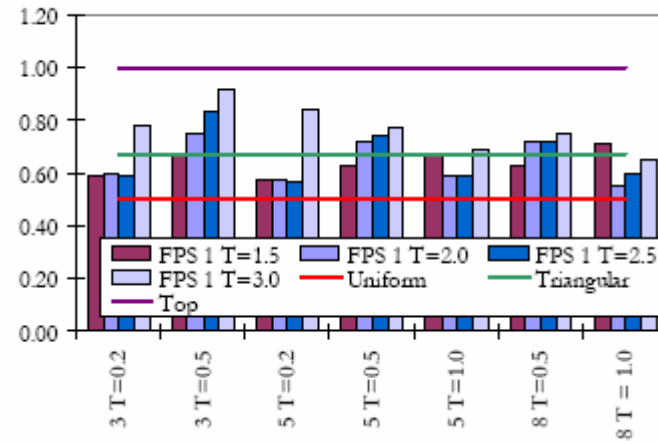
Efektif Yükseklik / H

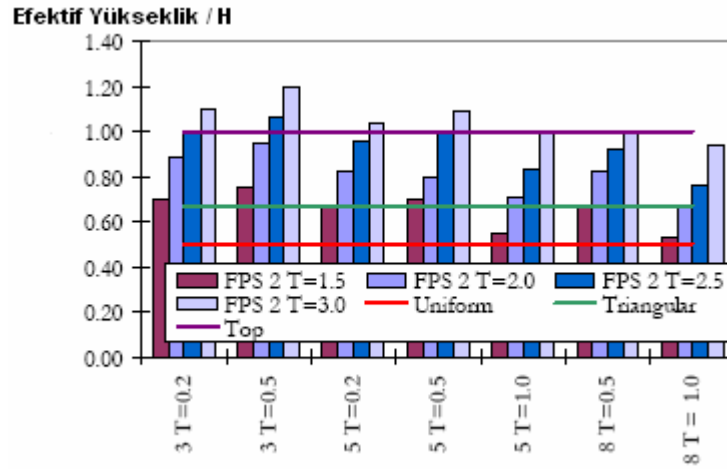


Efektif Yükseklik / H



Efektif Yükseklik / H





Şekil 4.19 İzolasyon Sistemlerinde Etkif Ykseklkler

Sadece birkaç izolasyon sisteminde üniform dağılım verir ve bazılarında özellikle kayıcı sistemlerde efektif ykseklğın, binanın ykseklğın farklı bir şekilde aşmıştır. Buradan şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Elastik izolasyon sistemlerde, 1 sn periyodlu binalar haricinde kat kuvvetleri üniform dağılıma yakındır.
- LRB sistemler düşük periyodlar için üniform dağılım verirler fakat periyod yükseldikçe dağılım üçgenselleşir. İzolasyon sisteminin akma seviyesi yükseldikçe, efektif ykseklk binanın tepesine doğru kayar.
- HDR mesnetler düşük akma gerilmesine sahip LRB1 mesnedine yakın özellikler gösterir.
- PTFE kayıcı sistemleri tüm varyasyonlarda bina ykseklğından çok daha fazla efektif ykseklk verirler ve tüm binalar için en tutarlı sonuçlar sunar. Sürtünme katsayısı azaldıkça, diğer bir deyişle periyod arttıkça efektif ykseklk artar.
- FPS sistemlerde düşük sürtünme katsayısı olan 1. tipi PTFE mesnetlere oransal olarak düşük fakat benzer özellikler sergiler. Yüksek sürtünmeli FPS(2) mesnedi LRB ve HDR sistemlere dizayn farklılığına rağmen yakın sonuçlar üretir.

Sonuçları iyice irdelemek için şekil 4.20'den 4.22'ye kadar kuvvet dağılımları oluşturulmuştur. Bunlar ankastre temelli 3, 5 ve 8 katlı binaların düşük periyodlu değerleriyle, izolatörlü yüksek periyoddaki değerlerini göstermektedir. Bu değerler binaların yüksekliklerine göre tipik değerler olmaları sebebiyle seçilmiştir. Ankastre temelli ve izolatörlü binalar için iki farklı yük dağılımı göstermektedir.

1. Maksimum taban kesmenin kaydedildiği anda kat kesme kuvvetleri
2. Maksimum devrilme momentinin kaydedildiği anda kat kesme kuvvetleri

3 katlı Bina

Bu tip izolatörsüz rijit binada maksimum kesme ve maksimum moment benzer şekilde yükseklikle uniform dağılım sergilemektedir. Elastik ve düşük akma seviyeli LRB 1 izolatörleri de uniform dağılım üretirler. Daha yüksek akma seviyeli LRB 2 ve HDR izolatörleri kesme kuvvetleri için üniform fakat moment için yükseklikte biraz artan dağılım gösterir (Şekil 4.20)

PTFE kayıcı izolatörlerde, dağılım kesme için üçgen dağılım oluşturacak şekilde yükseklikle lineer iken, maksimum moment halinde dağılım, üst seviyede alt seviyedeki kuvvetlere ters yönde ve yüksek kesme kuvveti doğuracak şekildedir. Bu dağılım taban kesmesine göre daha yüksek moment doğurur.

FPS 2 izolatörü en yüksek kat kuvvetinin tabanda olduğu ve yükseklikle azalan ters çevrilmiş üçgen şeklinde dağılım üretir. Maksimum momenti oluşturan kuvvet dağılımı, taban yaklaştıkça ters işaret alarak PTFE izolatör benzeri forma sahiptir.

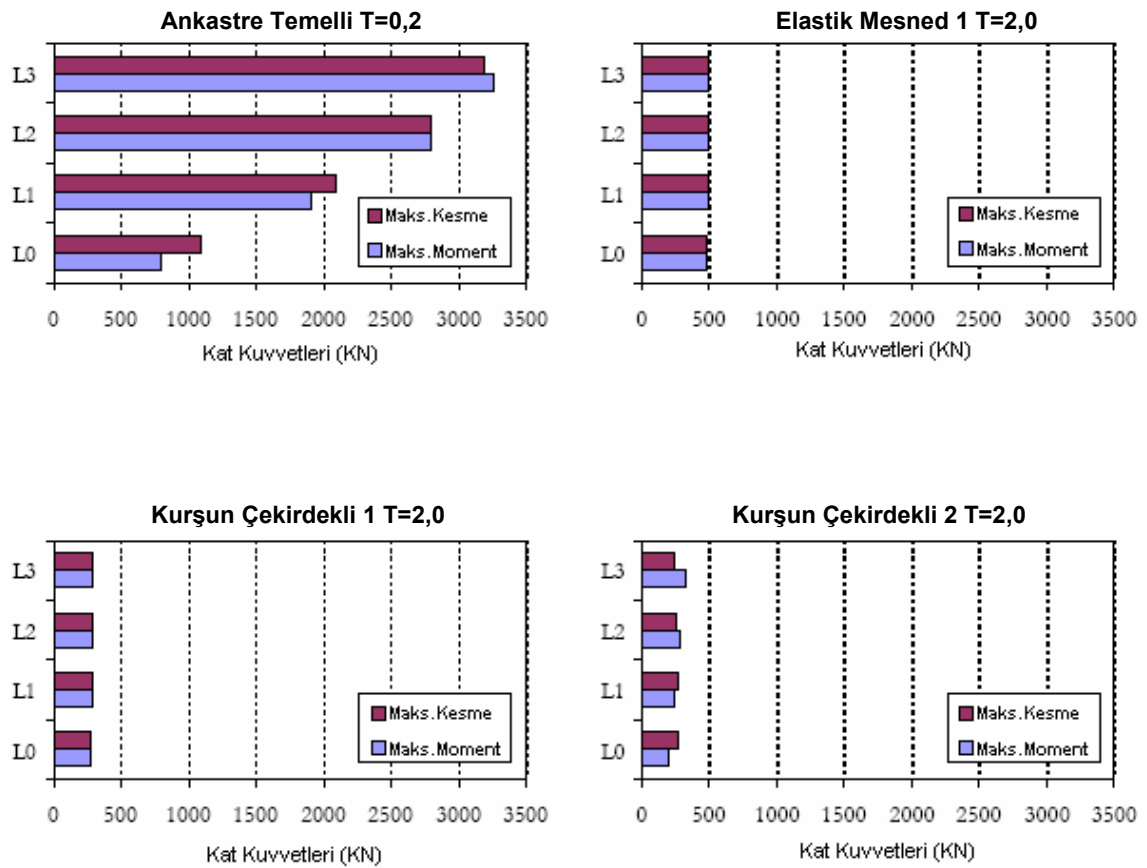
5 Katlı Bina

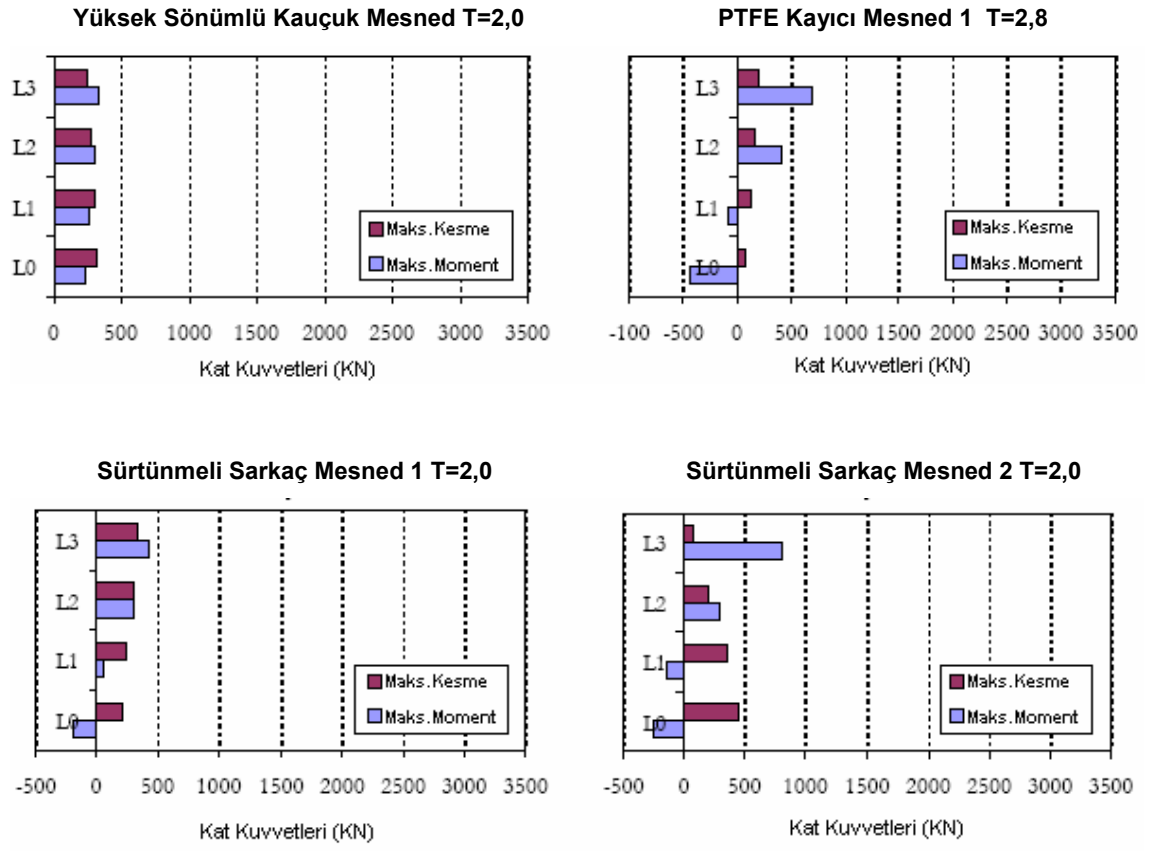
Bu tip binalarda dağılım 3 katlı binalardaki dağılım eğilimine benzer fakat daha abartılıdır. Elastik izolatörler hala düzgün dağılım sergilerken , diğerlerinde devrilme momenti kesmeleri üst katlarda yoğunlaşmaktadır. Özellikle kayıcı mesnetlerde olmak üzere (Şekil 4.21).

8 Katlı Bina

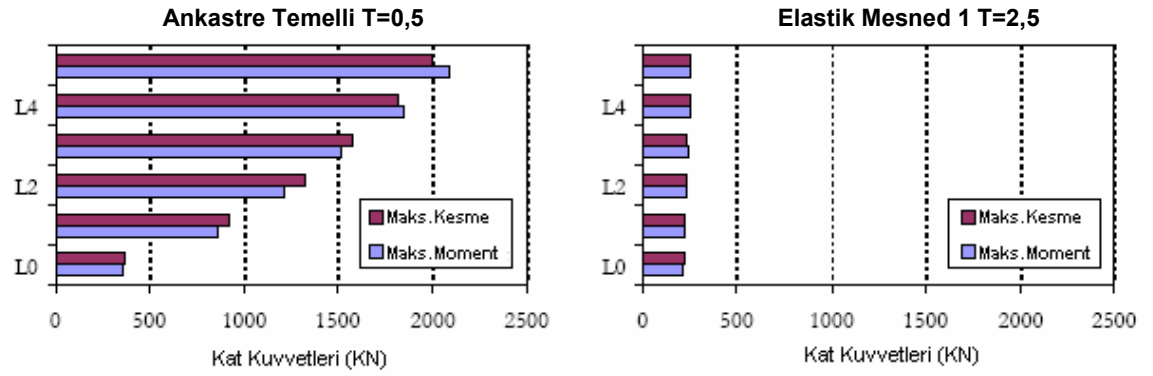
Bu tip binalar da aynı dağılımı sergiler. Ancak bu durumda elastik izolatörlerde de moment dağılımı üçgen dağılımına yaklaşır (Şekil 4.22).

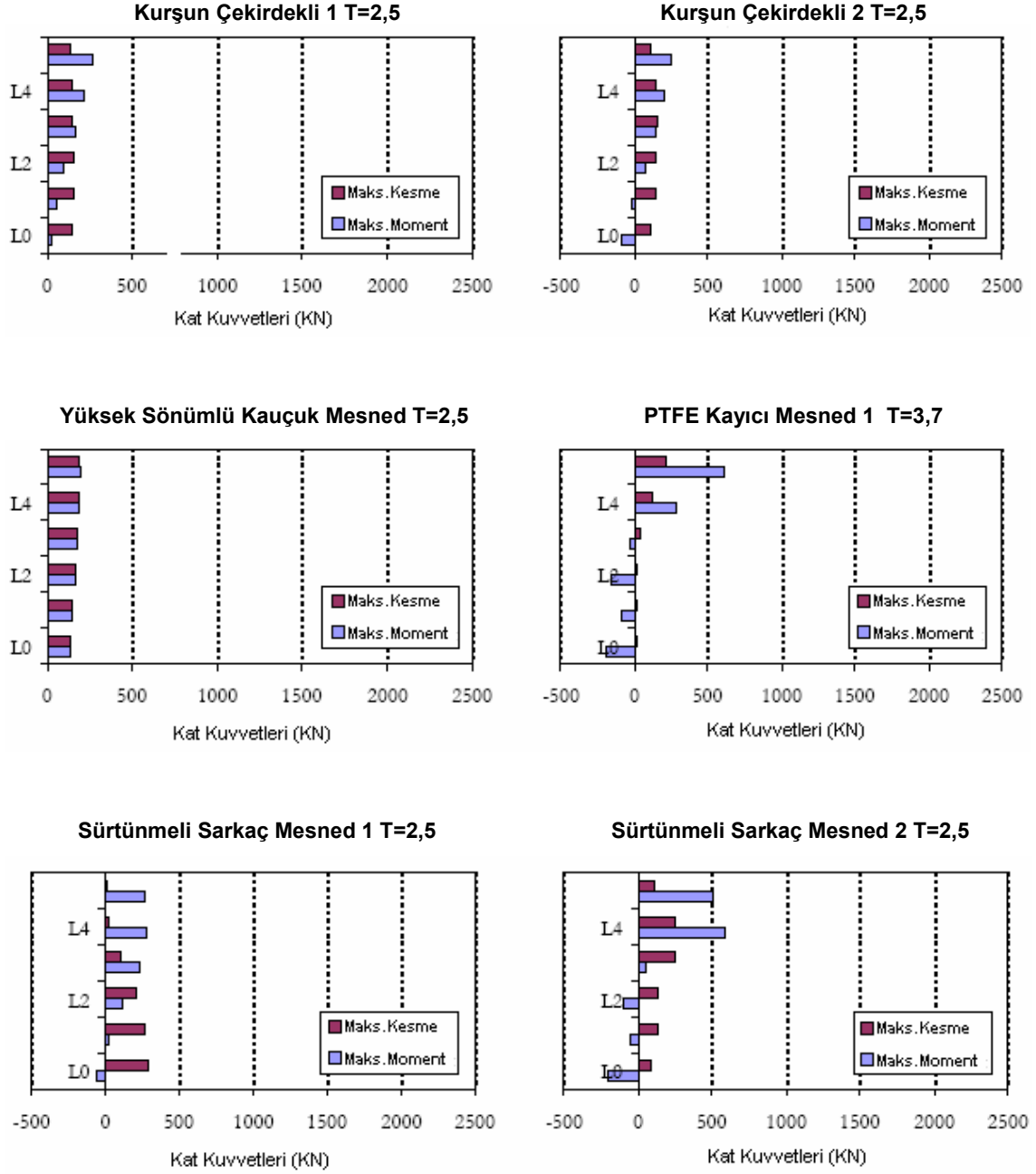
Buradaki sonuçlar statik çözüm yönteminin analiz yöntemlerine göre yetersizliğini ve izolatörlü binalarda dağılımın kabul edilen dağılımdan oldukça farklılaştığını göstermektedir. Statik çözümde temel alınan üçgen dağılım, özellikle efektif yükseklik oranı % 67'yi geçen sistemlerde güvenli tarafta kalmamaktadır.



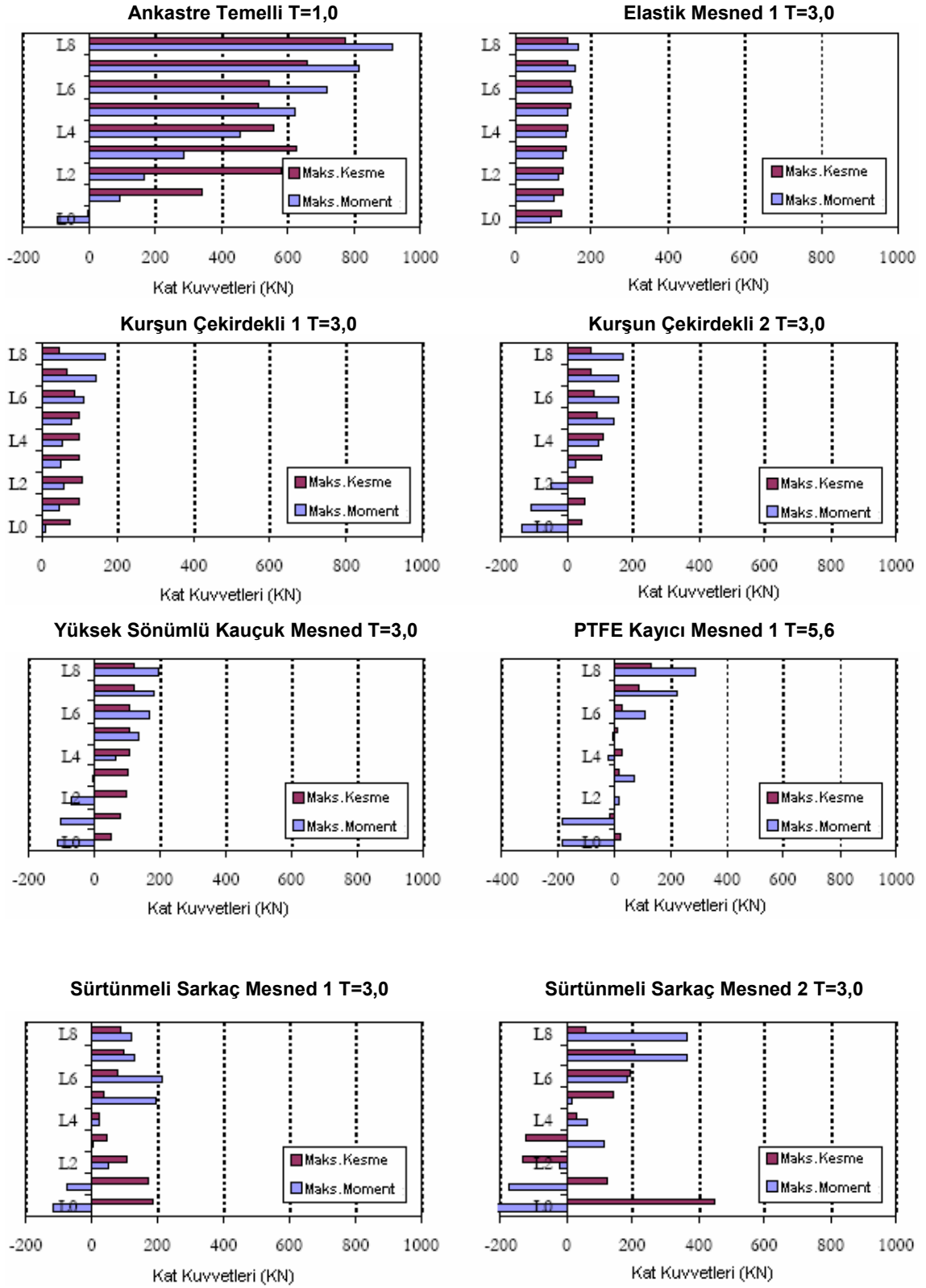


Şekil 4.20 Üç Katlı Bina ($T=0,2$) Zaman Tanım Alanı Yöntemi ile Kat Kuvvetleri





Şekil 4.21 Beş Katlı Bina (T=0,5) Zaman Tanım Alanı Yöntemi ile Kat Kuvvetleri



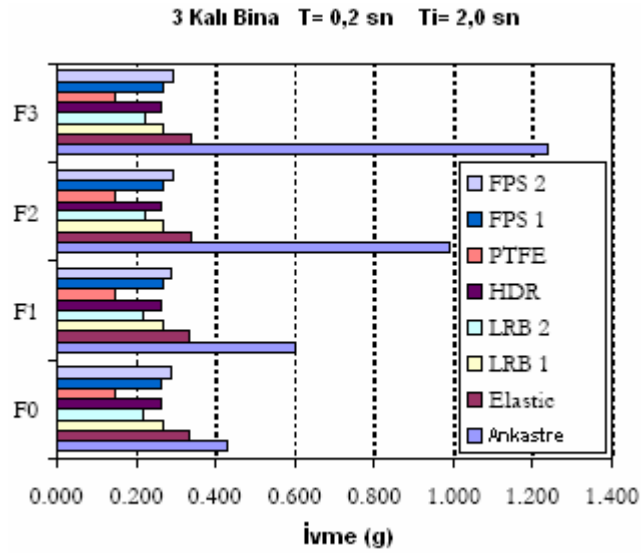
Şekil 4.22 Sekiz Katlı Bina (T=1,0) Zaman Tanım Alanı Yöntemi ile Kat Kuvvetleri

4.1.7 Kat ivmeleri

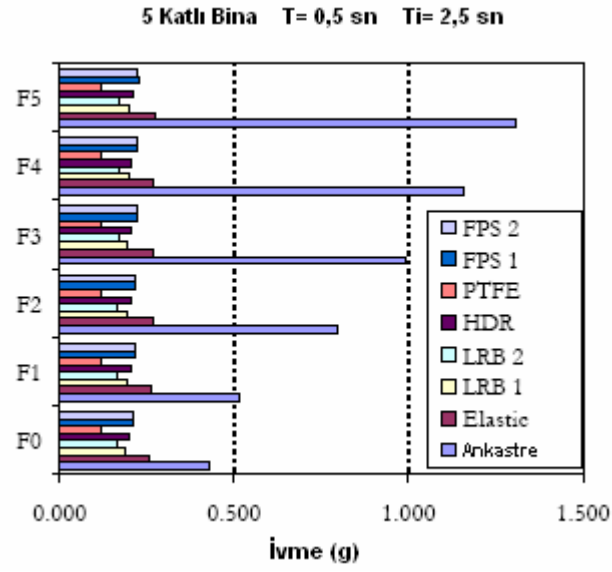
Sismik izolasyonun amacı, sadece yapısal sistemde değil, yapısal olmayan parçalarda, bina bölümleri, bileşenleri ve içindekilerde deprem hasarını azaltmaktır. Yapısal olmayan hasarları engellemenin en önemli yolu kat ivmelerini azaltmaktır.

4.1.7.1. Response spektrum analiz sonuçları

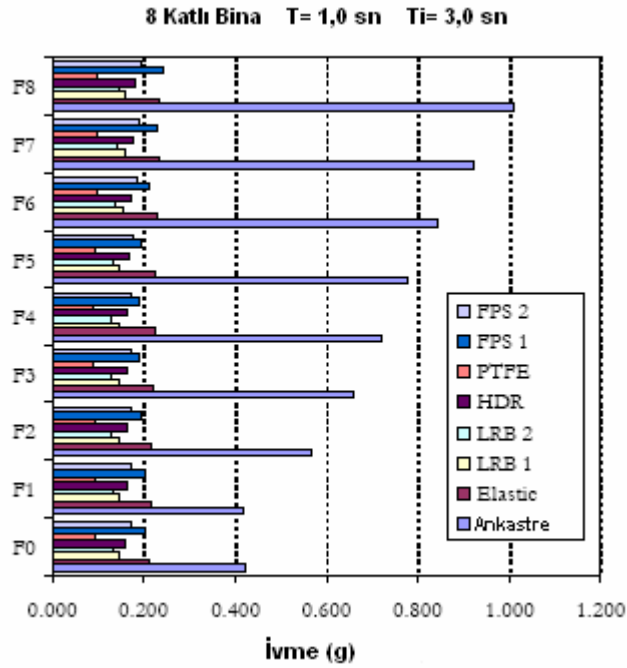
Response spektrum analizinden elde edilen kat ivmeleri kat kuvvetleri ile orantılıdır. İzolatörsüz binalarda ivme, taban seviyesinde maksimum yer ivmesine eşit bir değerden, çatı seviyesinde bu değer 2,5-3,0 katı bir değere yaklaşık yükseklikle lineer artmaktadır. İzolatörlülerde ise tüm durumlar için 0,4 g yer ivmesinden daha düşük ve yükseklikle artış neredeyse sıfırdır.



Şekil 4.23 Üç Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat İvmeleri Dağılımı



Şekil 4.24 Beş Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat İvmeleri Dağılımı



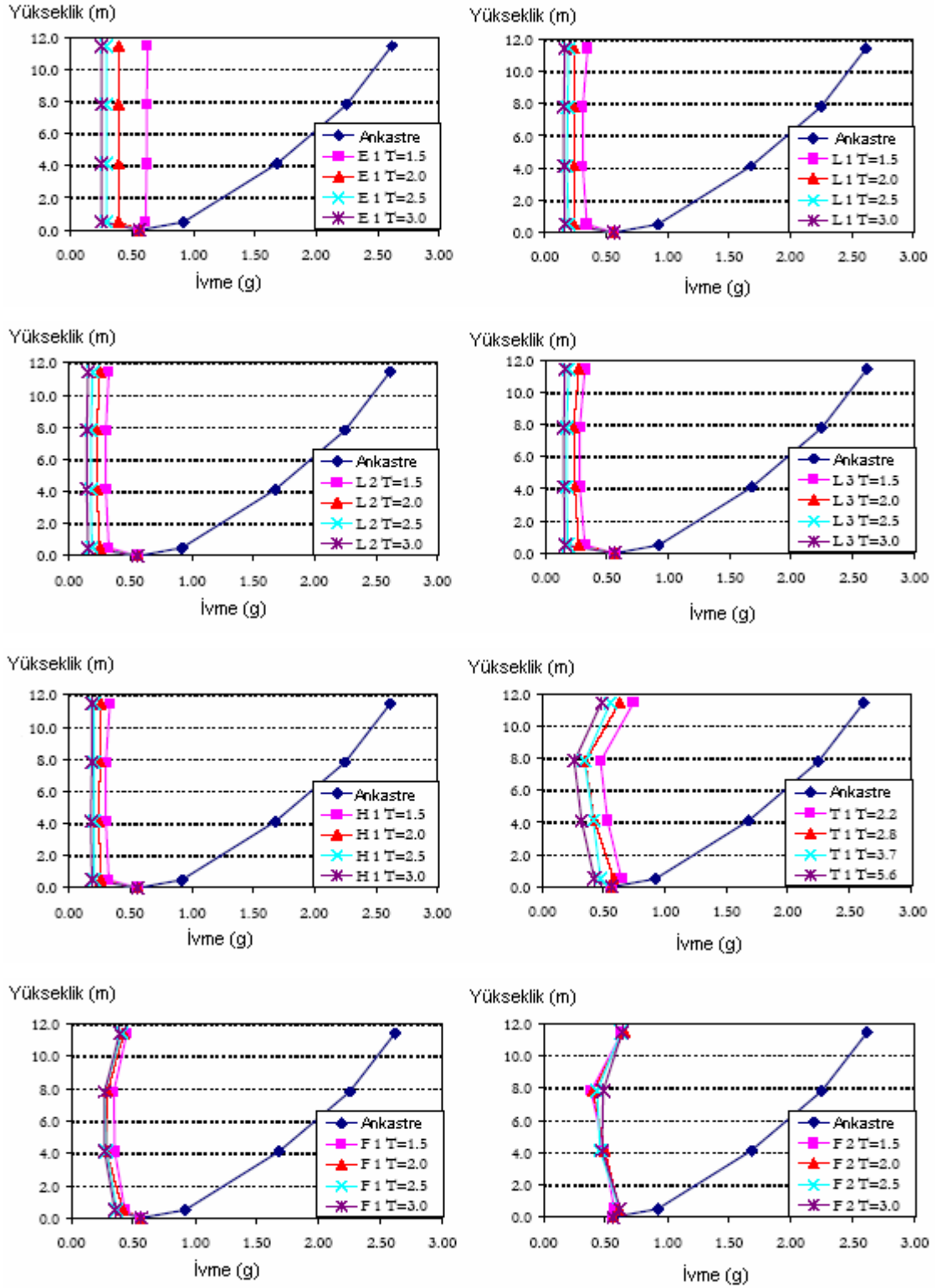
Şekil 4.25 Sekiz Katlı Binada İzolatör Tiplerine Göre Kat İvmeleri Dağılımı

4.1.7.2 Zaman tanım alanında analiz sonuçları

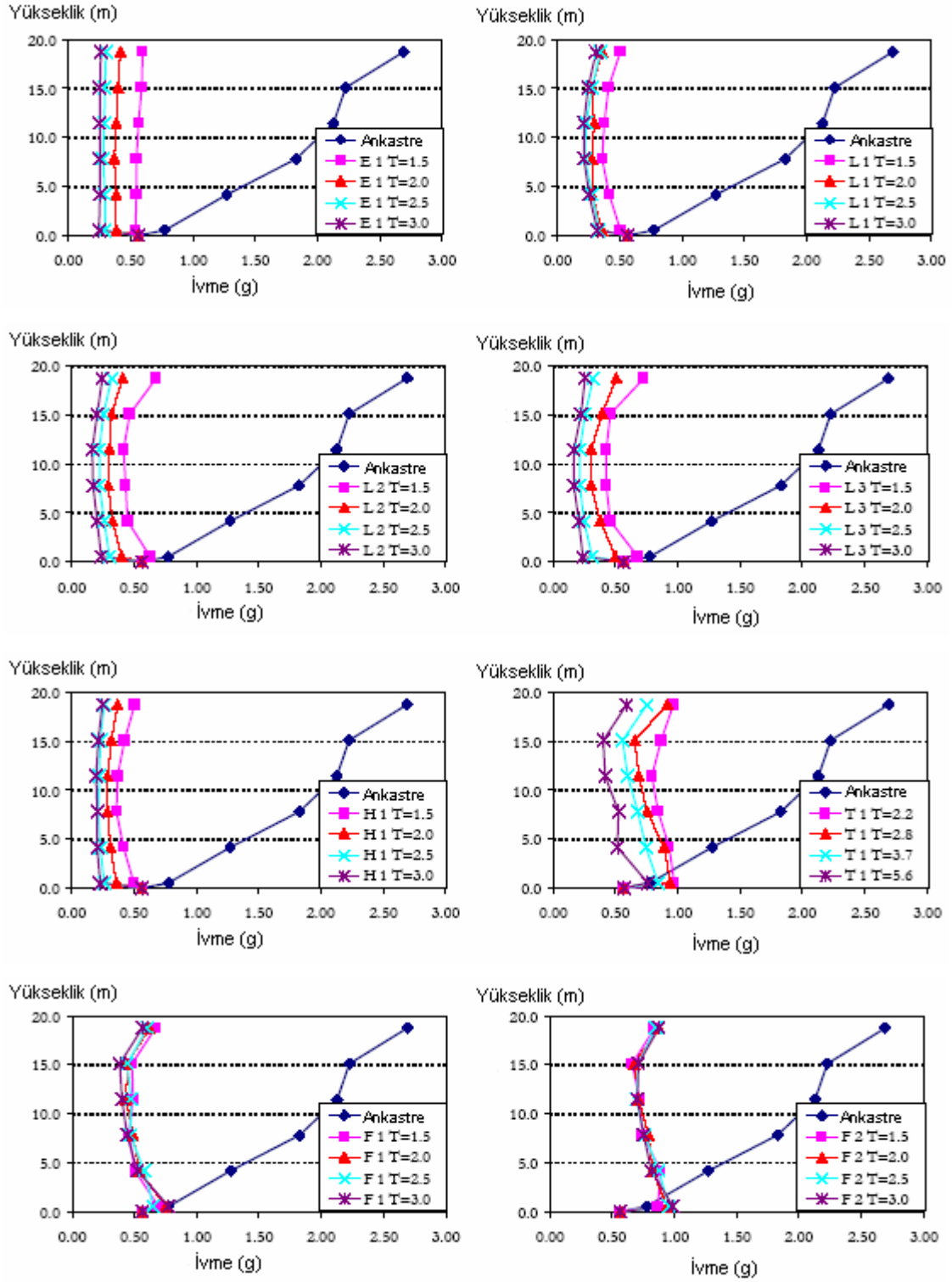
Üç bina konfigürasyonu için kendi yüksekliklerinde maksimum kat ivmeleri Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28’de verilmiştir. Bu binalara, Şekil 4.20’den Şekil 4.22’ye kadar kat kuvvetlerinin gösterildiği bina ve izolasyon sistemi ile aynıdır. Bütün çizimler üç depremden elde edilen maksimum değerlerdir. Karşılaştırma amacıyla izolatörsüz binalar da dahil edilmiştir. 0.00 kotu, yer seviyesindeki ivme, üç depremin en yüksek yer ivmesi olup 0,56 g ile sabittir.

Çizimlerde görülen en belirgin özellik, izolasyon sistemlerinin çoğunun, response spektrum analiz sonuçları gibi sabit kat ivmeleri vermemesidir. İzolasyon sistemleri arasında farklar vardır ancak her sistemin binalarda eğilimi benzerlik gösterir.

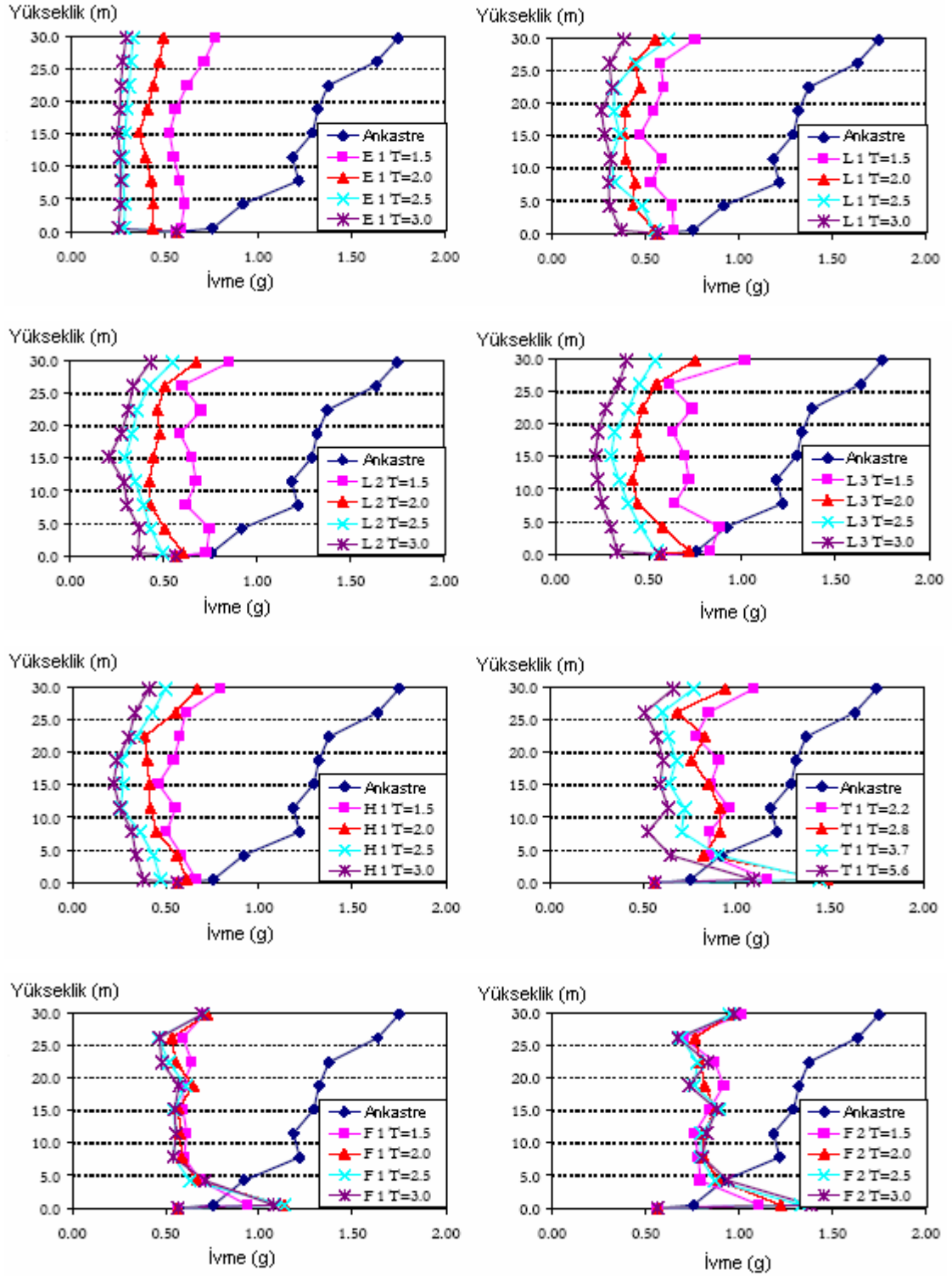
- Elastik izolasyon mesnetleri en düzgün ivme dağılım sergiler. İzolatörün periyodu arttıkça ivme düşer. En büyük periyod, 3 sn. yapıda yer ivmesinin yaklaşık yarısı kadar ivme üretir. Periyod 1,5 sn’ye düştüğünde yapıda ivme yer ivmesine yaklaşık eşittir. Bina periyodu arttıkça kısa periyodlu izolatörlerde yükseklikle birlikte az da olsa ivme artışı gözlenmektedir.
- LRB kurşun çekirdekli mesnetler elastik mesnetlere yakın dağılım üretirler fakat üst katlarda büyüme gözlenir. Bu büyüme akma seviyesinin yükselmesiyle artar. Yine elastik mesnetlerde olduğu gibi düşük periyodlu izolatörlerde ivmeler en yüksek değerine ulaşır.
- PTFE kayıcı mesnetleri yer ivmesini taban seviyesinden yükseklikle birlikte büyütme eğilimindedirler. Sürtünme katsayısının artmasıyla (bu efektif periyodun azalması demektir) ivmeler de artar.
- FPS sürtünmeli sarkaç sistem, diğer sistemlerden farklı bir şekilde ivme profili izolasyonlu periyoddan göreceli olarak bağımsızdır. Bu tip izolatörlerde sürtünme katsayısının artması ivmeyi düşürmüştür. İvmeler elastik ve LRB mesnetlere göre genellikle daha yüksektir.



Şekil 4.26 Üç Katlı Bina (T=0,2) Zaman Tanım Alanı Yöntemi ile Kat İvmeleri



Şekil 4.27 Beş Katlı Bina (T=0,5) Zaman Tanım Alanı Yöntemi ile Kat İvmeleri



Şekil 4.28 Sekiz Katlı Bina (T=1,0) Zaman Tanım Alanı Yöntemi ile Kat İvmeleri

Bazı sistemlerde ivmenin yükseklikle birlikte yer ivmesinin bile üzerine çıktığı görülse de, tüm izolasyon sistemleri izolasyonsuz binaya kıyasla kesin olarak büyük bir farkla kat ivmelerini düşürmektedir.

4.1.8. Optimum izolasyon sistemi

Sonuçlar izolasyon sistemleri arasında ve aynı sistemin farklı özellikte olanları arasında büyük farklılıklar olduğunu göstermiştir. Farklı sistemler deplasman, kesme kuvveti katsayısı ve yer ivmeleri üzerinde farklı etkilere sahiptir ve hiçbirisinin bütün olası hedefleri karşılama anlamında optimum olduğu söylenemez.

Tablo 4.4’de 32 varyasyondan 15’i üç potansiyel hedef performans için artan etkinlik sırasına göre listelenmiştir.

1. Minimum Taban Kesme Katsayısı: PTFE kayıcı mesnetleri sürtünme katsayısına eşit olan en düşük taban kesme katsayısı verirler. Bunları yüksek akma seviyesi ve yüksek periyoddaki LRB mesnetler takip etmektedir. Ancak bu dört sistemin hiçbirisi geri döndürme kuvveti yaratmazlar ve dizayn deplasmanının UBC’ye göre hesaplanan değerin üç katı alınması gerekir. Bu dört sistemden sonra minimum taban kesme katsayısı için en uygun sistemler LRB ve FPS’lerdir.

2. Minimum Deplasman: En düşük beş deplasmanın hepsi FPS izolasyon sistemi varyasyonlarında doğmuştur. Bu mesnetlerden sonra üç LRB varyasyonları ve daha sonra HDR ve FPS gelmektedir. Minimum deplasman üreten sistemlerin çoğu yüksek taban kesme katsayısına ve ivmeye sahiptirler.

3. Minimum Kat İvmeleri: Elastik izolasyon sistemler, LRB ve HDR sistem izolasyonlarının önünde en düşük kat ivmelerini doğururlar. FPS ve PTFE mesnetler sistemleri ilk on beş optimum sistem arasında gözükmemektedir.

Her üç kategorinin de ilk 15’ine giren bir sistem yoktur fakat bazıları ikisinde de görülmektedir.

1. 0,12 sürtünme katsayılı ve 2,5 veya 3,0 saniye periyodundaki FPS sistemleri minimum taban kesme katsayısı ve deplasman verseler de kat ivmeleri biraz yüksektir.

2. 2 sn periyodlu ve tüm akma gerilmelerinde ($Q_y = 0,05, 0,075$ ve $0,100 W$) LRB sistemler, hem minimum deplasman hem de minimum ivme listelerine girmektedir. Taban kesme katsayısı bazılarında ilk 15'e girmeseler de ortalama değerlere sahiptirler.

3. Beş LRB ve iki HDR varyasyonu taban kesme katsayısı ve kat ivmeleri bazında ilk 15'e girmektedir. Bu varyasyonlarda deplasman, ilk 15'in 103 mm ile 213 mm arasında olduğu dikkate alınırsa, 258 mm minimum değeriyle çok yüksek de değildir.

Bu sonuçlar izolasyon sistemi seçiminde, sistemin üzerindeki yapı özelliklerinin ve izolasyon işleminin hedeflerinin hesaba katılması gereğini göstermektedir. Projelerde optimum izolasyon seçimi için bir seri çalışma yapmak gerekir.

					Maksimum Kat İvmeleri (g)		
Sistem	Varyasyonlar	Periyot	D (mm)	C	T = 0,2 sn	T = 0,5 sn	T = 1.0 sn
Minimum Taban Kesme Katsayısı, C							
PTFE	μ=0,06	5,6	1291	0,060	0,58	0,89	1,09
PTFE	μ=0,09	3,7	926	0,090	0,65	0,99	1,45
PTFE	μ=0,12	2,8	669	0,120	0,75	1,02	1,48
LRB	Qy=0,1	3,0	1152	0,137	0,15	0,25	0,42
LRB	Qy=0,075	3,0	332	0,141	0,15	0,27	0,43
PTFE	μ=0,15	2,2	613	0,150	0,83	1,07	1,32
LRB	Qy=0,05	3,0	344	0,153	0,16	0,31	0,39
FPS	μ=0,06	3,0	228	0,162	0,5	0,83	1,08
LRB	Qy=0,1	2,5	269	0,163	0,18	0,33	0,58
LRB	Qy=0,075	2,5	258	0,167	0,19	0,33	0,55
FPS	μ=0,12	3,0	130	0,178	0,77	1,03	1,38
HDR		3,0	320	0,179	0,19	0,25	0,41
LRB	Qy=0,05	2,5	269	0,180	0,2	0,34	0,62
FPS	μ=0,06	2,5	199	0,188	0,46	0,80	1,13
FPS	μ=0,12	2,5	122	0,198	0,77	1,05	1,33

					Maksimum Kat İvmeleri (g)		
Sistem	Varyasyonlar	Periyot	D (mm)	C	T = 0,2 s	T = 0,5 s	T = 1.0 s
Minimum İzolasyon Sistemi Deplasmanı, D							
FPS	$\mu=0,12$	1,5	103	0,301	75	1,01	1,11
FPS	$\mu=0,12$	2,0	111	0,231	0,75	1,07	1,23
FPS	$\mu=0,12$	2,5	122,0	0,198	0,770	1,05	1,33
FPS	$\mu=0,06$	1,5	124	0,280	0,53	0,86	0,94
FPS	$\mu=0,12$	3,0	130	0,178	0,77	1,03	1,38
LRB	$Q_y=0,075$	1,5	140	0,272	0,35	0,70	0,85
LRB	$Q_y=0,1$	1,5	140	0,267	0,33	0,74	1,01
LRB	$Q_y=0,05$	1,5	144	0,280	0,35	0,53	0,77
HDR		1,5	148	0,277	0,33	0,50	0,79
FPS	$\mu=0,06$	2,0	160	0,221	0,49	0,83	1,14
HDR		2,0	177	0,225	0,26	0,38	0,70
LRB	$Q_y=0,05$	2,0	195	0,224	0,27	0,41	0,68
LRB	$Q_y=0,1$	2,0	197	0,203	0,28	0,51	0,76
FPS	$\mu=0,06$	2,5	199	0,188	0,46	0,80	1,13
LRB	$Q_y=0,05$	2,0	213	0,225	0,24	0,36	0,56

					Maksimum Kat İvmeleri (g)		
Sistem	Varyasyonlar	Periyot	D (mm)	C	T = 0,2 s	T = 0,5 s	T = 1.0 s
Minimum Kat İvmeleri, A							
ELASTIC		3,0	528	0,247	0,25	0,26	0,29
ELASTIC		2,5	434	0,279	0,29	0,30	0,34
LRB	$Q_y=0,05$	3,0	344	0,153	0,16	0,31	0,39
HDR		3,0	320	0,179	0,19	0,25	0,41
LRB	$Q_y=0,1$	3,0	1152	0,137	0,15	0,25	0,42
LRB	$Q_y=0,075$	3,0	332	0,141	0,15	0,27	0,43
ELASTIC		2,0	369	0,371	0,4	0,42	0,49
HDR		2,5	269	0,202	0,2	0,27	0,51
LRB	$Q_y=0,075$	2,5	258	0,167	0,19	0,33	0,55
LRB	$Q_y=0,05$	2,0	213	0,225	0,24	0,36	0,56
LRB	$Q_y=0,1$	2,5	269	0,163	0,18	0,33	0,58
LRB	$Q_y=0,05$	2,5	269	0,180	0,2	0,34	0,62
LRB	$Q_y=0,075$	2,0	195	0,204	0,27	0,41	0,68
HDR		2,0	177	0,225	0,26	0,38	0,70
LRB	$Q_y=0,1$	2,0	197	0,203	0,28	0,51	0,76

Tablo 4.4 Optimum İzolasyon Sistemi Seçimi

4.2. Response Spektrum Analiz Hataları

4.2.1 Devrilme momenti ihmali

Response spektrum ile zaman tanım aralığı analiz metotları arasındaki rahatsız edici nokta, kat kuvvetleri ve ivme dağılımları arasındaki büyük uyumsuzluktur. Kat kuvvetleri dağılımı binadaki devrilme momentini belirler ve response spektrum analizi, zaman tanım aralığı analizine göre daha küçük devrilme momentleri üretir.

Efektif rijitlik prosedürüne dayanan response spektrum analizinin problemi, modal katılımın nerdeyse bütününün temel ilk modlar olup, diğer modların katılımının sıfıra yakın alınmasıdır. Halbuki zaman tanım aralığı analizinin sonuçları ileri modların da katılımının olacağını gösterir. Bu katılımın ivme ve tabi ki kat kuvvetlerinin dağılımında büyük etkisi vardır. (KELLY, T., 2001)

İki ana etki tartışılmaktadır.

- Yüksek seviyelerde sönüm için, response spektrum analizin temelini oluşturan modların ayrılığı kabulü, izolasyonlu ve izolasyonsuz modların üst modlarda çakışmaya başladığını hesaba katmaz.
- Belki de daha önemli etki, bi-lineer sistemlerdeki elastik rijitlik, akma rijitliğine göre yapısal modlarla daha çok bileşecektir. Tek bir efektif rijitlik kabulü bu etkiyi ihmal eder. Örneğin 0,12 sürtünme katsayısına sahip FPS mesnetli bir yapı, tepki sürecinin tamamında, sürtünme kuvveti ($0,12 \times W$) aşılmadıkça ankastre temelli bir yapı gibi davranacaktır. Böyle bir tepkide oluşacak ivme ve kat kuvvetleri, akma sürecindeki maksimum ivmeyi aşabilecektir.

5. İZOLATÖR TİPLERİ

5.1 Elastomerik Mesnedler

Elastomerik mesnedler, kauçuk tabakalar ve metal plakaların bir bütün oluşturacak şekilde üst üste birleştirilmesinden oluşur. Kauçuk tabakalar 2 ila 3 mm çekil plakalarda ayrılmıştır ve 8 ila 20 m kalınlıktadırlar. Çelik plaklar kauçuğun şişmesini diğer bir deyişle burkulmasını engellerler ve böylece mesnet yüksek dikey yüklere küçük dikey deformasyonla karşı koyabilir. İç plakalar kesme durumunda kauçuk tabakaların yatay deplasmanını sınırlamazlar. Böylelikle mesnedler yatay yüklere karşı dikey yüklerden en az iki kat daha esnektir.

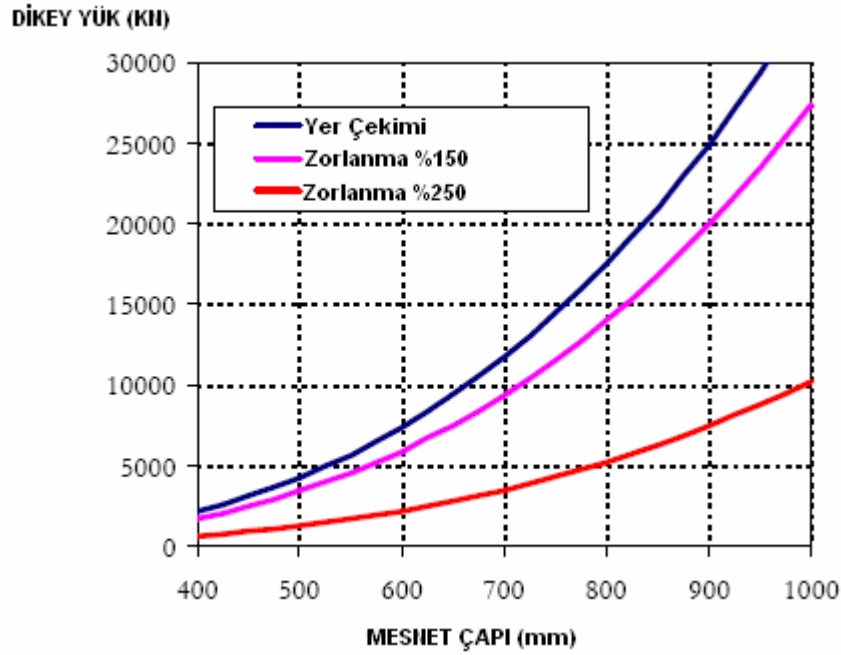
Elastomerik mesnedler yıllardır özellikle köprülerde kullanılmaktadır ve örnekler 50 yıldır fonksiyonelliğini kaybetmeyerek, taban izolasyonu için gereken esnekliği sağlamada iyi bir metod olduklarını göstermişlerdir.

Elastomerik mesnedler kritik sönümün % 2 ila % 3 büyüklükte doğal sönümlü doğal ve sentetik kauçuk kullanırlar. Her gerilme seviyesinde esnektirler ve servis yükleri altında harekete direnç göstermezler. Bu yüzden genellikle özel elastomer bileşiklerle birlikte veya diğer mesnet kombinasyonlarıyla birlikte kullanılırlar.

Elastometrik mesnedin yük kapasitesi plan boyutları ve kauçuk kalınlığının bir fonksiyonudur. Mesnede yatay deplasman uygulandığında mesnedin yük kapasitesi uygulanan kesme zorlanması ve efektif “ayak izi” olarak tabir edilen alandaki azalmaya göre düşer. Kesme zorlanması meydana gelen deplasmanın kauçuk kalınlığına oranı ile belirlenen zorlanmadır. Şekil 5.1 orta yumuşaklıkta ve 10 mm kalınlığında kauçuktan oluşan elastometrik mesnedlerin yük kapasite değişimini göstermektedir.

Yük kapasitesi, sıfır deplasman kabulü ile yer çekimi yükü altında, ortalama deplasman üreten % 150 kesme zorlanması ve efektif alanın tüm alanın % 50’si olduğu durumda ve son olarak şiddetli deplasman üreten % 250 kesme zorlanması ve efektif

alanın tüm alanın % 25'ine eşit olduğu durumlar için gösterilmiştir. Fakat % 250 zorlanma bu tip mesnet dizaynında üst limiti temsil eder



Şekil 5.1 Elastomerik Mesnet Yük Kapasitesi

Görüldüğü gibi kabul edilebilir dikey yükler deplasmanın artışıyla hızla düşmektedir. Bu, yüksek sismik kapasitedeki deprem bölgelerinde izolatörlerin boyutlandırılması zorlaşır.

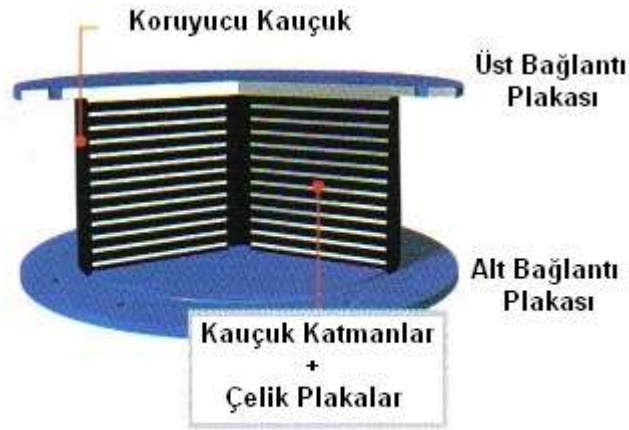
5.2 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnedler

Kritik sönümün %8'den %15'ine kadar sönüm sağlayan elastomerlerden oluşan elastometrik mesnedlere yüksek sönümlü kauçuk mesnedler adı verilir. %2 sönüm doğuran elastometrik mesnedlere göre çok daha fazla kullanılır.

İlave sönüm kauçuk bileşenlerin modifikasyonu ve kauçukta histerisis eğri sağlamak için moleküllerin çapraz bağ yoğunluğunun değiştirilmesi ile üretilir. Bununla birlikte sönüm kauçuğun doğal durumunda histeritiktir (deplasman bağımlı). HDR

mesnedlerde sönümün viskoz bileşeni (hız bağımlı) hala düşüktür (Kritik sönümün %2'si ile %5'i arası).

Dünyada aynı LRB mesnedlerde olduğu gibi; histerisis kauçuktan sağlanan sönüm, histerisis alandan hesaplanan “eşdeğer viskoz sönüm” konseptine uydurularak kullanılabilir. Efektif sönüm zorlanmanın bir fonksiyonudur. Bugüne kadar kullanılan HDR mesnetlerde düşük zorlanmalarda (%25 - % 50) sönüm %15 civarındadır. Zorlama arttıkça (%100) sönüm %8-%12 seviyelerine düşer. Bazı sentetik bileşenler yüksek zorlanmalarda bile % 15 sönüm sağlayabilmektedir.

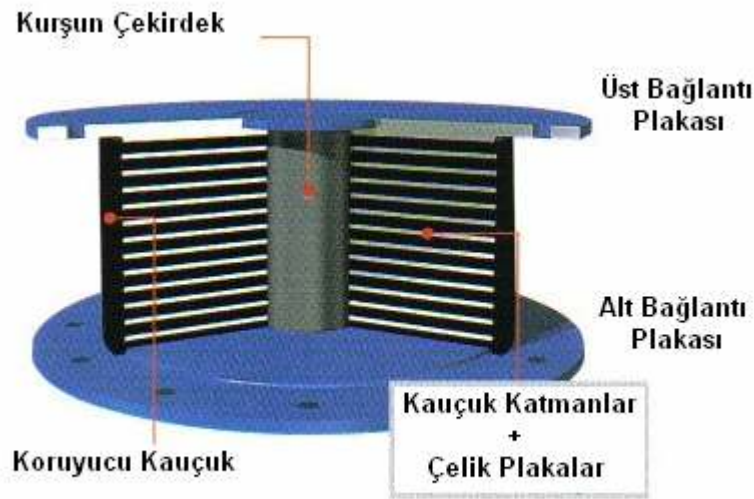


Şekil 5.2 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesned
(Oiles Corporation Tokyo/JAPAN)

5.3 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnedler

Kurşun çekirdekli kauçuk mesned, elastometrik mesned ortasında açılmış delik içine kurşun çekirdeğin yerleştirilmesiyle oluşur. Kurşun çekirdek servis yüklerinde rijitlik ve yüksek yatay deplasmanlarda enerji sönümü sağlar. Üst ve alt çelik plakalar, iç çelik levhalardan daha kalındır ve birleştirme vazifesi görür. Mesnedin bütünü, koruyucu kauçukla dış şartlardan korunması amacıyla kaplanır.

Küçük bir deprem, rüzgar ve trafik yükü gibi çok etkili olmayacak yanal yüklerde mesned hem yatayda hem düşeyde rijit davranır. Yanal rijitlik kurşun çekirdeğin yüksek elastik rijitliğinden, dikey rijitlik ise mesnedin çelik-kauçuk konstrüksiyonundan kaynaklanır.



Şekil 5.3 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesned
(Oiles Corporation Tokyo/JAPAN)

Yüksek yük seviyelerinde kurşun çekirdek akar ve yanal rijitlik önemli ölçüde azalır. Bu durum temel izolasyonunun ana özelliği olan periyod arttırma etkisini doğurur. Yüksek şiddetteki depremlerde mesned büyük bir deplasmanla gidip gelirken, kurşun çekirdeğin plastik deformasyonu histeretik sönümle enerjiyi absorbe eder. Bu histeresis hareketin doğurduğu eşdeğer viskoz sönüm deplasmanın bir fonksiyonudur ve %15 ile % 35 arasında değişir.

Kurşun çekirdekli mesnedin en büyük avantajı servis yükleri altında rijitlik, deprem yükleri altında esneklik ve sönüm özelliklerini tek bir üniteye toplamış olmasıdır. Bu özellikler kurşun çekirdekli mesnedi şiddetli zemin hareketinin görüldüğü bölgelerde ve rijitliğin önemli olduğu köprü gibi yapılarda en çok kullanılan izolatör tipi yapmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerde olduğu gibi kurşun çekirdekli kauçuk mesnedli sistemlerin hesabında da elastomerik mesned formülleri kullanılır.

5.4 Düzlem Kayıcı Mesnetler

Kayıcı mesnedler, uygulanan kuvvet dikey yükün sürtünme katsayısı ile çarpım değerini geçtikten sonra, zorlanma artışı ile katılaşmayan histeresis kuvvet-deplasman grafiği üretirler. Bu, taban kesme kuvvetini kayma kuvveti ile sınırlaması sebebiyle yapısal dizayn bakış açısıyla etkileyicidir.

Tam dikdörtgen histeresis kuvvet deplasman grafiği üreten ideal bir kayıcı mesned kurşun çekirdekli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnedlerle erişilemeyecek, kritik sönümün $2 / \pi = \% 63,7$ 'si kadar bir sönüme sahiptir.

Fakat pratikte şu iki sebeple izolasyon sistemi olarak tek başlarına kullanılamazlar.

1. Geri döndürme kuvvetinin olmaması sebebiyle deplasmanda sınırlama yoktur. Yapı kayıcı sistem üzerinde bir yöne doğru hareket ederek tepki verecek ve ardçı şoklarda da aynı yönde hareketine devam edecektir.
2. Kayıcı mesned, kaymayı başlatmak kaymayı sürdürmekten daha büyük bir kuvvete gereksini duyacaktır. Terminolojide buna statik sürtünme adı verilir. Eğer sistemimizde sadece kayıcı mesnedler bulunuyorsa hesap kuvvetimiz sıfır deplasmanındaki statik sürtünmenin üreteceği kuvvet olacaktır.

UBC ve AASHTO gibi yönetmeliklerce belirli bir değer altında geri döndürme kuvveti olan sistemlerin, zemin hareketinin üç katı kadar deplasman yapabilecek şekilde hesaplanması gerektiği belirtilmiştir. 400-500 mm gibi yer hareketi üreten MCE depremleri için kayıcı sistemin 1,5 m deplasmana göre hesabı gerekir. Bu haliyle hareketli bağlantıların ve asansörlerin detaylandırılması pratik olmayacaktır.

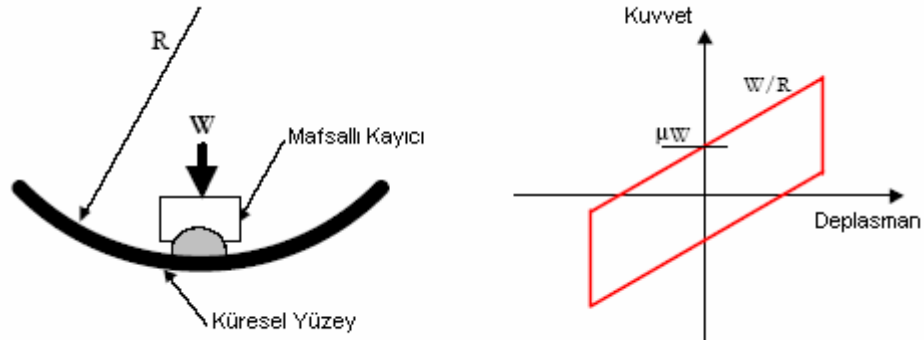
Kayıcı mesnedlerin geri dönüşüm kuvveti sağlayan elastomerik mesnedlerle kullanılacağı karma bir sistem çok daha ekonomik olacaktır. Kayıcı mesnedler, örneğin kayıcı yüzey olarak teflon kullanılmış çanak mesnedler, elastomerlere oranla çok daha

fazla basınç yükü alabilirler (15 MPa'la karşılık 60 Mpa gibi). Aynı zamanda mesnedler tuturucuları olmadığı için kolaylıkla kalkabilir. Bu gibi nedenlerle perde duvar tabanı uçlarında kullanılmaları uygundur.

Paslanmaz çelik üzerine kaplanmış teflon en çok kullanılan kayıcı yüzeydir. Teflon %3 gibi düşük statik sürtünme katsayısına sahiptir. Bununla birlikte sürtünme katsayısı hız ve basıncın bir fonksiyonudur. Basınç arttıkça sürtünme katsayısı azalırken hız arttıkça sürtünme katsayısı önemli ölçüde artar. Deprem hızlarında (0,2 sn-1,0 sn) sürtünme katsayısı %8 ile % 12 arasında değişir. Ön hesaplarda sürtünme katsayısı yaklaşık % 10 kabul edilebilir.

5.5 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler

Düzlem yüzey yerine küresel yüzeye sahip kayıcı mesnedlerdir. Şematik özellikleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Sürtünmeli Sarkaç Sistem Şematiği

İzolatör servis yüklerine düzlem kayıcı mesnedlerde olduğu gibi sürtünme katsayısı ile karşı koyar. Sürtünme katsayısı aşıldığında mafsallı kayıcı hareket eder ve küresel yüzey sebebiyle, kütle dikey hareketle yatay harekete eşlik eder. Kütlenin dikey hareketi Şekil 5.4'deki histeresis kuvvet-deplasman grafiğinde görüldüğü gibi bir geri döndürme kuvveti oluşturur.

Mesned özellikleri sürtünme katsayısı, kürenin yarı çapı ve taşıma yükü ile ifade edilir. İkincil rijitlik ise kürenin geometrisi ve taşıyan yüke dayanarak W/R formülü ile ifade edilir. Karşılanan toplam kuvvet, taşıyan yükle doğru orantılıdır.



Şekil 5.5 Sürtünmeli Sarkaç Mesned
(Oiles Corporation Tokyo/JAPAN)

5.6 Küre ve Silindir Mesnedler

Teoride esneklik sağlama açısından etkileyici gibi görünseler de temel izolasyonunda pek kullanılmazlar. Yapıldıkları malzemenin yüksek basınç yüklerine dayanıklı olması gerekmektedir. Metal alaşımı ve çelikten yapılmış mesnedlerde, yüksek basınca maruz kalmaları durumunda kontak yüzeylerinde düzleşme problemi görülmektedir. Bu yüzden kullanımı sınırlıdır ve düşük kütleye sahip yapılarda kullanımı önerilir. Servis yüklerine karşı koyamadıkları ve sönüm sağlayamadıkları için diğer izolatör tipleri ile birlikte kullanılmaları gerekir.

5.7 İzolatör Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları

En çok kullanılan izolatör tiplerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 7.1’de özetlenmiştir. Bazı dezavantaj gibi görülen özelliklerin üreticilerin özel yöntemler geliştirmeleri ile zamanla azaldığı görülmektedir. Örneğin statik sürtünme, kayıcı mesnedlerin genelinde potansiyel bir sorun iken, üreticiler bu etkinin görülmediği kayıcı yüzeyler geliştirebilmektedir. (KELLY, T., 2001)

Bazı mesnedlerin dezavantajları tüm yapı dizaynını etkileyebilmektedir. Kurşun çekirdekli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnedler, mesnedin alt ve üst noktasına eşit dağılan birincil ve ikincil PxD momenti doğururlar. Bu momentlerin hem temelde, hem de izolatör üzerindeki yapıda hesaba katılması gerekir. Kayıcı mesnedlerde toplam PxD momenti aynıdır. Fakat kayıcı yüzey, tüm momentin temel tarafından karşılanacağı şekilde ayarlanabilir.

Her ayrı proje için bazı özellikler diğerlerinden daha önemlidir. Ön tasarım sürecinde kesin olarak optimum sistem belirlenene kadar birkaç sistemin değerlendirilmesi faydalıdır. Hatta üreticilerle temas geçip onlardan yardım almak ve en güncel bilgileri tedarik etmek tavsiye edilebilir.

	Avantajlar	Dezavantajlar
Elastomerik	Düşük yapısal ivme Düşük maliyet	Yüksek deplasman Düşük sönüm Servis yüklerine dirençsiz Üstte ve tabanda moment (Px _D)
Yüksek Sönümlü Kauçuk	Orta yapısal ivme Servis yüklerine direnç Orta ve yüksek sönüm	Gerilmeye dayanan rijitlik ve sönüm Kompleks analiz Sınırlı rijitlik ve sönüm seçim imkanı Üstte ve tabanda moment (Px _D)
Kurşun Çekirdekli	Orta yapısal ivme Geniş rijitlik ve sönüm seçim imkanı	Döngü ile değişen özellikler Üstte ve tabanda moment (Px _D)
Düzlem Kayıcılar	Yaygın değil Servis yüklerine direnç Yüksek sönüm Momentin (Px _D) üstte veya tabanda olaması sağlanabilir	Yüksek yapısal ivme Basıç ve hıza göre özellik değişimi Yapışma Geri döndürme kuvveti yok
Küresel Kayıcılar	Yaygın değil Servis yüklerine direnç Orta ve Yüksek sönüm Momentin (Px _D) üstte veya tabanda olaması sağlanabilir Burulma etkisini azaltma	Yüksek yapısal ivme Basıç ve hıza göre özellik değişimi Yapışma
Histeretik Sönümleyiciler	Deplasman kontrolü Ucuz	Sisteme yük ilave etme
Viskoz Sönümleyiciler	Deplasman kontrolü Sisteme az yük ilavesi	Pahalı Elde etme güçlüğü

Tablo 5.1 İzolatör Avantaj ve Dezavantajları (KELLY, T., 2001)

6. ÖRNEK ÇALIŞMA

Bu bölümde, önceki bölümlerde temel izolasyonu hakkında verilen bilgileri tamamlamak maksadıyla statik ve dinamik hesap yöntemlerine değinilecektir.

İzolasyon sisteminin etkilerini hesapla da ispatlamak için birinci aşamada Şekil 6.1’de planı verilen dört katlı bir yapı, ankastre temelli olarak dizayn edilmiştir. Statik hesaplar açılı yöntemiyle yapılmış ve Vianello-Stadola yöntemi ile etkin modları ve periyod değerleri hesaplanmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği TDY-98 şartnamesine uygun olarak %5 sönüm oranı ve zemin cinsine göre tanımlanan spektrum eğrisi yardımıyla, binanın tüm katlarına ait deplasman ve deprem yükleri bulunmuştur.

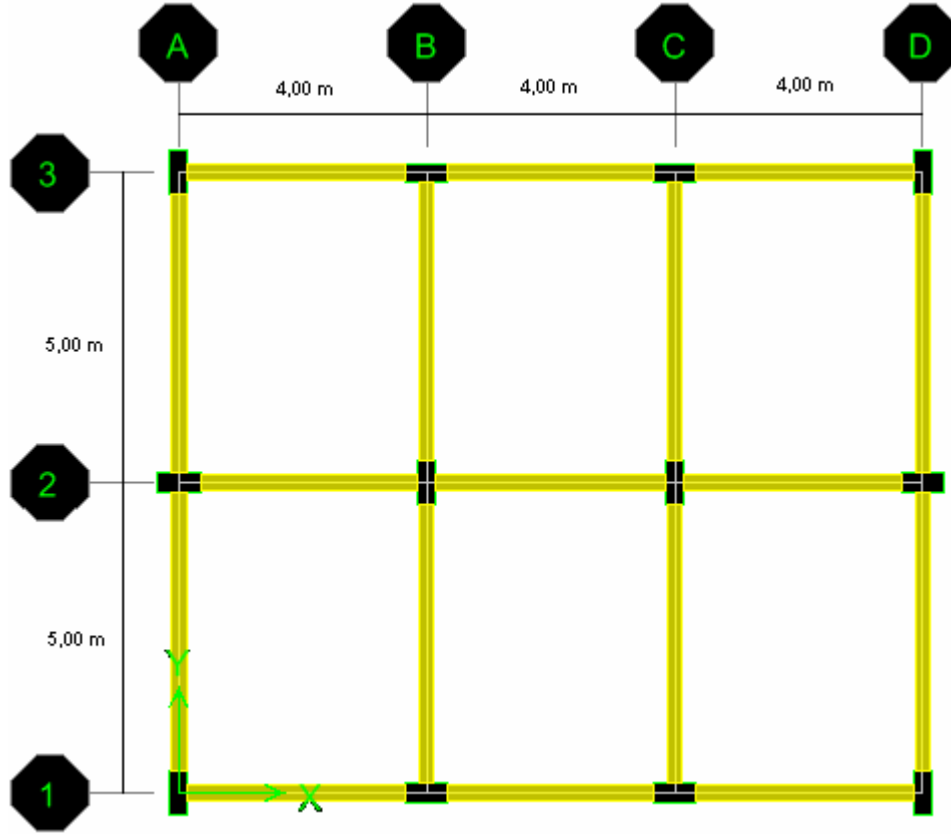
Daha sonra dinamik analiz yapabilen ETABS ve Sap2000 bilgisayar programları yardımıyla ankastre durumu için yapının modları tekrar bulunmuştur. Aynı spektrum eğrisinin programlara girişi yapılarak taban ve kat kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Değerler karşılaştırılarak el ile yapılan hesap sonuçlarının doğruluğu test edilmiştir.

İkinci aşamada yapının temeline yüksek sönümlü kauçuk mesned (HDR) yerleştirilmiş, UBC-97 Yönetmeliğine göre statik hesap yapılmıştır. Tablo değerleri daha önce belirlediğimiz koşullara yakın zemin ve deprem kuşağına göre seçilmiştir.

İzolatörlü durum için açılı metodu denklem takımlarını oluştururken tabana bir izolasyon katı eklenmiş, temel seviyesinde düğüm noktalarında dönme değerinin sıfır olduğu kabul edilmiştir. Kauçuk mesnetler, rijitliği kauçuk mesnetlerin yatay rijitliğine eşit bir yay gibi modellenmiştir.

Son olarak ETABS, Sap 2000 analiz programlarında izolatörlü yapı modellenmiş, bulunan mod, deplasman ve kat kesme kuvvetleri el çözümleri ile karşılaştırılarak kabullerin doğruluğu ispatlanmıştır.

6.1 Örneğin Belirlenmesi



Şekil 6.1 Dört Katlı Bina Planı

Kesit atalet momenti değerleri ;

$$70 \times 30 \text{ kolon kesiti} = \frac{0,70 \times 0,30^3}{12} = 0,001575 = I$$

$$30 \times 70 \text{ kolon kesiti} = \frac{0,30 \times 0,70^3}{12} = 0,008575 = 5,44.I$$

$$25 \times 50 \text{ kiriş kesiti} = \frac{0,25 \times 0,50^3}{12} = 0,002604 = 1,65.I$$

$$\text{Elastisite Modülü } E = 3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$EI = 47250 \text{ kN/m}^2$$

Yapıya ait deprem bilgileri ;

2.Derece Deprem Bölgesi : $A_0 = 0,30 \text{ g}$

Z_4 Zemin Sınıfı : $T_A = 0,20 \text{ sn}$, $T_B = 0,90 \text{ sn}$

Yapı Önem Katsayısı : $I = 1$

Yük Analizi ;

Normal Kat

$$W_g = 5,50 \times 12 \times 10 = 660 \text{ KN}$$

$$W_q = 2,00 \times 12 \times 10 = 240 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} W_{kiriş} &= (0,25 \times 0,50 \times 25 \text{ KN/m}^3) + (1,25 \times 0,02 \times 20 \text{ KN/m}^3) = 3,63 \text{ KN/m} \\ &= 3,63 \text{ KN/m} \times 76 \text{ m} = 275,50 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{du \text{ var}} &= (0,20 \times 2,50 \times 13 \text{ KN/m}^3) + 2 \times (2,50 \times 0,02 \times 20 \text{ KN/m}^3) = 8,50 \text{ KN/m} \\ &= 8,50 \text{ KN/m} \times 44 \text{ m} = 374 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{kat} &= g + n.q = (660 + 275,50 + 374) + 0,3 \times 240 = 1382 \text{ KN} \\ &= 1382 / 9,81 = 140,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

Çatı Katı

$$W_g = 5,70 \times 12 \times 10 = 684 \text{ KN}$$

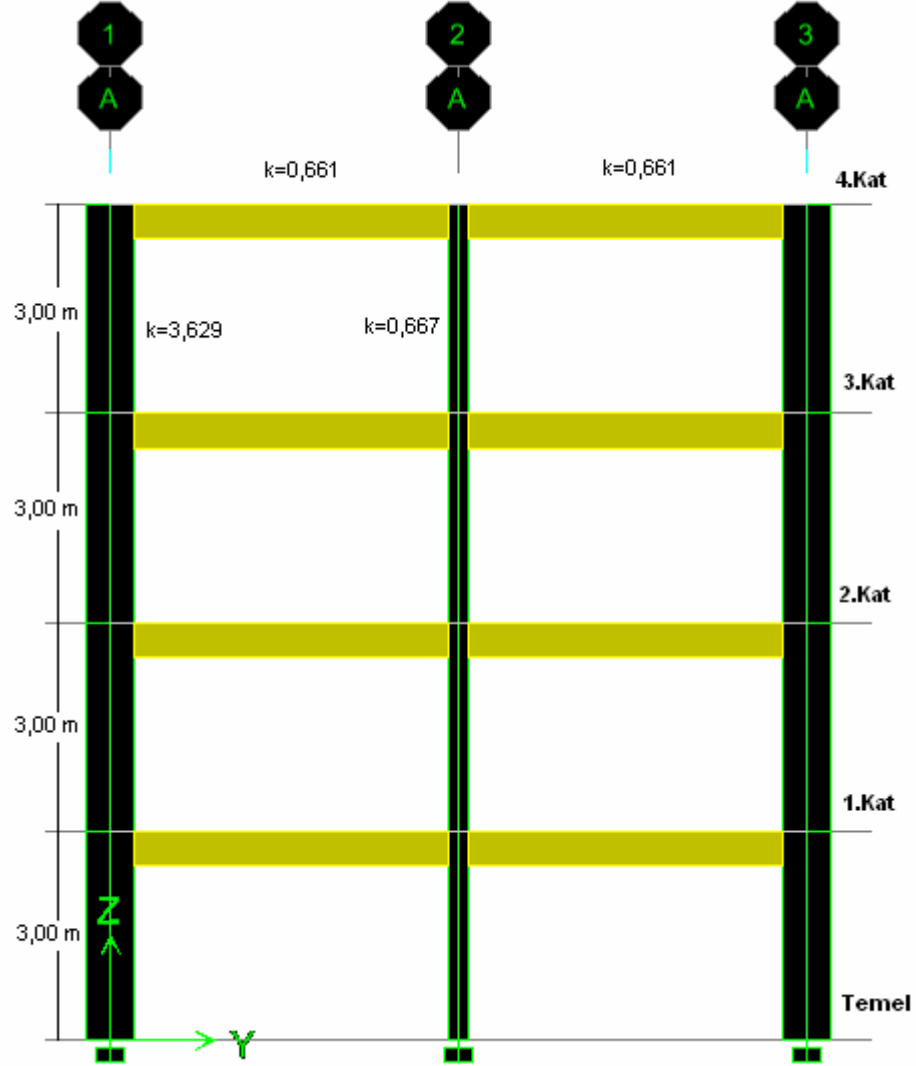
$$W_q = 1,50 \times 12 \times 10 = 180 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} W_{kiriş} &= (0,25 \times 0,50 \times 25 \text{ KN/m}^3) + (1,25 \times 0,02 \times 20 \text{ KN/m}^3) = 3,63 \text{ KN/m} \\ &= 3,63 \text{ KN/m} \times 76 \text{ m} = 275,50 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{kat} &= g + n.q = (684 + 275,50) + 0,3 \times 180 = 1014 \text{ KN} \\ &= 1014 / 9,81 = 103,36 \text{ kg} \end{aligned}$$

6.1.1 Ankastre durumunda aç yöntemi ile statik hesap

A-A Aksında :



Şekil 6.2 A-A Aksı Y Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 5 = 0,661$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

Buna göre aç metodu denklem takımları oluşturulur.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	u_1	u_2	u_3	u_4
M1	15,838	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,000	0,000
M2	0,661	5,312	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	0,000	0,000
M3	0,000	0,661	15,838	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,000	0,000
M4	3,629	0,000	0,000	15,838	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M5	0,000	0,667	0,000	0,661	5,312	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M6	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	15,838	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M7	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	15,838	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	5,312	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	15,838	0,000	0,000	3,629	0,000	3,629	0,000	-3,629
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	8,580	0,661	0,000	0,000	0,000	3,629	-3,629
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	3,978	0,661	0,000	0,000	0,667	-0,667
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	8,580	0,000	0,000	3,629	-3,629
x1	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,567	-5,283	0,000	0,000
x2	-3,629	-0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	-5,283	10,567	-5,283	0,000
x3	0,000	0,000	0,000	-3,629	-0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	3,629	0,000	-5,283	10,567	-5,283
x4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	-0,667	-3,629	-3,629	-0,667	-3,629	0,000	0,000	-5,283	5,283

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ F \end{bmatrix}$$

M ifadesi açılış metodu denklem takımları kullanılarak düğüm moment dengesi yazılırken ankastrelik moment değerlerine karşılık gelir. Deprem hesabında çerçeveler yalnızca yatay yükler altında çözülür ve ankastrelik moment değerleri 0 alınır.

$$k_{11} \cdot x \cdot \varphi + k_{12} \cdot x \cdot u = 0$$

$$k_{21} \cdot x \cdot \varphi + k_{22} \cdot x \cdot u = F$$

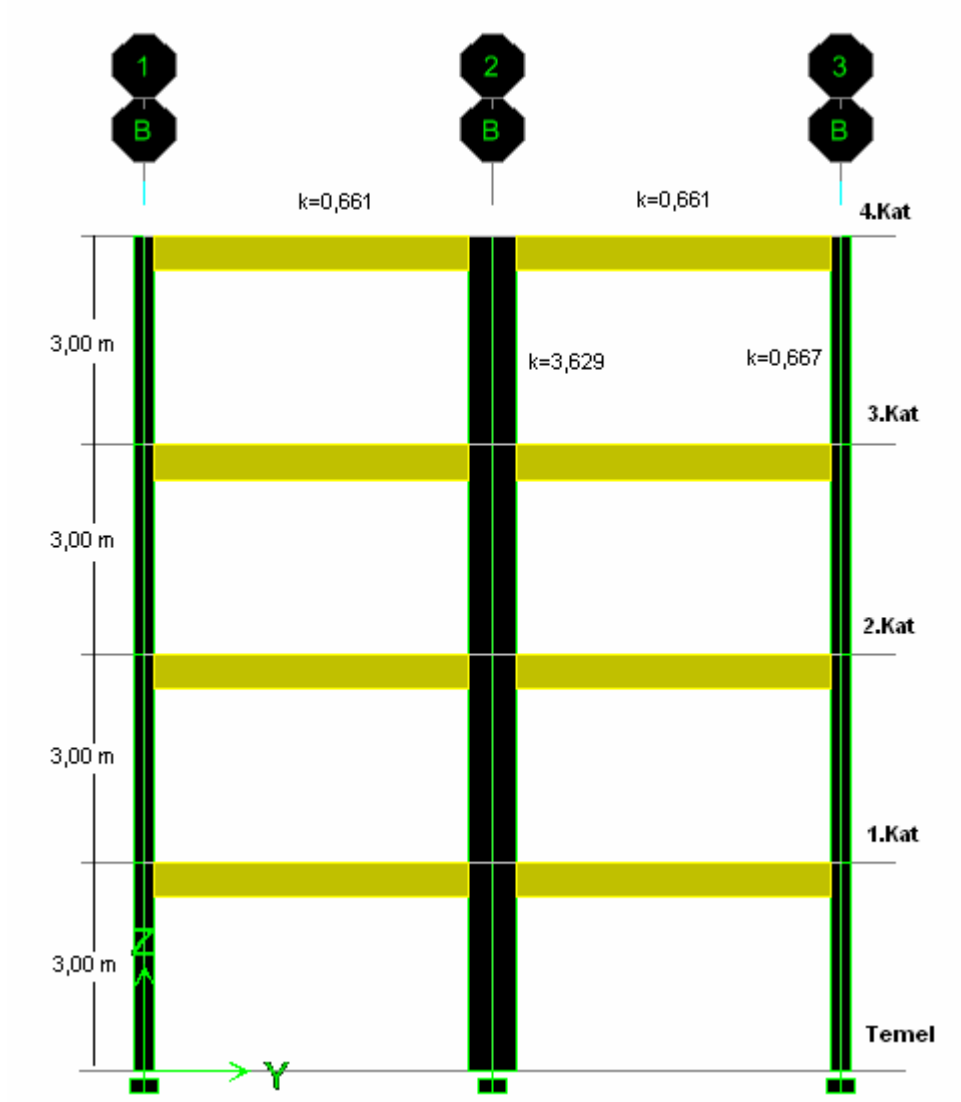
$$F = [k_{22} - k_{21} \cdot x \cdot k_{11}^{-1} \cdot x \cdot k_{12}] x \cdot u = k \cdot x \cdot u$$

$$k = [k_{22} - k_{21} \cdot x \cdot k_{11}^{-1} \cdot x \cdot k_{12}]$$

Y yönündeki A-A aksına ait rijitlik matrisi ;

$$k = EI \begin{bmatrix} 8,676 & -5,237 & 1,692 & -0,268 \\ -5,237 & 7,012 & -4,555 & 1,103 \\ 1,692 & -4,555 & 5,649 & -2,409 \\ -0,268 & 1,103 & -2,409 & 1,515 \end{bmatrix}$$

B-B Aksında :



Şekil 6.3 B-B Aksı Y Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 5 = 0,661$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

Buna göre açılış metodu denklem takımları oluşturulur.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	u_1	u_2	u_3	u_4
M1	3,990	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	0,000	0,000
M2	0,661	17,160	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,000	0,000
M3	0,000	0,661	3,990	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	0,000	0,000
M4	0,667	0,000	0,000	3,990	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M5	0,000	3,629	0,000	0,661	17,160	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M6	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	3,990	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M7	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	3,990	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667
M8	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	17,160	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	3,990	0,000	0,000	0,667	0,000	0,667	0,000	-0,667
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	2,656	0,661	0,000	0,000	0,000	0,667	-0,667
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	4,951	0,661	0,000	0,000	3,629	-3,629
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	2,656	0,000	0,000	0,000	0,667	-0,667
x1	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,617	-3,309	0,000	0,000
x2	-0,667	-3,629	-0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	-3,309	6,617	-3,309	0,000
x3	0,000	0,000	0,000	-0,667	-3,629	-0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	0,667	0,000	-3,309	6,617	-3,309
x4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	-3,629	-0,667	-0,667	-3,629	-0,667	0,000	0,000	-3,309	3,309

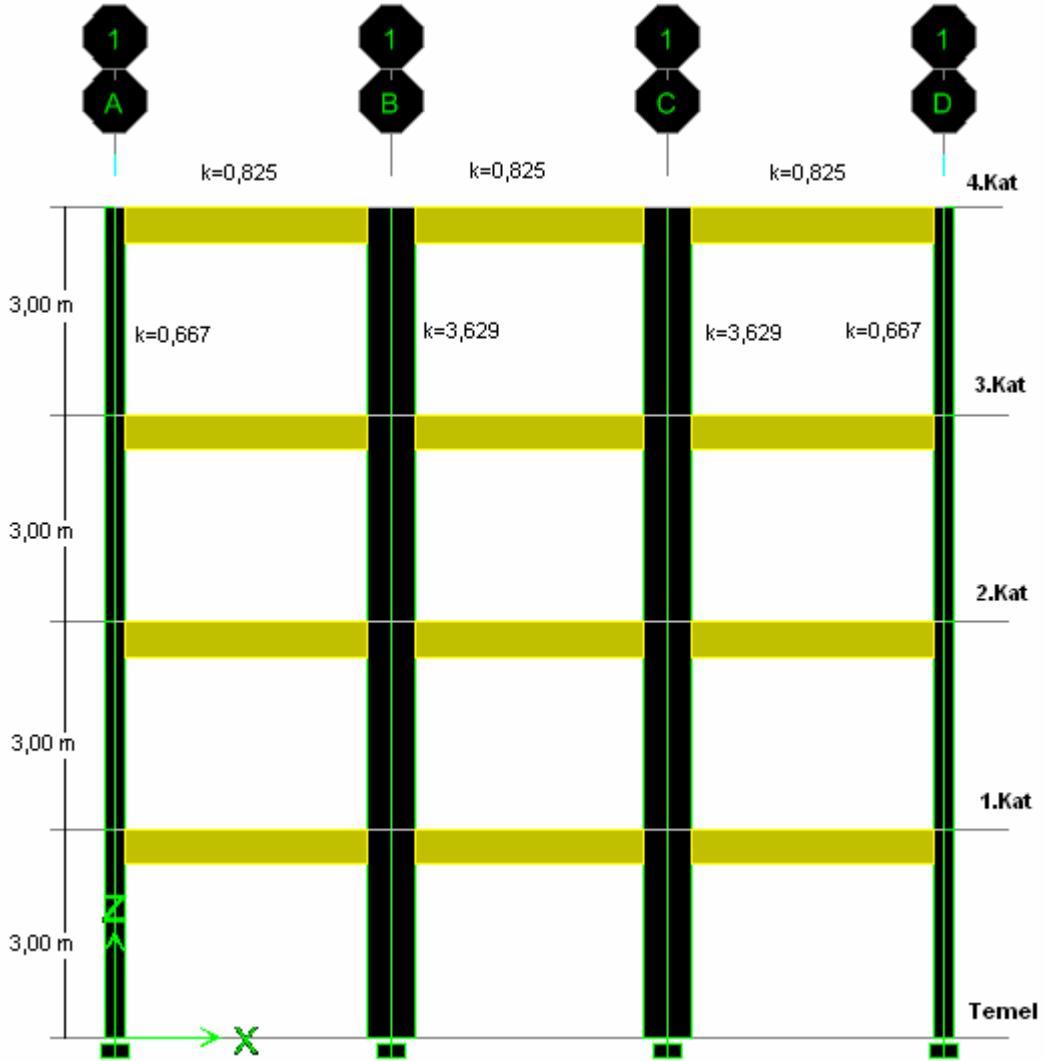
Aynı formüller yardımıyla yapının y yönündeki B-B aksına ait rijitlik matrisi ;

$$k = E.I \begin{bmatrix} 5,630 & -3,279 & 0,843 & -0,072 \\ -3,279 & 4,670 & -2,699 & 0,405 \\ 0,843 & -2,699 & 2,727 & -0,716 \\ -0,072 & 0,405 & -0,716 & 0,371 \end{bmatrix}$$

A-A ve B-B akslarından ikişer tane olması sebebiyle yapının y yönünde toplam rijitlik matrisi her iki matrisin iki katının toplanması ile bulunur.

$$K_y = E.I \begin{bmatrix} 28,611 & -17,032 & 5,070 & -0,681 \\ -17,032 & 23,365 & -14,508 & 3,016 \\ 5,070 & -14,508 & 16,753 & -6,251 \\ -0,681 & 3,016 & -6,251 & 3,771 \end{bmatrix}$$

1-1 Aksında :



Şekil 6.4 1-1 Aksı X Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 4 = 0,825$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

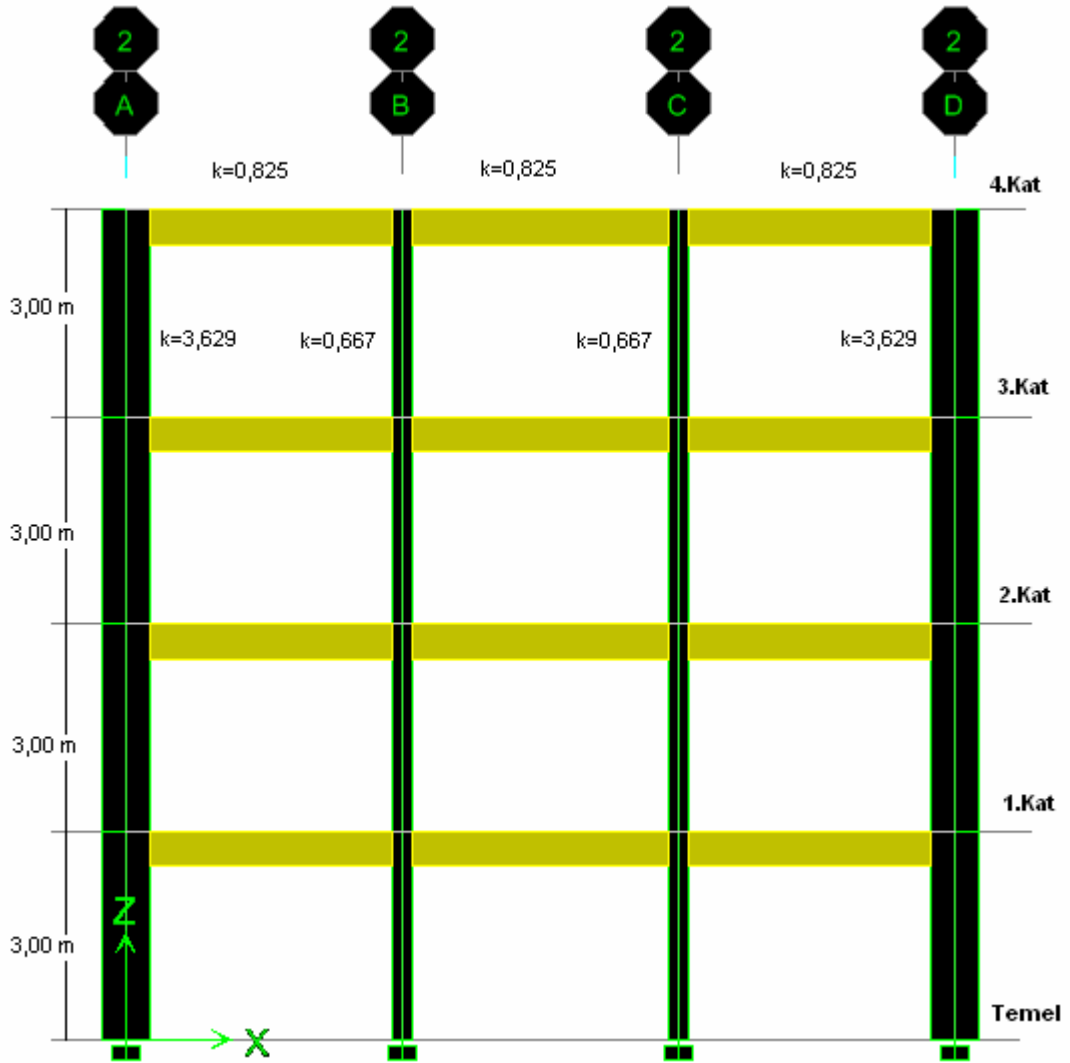
Buna göre açılış metodu denklem takımları oluşturulur.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	φ_{13}	φ_{14}	φ_{15}	φ_{16}	u_1	u_2	u_3	u_4
M1	4,318	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	0,000	0,000
M2	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,000	0,000
M3	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,000	0,000
M4	0,000	0,000	0,825	4,318	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	0,000	0,000
M5	0,667	0,000	0,000	0,000	4,318	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M6	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M7	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M8	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,318	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	4,318	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,318	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,667	0,000	-0,667
M13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	2,984	0,825	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-0,667
M14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	10,558	0,825	0,000	0,000	0,000	3,629	-3,629
M15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	10,558	0,825	0,000	0,000	3,629	-3,629
M16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,000	0,000	0,667	-0,667
x1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,456	-5,728	0,000	0,000
x2	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,728	11,456	-5,728	0,000
x3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	3,629	0,667	0,000	-5,728	11,456	-5,728
x4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,000	0,000	-5,728	5,728

Matris indirgeme yöntemi kullanılarak x yönü 1-1 Aksı rijitlik matrisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$k = E.I \begin{bmatrix} 9,808 & -5,710 & 1,552 & -0,223 \\ -5,710 & 8,301 & -5,271 & 1,150 \\ 1,552 & -5,271 & 7,424 & -3,422 \\ -0,223 & 1,150 & -3,422 & 2,454 \end{bmatrix}$$

2-2 Aksında :



Şekil 6.5 2-2 Aksı X Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 4 = 0,825$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

Buna göre açı metodu denklem takımları oluşturulur.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	φ_{13}	φ_{14}	φ_{15}	φ_{16}	u_1	u_2	u_3	u_4
M1	16,166	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,000	0,000
M2	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	0,000	0,000
M3	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,667	0,000	0,000
M4	0,000	0,000	0,825	16,166	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,000	0,000
M5	3,629	0,000	0,000	0,000	16,166	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M6	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M7	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M8	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	16,166	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	16,166	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	3,629
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,667
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,667	0,000	0,667
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	16,166	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	3,629	0,000	3,629
M13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	8,908	0,825	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	3,629
M14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,634	0,825	0,000	0,000	0,000	0,667	0,667
M15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,634	0,825	0,000	0,000	0,667	0,667
M16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	8,908	0,000	0,000	3,629	3,629
x1	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,456	-5,728	0,000	0,000
x2	-3,629	0,667	0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,728	11,456	-5,728	0,000
x3	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,667	0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	-5,728	11,456	5,728
x4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,667	0,667	-3,629	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	-5,728	5,728

Matris indirgeme yöntemi kullanılarak x yönü 2-2 Aksı rijitlik matrisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$k = E.I \begin{bmatrix} 9,520 & -5,690 & 1,761 & -0,270 \\ -5,690 & 7,795 & -5,052 & 1,202 \\ 1,761 & -5,052 & 6,563 & -2,904 \\ -0,270 & 1,202 & -2,904 & 1,915 \end{bmatrix}$$

1-1 Aksının 3-3 Aksının ikizi olduğundan yapının x yönünde toplam rijitlik matrisi 1-1 aksı matrisinin iki katının, 2-2 aksı matrisi ile toplanarak bulunur.

$$K_x = E.I \begin{bmatrix} 29,135 & -17,109 & 4,865 & -0,716 \\ -17,109 & 24,398 & -15,594 & 3,503 \\ 4,865 & -15,594 & 21,411 & -9,749 \\ -0,716 & 3,503 & -9,749 & 6,823 \end{bmatrix}$$

Her iki ekseninde rijitlik matrislerini bulduktan sonra Stodola - Vianello yöntemini kullanarak modları bulacağız.

$$[D][a] = \frac{1}{\omega^2} \cdot [a]$$

$$\frac{1}{EI} [k^{-1}][m][a] = \frac{1}{\omega^2} \cdot [a]$$

$$[D][a] = \frac{EI}{\omega^2} \cdot [a]$$

Yük analizi sonucu elde ettiğimiz Kütle Matrisi ;

$$m = \begin{bmatrix} 140,88 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 140,88 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 140,88 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 103,36 \end{bmatrix}$$

Y Yönü Dinamik Matrisi :

$$D_y = \begin{bmatrix} 14,878 & 23,234 & 25,400 & 19,233 \\ 23,234 & 56,993 & 70,487 & 55,370 \\ 25,400 & 70,487 & 111,282 & 97,359 \\ 26,215 & 75,469 & 132,700 & 148,006 \end{bmatrix}$$

İterasyonla 1. Mod bulunur.

14,878	23,234	25,400	19,233	1,000	82,746	1,000
23,234	56,993	70,487	55,370	1,000	206,084	2,491
25,400	70,487	111,282	97,359	1,000	304,529	3,680
26,215	75,469	132,700	148,006	1,000	382,389	4,621

14,878	23,234	25,400	19,233	1,000	255,106	1,000
23,234	56,993	70,487	55,370	2,491	680,470	2,667
25,400	70,487	111,282	97,359	3,680	1060,424	4,157
26,215	75,469	132,700	148,006	4,621	1386,523	5,435

14,878	23,234	25,400	19,233	1,000	286,970	1,000
23,234	56,993	70,487	55,370	2,667	769,197	2,680
25,400	70,487	111,282	97,359	4,157	1205,149	4,200
26,215	75,469	132,700	148,006	5,435	1583,553	5,518

14,878	23,234	25,400	19,233	1,000	289,957	1,000
23,234	56,993	70,487	55,370	2,680	777,553	2,682
25,400	70,487	111,282	97,359	4,200	1218,913	4,204
26,215	75,469	132,700	148,006	5,518	1602,506	5,527

14,878	23,234	25,400	19,233	1,000	290,256	1,000
23,234	56,993	70,487	55,370	2,682	778,392	2,682
25,400	70,487	111,282	97,359	4,204	1220,299	4,204
26,215	75,469	132,700	148,006	5,527	1604,420	5,528

14,878	23,234	25,400	19,233	1,000	290,287	1,000
23,234	56,993	70,487	55,370	2,682	778,479	2,682
25,400	70,487	111,282	97,359	4,204	1220,443	4,204
26,215	75,469	132,700	148,006	5,528	1604,620	5,528

Dinamik matris ve arıtma matrisi hesabı ;

1,000	140,880	0,000	0,000	0,000	140,880
2,682	0,000	140,880	0,000	0,000	1013,181
4,204	0,000	0,000	140,880	0,000	2490,166
5,528	0,000	0,000	0,000	103,360	3158,207

M1 6802,434

1,000	1,000	2,682	4,204	5,528
2,682	2,682	7,192	11,275	14,824
4,204	4,204	11,275	17,676	23,240
5,528	5,528	14,824	23,240	30,555

140,880	377,805	592,296	571,343
377,805	1013,181	1588,392	1532,200
592,296	1588,392	2490,166	2402,072
778,742	2088,393	3274,032	3158,207

/M1

0,021	0,056	0,087	0,084
0,056	0,149	0,234	0,225
0,087	0,234	0,366	0,353
0,114	0,307	0,481	0,464

1,000	0,000	0,000	0,000
0,000	1,000	0,000	0,000
0,000	0,000	1,000	0,000
0,000	0,000	0,000	1,000

I

0,979	-0,056	-0,087	-0,084
-0,056	0,851	-0,234	-0,225
-0,087	-0,234	0,634	-0,353
-0,114	-0,307	-0,481	0,536

S1

14,878	23,234	25,400	19,233
23,234	56,993	70,487	55,370
25,400	70,487	111,282	97,359
26,215	75,469	132,700	148,006

D

8,866	7,111	0,124	-5,149
7,111	13,756	2,703	-10,016
0,124	2,703	5,016	-5,149
-7,018	-13,653	-7,018	13,231

D2

İkinci Mod için iterasyon ;

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	10,953	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,000	13,555	1,237
0,124	2,703	5,016	-5,149	1,000	2,694	0,246
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	1,000	-14,458	-1,320

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	24,493	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,237	38,021	1,552
0,124	2,703	5,016	-5,149	0,246	11,500	0,469
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	-1,320	-43,103	-1,760

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	29,025	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,552	47,361	1,632
0,124	2,703	5,016	-5,149	0,469	15,736	0,542
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	-1,760	-54,789	-1,888

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	30,257	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,632	49,932	1,650
0,124	2,703	5,016	-5,149	0,542	16,974	0,561
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	-1,888	-58,076	-1,919

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	30,554	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,650	50,555	1,655
0,124	2,703	5,016	-5,149	0,561	17,282	0,566
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	-1,919	-58,880	-1,927

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	30,625	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,655	50,704	1,656
0,124	2,703	5,016	-5,149	0,566	17,356	0,567
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	-1,927	-59,073	-1,929

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	30,642	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,656	50,739	1,656
0,124	2,703	5,016	-5,149	0,567	17,374	0,567
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	-1,929	-59,119	-1,929

8,866	7,111	0,124	-5,149	1,000	30,646	1,000
7,111	13,756	2,703	-10,016	1,656	50,748	1,656
0,124	2,703	5,016	-5,149	0,567	17,378	0,567
-7,018	-13,653	-7,018	13,231	-1,929	-59,131	-1,929

Dinamik matris ve arıtma matrisi hesabı ;

	<table><tr><td>1,000</td></tr><tr><td>1,656</td></tr><tr><td>0,567</td></tr><tr><td>-1,929</td></tr></table>	1,000	1,656	0,567	-1,929	<table><tr><td>140,880</td><td>0,000</td><td>0,000</td><td>0,000</td></tr><tr><td>0,000</td><td>140,880</td><td>0,000</td><td>0,000</td></tr><tr><td>0,000</td><td>0,000</td><td>140,880</td><td>0,000</td></tr><tr><td>0,000</td><td>0,000</td><td>0,000</td><td>103,360</td></tr></table>	140,880	0,000	0,000	0,000	0,000	140,880	0,000	0,000	0,000	0,000	140,880	0,000	0,000	0,000	0,000	103,360	<table><tr><td>140,880</td></tr><tr><td>386,304</td></tr><tr><td>45,301</td></tr><tr><td>384,786</td></tr></table>	140,880	386,304	45,301	384,786	
1,000																												
1,656																												
0,567																												
-1,929																												
140,880	0,000	0,000	0,000																									
0,000	140,880	0,000	0,000																									
0,000	0,000	140,880	0,000																									
0,000	0,000	0,000	103,360																									
140,880																												
386,304																												
45,301																												
384,786																												
			M2 957,271																									
a	<table><tr><td>1,000</td></tr><tr><td>1,656</td></tr><tr><td>0,567</td></tr><tr><td>-1,929</td></tr></table>	1,000	1,656	0,567	-1,929				<table><tr><td>1,000</td><td>1,656</td><td>0,567</td><td>-1,929</td></tr><tr><td>1,656</td><td>2,742</td><td>0,939</td><td>-3,195</td></tr><tr><td>0,567</td><td>0,939</td><td>0,322</td><td>-1,094</td></tr><tr><td>-1,929</td><td>-3,195</td><td>-1,094</td><td>3,723</td></tr></table>	1,000	1,656	0,567	-1,929	1,656	2,742	0,939	-3,195	0,567	0,939	0,322	-1,094	-1,929	-3,195	-1,094	3,723	axaT		
1,000																												
1,656																												
0,567																												
-1,929																												
1,000	1,656	0,567	-1,929																									
1,656	2,742	0,939	-3,195																									
0,567	0,939	0,322	-1,094																									
-1,929	-3,195	-1,094	3,723																									
		aT																										
	1,000	1,656	0,567	-1,929																								
		</																										

3. Mod için iterasyon

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	2,802	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	1,000	0,056	0,020
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	1,000	-1,928	-0,688
1,685	0,759	-2,083	0,911	1,000	1,272	0,454
4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	6,584	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,020	0,977	0,148
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,688	-5,611	-0,852
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,454	3,547	0,539

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,042	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,148	1,454	0,206
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,852	-6,522	-0,926
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,539	4,063	0,577

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,249	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,206	1,669	0,230
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,926	-6,933	-0,956
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,577	4,296	0,593

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,333	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,230	1,758	0,240
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,956	-7,102	-0,968
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,593	4,392	0,599

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,367	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,240	1,792	0,243
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,968	-7,168	-0,973
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,599	4,430	0,601

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,380	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,243	1,806	0,245
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,973	-7,194	-0,975
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,601	4,444	0,602

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,385	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,245	1,811	0,245
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,975	-7,204	-0,976
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,602	4,450	0,603

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,387	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,245	1,813	0,245
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,976	-7,208	-0,976
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,603	4,452	0,603

4,356	-0,357	-2,433	1,236	1,000	7,387	1,000
-0,357	1,389	-1,532	0,556	0,245	1,814	0,246
-2,433	-1,532	3,565	-1,529	-0,976	-7,209	-0,976
1,685	0,759	-2,083	0,911	0,603	4,453	0,603

Y-Y Yönünde Kat Kesme Kuvveleri ve Deplasmanlar

1. Mod	2.Mod	3.Mod
290,287. $\begin{bmatrix} 1 \\ 2,682 \\ 4,204 \\ 5,528 \end{bmatrix}$	30,646. $\begin{bmatrix} 1 \\ 1,656 \\ 0,567 \\ -1,9294 \end{bmatrix}$	7,387. $\begin{bmatrix} 1 \\ 0,246 \\ -0,976 \\ 0,603 \end{bmatrix}$

1.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_1^2} = 290,287$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{47250}{290,287}} = 12,758 \text{ rad / sn}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{12,758} = 0,492 \text{ sn}$$

2.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_2^2} = 30,646$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{47250}{30,646}} = 39,266 \text{ rad / sn}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2\pi}{39,266} = 0,160 \text{ sn}$$

3.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_3^2} = 7,387$$

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{47250}{7,387}} = 79,975 \text{ rad / sn}$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = \frac{2\pi}{79,975} = 0,0786 \text{ sn}$$

140,880	A1	0,011
377,805	Sa1	0,750
592,296	L1/M1	0,247
571,343	g	9,810
L1 1682,324		

F1	140,880	0,247	0,750	9,810	256,343
	377,805				687,448
	592,296				1077,732
	571,343				1039,605
			Vt		3061,129 KN

u1	0,01118	1,00000		0,00568
		2,68175		0,01523
		4,20426		0,02388
		5,52769		0,03139

140,880	A2	0,001
233,286	Sa2	0,660
79,888	L2/M2	0,266
-199,428	g	9,810
L2 254,626		

F2	140,880	0,266	0,660	9,810	242,621
	233,286				401,761
	79,888				137,581
	-199,428				-343,450
			Vt		438,511 KN

u2	0,00112	1,00000		0,00040 m
		1,65592		0,00066 m
		0,56706		0,00023 m
		-1,92945		-0,00077 m

$$\text{Etkin modal kütle} = \frac{1682,32^2}{6802,43} \cdot \frac{1}{526,03} + \frac{254,626^2}{957,271} = \%91,98 \quad \text{Hesap Yeterlidir.}$$

X Yönü Dinamik Matrisi :

$$D_x = \begin{bmatrix} 13,676 & 20,309 & 21,723 & 16,175 \\ 20,309 & 48,667 & 58,451 & 44,506 \\ 21,723 & 58,451 & 90,404 & 74,424 \\ 22,047 & 60,662 & 101,440 & 100,334 \end{bmatrix}$$

İterasyonla 1. Mod bulunur.

13,676	20,309	21,723	16,175	1,000	71,883	1,000
20,309	48,667	58,451	44,506	1,000	171,934	2,392
21,723	58,451	90,404	74,424	1,000	245,002	3,408
22,047	60,662	101,440	100,334	1,000	284,483	3,958

13,676	20,309	21,723	16,175	1,000	200,304	1,000
20,309	48,667	58,451	44,506	2,392	512,070	2,556
21,723	58,451	90,404	74,424	3,408	764,191	3,815
22,047	60,662	101,440	100,334	3,958	909,958	4,543

13,676	20,309	21,723	16,175	1,000	221,953	1,000
20,309	48,667	58,451	44,506	2,556	569,911	2,568
21,723	58,451	90,404	74,424	3,815	854,154	3,848
22,047	60,662	101,440	100,334	4,543	1019,940	4,595

13,676	20,309	21,723	16,175	1,000	223,751	1,000
20,309	48,667	58,451	44,506	2,568	574,734	2,569
21,723	58,451	90,404	74,424	3,848	861,717	3,851
22,047	60,662	101,440	100,334	4,595	1029,253	4,600

13,676	20,309	21,723	16,175	1,000	223,908	1,000
20,309	48,667	58,451	44,506	2,569	575,156	2,569
21,723	58,451	90,404	74,424	3,851	862,379	3,851
22,047	60,662	101,440	100,334	4,600	1030,071	4,600

13,676	20,309	21,723	16,175	1,000	223,922	1,000
20,309	48,667	58,451	44,506	2,569	575,194	2,569
21,723	58,451	90,404	74,424	3,851	862,439	3,852
22,047	60,662	101,440	100,334	4,600	1030,145	4,600

Dinamik matris ve arıtma matrisi hesabı ;

1,000	140,880	0,000	0,000	0,000	140,880
2,569	0,000	140,880	0,000	0,000	929,574
3,852	0,000	0,000	140,880	0,000	2089,839
4,600	0,000	0,000	0,000	103,360	2187,538

M1 5347,831

1,000	1,000	2,569	3,852	4,600	1,000	2,569	3,852	4,600
2,569					2,569	6,598	9,893	11,817
3,852					3,852	9,893	14,834	17,719
4,600	1,000	2,569	3,852	4,600	4,600	11,817	17,719	21,164

140,880	361,882	542,602	475,504	/M1
361,882	929,574	1393,794	1221,438	
542,602	1393,794	2089,839	1831,411	
648,113	1664,824	2496,219	2187,538	

0,026	0,068	0,101	0,089
0,068	0,174	0,261	0,228
0,101	0,261	0,391	0,342
0,121	0,311	0,467	0,409

I

1,000	0,000	0,000	0,000
0,000	1,000	0,000	0,000
0,000	0,000	1,000	0,000
0,000	0,000	0,000	1,000

S1

0,974	-0,068	-0,101	-0,089
-0,068	0,826	-0,261	-0,228
-0,101	-0,261	0,609	-0,342
-0,121	-0,311	-0,467	0,591

D

13,676	20,309	21,723	16,175
20,309	48,667	58,451	44,506
21,723	58,451	90,404	74,424
22,047	60,662	101,440	100,334

D2

7,777	5,157	-0,997	-3,735
5,157	9,744	0,091	-6,637
-0,997	0,091	2,898	-2,260
-5,091	-9,047	-3,081	8,737

İkinci Mod için iterasyon :

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	8,202	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,000	8,354	1,019
-0,997	0,091	2,898	-2,260	1,000	-0,269	-0,033
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	1,000	-8,482	-1,034

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	16,925	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,019	21,942	1,296
-0,997	0,091	2,898	-2,260	-0,033	1,338	0,079
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	-1,034	-23,240	-1,373

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	19,513	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,296	26,910	1,379
-0,997	0,091	2,898	-2,260	0,079	2,453	0,126
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	-1,373	-29,060	-1,489

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	20,327	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,379	28,491	1,402
-0,997	0,091	2,898	-2,260	0,126	2,859	0,141
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	-1,489	-30,967	-1,523

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	20,556	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,402	28,939	1,408
-0,997	0,091	2,898	-2,260	0,141	2,981	0,145
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	-1,523	-31,516	-1,533

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	20,620	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,408	29,064	1,410
-0,997	0,091	2,898	-2,260	0,145	3,017	0,146
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	-1,533	-31,670	-1,536

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	20,637	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,410	29,099	1,410
-0,997	0,091	2,898	-2,260	0,146	3,027	0,147
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	-1,536	-31,714	-1,537

7,777	5,157	-0,997	-3,735	1,000	20,642	1,000
5,157	9,744	0,091	-6,637	1,410	29,109	1,410
-0,997	0,091	2,898	-2,260	0,147	3,029	0,147
-5,091	-9,047	-3,081	8,737	-1,537	-31,726	-1,537

Dinamik matris ve arıtma matrisi hesabı ;

	<table><tr><td>1,000</td></tr><tr><td>1,410</td></tr><tr><td>0,147</td></tr><tr><td>-1,537</td></tr></table>	1,000	1,410	0,147	-1,537	<table><tr><td>140,880</td><td>0,000</td><td>0,000</td><td>0,000</td></tr><tr><td>0,000</td><td>140,880</td><td>0,000</td><td>0,000</td></tr><tr><td>0,000</td><td>0,000</td><td>140,880</td><td>0,000</td></tr><tr><td>0,000</td><td>0,000</td><td>0,000</td><td>103,360</td></tr></table>	140,880	0,000	0,000	0,000	0,000	140,880	0,000	0,000	0,000	0,000	140,880	0,000	0,000	0,000	0,000	103,360	<table><tr><td>140,880</td></tr><tr><td>280,137</td></tr><tr><td>3,034</td></tr><tr><td>244,153</td></tr></table>	140,880	280,137	3,034	244,153													
1,000																																								
1,410																																								
0,147																																								
-1,537																																								
140,880	0,000	0,000	0,000																																					
0,000	140,880	0,000	0,000																																					
0,000	0,000	140,880	0,000																																					
0,000	0,000	0,000	103,360																																					
140,880																																								
280,137																																								
3,034																																								
244,153																																								
			M2 668,205																																					
a	<table><tr><td>1,000</td></tr><tr><td>1,410</td></tr><tr><td>0,147</td></tr><tr><td>-1,537</td></tr></table>	1,000	1,410	0,147	-1,537	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																	<table><tr><td>1,000</td><td>1,410</td><td>0,147</td><td>-1,537</td></tr><tr><td>1,410</td><td>1,988</td><td>0,207</td><td>-2,167</td></tr><tr><td>0,147</td><td>0,207</td><td>0,022</td><td>-0,226</td></tr><tr><td>-1,537</td><td>-2,167</td><td>-0,226</td><td>2,362</td></tr></table>	1,000	1,410	0,147	-1,537	1,410	1,988	0,207	-2,167	0,147	0,207	0,022	-0,226	-1,537	-2,167	-0,226	2,362	axaT
1,000																																								
1,410																																								
0,147																																								
-1,537																																								
1,000	1,410	0,147	-1,537																																					
1,410	1,988	0,207	-2,167																																					
0,147	0,207	0,022	-0,226																																					
-1,537	-2,167	-0,226	2,362																																					
	aT																																							
axaTxm	<table><tr><td>140,880</td><td>198,660</td><td>20,675</td><td>-158,857</td></tr><tr><td>198,660</td><td>280,137</td><td>29,155</td><td>-224,010</td></tr><tr><td>20,675</td><td>29,155</td><td>3,034</td><td>-23,313</td></tr><tr><td>-216,523</td><td>-305,327</td><td>-31,776</td><td>244,153</td></tr></table>	140,880	198,660	20,675	-158,857	198,660	280,137	29,155	-224,010	20,675	29,155	3,034	-23,313	-216,523	-305,327	-31,776	244,153	<table><tr><td>0,211</td><td>0,297</td><td>0,031</td><td>-0,238</td></tr><tr><td>0,297</td><td>0,419</td><td>0,044</td><td>-0,335</td></tr><tr><td>0,031</td><td>0,044</td><td>0,005</td><td>-0,035</td></tr><tr><td>-0,324</td><td>-0,457</td><td>-0,048</td><td>0,365</td></tr></table>	0,211	0,297	0,031	-0,238	0,297	0,419	0,044	-0,335	0,031	0,044	0,005	-0,035	-0,324	-0,457	-0,048	0,365	axaTxm/M2					
140,880	198,660	20,675	-158,857																																					
198,660	280,137	29,155	-224,010																																					
20,675	29,155	3,034	-23,313																																					
-216,523	-305,327	-31,776	244,153																																					
0,211	0,297	0,031	-0,238																																					
0,297	0,419	0,044	-0,335																																					
0,031	0,044	0,005	-0,035																																					
-0,324	-0,457	-0,048	0,365																																					
S1	<table><tr><td>0,974</td><td>-0,068</td><td>-0,101</td><td>-0,089</td></tr><tr><td>-0,068</td><td>0,826</td><td>-0,261</td><td>-0,228</td></tr><tr><td>-0,101</td><td>-0,261</td><td>0,609</td><td>-0,342</td></tr><tr><td>-0,121</td><td>-0,311</td><td>-0,467</td><td>0,591</td></tr></table>	0,974	-0,068	-0,101	-0,089	-0,068	0,826	-0,261	-0,228	-0,101	-0,261	0,609	-0,342	-0,121	-0,311	-0,467	0,591	S2	<table><tr><td>0,763</td><td>-0,365</td><td>-0,132</td><td>0,149</td></tr><tr><td>-0,365</td><td>0,407</td><td>-0,304</td><td>0,107</td></tr><tr><td>-0,132</td><td>-0,304</td><td>0,605</td><td>-0,308</td></tr><tr><td>0,203</td><td>0,146</td><td>-0,419</td><td>0,226</td></tr></table>	0,763	-0,365	-0,132	0,149	-0,365	0,407	-0,304	0,107	-0,132	-0,304	0,605	-0,308	0,203	0,146	-0,419	0,226	S1- (axaTxm/M2)				
0,974	-0,068	-0,101	-0,089																																					
-0,068	0,826	-0,261	-0,228																																					
-0,101	-0,261	0,609	-0,342																																					
-0,121	-0,311	-0,467	0,591																																					
0,763	-0,365	-0,132	0,149																																					
-0,365	0,407	-0,304	0,107																																					
-0,132	-0,304	0,605	-0,308																																					
0,203	0,146	-0,419	0,226																																					
D	<table><tr><td>13,676</td><td>20,309</td><td>21,723</td><td>16,175</td></tr><tr><td>20,309</td><td>48,667</td><td>58,451</td><td>44,506</td></tr><tr><td>21,723</td><td>58,451</td><td>90,404</td><td>74,424</td></tr><tr><td>22,047</td><td>60,662</td><td>101,440</td><td>100,334</td></tr></table>	13,676	20,309	21,723	16,175	20,309	48,667	58,451	44,506	21,723	58,451	90,404	74,424	22,047	60,662	101,440	100,334	D3	<table><tr><td>3,425</td><td>-0,981</td><td>-1,636</td><td>1,173</td></tr><tr><td>-0,981</td><td>1,089</td><td>-0,810</td><td>0,283</td></tr><tr><td>-1,636</td><td>-0,810</td><td>2,805</td><td>-1,540</td></tr><tr><td>1,599</td><td>0,387</td><td>-2,099</td><td>1,194</td></tr></table>	3,425	-0,981	-1,636	1,173	-0,981	1,089	-0,810	0,283	-1,636	-0,810	2,805	-1,540	1,599	0,387	-2,099	1,194	DxS2				
13,676	20,309	21,723	16,175																																					
20,309	48,667	58,451	44,506																																					
21,723	58,451	90,404	74,424																																					
22,047	60,662	101,440	100,334																																					
3,425	-0,981	-1,636	1,173																																					
-0,981	1,089	-0,810	0,283																																					
-1,636	-0,810	2,805	-1,540																																					
1,599	0,387	-2,099	1,194																																					

3. Mod için iterasyon :

<table> <tr><td>3,425</td><td>-0,981</td><td>-1,636</td><td>1,173</td></tr> <tr><td>-0,981</td><td>1,089</td><td>-0,810</td><td>0,283</td></tr> <tr><td>-1,636</td><td>-0,810</td><td>2,805</td><td>-1,540</td></tr> <tr><td>1,599</td><td>0,387</td><td>-2,099</td><td>1,194</td></tr> </table>	3,425	-0,981	-1,636	1,173	-0,981	1,089	-0,810	0,283	-1,636	-0,810	2,805	-1,540	1,599	0,387	-2,099	1,194	1,000	1,981	1,000
3,425	-0,981	-1,636	1,173																
-0,981	1,089	-0,810	0,283																
-1,636	-0,810	2,805	-1,540																
1,599	0,387	-2,099	1,194																
	1,000	-0,418	-0,211																
	1,000	-1,181	-0,596																
	1,000	1,080	0,545																

<table> <tr><td>3,425</td><td>-0,981</td><td>-1,636</td><td>1,173</td></tr> <tr><td>-0,981</td><td>1,089</td><td>-0,810</td><td>0,283</td></tr> <tr><td>-1,636</td><td>-0,810</td><td>2,805</td><td>-1,540</td></tr> <tr><td>1,599</td><td>0,387</td><td>-2,099</td><td>1,194</td></tr> </table>	3,425	-0,981	-1,636	1,173	-0,981	1,089	-0,810	0,283	-1,636	-0,810	2,805	-1,540	1,599	0,387	-2,099	1,194	1,000	5,247	1,000
3,425	-0,981	-1,636	1,173																
-0,981	1,089	-0,810	0,283																
-1,636	-0,810	2,805	-1,540																
1,599	0,387	-2,099	1,194																
	-0,211	-0,573	-0,109																
	-0,596	-3,977	-0,758																
	0,545	3,420	0,652																

<table> <tr><td>3,425</td><td>-0,981</td><td>-1,636</td><td>1,173</td></tr> <tr><td>-0,981</td><td>1,089</td><td>-0,810</td><td>0,283</td></tr> <tr><td>-1,636</td><td>-0,810</td><td>2,805</td><td>-1,540</td></tr> <tr><td>1,599</td><td>0,387</td><td>-2,099</td><td>1,194</td></tr> </table>	3,425	-0,981	-1,636	1,173	-0,981	1,089	-0,810	0,283	-1,636	-0,810	2,805	-1,540	1,599	0,387	-2,099	1,194	1,000	5,536	1,000
3,425	-0,981	-1,636	1,173																
-0,981	1,089	-0,810	0,283																
-1,636	-0,810	2,805	-1,540																
1,599	0,387	-2,099	1,194																
	-0,109	-0,301	-0,054																
	-0,758	-4,677	-0,845																
	0,652	3,926	0,709																

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,692	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,054	-0,155	-0,027
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,845	-5,053	-0,888
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,709	4,197	0,737

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,769	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,027	-0,082	-0,014
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,888	-5,239	-0,908
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,737	4,332	0,751

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,805	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,014	-0,048	-0,008
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,908	-5,328	-0,918
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,751	4,396	0,757

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,822	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,008	-0,032	-0,005
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,918	-5,370	-0,922
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,757	4,426	0,760

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,830	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,005	-0,024	-0,004
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,922	-5,389	-0,924
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,760	4,440	0,762

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,834	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,004	-0,021	-0,004
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,924	-5,397	-0,925
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,762	4,446	0,762

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,836	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,004	-0,019	-0,003
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,925	-5,401	-0,926
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,762	4,449	0,762

3,425	-0,981	-1,636	1,173	1,000	5,836	1,000
-0,981	1,089	-0,810	0,283	-0,003	-0,019	-0,003
-1,636	-0,810	2,805	-1,540	-0,926	-5,403	-0,926
1,599	0,387	-2,099	1,194	0,762	4,451	0,763

X-X Yönünde Kat Kesme Kuvveleri ve Deplasmanlar

1. Mod	2.Mod	3.Mod
$223,922 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 2,569 \\ 3,852 \\ 4,600 \end{bmatrix}$	$20,6424 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1,410 \\ 0,147 \\ -1,537 \end{bmatrix}$	$5,836 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -0,003 \\ -0,926 \\ 0,763 \end{bmatrix}$

1.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_1^2} = 223,922$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{47250}{223,922}} = 14,568 \text{ rad / sn}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{14,568} = 0,4313 \text{ sn}$$

2.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_2^2} = 20,642$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{47250}{20,642}} = 47,843 \text{ rad / sn}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2\pi}{47,843} = 0,1313 \text{ sn}$$

3.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_3^2} = 5,836$$

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{47250}{5,836}} = 89,976 \text{ rad / sn}$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = \frac{2\pi}{89,976} = 0,0698 \text{ sn}$$

	140,880		A1	0,010	
	361,882		Sa1	0,750	
	542,602		L1/M1	0,284	
	475,504		g	9,810	
L1	1520,867				
F1	140,880	0,284	0,750	9,810	294,777
	361,882				757,201
	542,602				1135,339
	475,504				994,944
			Vt		3182,262 KN
u1	0,0099	1,0000			0,0099 m
		2,5687			0,0253 m
		3,8515			0,0380 m
		4,6005			0,0454 m
	140,880		A2	0,001	
	198,660		Sa2	0,595	
	20,675		Alfa	0,301	
	-158,857				
L2	201,358				
F2	140,880	0,301	0,595	9,810	247,961
	198,660				349,659
	20,675				36,390
	-158,857				-279,603
			Vt		354,408 KN
u2	0,0008	1,0000			0,0004 m
		1,4101			0,0006 m
		0,1468			0,0001 m
		-1,5369			-0,0006 m

$$\text{Etkin modal kütle} = \frac{1520,87^2}{5347,83} \cdot \frac{1}{526,03} + \frac{201,358^2}{668,205} = \%93,75 \quad \text{Hesap Yeterlidir.}$$

6.1.2 İzolatörlü durumda açI yöntemi ile statik hesap

6.1.2.1 İzolatörlerin boyutlandırılması

Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY-98) sismik temel izolatörlerinin yapılarda kullanılışı ve boyutlandırması ile ilgili hususlara yer verilmemiştir. Temel izolatörlü bir binanın açI metodu denklem takımlarının oluşturulması için için izolatörlerin rijitliğine ihtiyaç duyulacaktır.

Bu gaye ile UBC-97’de belirtilen statik dizayn yöntem ve tabloları kullanılarak izolatörümüz boyutlandırılacaktır. Dizayn sonunda bulunan taban kesme ve deplasman değerleri, açI metodu ve ETABS ile elde edilen değerlerle kıyaslanacaktır. İzolatör çeşidi olarak yüksek sönümlü kauçuk mesned (HDR) kullanılmış, mekanik özellikler mesned örneklerine uyacak şekilde seçilmiştir.

İzolatör kullanımı sebebiyle temel katında da ayrı bir kat gibi yük analizi gereği doğar. İzolatörü boyutlandırırken ve statik hesap yaparken buna dikkat edilmelidir.

Temel Yük Analizi ;

Radye kalınlığı	30 cm
Mütemadi Kiriş	40 x 80 cm
Dolgu	50 cm (18 KN/m ³)
G_{radye}	$= 0,30 \times 120 \text{ m}^2 \times 25 \text{ KN/m}^3 = 900 \text{ KN}$
$G_{kiriş}$	$= 0,40 \times 0,50 \times 25 \text{ KN/m}^3 \times 76 = 380 \text{ KN}$
G_{dolgu}	$= 3,75 \times 4,75 \times 0,50 \times 18 \text{ KN/m}^3 \times 6 = 960 \text{ KN}$
G_{temel}	$= 2240 \text{ KN}$
Q_{temel}	$= 5 \text{ KN/m}^2 \times 120 \text{ m}^2 = 600 \text{ KN}$
W_{temel}	$= g + n.q = (2240) + 0,3 \times 600 = 2420 \text{ KN}$

Temelde her bir kolona gelen yaklaşık yük hesabı :

$$\begin{aligned}
 \text{Döşemeden} & \quad 5,00 \times 4,00 \times 5,50 \text{ KN/m}^2 = 110 \text{ KN} \\
 \text{Kirişten} & \quad 5,00 \times 3,70 \text{ KN/m} + 4,00 \times 3,70 \text{ KN/m} = 33,3 \text{ KN} \\
 \text{Hareketli} & \quad 5,00 \times 4,00 \times 2,00 \text{ KN/m}^2 = 40 \text{ KN} \\
 W_{Kat} & = 143,33 + 0,3 \times 40 = 155,3 \text{ KN} \\
 4 \text{ Kat} & = 155,30 \times 4 = 621,20
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Temel Kirişi} & \quad 0,80 \times 0,50 \times 25 \text{ KN/m}^3 \times (5,00 + 4,00) = 90 \text{ KN} \\
 \text{Dolgu} & \quad 3,75 \times 4,75 \times 0,50 \times 18 \text{ KN/m}^3 = 160,31 \text{ KN} \\
 \text{Radye} & \quad 3,75 \times 4,75 \times 0,30 \times 25 \text{ KN/m}^3 = 133,59 \text{ KN} \\
 \text{Temelden} & = 90 + 160,31 + 133,59 = 383,90 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Toplam} = 621,20 + 383,90 = 1005,10 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Orta Kolanlarda} & \quad \text{Yaklaşık } 1000 \text{ KN} \\
 \text{Dış Kolonlarda} & \quad \text{Yaklaşık } 560 \text{ KN},
 \end{aligned}$$

UBC-97'ye göre hesap yaparken seçilen zemin cinsi ve sismik bölge, örnek çalışmada kabul edilen zemin cinsi ve deprem bölgesine benzer olmasına dikkat edilmiştir.

Deprem Bölgesi (Sismic Zone Factor)	Zone 3
Zemin Cinsi (Soil Type)	S_E (yumuşak zemin)
Sismik Kaynak Tipi (Sismic Source Type)	A ($M \geq 7,0$) $S_R \geq 5 \text{ mm/yıl}$
Yakınlık Faktörü (Near Sorce Factor)	$\Delta > 15 \text{ km}$ $N_a=1$ $N_v=1$
Sismik Katsayılar	$C_{VD} = 0,84$ $C_{AD} = 0,36$ $C_{VM} = 0,84$ $C_{AM} = 0,36$
Efektif Sönüm	$\beta_{\text{eff}} = 0,15$
Sönüm Azaltma Faktörü	$B = 1,35$ tabloda bulunur.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı $R = 2$ (Betonarme Çerçeve)

Tablolardan alınan değerlerden sonra ilk iş amaç periyodu belirlemektir. Bir ön hesap için bu gereklidir. Üzerine gelen yüke ve konumuna göre iki ayrı kauçuk mesned belirlenmiştir.

Hedef Periyod :

$$T_D = 2,4 \text{ sn} \quad T_M = 2,8 \text{ sn}$$

Kesme Modülleri : (Zorlamaya göre farklılık gösterir)

$$G_a = 0,6 \text{ MPa} \quad G_b = 1,2 \text{ MPa} \quad \gamma_{\max} = 1,50 \text{ iken}$$

$$G_a = 0,8 \text{ MPa} \quad G_b = 1,6 \text{ MPa} \quad \gamma_{\max} = 0,20 \text{ iken}$$

Elastik Modülü :

$$E_c = 2000 \text{ MPa}$$

Minumum Yanal Rijitlikler :

$$K_{D \min} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 \cdot g} = \frac{4\pi^2 \cdot 560}{2,4^2 \cdot 9,81} = 391 \text{ KN/m} \quad \text{a tipi}$$

$$K_{D \min} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 \cdot g} = \frac{4\pi^2 \cdot 1000}{2,4^2 \cdot 9,81} = 699 \text{ KN/m} \quad \text{b tipi}$$

$$K_{M \min} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 \cdot g} = \frac{4\pi^2 \cdot 560}{2,8^2 \cdot 9,81} = 287 \text{ KN/m} \quad \text{a tipi}$$

$$K_{M \min} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 \cdot g} = \frac{4\pi^2 \cdot 1000}{2,8^2 \cdot 9,81} = 513 \text{ KN/m} \quad \text{b tipi}$$

Deplasmanlar :

$$d_D = \frac{g \cdot C_{VD} \cdot T_D}{B \cdot (4\pi^2)} = \frac{9,81 \cdot 0,84 \cdot 2,4}{1,35 \cdot (4\pi^2)} = 0,371 \text{ m}$$

$$d_M = \frac{g \cdot C_{VM} \cdot T_M}{B \cdot (4\pi^2)} = \frac{9,81 \cdot 0,84 \cdot 2,8}{1,35 \cdot (4\pi^2)} = 0,433 \text{ m}$$

$$t = \frac{d_D}{\gamma_{\max}} = \frac{0,371}{1,5} = 0,247 \text{ m} \quad t = 0,25 \text{ m seçildi}$$

$$\text{a tipi} \quad A_a = \frac{K_D \cdot t}{G} = \frac{0,391 \cdot 0,25}{0,6} = 0,1629$$

$$D_a = \left(\frac{4 \cdot A}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot 0,169}{\pi} \right)^{1/2} = 0,455 \text{ m}$$

$$\text{b tipi} \quad A_b = \frac{K_D \cdot t}{G} = \frac{0,699 \cdot 0,25}{1,2} = 0,1456$$

$$D_b = \left(\frac{4 \cdot A}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot 0,1456}{\pi} \right)^{1/2} = 0,43 \text{ m} \quad D_{\text{çap}} = 0,50 \text{ m seçildi}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,50^2}{4} = 0,196 \text{ m}^2$$

Taban Kesme Kuvvetleri :

$$\text{a tipi} \quad K_D = \frac{A \cdot G_a}{t} = \frac{0,196 \cdot 0,6}{0,25} = 0,470 \text{ MN/m} = 470 \text{ KN/m}$$

$$\text{b tipi} \quad K_D = \frac{A \cdot G_b}{t} = \frac{0,196 \cdot 1,2}{0,25} = 0,940 \text{ MN/m} = 940 \text{ KN/m}$$

$$\sum K_D = 10 \times 470 + 2 \times 940 = 6580 \text{ KN/m}$$

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_D \cdot g}} = 2\pi \sqrt{\frac{7600}{6580 \cdot 9,81}} = 2,156 \text{ sn}$$

$$d_D = \frac{g \cdot C_v \cdot T}{B \cdot (4\pi^2)} = \frac{9,81 \cdot 0,84 \cdot 2,156}{1,35 \cdot (4\pi^2)} = 0,333 \text{ m}$$

Temel İzolasyon Elemanlarında Kesme Kuvveti :

$$V_D = \sum K_D \cdot d_D = 6580 \times 0,333 = 2191 \text{ KN}$$

Üst Yapıda Kesme Kuvveti :

$$V_D = \sum K_D \cdot d_D \cdot \left(\frac{B}{R}\right) = 2191 \times 1,35 / 2 = 1479 \text{ KN}$$

Burulma İlave Yer Değiştirmesi :

$$e = 12,00 \times 0,05 = 0,60 \text{ m}$$

$$x = 0,60 + (12,00 / 2) = 6,6 \text{ m}$$

$$d_{Total} = d_D \left[1 + \frac{12 \cdot e \cdot x}{b^2 + d^2} \right] = d_D \left[1 + \frac{12 \cdot 0,60 \cdot 6,60}{12^2 + 10^2} \right] = d_D \cdot 1,195$$

$$d_{Total} = 0,333 \times 1,195 = 0,398 \text{ m}$$

Efektif Dikey Modul :

$$t_0 = D / 50 = 500 / 50 = 10,00 \text{ mm}$$



Şekil 6.6 İzolatör Katmanları

Şekil Faktörü

$$S = \frac{D}{4 \cdot t_0} = \frac{0,50}{4 \cdot 0,010} = 12,50$$

$$G_a = 0,8 \text{ MPa}$$

$$G_b = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{\max} = 0,20 \text{ durumunda}$$

$$\text{a tipi} \quad E_{effv} = \frac{6.G.S^2.E_c}{6.G.S^2 + E_c} = \frac{6.0,80.12,5^2.2000}{6.0,80.12,5^2 + 2000} = 545,45 \text{ MPa}$$

$$\text{b tipi} \quad E_{effv} = \frac{6.G.S^2.E_c}{6.G.S^2 + E_c} = \frac{6.1,60.12,5^2.2000}{6.1,60.12,5^2 + 2000} = 857,14 \text{ MPa}$$

Dikey Periyodun Bulunması :

$$k_\varepsilon = \frac{A.E_c}{t}$$

$$k_\varepsilon = \frac{0,196.(10.545,45 + 2.857,14)}{0,25} = 5620,32 \text{ MN/m}$$

$$\text{Dikey deplasman} \quad \Delta d = \frac{W.t}{A.E_c} = \frac{W}{k_\varepsilon} = \frac{7,6}{5620,32} = 0,00135 \text{ m}$$

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6.S}} = \frac{2,156}{\sqrt{6.12,5}} = 0,7 \text{ sn}$$

Dikey Yükte Kesme :

$$\varepsilon_z = \frac{0,00135}{0,25} = 0,054 \quad \gamma_v = 6.S.\varepsilon_z = 6.1,25.0,054 = 0,405$$

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

$$\text{a tipi} \quad \gamma_s = \frac{0,470.0,333}{0,196.0,60} = 1,33$$

$$\text{b tipi} \quad \gamma_s = \frac{0,940.0,333}{0,196.1,20} = 1,33$$

$$\gamma_{\max} = \gamma_s + \gamma_v = 1,33 + 0,405 = 1,735$$

Maksimum Deplasman Anında Kesit Alanı :

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

$$\sin \theta = \frac{d_D}{D} = \frac{0,333}{0,5} = 0,666$$

$$\theta = 41.76^\circ$$

$$\theta = 0,729^\circ \text{ radyan}$$

$$\cos \theta = 0,746$$

$$A' = 0,196 \left[1 - \frac{2}{\pi} (0,729 + 0,666 \cdot 0,746) \right]$$

$$A' = 0,043$$

Maksimum Dikey Yük Hesabı :

$$W = A' \cdot G \cdot S \cdot \gamma_v$$

$$W_a = 0,043 \times 0,80 \times 12,5 \times 0,405 = 0,174 \text{ MN} < 0,560 \text{ MN}$$

$$W_b = 0,043 \times 1,60 \times 12,5 \times 0,405 = 0,348 \text{ MN} < 1,000 \text{ MN}$$

Burkulma Riski :

Yumuşak Mesnette,

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{A \cdot G \cdot \pi^2 \cdot E_{eff.v} \cdot I}{3 \cdot t^2}}$$

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0,196 \cdot 0,60 \cdot \pi^2 \cdot 545,45 \cdot 0,5^4 \cdot 0,25}{3 \cdot 0,5^2}} = 3,63 \text{ MN}$$

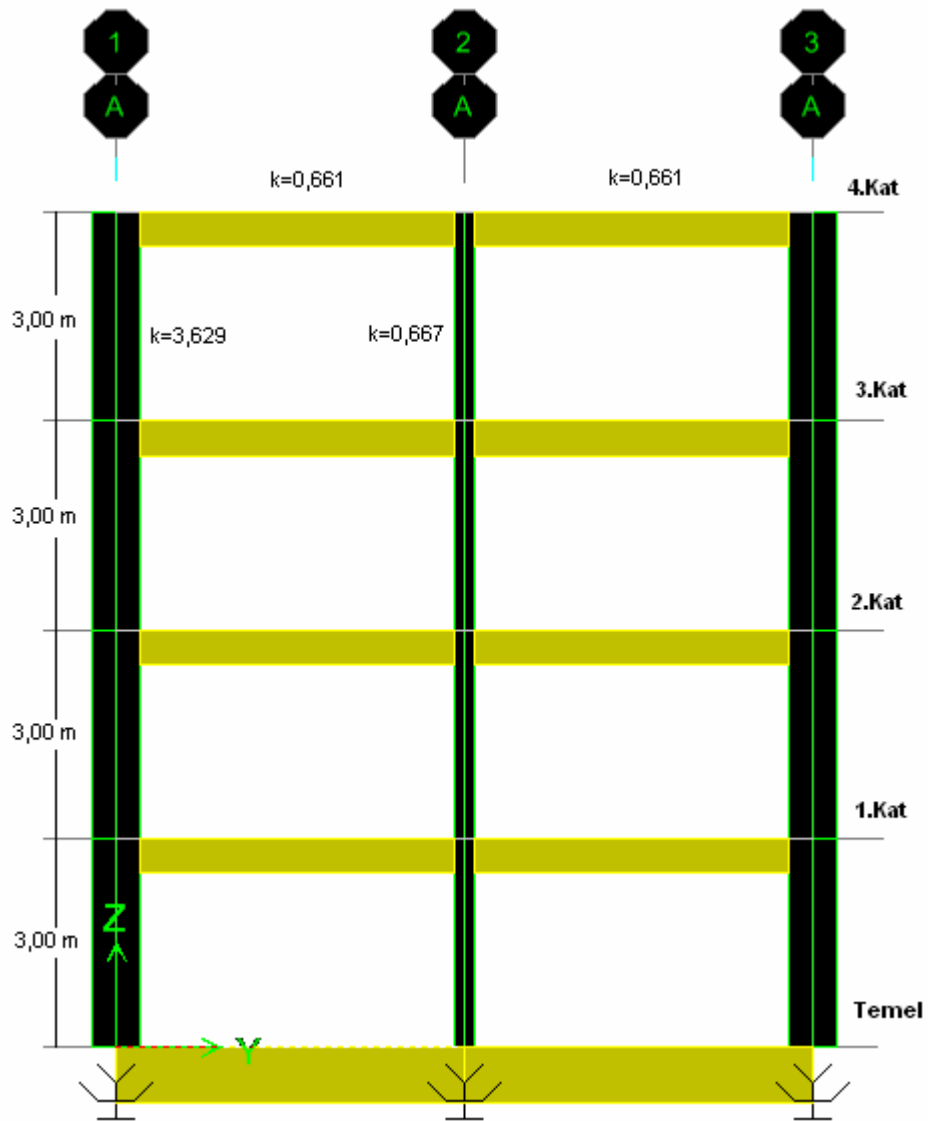
$$P_{cr} = 3,63 > 0,560 \quad \text{uygundur.}$$

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0,196 \cdot 1,20 \cdot \pi^2 \cdot 857,14 \cdot 0,5^4 \cdot 0,25}{3 \cdot 0,5^2}} = 6,44 \text{ MN}$$

$$P_{cr} = 6,44 > 1,00 \quad \text{uygundur}$$

6.1.2.2 Açı yöntemi ile statik hesap

A-A Aksında ;



Şekil 6.7 A-A Aksı Y Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 5 = 0,661$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

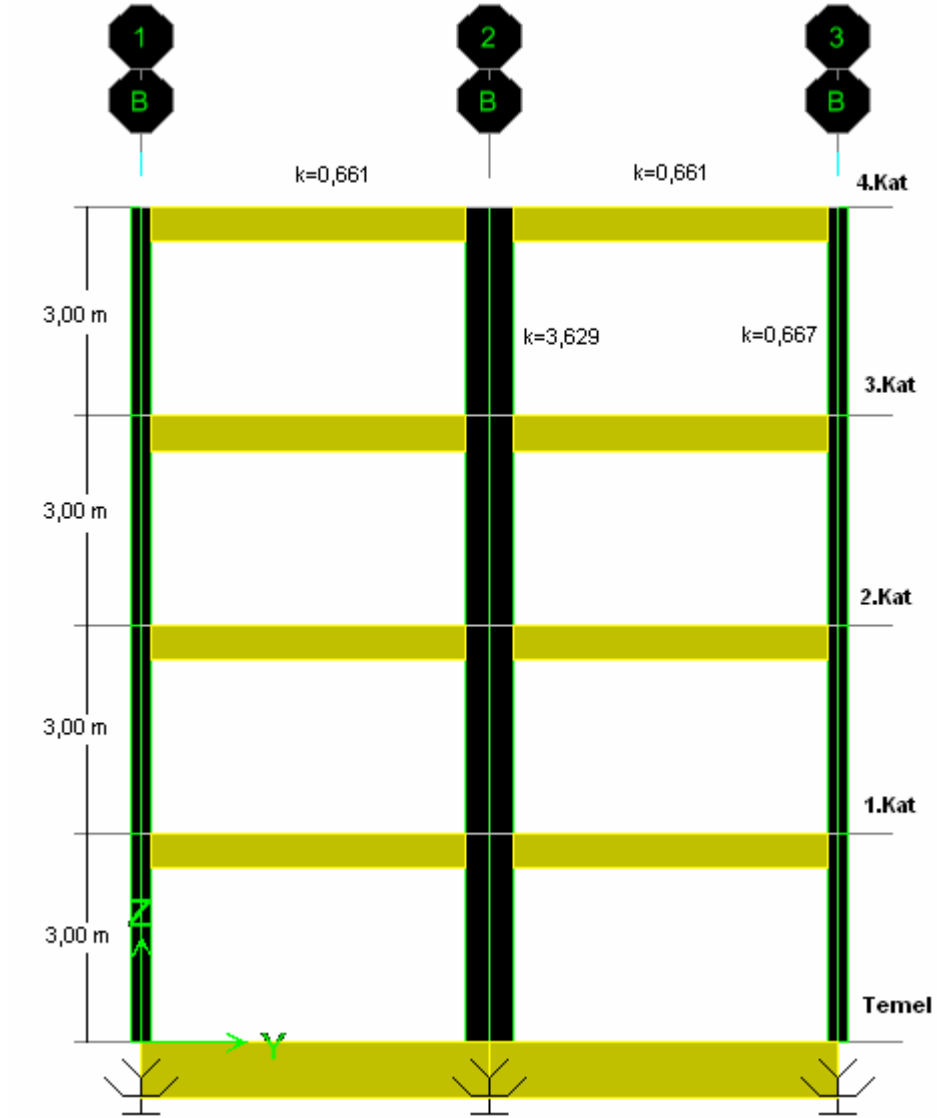
İzolatörlü durum için açılış metodu denklem takımlarını oluştururken tabana bir izolasyon katı eklenmiş, temel seviyesinde düğüm noktalarında dönme değerinin sıfır olduğu kabul edilmiştir. Kauçuk mesnetler, rijitliği kauçuk mesnetlerin yatay rijitliğine eşit bir yay gibi modellenmiştir.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4
M1	15,838	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000	0,000
M2	0,661	5,312	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000	0,000
M3	0,000	0,661	15,838	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000	0,000
M4	3,629	0,000	0,000	15,838	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M5	0,000	0,667	0,000	0,661	5,312	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M6	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	15,838	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M7	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	15,838	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	3,629
M8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	5,312	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,667
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	15,838	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	3,629	0,000	3,629
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	8,580	0,661	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	3,629
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	3,978	0,661	0,000	0,000	0,000	0,667	0,667
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	8,580	0,000	0,000	0,000	3,629	3,629
x1	3,629	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,313	-5,283	0,000	0,000	0,000
x2	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,283	10,567	-5,283	0,000	0,000
x3	-3,629	0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,283	10,567	-5,283	0,000
x4	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	3,629	0,000	0,000	-5,283	10,567	5,283
x5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,667	-3,629	3,629	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	-5,283	5,283

Matris indirgeme yöntemi kullanılarak y yönü A-A Aksı rijitlik matrisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$k = E.I \begin{bmatrix} 3,529 & -4,861 & 1,677 & -0,375 & 0,061 \\ -4,861 & 8,676 & -5,237 & 1,692 & -0,268 \\ 1,677 & -5,237 & 7,012 & -4,555 & 1,103 \\ -0,375 & 1,692 & -4,555 & 5,649 & -2,409 \\ 0,061 & -0,268 & 1,103 & -2,409 & 1,515 \end{bmatrix}$$

B-B Aksında ;



Şekil 6.8 B-B Aksı Y Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 5 = 0,661$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

Buna göre açılış metodu denklem takımları oluşturulur.

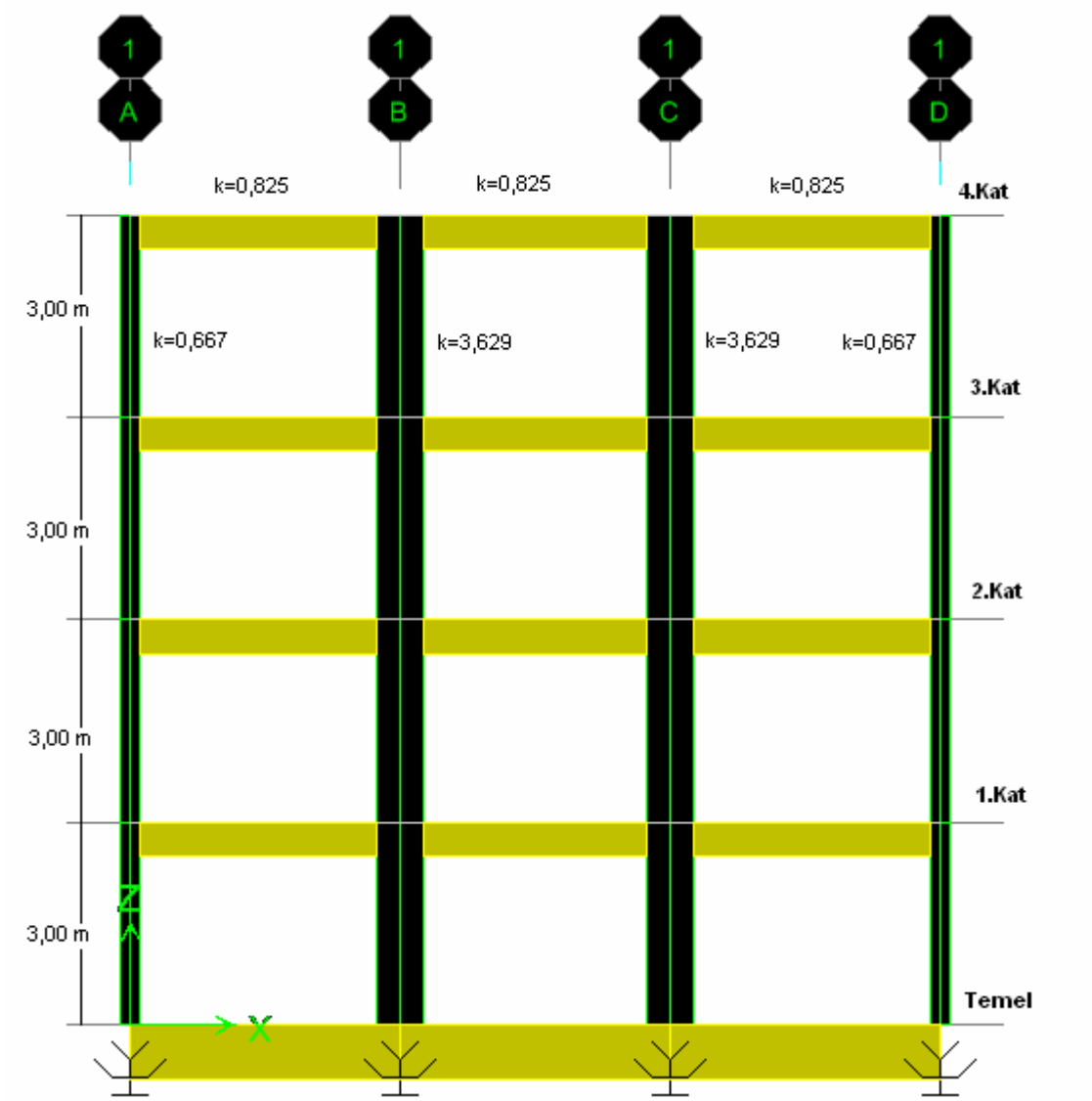
	$\varphi 1$	$\varphi 2$	$\varphi 3$	$\varphi 4$	$\varphi 5$	$\varphi 6$	$\varphi 7$	$\varphi 8$	$\varphi 9$	$\varphi 10$	$\varphi 11$	$\varphi 12$	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4	
M1	3,990	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-	0,667	0,000	0,000
M2	0,661	17,160	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-	3,629	0,000	0,000
M3	0,000	0,661	3,990	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-	0,667	0,000	0,000
M4	0,667	0,000	0,000	3,990	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-	0,667	0,000	0,000
M5	0,000	3,629	0,000	0,661	17,160	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	-	3,629	0,000	0,000
M6	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	3,990	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-	0,667	0,000	0,000
M7	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	3,990	0,661	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,667	0,000	0,667
M8	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	17,160	0,661	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	-	3,629	0,000	3,629
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	3,990	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	-	0,667	0,000	0,667
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	2,656	0,661	0,000	0,000	0,000	-	0,667	0,667	0,667
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,661	4,951	0,661	0,000	0,000	-	3,629	3,629	3,629
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,661	2,656	0,000	0,000	-	0,667	0,667	0,667
x1	0,667	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,349	3,309	-	0,000	0,000	0,000
x2	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,309	6,617	-	3,309	0,000	0,000
x3	0,667	-3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	3,309	-	6,617	3,309	0,000
x4	0,000	0,000	0,000	0,667	-3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	0,667	0,000	0,000	-	3,309	6,617	3,309
x5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-3,629	0,667	0,667	3,629	0,667	0,000	0,000	-	3,309	3,309	3,309

$$k = E.I \begin{bmatrix} 2,404 & -3,123 & 0,902 & -0,156 & 0,012 \\ -3,123 & 5,630 & -3,279 & 0,843 & -0,072 \\ 0,902 & -3,279 & 4,670 & -2,699 & 0,405 \\ -0,156 & 0,843 & -2,699 & 2,727 & -0,716 \\ 0,012 & -0,072 & 0,405 & -0,716 & 0,371 \end{bmatrix}$$

A-A ve B-B akslarından ikiyeşer tane olması sebebiyle yapının y yönünde toplam rijitlik matrisi her iki matrisin iki katının toplanması ile bulunur.

$$K_y = E.I \begin{bmatrix} 11,866 & -15,968 & 5,160 & -1,063 & 0,146 \\ -15,968 & 28,611 & -17,032 & 5,070 & -0,681 \\ 5,160 & -17,032 & 23,365 & 14,508 & 3,016 \\ -1,063 & 5,070 & -14,508 & 16,753 & -6,251 \\ 0,146 & -0,681 & 3,016 & -6,251 & 3,771 \end{bmatrix}$$

1-1 Aksında ;



Şekil 6.9 1-1 Aksı X Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 4 = 0,825$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

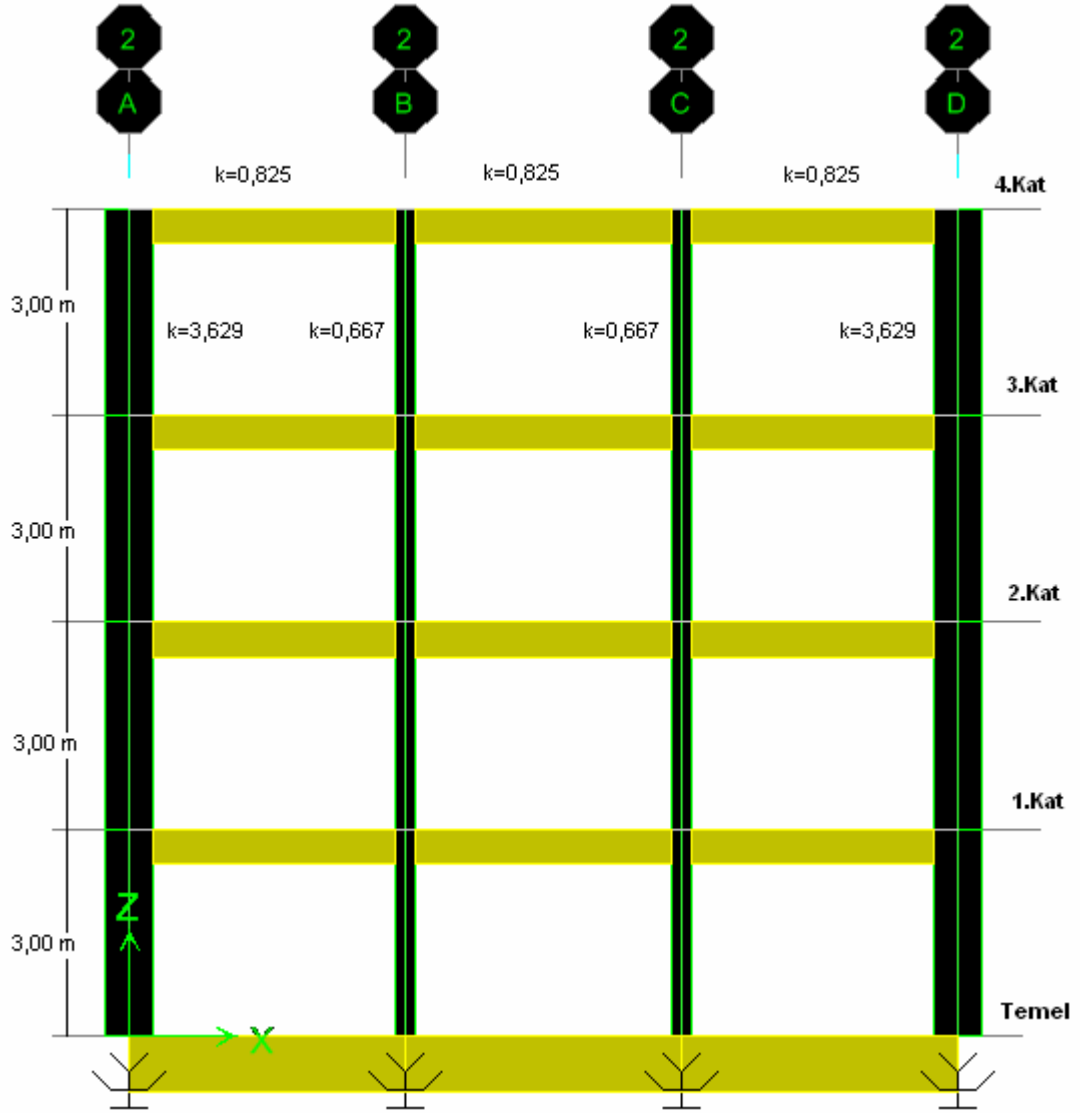
Buna göre açı metodu denklem takımları oluşturulur.

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	φ_{13}	φ_{14}	φ_{15}	φ_{16}	u0	u1	u2	u3	u4
M1	4,318	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000	0,000
M2	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000	0,000
M3	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000	0,000
M4	0,000	0,000	0,825	4,318	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000	0,000
M5	0,667	0,000	0,000	0,000	4,318	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M6	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M7	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M8	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,318	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	4,318	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	17,816	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,318	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667
M13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	2,984	0,825	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-0,667
M14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	10,558	0,825	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	-3,629
M15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	10,558	0,825	0,000	0,000	0,000	3,629	-3,629
M16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,000	0,000	0,000	0,667	-0,667
x1	0,667	3,629	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,768	-5,728	0,000	0,000	0,000
x2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,728	11,456	-5,728	0,000	0,000
x3	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,728	11,456	-5,728	0,000
x4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	3,629	3,629	0,667	0,000	0,000	-5,728	11,456	-5,728
x5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,667	-3,629	-3,629	0,667	0,000	0,000	0,000	-5,728	5,728

Matris indirgeme yöntemi kullanılarak x yönü 1-1 Aksı rijitlik matrisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$k = E.I \begin{bmatrix} 4,179 & -5,427 & 1,529 & -0,283 & 0,041 \\ 5,427 & 9,808 & -5,710 & 1,552 & -0,223 \\ 1,529 & -5,710 & 8,301 & -5,271 & 1,150 \\ -0,283 & 1,552 & -5,271 & 7,424 & -3,422 \\ 0,041 & -0,223 & 1,150 & -3,422 & 2,454 \end{bmatrix}$$

2-2 Aksında ;



Şekil 6.10 2-2 Aksı X Yönü

Kirişlerde; $k = 2 \times 1,65 / 4 = 0,825$

Kolanlarda; $k = 2 \times 5,44 / 3 = 3,629$ $k = 2 \times 1 / 3 = 0,667$

Buna göre açılış metodu denklem takımları oluşturulur.

	φ1	φ2	φ3	φ4	φ5	φ6	φ7	φ8	φ9	φ10	φ11	φ12	φ13	φ14	φ15	φ16	u0	u1	u2	u3	u4
M1	16,166	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000	0,000
M2	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000	0,000
M3	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000	0,000
M4	0,000	0,000	0,825	16,166	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000	0,000
M5	3,629	0,000	0,000	0,000	16,166	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M6	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M7	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667	0,000
M8	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	16,166	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629	0,000
M9	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	16,166	0,825	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667
M11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	2,984	0,825	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	-0,667
M12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	16,166	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	3,629	0,000	-3,629
M13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,000	8,908	0,825	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	-3,629
M14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,634	0,825	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	-0,667
M15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,000	0,825	4,634	0,825	0,000	0,000	0,000	0,667	-0,667
M16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,000	0,000	0,825	8,908	0,000	0,000	0,000	3,629	-3,629
x1	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,788	-5,728	0,000	0,000	0,000
x2	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,728	11,456	-5,728	0,000	0,000
x3	-3,629	0,667	0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,728	11,456	-5,728	0,000
x4	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,667	0,667	-3,629	0,000	0,000	0,000	0,000	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	-5,728	11,456	-5,728
x5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,629	0,667	0,667	-3,629	3,629	0,667	0,667	3,629	0,000	0,000	0,000	-5,728	5,728

Matris indirgeme yöntemi kullanılarak x yönü 2-2 Aksı rijitlik matrisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$k = E.I \begin{bmatrix} 3,948 & -5,321 & 1,744 & -0,368 & 0,057 \\ -5,321 & 9,520 & -5,690 & 1,761 & 0,270 \\ 1,744 & -5,690 & 7,795 & -5,052 & 1,202 \\ -0,368 & 1,761 & -5,052 & 6,653 & -2,904 \\ 0,057 & -0,270 & 1,202 & -2,904 & 1,915 \end{bmatrix}$$

1-1 Aksının 3-3 Aksının ikizi olduğundan yapının x yönünde toplam rijitlik matrisi 1-1 aksı matrisinin iki katının, 2-2 aksı matrisi ile toplanarak bulunur.

$$K_x = E.I \begin{bmatrix} 12,306 & -16,175 & 4,802 & -0,933 & 0,139 \\ -16,175 & 29,135 & -17,109 & 4,865 & -0,716 \\ 4,802 & -17,109 & 24,398 & -15,594 & 3,503 \\ -0,933 & 4,865 & -15,594 & 21,411 & -9,749 \\ 0,139 & -0,716 & 3,503 & -9,749 & 6,823 \end{bmatrix}$$

Yük analizi sonucu elde ettiğimiz Kütle Matrisi ;

$$m = \begin{bmatrix} 246,68 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 140,88 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 140,88 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 140,88 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 103,36 \end{bmatrix}$$

Y Yönü Dinamik Matrisi :

$$D_y = \begin{bmatrix} 1762 & 1006,29 & 1006,29 & 1006,29 & 738,29 \\ 1762 & 1021,16 & 1029,52 & 1031,69 & 757,52 \\ 1762 & 1029,52 & 1063,28 & 1076,77 & 793,66 \\ 1762 & 1031,69 & 1076,77 & 1117,57 & 835,64 \\ 1762 & 1032,5 & 1081,75 & 1138,99 & 886,29 \end{bmatrix}$$

1. Mod iterasyonla bulunur ;

1762,000	1006,286	1006,286	1006,286	738,286	1,000	5519,143	1,000
1762,000	1021,164	1029,520	1031,686	757,519	1,000	5601,889	1,015
1762,000	1029,520	1063,279	1076,773	793,655	1,000	5725,227	1,037
1762,000	1031,686	1076,773	1117,568	835,644	1,000	5823,672	1,055
1762,000	1032,500	1081,755	1138,986	886,292	1,000	5901,532	1,069

1762,000	1006,286	1006,286	1006,286	738,286	1,000	5678,479	1,000
1762,000	1021,164	1029,520	1031,686	757,519	1,015	5765,050	1,015
1762,000	1029,520	1063,279	1076,773	793,655	1,037	5894,766	1,038
1762,000	1031,686	1076,773	1117,568	835,644	1,055	5998,906	1,056
1762,000	1032,500	1081,755	1138,986	886,292	1,069	6081,656	1,071

1762,000	1006,286	1006,286	1006,286	738,286	1,000	5682,014	1,000
1762,000	1021,164	1029,520	1031,686	757,519	1,015	5768,671	1,015
1762,000	1029,520	1063,279	1076,773	793,655	1,038	5898,532	1,038
1762,000	1031,686	1076,773	1117,568	835,644	1,056	6002,807	1,056
1762,000	1032,500	1081,755	1138,986	886,292	1,071	6085,674	1,071

1762,000	1006,286	1006,286	1006,286	738,286	1,000	5682,097	1,000
1762,000	1021,164	1029,520	1031,686	757,519	1,015	5768,755	1,015
1762,000	1029,520	1063,279	1076,773	793,655	1,038	5898,620	1,038
1762,000	1031,686	1076,773	1117,568	835,644	1,056	6002,898	1,056
1762,000	1032,500	1081,755	1138,986	886,292	1,071	6085,768	1,071

1762,000	1006,286	1006,286	1006,286	738,286	1,000	5682,099	1,000
1762,000	1021,164	1029,520	1031,686	757,519	1,015	5768,757	1,015
1762,000	1029,520	1063,279	1076,773	793,655	1,038	5898,622	1,038
1762,000	1031,686	1076,773	1117,568	835,644	1,056	6002,900	1,056
1762,000	1032,500	1081,755	1138,986	886,292	1,071	6085,770	1,071

1,000	246,680	0,000	0,000	0,000	0,000	246,680
1,015	0,000	140,880	0,000	0,000	0,000	145,210
1,038	0,000	0,000	140,880	0,000	0,000	151,821
1,056	0,000	0,000	0,000	140,880	0,000	157,237
1,071	0,000	0,000	0,000	0,000	103,360	118,568

M1 819,516

1,000	1,000	1,015	1,038	1,056	1,071	axaT
1,015	1,015	1,031	1,054	1,073	1,087	
1,038	1,038	1,054	1,078	1,097	1,112	
1,056	1,056	1,073	1,097	1,116	1,132	
1,071	1,071	1,087	1,112	1,132	1,147	

246,680	143,029	146,248	148,834	110,703	0,301	0,175	0,178	0,182	0,135	axaTxm/M1
250,442	145,210	148,479	151,104	112,391	0,306	0,177	0,181	0,184	0,137	
256,080	148,479	151,821	154,505	114,921	0,312	0,181	0,185	0,189	0,140	
260,607	151,104	154,505	157,237	116,953	0,318	0,184	0,189	0,192	0,143	
264,205	153,190	156,638	159,407	118,568	0,322	0,187	0,191	0,195	0,145	

I	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,699	-0,175	-0,178	-0,182	-0,135	I- (axaTxm/M1) S1
	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	-0,306	0,823	-0,181	-0,184	-0,137	
	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	-0,312	-0,181	0,815	-0,189	-0,140	
	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	-0,318	-0,184	-0,189	0,808	-0,143	
	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	-0,322	-0,187	-0,191	-0,195	0,855	

D	1762,000	1006,286	1006,286	1006,286	738,286	51,649	14,600	-7,725	-	-	DxS1
	1762,000	1021,164	1029,520	1031,686	757,519	25,564	14,354	0,044	15,989	21,744	
	1762,000	1029,520	1063,279	1076,773	793,655	-13,526	0,044	10,628	5,513	-3,150	
	1762,000	1031,686	1076,773	1117,568	835,644	-44,915	15,989	5,513	27,370	24,752	
	1762,000	1032,500	1081,755	1138,986	886,292	-69,859	29,638	-4,294	33,738	64,205	

2. Mod iterasyonla bulunur ;

51,649	14,600	-7,725	-25,651	-29,271	1,000	3,602	1,000
25,564	14,354	0,044	-15,989	-21,744	1,000	2,229	0,619
-13,526	0,044	10,628	5,513	-3,150	1,000	-0,491	-0,136
-44,915	-15,989	5,513	27,370	24,752	1,000	-3,268	-0,907
-69,859	-29,638	-4,294	33,738	64,205	1,000	-5,848	-1,624

51,649	14,600	-7,725	-25,651	-29,271	1,000	132,540	1,000
25,564	14,354	0,044	-15,989	-21,744	0,619	84,255	0,636
-13,526	0,044	10,628	5,513	-3,150	-0,136	-14,833	-0,112
-44,915	-15,989	5,513	27,370	24,752	-0,907	-120,586	-0,910
-69,859	-29,638	-4,294	33,738	64,205	-1,624	-222,480	-1,679

51,649	14,600	-7,725	-25,651	-29,271	1,000	134,267	1,000
25,564	14,354	0,044	-15,989	-21,744	0,636	85,730	0,639
-13,526	0,044	10,628	5,513	-3,150	-0,112	-14,415	-0,107
-44,915	-15,989	5,513	27,370	24,752	-0,910	-122,146	-0,910
-69,859	-29,638	-4,294	33,738	64,205	-1,679	-226,689	-1,688

51,649	14,600	-7,725	-25,651	-29,271	1,000	134,556	1,000
25,564	14,354	0,044	-15,989	-21,744	0,639	85,982	0,639
-13,526	0,044	10,628	5,513	-3,150	-0,107	-14,335	-0,107
-44,915	-15,989	5,513	27,370	24,752	-0,910	-122,405	-0,910
-69,859	-29,638	-4,294	33,738	64,205	-1,688	-227,415	-1,690

51,649	14,600	-7,725	-25,651	-29,271	1,000	134,608	1,000
25,564	14,354	0,044	-15,989	-21,744	0,639	86,027	0,639
-13,526	0,044	10,628	5,513	-3,150	-0,107	-14,321	-0,106
-44,915	-15,989	5,513	27,370	24,752	-0,910	-122,452	-0,910
-69,859	-29,638	-4,294	33,738	64,205	-1,690	-227,546	-1,690

İzolatörlü yapılarda etkin mod, 1.Mod'dur. Modal katılım çok düşük olduğu için
3. Mod hesaplanmamıştır.

Y-Y Yönünde Kat Kesme Kuvveleri ve Deplasmanlar

1. Mod	2.Mod	3.Mod
$5682,10 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1,015 \\ 1,038 \\ 1,056 \\ 1,071 \end{bmatrix}$	$134,608 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0,639 \\ -0,106 \\ -0,910 \\ -1,690 \end{bmatrix}$	$24,3603 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -0,408 \\ -1,862 \\ -0,988 \\ 2,087 \end{bmatrix}$

1.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_1^2} = 5682,10$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{47250}{5682,10}} = 2,884 \text{ rad / sn}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{2,884} = 2,179 \text{ sn}$$

2.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_2^2} = 134,608$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{47250}{134,608}} = 18,735 \text{ rad / sn}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2\pi}{18,735} = 0,335 \text{ sn}$$

3.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_3^2} = 24,36$$

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{47250}{24,36}} = 44,041 \text{ rad / sn}$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = \frac{2\pi}{44,041} = 0,143 \text{ sn}$$

246,680	A1	0,423
143,029	Sa1	0,370
146,248	L1/M1	0,971
148,834	g	9,81
110,703		
L1 795,494		

F1	246,680	0,971	0,370	9,810	868,191
	143,029				503,390
	146,248				514,722
	148,834				523,821
	110,703				389,620
				Vt	2799,744
u1	0,423	1,000			0,423 m
		1,015			0,429 m
		1,038			0,439 m
		1,056			0,447 m
		1,071			0,453 m

$$\text{Etkin modal kütle} = \frac{795,494^2}{819,516} \cdot \frac{1}{772,71} = \%99,93 \quad \text{Hesap Yeterlidir.}$$

X Yönü Dinamik Matrisi :

$$D_x = \begin{bmatrix} 1765,78 & 1008,44 & 1008,44 & 1008,44 & 739,87 \\ 1765,78 & 1022,12 & 1028,76 & 1030,17 & 756,05 \\ 1765,78 & 1028,76 & 1057,11 & 1066,90 & 784,38 \\ 1765,78 & 1030,17 & 1066,90 & 1098,85 & 814,30 \\ 1765,78 & 1030,49 & 1069,11 & 1109,89 & 840,21 \end{bmatrix}$$

1. Mod iterasyonla bulunur ;

1765,784	1008,447	1008,447	1008,447	739,871	1,000	5530,995	1,000
1765,784	1022,123	1028,756	1030,169	756,046	1,000	5602,878	1,013
1765,784	1028,756	1057,113	1066,898	784,378	1,000	5702,929	1,031
1765,784	1030,169	1066,898	1098,850	814,295	1,000	5775,997	1,044
1765,784	1030,493	1069,109	1109,887	840,205	1,000	5815,478	1,051

1765,784	1008,447	1008,447	1008,447	739,871	1,000	5658,174	1,000
1765,784	1022,123	1028,756	1030,169	756,046	1,013	5732,661	1,013
1765,784	1028,756	1057,113	1066,898	784,378	1,031	5836,763	1,032
1765,784	1030,169	1066,898	1098,850	814,295	1,044	5913,108	1,045
1765,784	1030,493	1069,109	1109,887	840,205	1,051	5954,484	1,052

1765,784	1008,447	1008,447	1008,447	739,871	1,000	5660,282	1,000
1765,784	1022,123	1028,756	1030,169	756,046	1,013	5734,813	1,013
1765,784	1028,756	1057,113	1066,898	784,378	1,032	5838,984	1,032
1765,784	1030,169	1066,898	1098,850	814,295	1,045	5915,386	1,045
1765,784	1030,493	1069,109	1109,887	840,205	1,052	5956,795	1,052

1765,784	1008,447	1008,447	1008,447	739,871	1,000	5660,319	1,000
1765,784	1022,123	1028,756	1030,169	756,046	1,013	5734,850	1,013
1765,784	1028,756	1057,113	1066,898	784,378	1,032	5839,023	1,032
1765,784	1030,169	1066,898	1098,850	814,295	1,045	5915,425	1,045
1765,784	1030,493	1069,109	1109,887	840,205	1,052	5956,835	1,052

1765,784	1008,447	1008,447	1008,447	739,871	1,000	5660,320	1,000
1765,784	1022,123	1028,756	1030,169	756,046	1,013	5734,851	1,013
1765,784	1028,756	1057,113	1066,898	784,378	1,032	5839,023	1,032
1765,784	1030,169	1066,898	1098,850	814,295	1,045	5915,426	1,045
1765,784	1030,493	1069,109	1109,887	840,205	1,052	5956,836	1,052

1,000	246,680	0,000	0,000	0,000	0,000	246,680
1,013	0,000	140,880	0,000	0,000	0,000	144,614
1,032	0,000	0,000	140,880	0,000	0,000	149,916
1,045	0,000	0,000	0,000	140,880	0,000	153,865
1,052	0,000	0,000	0,000	0,000	103,360	114,473

M1 809,548

1,000						1,000	1,013	1,032	1,045	1,052	axaT
1,013						1,013	1,027	1,045	1,059	1,066	
1,032						1,032	1,045	1,064	1,078	1,086	
1,045						1,045	1,059	1,078	1,092	1,100	
1,052	1,000	1,013	1,032	1,045	1,052	1,052	1,066	1,086	1,100	1,108	

246,680	142,735	145,328	147,229	108,775	0,305	0,176	0,180	0,182	0,134	axaTxm/M1
249,928	144,614	147,241	149,168	110,207	0,309	0,179	0,182	0,184	0,136	
254,468	147,241	149,916	151,878	112,209	0,314	0,182	0,185	0,188	0,139	
257,798	149,168	151,878	153,865	113,677	0,318	0,184	0,188	0,190	0,140	
259,602	150,212	152,941	154,942	114,473	0,321	0,186	0,189	0,191	0,141	

	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,695	-0,176	-0,180	-0,182	-0,134	I- (axaTxm/M1) S1
I	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	-0,309	0,821	-0,182	-0,184	-0,136	
	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	-0,314	-0,182	0,815	-0,188	-0,139	
	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	-0,318	-0,184	-0,188	0,810	-0,140	
	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	-0,321	-0,186	-0,189	-0,191	0,859	

	1765,784	1008,447	1008,447	1008,447	739,871	41,009	10,451	-7,678	-20,974	-20,675	DxS1
D	1765,784	1022,123	1028,756	1030,169	756,046	18,299	10,986	-0,748	12,806	14,514	
	1765,784	1028,756	1057,113	1066,898	784,378	-13,444	-0,748	8,908	4,978	-0,180	
	1765,784	1030,169	1066,898	1098,850	814,295	-36,725	12,806	4,978	23,035	19,472	
	1765,784	1030,493	1069,109	1109,887	840,205	-49,343	19,783	-0,245	26,540	39,817	

2. Mod iterasyonla bulunur ;

41,009	10,451	-7,678	-20,974	-20,675	1,000	2,134	1,000
18,299	10,986	-0,748	-12,806	-14,514	1,000	1,217	0,570
-13,444	-0,748	8,908	4,978	-0,180	1,000	-0,486	-0,228
-36,725	-12,806	4,978	23,035	19,472	1,000	-2,046	-0,959
-49,343	-19,783	-0,245	26,540	39,817	1,000	-3,013	-1,412

41,009	10,451	-7,678	-20,974	-20,675	1,000	98,036	1,000
18,299	10,986	-0,748	-12,806	-14,514	0,570	57,517	0,587
-13,444	-0,748	8,908	4,978	-0,180	-0,228	-20,419	-0,208
-36,725	-12,806	4,978	23,035	19,472	-0,959	-94,757	-0,967
-49,343	-19,783	-0,245	26,540	39,817	-1,412	-142,263	-1,451

41,009	10,451	-7,678	-20,974	-20,675	1,000	99,014	1,000
18,299	10,986	-0,748	-12,806	-14,514	0,587	58,340	0,589
-13,444	-0,748	8,908	4,978	-0,180	-0,208	-20,288	-0,205
-36,725	-12,806	4,978	23,035	19,472	-0,967	-95,796	-0,967
-49,343	-19,783	-0,245	26,540	39,817	-1,451	-144,332	-1,458

41,009	10,451	-7,678	-20,974	-20,675	1,000	99,170	1,000
18,299	10,986	-0,748	-12,806	-14,514	0,589	58,472	0,590
-13,444	-0,748	8,908	4,978	-0,180	-0,205	-20,263	-0,204
-36,725	-12,806	4,978	23,035	19,472	-0,967	-95,960	-0,968
-49,343	-19,783	-0,245	26,540	39,817	-1,458	-144,668	-1,459

41,009	10,451	-7,678	-20,974	-20,675	1,000	99,195	1,000
18,299	10,986	-0,748	-12,806	-14,514	0,590	58,494	0,590
-13,444	-0,748	8,908	4,978	-0,180	-0,204	-20,259	-0,204
-36,725	-12,806	4,978	23,035	19,472	-0,968	-95,987	-0,968
-49,343	-19,783	-0,245	26,540	39,817	-1,459	-144,724	-1,459

41,009	10,451	-7,678	-20,974	-20,675	1,000	99,200	1,000
18,299	10,986	-0,748	-12,806	-14,514	0,590	58,497	0,590
-13,444	-0,748	8,908	4,978	-0,180	-0,204	-20,258	-0,204
-36,725	-12,806	4,978	23,035	19,472	-0,968	-95,992	-0,968
-49,343	-19,783	-0,245	26,540	39,817	-1,459	-144,733	-1,459

İzolotörlü yapılarda etkin mod, 1.Mod'dur. Modal katılım çok düşük olduğu için 3. Mod hesaplanmamıştır.

X-X Yönünde Kat Kesme Kuvveleri ve Deplasmanlar

1. Mod	2.Mod	3.Mod
$5660,32 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1,013 \\ 1,032 \\ 1,045 \\ 1,052 \end{bmatrix}$	$99,200 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0,590 \\ -0,204 \\ -0,968 \\ -1,459 \end{bmatrix}$	$16,702 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -0,711 \\ -2,045 \\ -0,530 \\ 2,114 \end{bmatrix}$

1.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_1^2} = 5660,32$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{47250}{5660,32}} = 2,889 \text{ rad / sn}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{2,889} = 2,175 \text{ sn}$$

2.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_2^2} = 99,200$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{47250}{99,200}} = 21,824 \text{ rad / sn}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2\pi}{21,824} = 0,288 \text{ sn}$$

3.Periyod :

$$\frac{EI}{\omega_3^2} = 16,702$$

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{47250}{16,702}} = 53,189 \text{ rad / sn}$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = \frac{2\pi}{53,189} = 0,118 \text{ sn}$$

	246,680		A1	0,425	
	142,735		Sa1	0,370	
	145,328		L1/M1	0,977	
	147,229		g	9,810	
	108,775				
L1	790,747				
F1	246,680	0,977	0,370	9,810	875,057
	142,735				506,329
	145,328				515,526
	147,229				522,272
	108,775				385,860
			Vt		2805,043
u1	0,425	1,000			0,425 m
		1,013			0,431 m
		1,032			0,438 m
		1,045			0,444 m
		1,052			0,447 m

$$\text{Etkin modal kütle} = \frac{790,747^2}{809,548} \cdot \frac{1}{772,71} = \%99,96 \quad \text{Hesap Yeterlidir.}$$

6.1.3 ETABS Analiz programı ile çözüm sonuçları

Etabs analiz programına sistemimiz girilmiştir. Yapıya temel elemanları ilave edilmiş ve hesaplanan kütle simetrik bir şekilde yapıya yüklenmiştir. İzolatörler link elemanlar olarak atanmış ve rijitlikleri verilmiştir. Tek bir efektif rijitlik kabul edildiği için non lineer olarak tanımlamak bir farklılık yaratmamıştır. 2. Derece deprem bölgesinde Zemin sınıfı 4 için %5 sönümlü response spektrum eğrisi tanıtılmış ve dinamik analiz yaptırılarak aşağıdaki sonuçlar alınmıştır. İzolatör için sönüm verilmemiştir.

TABLE: Response Spectrum Modal Information										
OutputCase	ModalCase	Step	Period	DampRatio	U1Acc	U2Acc	U3Acc	U1Amp	U2Amp	U3Amp
Text	Text	Text	Sec	Unitless	m/sec2	m/sec2	m/sec2	m	m	m
Response	MODAL	Mode 1	2,188	0,050	3,615	3,615	0,000	0,000	-12,183	0,000
Response	MODAL	Mode 2	2,181	0,050	3,625	3,625	0,000	-12,136	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 3	1,339	0,050	5,361	5,361	0,000	0,000	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 4	0,334	0,050	7,358	7,358	0,000	0,000	-0,015	0,000
Response	MODAL	Mode 5	0,296	0,050	7,358	7,358	0,000	0,010	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 6	0,162	0,050	6,525	6,525	0,000	0,000	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 7	0,136	0,050	5,953	5,953	0,000	0,000	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 8	0,124	0,050	5,683	5,683	0,000	0,000	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 9	0,075	0,050	4,604	4,604	0,000	0,000	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 10	0,071	0,050	4,514	4,514	0,000	0,000	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 11	0,070	0,050	4,497	4,497	0,000	0,000	0,000	0,000
Response	MODAL	Mode 12	0,051	0,050	4,070	4,070	0,000	0,000	0,000	0,000

Tablo 6.1 Etabs Modal Analiz Çıktıları

TABLE: Element Forces – Links											
Link	LinkElem	Station	OutputCase	CaseType	Step	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	3	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0	0
2	4	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0	0
3	5	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0	0
4	6	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0	0
5	7	J-End	Response	LinRespSpec	Max	399,317	200,004	199,396	0	0	0
6	1	J-End	Response	LinRespSpec	Max	210,553	400,008	398,791	0	0	0
7	2	J-End	Response	LinRespSpec	Max	210,553	400,008	398,791	0	0	0
8	8	J-End	Response	LinRespSpec	Max	399,317	200,004	199,396	0	0	0
9	12	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0	0
10	11	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0	0
11	10	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0	0
12	9	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0	0
Vt						2800,06	2791,54				

Tablo 6.2 Tanımlanmış Spektrumda Taban Kesme Kuvvetleri

TABLE: Element Deformations - Links										
Link	LinkElem	OutputCase	CaseType	Step	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	Text	m	m	M	Radians	Radians	Radians
1	3	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,001	0,000
2	4	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,000	0,000
3	5	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,000	0,000
4	6	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,001	0,000
5	7	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,000	0,001
6	1	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,001	0,000
7	2	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,001	0,000
8	8	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,000	0,001
9	12	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,001	0,000
10	11	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,000	0,000
11	10	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,000	0,000
12	9	Response	LinRespSpec	Max	0,000	0,425540	0,424246	0,000	0,001	0,000

Tablo 6.3 İzolatörlerde Oluşan Deplasmanlar

6.1.4 Karşılaştırmalar

El hesabı ile yaptığımız analiz sonuçları ve Etabs sonuçlarını bir kaç tabloda karşılaştıralım.

Deplasman Karşılaştırması						
Joint	OutputCase	CaseType	U1-Etabs	U1-EI	U2-Etabs	U2-EI
Text	Text	Text	m		M	
1	Response	LinRespSpec	0,4255	0,425 m	0,4242	0,423 m
2	Response	LinRespSpec	0,4323	0,431 m	0,4326	0,429 m
3	Response	LinRespSpec	0,4404	0,438 m	0,4429	0,439 m
4	Response	LinRespSpec	0,4464	0,444 m	0,4507	0,447 m
5	Response	LinRespSpec	0,4496	0,447 m	0,4552	0,453 m

Tablo 6.4 Deplasman Karşılaştırmaları

Ayrıca UBC-97'ye göre yapılan statik hesapta deplasman 0,333 m bulunmuştur. Etabsta ve elle yapılan hesapta izolator için sönüm verilmediğini hesaba katarsak bu deplasman $B=1,35$ sönüm faktörü ile çarpıldığında;

$$d_D = 1,35 \times 0,333 = 0,449 \text{ m olacaktır.}$$

Taban Kesme Kuvveti Karşılaştırması										
Link	LinkElem	Station	OutputCase	CaseType	Step	P	V2	V3	V2 EI	V3 EI
Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN
1	3	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0
2	4	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0
3	5	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0
4	6	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0
5	7	J-End	Response	LinRespSpec	Max	399,317	200,004	199,396	0	0
6	1	J-End	Response	LinRespSpec	Max	210,553	400,008	398,791	0	0
7	2	J-End	Response	LinRespSpec	Max	210,553	400,008	398,791	0	0
8	8	J-End	Response	LinRespSpec	Max	399,317	200,004	199,396	0	0
9	12	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0
10	11	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0
11	10	J-End	Response	LinRespSpec	Max	371,138	200,004	199,396	0	0
12	9	J-End	Response	LinRespSpec	Max	513,329	200,004	199,396	0	0
						Vt	2800,06	2791,54	2805,043	2799,744

Tablo 6.5 Taban Kesme Kuvveti Karşılaştırmaları

Yine değerlerin birbirine çok yakın oldukları görülmektedir. UBC-97'ye göre yapılan statik hesapta Taban Kesme Kuvveti 2191 KN bulunmuştur. Etabsta ve elle yapılan hesapta izolatör için sönüm verilmediğini hesaba katarsak, karşılaştırma için bu değeri $B=1,35$ sönüm faktörü ile çarpmamız gerekecektir.

$$V_D = 1,35 \times 2191 = 2957,85 \text{ KN olacaktır.}$$

Bu sonucunda tabloda verilen değerlere yakın olduğunu göreceğiz. Son olarak modal analiz sonuçlarına bakarsak,

Periyodların Karşılaştırılması				
OutputCase	ModalCase	Step	Period	EI-Periyod
Text	Text	Text	Sec	Sec
Response	MODAL	Mode 1	2,188	2,179
Response	MODAL	Mode 2	2,181	2,175
Response	MODAL	Mode 4	0,334	0,335
Response	MODAL	Mode 5	0,296	0,288
Response	MODAL	Mode 7	0,136	0,143
Response	MODAL	Mode 8	0,124	0,118

Tablo 6.6 Periyod Karşılaştırmaları

UBC-97'ye göre yapılan statik hesapta periyod değeri $T=2,156$ sn bulunmuştur.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapıları, engellenemeyen ve kontrol edilemeyen deprem etkilerinden korumak için en doğru yaklaşımın, işlevi zemin-yapı etkileşimini minimize etmek ya da ideal bir anlatımla yapıyı zeminden ayırmak olan temel izolasyonu olduğu tartışılmazdır.

Bu çalışmada ilk etapta çeşitli bina varyasyonları, izolatörlü durumda üç farklı 1) Statik, 2) Response Spektrum, 3) Zaman Tanım Alanı (Time History) analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiş sonuçlara göre karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan çıkarılmış genel sonuçlar sırasıyla,

- a) Statik Analiz, üst yapıyı rijit kabul etmesi sebebiyle en güvenli tarafta kalan yöntemdir. Ancak kullanımı sınırlandırılmıştır.
- b) Response Spektrum Analiz sonuçları, üst yapının esnekliğini de hesaba katması sebebiyle esneklik arttıkça statik analiz sonuçlarından farklılaşmaktadır. Yüksek katlı (8-10) yapılarda bu fark %25'e kadar varır.
- c) Zaman Tanım Alanı analizinde sonuçların üst yapının periyodundan etkilenmediği, ancak statik analiz sonuçlarına göre ortalama %35 farklılaştığı görülmektedir.

Sonra aynı tip bina varyasyonlarında, ankastre ve izolatörlü olma durumları için kuvvet ve ivme dağılımları incelenmiştir. Değerlendirmeden şu sonuçlar çıkarılmıştır.

- a) İzolatörlü yapılarda kesme kuvveti dağılımı, periyod arttıkça ankastre yapılarda görülen üçgen dağılıma doğru yaklaşıp da, genel olarak üniform bir dağılım gösterir.
- b) Kat ivme dağılımları da benzer şekildedir.
- c) İzolatörlü yapılarda kesme kuvvetlerinde, ankastre yapılardaki kesme kuvvetlerine göre 6-8 kat daha düşük değerlere ulaşılmaktadır. (Bu açıklamada "R" yapı davranış katsayısı dikkate alınmamıştır)

- d) İzolatörlü yapılarda kat ivmeleri, yer ivmesinden daha düşük veya yakın değerlerde iken, ankastre yapılarda kat sayısına bağlı olarak 5 kata kadar artabilmektedir.

Son olarak izolasyon sistemlerinin etkilerini hesapla da ispatlamak için 4 katlı bir bina, hem ankastre hem de yüksek sönümlü kauçuk mesnetli olarak modellenmiştir. Her iki yapı türünün statik çözümü açılı yöntemi ile yapılmış ve Vianello-Stadola yöntemiyle etkin modları ve periyod değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerlere göre şu sonuçlar çıkarılmıştır.

- a) İzolatörlü durumda yanal deplasman sebebiyle periyod 0,4 saniye değerinden 2,2 saniyeye kadar artmış, buna bağlı olarak taban kesme kuvveti azalmıştır. Fakat daha önemlisi 1. modun etkinliğinin % 99'a çıktığı ve katlar arası göreceli deplasmanın sıfıra yaklaştığı görülmüştür. Bu sonuç bize kat kuvvet ve ivme dağılımının üniform olacağının ve dolayısıyla dinamik etkilerin sönümlendiğinin bir ispatıdır.
- b) Aynı bina ETABS analiz programında izolatörlü olarak modellenmiş, mod, deplasman ve taban kesme kuvvetlerinde oldukça yakın sonuçlara ulaşılarak açılı yöntemindeki kabullerin doğruluğu ispatlanmıştır.
- c) UBC-97'de verilen tablolardan, benzer zemin ve kuşak şartları seçilerek aynı yapı tekrar bu yönetmeliğe göre çözülmüştür. Bu yöntemle elde edilen taban kesme kuvveti ve periyod değerlerinin açılı yöntemi ve Etabs analiz programı sonuçları uyumlu olduğu görülmüştür.

Ülkemizde nüfusun ve sanayinin yoğun olduğu bölgeler dahil, büyük bir bölüm deprem kuşağındadır. Sayısal değerler ve grafikler yardımıyla etki ve faydalarını görebildiğimiz temel izolasyon sistemlerinin ülkemizde örnekleri çok azdır. Bunun temel nedenleri maliyet ve tecrübe eksikliğidir. Yerli üretim sağlanabilirse uygulamalar artacaktır ve artması gereklidir.

KAYNAKLAR

1. ATEŞ, Ş., *Viskoelastik Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Dinamik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon (1999)
2. CELEP,Z., KUMBASAR,N., *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı* , Beta Dağıtım,İstanbul (2004)
3. CHOPRA, A.K., *Dynamics of structures:Theory and applications to earthquake engineering*, Second Edition, Prentice Hall,Englewood Cliffs (2001)
4. KELLY, T., *Base Isolation of Structures*, Holmes Consulting Group Ltd., New Zealand (2001)
5. NAEİM, F. and J.M. KELLY, *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*, John Wiley & Sons, Inc., New York (1999)
6. TEZCAN Semih, S., CİMİLLİ S., *Sismic Base Isolation*, Yüksek Öğretim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, İstanbul (2002)
7. ULUCA, Ozan, *Reduction of Seismic Response of Buildings By Viscoelastic Dampers*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (1996)