

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MALİYET ANALİZİ

İnşaat Mühendisi Ahmet Tolay

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi	: 15 Haziran 2006
Tez Danışmanı	: Prof. İbrahim Ekiz (YTÜ)
Jüri Üyeleri	: Yrd.Doç.Dr. Sema Noyan Alacalı (YTÜ) Doç.Dr. Turgut Öztürk (İTÜ)

İSTANBUL, 2006

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MALİYET ANALİZİ

İnşaat Mühendisi Ahmet Tolay

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi	: 15 Haziran 2006
Tez Danışmanı	: Prof. İbrahim Ekiz (YTÜ)
Jüri Üyeleri	: Yrd.Doç.Dr. Sema Noyan Alacalı (YTÜ) Doç.Dr. Turgut Öztürk (İTÜ)

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. DEPREMİN TANIMI VE OLUŞUMU	3
2.1 Deprem Yeryüzünde Neden Olduğu Etkiler	5
2.2 Türkiye'nin Deprem Özellikleri	6
3. SİSMİK YAPI YALITIMI	12
4. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA SİSMİK YALITIM	14
4.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yaklaşımı	14
4.2 Sismik Yalıtımlı Yapı Tasarımı.....	15
4.3 Sismik Yapı Yalıtımın Sağladığı Teknik Avantajlar.....	17
4.4 Sismik Yapı Yalıtımın Kullanım Alanları.....	19
5. SİSMİK YALITIM CİHAZLARI TİPLERİ VE METODLARI	22
5.1 Kauçuk Esaslı Sismik İzolatörler	22
5.1.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk İzolatörler (LDRB) :	24
5.1.2 Kurşun Çekirdekli İzolatörler (LRB)	25
5.1.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk Sismik İzolatörler (HDRB).....	26
5.2 Sürtünme Esaslı Sismik İzolatörler	28
6. TABAN İZOLATÖRLERİNİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ VE MODELLENMESİ.....	32
6.1 Giriş	32
6.2 Kauçuk Esaslı İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri	32
6.3 Kurşun Çekirdekli Tabakalı Kauçuk İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri	38
6.4 Sürtünme Esaslı Sismik İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri.....	40
7. TABAN YALITIMIN TEORİK ESASLARI.....	43

7.1	Lineer Teori	43
7.2	Teorinin Bina Tipi Yapılarda Uygulanması	50
7.3	Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modal Analizleri	51
8.	MODELLEME YAPILMASI	55
8.1	Model 1	57
8.2	Model 2.....	71
9.	MALİYET KARŞILAŞTIRMALARININ YAPILMASI.....	83
9.1	Yapı İnşaat Maliyetleri	83
9.2	Sismik İzolatör Cihazları Maliyetleri	88
9.3	Ankastre Bir Yapı İle Sismik Yalıtılmış Yapı Maliyet Kıyaslaması.....	90
9.4	Sonuç	91
KAYNAKLAR.....		92
ÖZGEÇMİŞ.....		95

SİMGE LİSTESİ

ω_b	Doğal frekans
ξ_b	Sönüm sabiti
R	Sürtünmeli sarkacın içbükey yüzeyinin eğrilik yarıçapı
g	Yerçekimi ivmesi
k_b, c_b	İzolasyon sisteminin görelî yer değıştirmesi
k_s, c_s	Üst yapının rijitlik ve sönüm değeri
v_b	İzolasyon sisteminin görelî yer değıştirmesi
v_s	Üstyapının görelî kat ötelemesi
u_b	İzolasyon sisteminin mutlak deplasmanı
u_s	Üstyapının mutlak deplasmanı
γ	Taban izolasyon kütlelerinin, sistemin tüm külesine oranı
ω_b	İzolasyon sistemi doğa frekansı
ω_s	Üstyapı doğa frekansı
β_b, β_s	İzolasyon sistemi ve üstyapı için boyutsuz sönüm faktörleri
Φ_b	İzolasyon sistemi mod şekli
Φ_s	Üstyapı mod şekli
ε	Taban izolasyonu ile üstyapının doğa frekansları oranının karesi
λ_1, λ_2	Etkileşim katsayıları
q_1, q_2	Zamana bağı modal katsayılar
M_i	Modal kütle
L_i	Herhangi bir moda ait katılım faktörü
S_D	Davranış spektrumundaki spektral yer değıştirme
C_s	Taban kesme kuvveti katsayısı
S_A	Spektral ivme
r	Serbestlik derecesini yer hareketi ile etkileştiren vektör
F	Atalet kuvveti
K_H	Yatay rijitlik
G	Kayma modülü
A	Kauçuğun enkesit alanı
t_r	Kauçuğun toplam kalınlığı
γ_m	Maksimum kayma şekil değıştirme
D	Yatay yer değıştirme
K_v	Düşey rijitlik
EI	Eğilme rijitliği
E_c	Düşey yük etkisi altında kauçuk ve çelikten oluşan kompozit elemanın elastisite modülü
S	Şekil faktörü
γ_c	Kauçukta basınç etkisi altında meydana gelen kayma şekil değıştirmesi
ε_c	Nominal basınç şekil değıştirmesi
Δ	Basınç etkisi altında meydana gelen kısalma miktarı
α	İzolator alt ve üst levhaları arasındaki rölatif açı
ρ	Eğrilik yarıçapı
t	Tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı
ε_b	Eğilme nedeniyle oluşan kenar basınç şekil değıştirmesi
Q	Karakteristik dayanım

K_{eff}	Efektif rijitlik
K_1	Elastik rijitlik
K_2	Akma sonrası rijitlik
D_y	Akma yer değıştirmesi
μ	Sürtünme katsayısı
W	Taşınan yük
F	Sistemde meydana gelen tepki kuvveti
sgn	İşaret fonksiyonu
T	İzolasyonlu yapı periyodu
$\dot{D}$	Kayma hızı
δ_v	Düşey yer değıştirme
K_X, K_Y	Boyuna ve enine rijitlikler
K_R	Dönme rijitliği
C_X, C_Y	Boyuna ve enine ötelenme sönüm katsayıları
C_R	Dönme sönüm katsayısı
θ	Kaymanın doğrultusunu veren açı
Z_X, Z_Y	Histerik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerler
Y	Akma yer değıştirmesi
A, γ, β	Histerik döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitler
F_x	İzolatörün hareketi halinde x yönünde oluşacak kuvvet
F_y	İzolatörün hareketi halinde y yönünde oluşacak kuvvet
U_x	X doğrultusundaki yer değıştirme
U_y	Y doğrultusundaki yer değıştirme
N	İzolatör üzerindeki eksenel yük
f_{max}, f_{min}	Sürtünme kuvvetinin maksimum ve minimum değerleri
a	Sürtünme katsayısının maksimum ve minimum değerleri arasındaki geçişi kontrol eden bir katsayı
f_{u1}, f_{u2}, f_{u3}	İç yay kuvvetleri
f_{r1}, f_{r2}, f_{r3}	Yay momentleri
P, V_2, V_3	Eleman iç kuvvetleri
T, M_2, M_3	İç momentler
z_2 ve z_3	İç histerik değışkenler
D_T	Toplam tasarım yer değıştirmesi
D_{TM}	Toplam maksimum yer değıştirme
C_{VD}, C_{VM}	Sismik katsayılar
Z	Sismik bölge faktörü
N_a, N_v	Kaynak yakınlık faktörü
R_1	Yapısal sistem azaltma faktörü

KISALTMA LİSTESİ

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’1998 Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
KAF	Kuzey Anadolu Fay Hattı
MRPRA	Malezyalı kauçuk üreticileri birliği
SAP2000	Yapısal Analiz Programı (Structural Analysis Program)
STA4CAD	Yapısal Analiz Programı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dünyanın önemli deprem kuşakları (Türkiye Deprem Vakfı, 1999)	6
Şekil 2.2 Türkiye ve çevresinin levha tektoniği modeli (http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/).....	7
Şekil 2.3 Türkiye ve çevresindeki önemli fay hatları (http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/).....	8
Şekil 2.4 1996 yılında hazırlanan deprem bölgeleri haritası (Türkiye Deprem Vakfı, 1996)....	9
Şekil 4.2 Normal bir yapıda deprem yüklemesi durumunda yapının kolon kiriş birleşimindeki zorlanmalardan dolayı oluşan hasar (www.dis-inc.com)	16
Şekil 4.3 Sismik olarak yalıtılmış bir yapıda ise kolon kiriş birleşimindeki zorlanmalar minimum olacaktır. (www.dis-inc.com).....	16
Şekil 4.4 Yapının temel titreşim periyodun uzatılarak yapının yüksek deprem enerjisi bulunan periyot aralığından uzaklaştırılması (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)	17
Şekil 4.5 Normal bir yapı ile sismik yalıtımlı yapının kat deplasmanları (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999).....	18
Şekil 5.1 Kauçuk esaslı sismik izolatör kesiti (www.alga.it)	22
Şekil 5.2 Kauçuk esaslı sismik izolatörün yapıda düşey yerleşimi (www.dis-inc.com)	23
Şekil 5.3 Kauçuk esaslı sismik izolatörün test sırasında çekilmiş bir fotoğrafı (www.dis-inc.com)	23
Şekil 5.4 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk esaslı sismik izolatörün tipik kesiti (Uludağ, 2005)	24
Şekil 5.5 Kauçuk esaslı sismik izolatörde bulunan çelik levhaların şematik olarak benzetimine ait bir resim (www.dis-inc.com).....	24
Şekil 5.6 Kurşun Çekirdekli Sismik İzolatörün tipik kesiti (Uludağ, 2005)	26
Şekil 5.7 Sürtünme esaslı sismik izolatörlerin teorik esaslarını anlatan, kinematik ve potansiyel enerji değişimlerini anlatan bir şema (www.earthquakeprotection.com).....	28
Şekil 5.8 Sürtünme esaslı sismik izolatörlerin uygulama sırasında çekilmiş fotoğrafları (www.earthquakeprotection.com).....	28
Şekil 5.9 Sürtünme esaslı sismik izolatörlerin tipik kesiti (Uludağ, 2005)	30
Şekil 6.1 Basınç modülü E_c 'nin, izolatör geometrisine bağlı olarak azalma grafiği (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999).....	35
Şekil 6.2 Salt eğilme etkisi altında olan rijit tabakalar arasındaki kauçuk izolatör (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999).....	37
Şekil 6.3 Kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisi üzerindeki temel parametreler (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999).....	39
Şekil 6.4 Sürtünme esaslı sismik izolatör sisteminin serbest cisim diyagramı ve temel parametreleri (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)	41
Şekil 7.1 İzole edilmiş binanın şematik çizimi (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)	43
Şekil 8.1 Hesap modelinin normal kat kalıp planı (Model 1)	58
Şekil 8.2 Ankastre yapının A aksı moment diyagramı (+X Deprem)	61
Şekil 8.3 Sismik izolatörlü yapının A aksı moment diyagramı (+X Deprem)	62
Şekil 8.4 Ankastre yapının 1 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)	63
Şekil 8.5 Sismik izolatörlü yapının 1 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)	64
Şekil 8.6 Model1'in Sap2000 Hesap modeli	65
Şekil 8.7 Model1 ankastre çözümünün Sap2000 ile Time History analizine göre deplasman grafiği	66
Şekil 8.8 Model1 ankastre çözümünün Sap2000 ile Time History analizine göre A aksının moment diyagramı (+X)	67
Şekil 8.9 Model1 ankastre çözümünün Sap2000 ile Time History analizine göre 1 aksının	

moment diyagramı (+Y)	68
Şekil 8.11 Ankastre yapının C aksı moment diyagramı (+X Deprem)	74
Şekil 8.12 Ankastre yapının F aksı moment diyagramı (+X Deprem).....	75
Şekil 8.13 Ankastre yapının 2 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)	76
Şekil 8.14 Sismik izolatörlü yapının C aksı moment diyagramı (+X Deprem)	77
Şekil 8.15 Sismik izolatörlü yapının F aksı moment diyagramı (+X Deprem).....	78
Şekil 8.16 Sismik izolatörlü yapının 2 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)	79
Şekil 8.17 F aksı K116 kirişine ait katlarda ki donatı değişimini gösteren grafik	81
Şekil 8.18 F aksı K117 kirişine ait katlarda ki donatı değişimini gösteren grafik	81
Şekil 8.19 F aksı K118 kirişine ait katlarda ki donatı değişimini gösteren grafik	82

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Deprem şiddeti mercalli şiddet ölçeği (Türkiye Deprem Vakfı, 1999).....	4
Çizelge 2.2 Deprem büyüklüğü ve şiddeti (Türkiye Deprem Vakfı, 1999)	5
Çizelge 2.3 1996 yılı deprem bölgeleme haritasına göre deprem bölgelerinin yüzölçümü	10
Çizelge 2.4 Deprem bölgelerindeki il sayısı dağılımı (Özmen vd., 1997)	10
Çizelge 4.1 Dünya üzerinde yapılan sismik yapı yalıtımı ile ilgili uygulamalar ve organizasyonları (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)	20
Çizelge 4.1 (Devam) Dünya üzerinde yapılan sismik yapı yalıtımı ile ilgili uygulamalar ve organizasyonları (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)	21
Çizelge 5.1 300mm – 700mm çaplı sismik izolatörlerin teknik özellikleri (GZP-Kurşun sönümsüz, GZY-Kurşun sönümlü) (www.alga.it/www.dis-inc.com)	27
Çizelge 8.1 Kauçuk sismik yalıtım cihazı özellikleri	59
Çizelge 8.2 Yapı modelinin periyot (s) ve kütle oranı (%) değerleri	59
Çizelge 8.3 Yapı modelinin kat deplasmanları (mm).....	60
Çizelge 8.4 Her iki bilgisayar programına göre çözümlerde kirişlerde çıkan moment değerleri karşılaştırma tablosu	68
Çizelge 8.5 A aksına ait kirişlerin ankastre ve sismik izolatörlü çözümlere göre donatı alanları.....	69
Çizelge 8.6 1 aksına ait kirişlerin ankastre ve sismik izolatörlü çözümlere göre donatı alanları.....	70
Çizelge 8.7 Kauçuk sismik yalıtım cihazı özellikleri	73
Çizelge 8.8 Yapı modelinin periyot (s) ve kütle oranı (%) değerleri	73
Çizelge 8.9 Yapı modelinin kat deplasmanları (mm).....	73
Çizelge 8.10 F aksına ait kirişlerin donatı alanları ve donatı değişim yüzdeleri.....	80
Çizelge 9.1 Yapıların inşaat maliyetleri (YTL).....	83
Çizelge 9.2 Model 1'in ankastre çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL).....	84
Çizelge 9.3 Model 1'in sismik yalıtımlı çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL)	85
Çizelge 9.4 Model 2'nin ankastre çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL)	86
Çizelge 9.5 Model 2'nin sismik yalıtımlı çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL)	87
Çizelge 9.6 Her iki modele ait kaba inşaat ve toplam maliyetleri ve oranları.....	88
Çizelge 9.7 Her iki modelde orta ve kenar akslara göre seçilen sismik yalıtım cihazı tipleri..	88
Çizelge 9.7 Sismik Yalıtım Cihazları Adet Fiyatları (USD-Amerikan Doları)	89
Çizelge 9.8 Sismik Yalıtım Cihazları Adet Fiyatları (YTL)	89
Çizelge 9.9 Her iki modele ait yalıtım cihazı ve toplam kaba inşaat maliyetleri.....	90
Çizelge 9.10 Her iki modele ait toplam inşaat maliyetleri karşılaştırması	90

ÖNSÖZ

Depremler, yerleşim merkezlerinde halinde çok büyük boyutlarda insan, ekonomik ve sosyal kayıplara, fiziksel zararlara neden olan yıkıcı doğa olaylarıdır. Yakın tarihimizde ülkemizde ve dünyada çok sayıda yapıların bulunduğu kentsel alanlarda büyük depremler olmuş, ciddi kayıplar meydana gelmiştir. Deprem sonuçları dikkate alındığında kayıpların önlenmesi amacıyla yapı güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra kentsel alanların depreme karşı güvenlik düzeylerinin yükseltilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, depreme karşı dayanıklı bir yapı tasarımı yöntemi olarak taban izolasyon sistemleri açıklanarak tanıtılmıştır. Mühendisliğin yatırımcı ve son kullanıcı ile olan en belirgin ilişkisi maliyet konusudur. Bu tez çalışmasında taban yalıtımlı bir yapının maliyeti ile, konvansiyonel sistemle yapılmış bir yapının maliyetleri karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

Tez çalışması boyunca desteği ve emeği geçen Prof. İbrahim Ekiz Hocama, tezimi bitirmem için yardımlarını esirgemeyen Mügen Bircan'a ve Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

MAYIS 2006

AHMET TOLAY

ÖZET

Taban izolasyonunun teorisi ve uygulaması son otuz yıl içerisinde geliştirilmiştir. Taban izolasyonu, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, depreme karşı tepkisini azaltma esasına dayanmaktadır. Bunun için yapı ile temel arasına düşük yatay rijitliği olan yapı elemanları yerleştirilir. Böylece yapıda yer hareketinin yani depremin neden olacağı, zorlamalar azaltılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, taban izolasyon sistemleri esas olarak kauçuk esaslı ve kayıcı sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Taban izolasyonunun teorik esasları açıklanmış, ve hareket denklemlerinin çıkarılışı sunulmuştur. İki ana gruba ait izolatörlerin, mekanik karakteristikleri ve modellenmesi konuları tarif edilmiştir.

Tez çalışmasının konusu olarak, iki adet yapı modeli dikkate alınmış, taban yalıtımlı ve ankastre olarak, yapı modelleri Sta4Cad bilgisayar programları ile çözülmüş ve her iki durum için boyutlandırma yapılarak yapı maliyetleri araştırılmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sismik Yalıtım, Taban Yalıtımı, Deprem Mühendisliği

ABSTRACT

The theory and technology of base isolation have been developed for the last three decades. Base isolation has the approach of reducing the response of a building instead of increasing its durability against earthquake. Therefore overforcing induced by ground motions, can be decreased.

In this thesis study, base isolation systems are basically classified as elastomeric-based isolation systems and the systems based on sliding. The theoretical basis of base isolation is explained and general equations of motion are presented in the following chapter. Mechanical characteristics and modelling of two basic groups are described.

According to the study of this thesis, two kinds of system models have been calculated as fixed base and seismic isolated base by the help of computer program Sta4Cad and have been tried to find estimated costs according to the design.

Keywords: Seismic Isolation, Base Isolation, Earthquake Engineering

1. GİRİŞ

Ülkemizde başta depremler olmak üzere, seller, toprak kayması, yangın, vb. doğal ve insan ihmalleri sonucunda meydana gelen afetler, özellikle can, mal ve ekonomik açıdan büyük kayıplara neden olmaktadır. Bunun en çarpıcı örneği 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleridir.

Özellikle göçlerin büyük bir bölümünü çeken sanayi bölgelerinde çarpık yapılaşma ve kentleşme artmaktadır. Bu da kontrol edilemez bir şekilde kentlerin, çok yoğun nüfusları barındırmasına, belirli bir planlama ve yapılaşma için alanın uygun olup olmadığına bakılmaksızın yerleşim alanlarının artmasına ve yayılmasına neden olmaktadır. Yine imarlı alanlarda da, ruhsat alınarak yapılan yapıların önemli bir yüzdesi deprem yönetmeliğinin gerektirdiği koşullara dikkat edilmeksizin, tasarım ve yapım aşamasında denetime tabi olmadan, belirli bir kalite standart aranmayan işçilik ve yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilmektedir. Bu olumsuz koşullara ek olarak, kullanıma bağlı taşıyıcı sistemde gelişigüzel değişiklikler yapılmakta, imar planlarında yapılan değişikliklerle yoğunluklar arttırılmakta, bunun sonucunda da taşıyıcı sisteme dikkat edilmeksizin kat ilaveleri yapılmaktadır. Bu gibi nedenlerle alt ve üst yapının planlanmasında ve uygulamasında afetler yönünden gerekli önlemlerin alınmaması, yeni fiziksel çevrelerin oluşumunda deprem ve diğer faktörlerin göz önünde bulundurulmaması olası bir deprem anında insan topluluklarında ve yerleşimlerinde büyük kayıplara yol açabilmektedir. Ayrıca, insan faaliyetlerini bozarak veya kesintiye uğratarak yaşam ve yerleşim üzerinde etkili olabilmektedir.

İnşaat mühendisliğinin ana konularından olan deprem mühendisliği, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı, geoteknik gibi alanlarda çalışan akademisyenlerin, mühendislik çevrelerinin, uygulamacıların ve çeşitli kamu çalışanlarının gayretleriyle ülkemizde deprem afetine karşı çeşitli yönetmelik ve standartlar hazırlanmış ve halen hazırlanmaya devam edilmektedir.

Hazırlanan çağdaş yönetmelikler sayesinde kaliteli yapı tasarımında, üretiminde ve kullanımında çok fazla yol alınmış durumdadır. Fakat deprem hareketinin karmaşıklığı, kaotik bir yapıya sahip olması, yani mühendisliğin çözüm üretebilmesi için hazır deterministik özelliklerinin olmaması biz mühendislere yaklaşık ve maksimum güvenli tarafta kalma şansından daha fazlasını vermemiştir.

Deprem mühendisliği özellikle son yüzyılda teknolojinin gelişmesi, haberleşme ve elektroniğin gelişmesi sayesinde deprem hareketini çok daha iyi analiz edebilme şansını bulmuştur. Özellikle bilgisayar sistemlerinin gelişmesi, biz deprem ve yapı mühendislerine

çok iyi bir analiz platformu sunmuştur.

Yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanması ve inşa edilmesi için öncelikle depremin ne olduğunu sorgulamak ve deprem hareketin yöntembilimini incelemek gerekir.

Yapıların depreme dayanıklı tasarımı, genellikle yapıları depremde gelen yükleri taşıyabilecek ya da başka bir deyişle depremde meydana gelen titreşim enerjisini tüketebilecek güçte tasarlayıp inşa etmekle sağlanmaktadır. Sismik yalıtım sisteminde ise yapıların temellerinin sismik olarak yatay hareket için yalıtılmakta ve yapıya gelen yatay yükler ve titreşim enerjisi azaltılmaktadır.

Depreme karşı yapı tasarımında yeni bir teknoloji olan sismik yalıtım cihazlarının kullanılması, genel olarak sistemin yeni olmasından dolayı maliyetlidir. Bu sisteme ilişkin deneysel çalışmalar, teorik ve pratik tecrübeler arttıkça, sistemin uygulama alanı ve rekabet ortamı gelişecektir. Bu da sistemin maliyetlerinin azalmasına neden olacaktır.

2. DEPREMİN TANIMI VE OLUŞUMU

Deprem, yerkabuğunun sahip olduğu çeşitli katmanlarda biriken enerjinin, belirli bir seviyeye geldiğinde serbest hale gelmesi; yerkabuğunda soğuma ve çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelen ani yer değiştirmenin bir merkezden başlayıp yayılması ve yerkabuğunun sarsılması olayıdır. Yerkabuğundaki bu sarsılma fay hattı dediğimiz çizgisel bölgeler üzerinde görülür. Sarsılma olayı ani olarak başladığı için şok dalgaları oluşur. Bu şok dalgaları geçtikleri fay hattı (fay çizgisi) üzerindeki bütün yapıları sallar ve etkiler (Taş, 1995). Deprem tehlikesinin iki ölçüm biçimi vardır. Bunlardan biri büyüklük (magnitude), diğeri ise şiddettir (intensity). Depremlerin büyüklüğü (magnitude) ve şiddeti (intensity) genellikle birbirine karıştırılan iki kavramdır. Büyüklük, deprem sırasında boşalan enerji ile ilişkili bir değerdir ve aletsel olarak ölçülür. Şiddet ise deprem bölgesindeki hasara göre belirlenen göreceli bir değerdir.

Depremın Büyüklüğü (magnitude) =M ; Depremın büyüklüğü (magnitude), belli bir zaman diliminde kaydedilen sismograf üzerindeki deprem dalgalarının genliğinin logaritması olarak tanımlanır (Boyut Yayın Grubu,2000).Depremın büyüklüğü; depremin meydana geldiği fay hattının çeşidi(normal,ters ve doğrultu atılımlı), fay hattında meydana gelen kırılmanın uzunluğu, fay hattının konumu (levhalar içi kırık veya levhalar arası kırık), depremin derinliği, yer altında enerjinin birikme süresi (iki deprem arasındaki periyodik zaman)’ne bağlıdır. Depremın büyüklüğü ile depremin ölçüsü gözlemlerimizden ve hasar durumundan bağımsız olarak belirlenebilmektedir.

Depremın Şiddeti (intensity) = I ; Sismografların olmadığı dönemlerde, depremin ölçüsünü belirlemek amacıyla depremlerin canlılar, yapılar ve toprak üzerindeki etkileri sınıflandırılmış ve “Şiddet” adı verilen ölçek ortaya çıkmıştır.

Çok çeşitli deprem şiddet ölçekleri vardır. Rossi-Forel (RF), Mercalli-Sieberg (MS), Omori-Cancani (OC), Mercalli-Cancani (MC), Değiştirilmiş Mercalli (MM), Medvedev-Sponheur-Kamik (MSK) ve Japon (JM) ölçekleri en çok kullanılan ölçeklerdir. Ülkemizde Değiştirilmiş Mercalli ve MSK ölçekleri kullanılmaktadır. MM ölçeği 12 şiddet grubuna ayrılmıştır (Çizelge 1.1, Çizelge 1.2)(Türkiye Deprem Vakfı, 1999).

Depremın şiddeti; Depremın büyüklüğüne bağlı olarak ortaya çıkan ivme değerine, depremin büyüklüğü ve onu etkileyen bileşenlere, depremin merkez üssüne olan uzaklığına, jeolojik katmanların özelliklerine, yeraltı suyu seviyesinin yüksekliğine, binanın hasar görünebilirliğine bağlı olarak değişebilmektedir.

Çizelge 2.1 Deprem şiddeti mercalli şiddet ölçeği (Türkiye Deprem Vakfı, 1999)

Şiddet	Açıklama
I	Genellikle insanlar tarafından duyulmaz. Ancak duyarlı sismograflar tarafından hissedilir.
II	Ancak istirahat eden(oturan, yatan) ve özellikle yapıların üst katlarındaki kişiler tarafından duyulur. Asılmış konumdaki bazı eşyalar sallanabilir.
III	Yapıların içinde ve özellikle yapıların üst katlarında bulunan kişiler tarafından duyulur. Asılı cisimler sallanır. Birçok kişi bunun deprem olduğunu anlayamaz. Duran motorlu araçlar hafifçe sallanabilir. Ağır bir motorlu araç geçiyormuş gibi duyulur. Süresi algılanabilir.
IV	Gündüzleri yapıların içinde bulunan birçok kişi, dışarıda ise bazıları kişiler tarafından duyulabilir. Büyük bir kamyon geçiyormuş gibi algılanabilir. Geceleri bazı kişileri uyandırabilir. Tabaklar, pencereler, kapılar sallanır, duvarlar gıcırdama sesleri çıkarır. Duran araçlar sarsılır.
V	Hemen herkes tarafından duyulur. Birçok kişi uyanır. Yönü izlenebilir. Mutfak eşyalarından ve pencere camlarından bir bölümü kırılabilir. Sıvalar çatlayabilir veya düşebilir. Kararlı olmayan eşyalar devrilebilir. Bazen ağaçların, direklerin ve diğer yüksek eşyaların sallandığı görülür. Sarkaçlı saatler durabilir. Kötü yapılmış bacalar ve bahçe duvarları yıkılabilir.
VI	Herkes tarafından duyulur. Birçok kişi korkar ve dışarı fırlarlar. Yürümek zorlaşır. Pencere camları, tabakalar ve cam eşyalar kırılır. Ağır eşyalardan bir bölümü yerlerinden oynar. Kitaplar raflardan düşer. Sıvalar ve D türü yapılarda çatlaklar oluşur. Bacaların düştüğü görülür. Ağaçlar ve çalılar sallanır ya da hışırda.
VII	Ayakta durmak zorlaşır. Herkes dışarı koşar. Araç kullanan kişiler depremin farkına varırlar. Asılı cisimler düşer. Eşyalar hasar görür. D türü yapılarda çatlak ve hasar oluşur. Zayıf tutturulmuş bacalar düşer. Sıva, zayıf tutturulmuş tuğla, taş ve fayans, korniş, parapet ve yapı dekorasyon malzemeleri gibi cisimler düşer. C türü yapılarda çatlaklar oluşur. Havuzda dalgalanma, su birikintilerinde küçük kaymalar ve çukurlar oluşur.
VIII	Araba sürmek zorlaşır. C türü yapılarda hasar ve kısmen yıkılma, B türü yapılarda az hasar, A türü yapılarda hasar yok. Zayıf duvarlar yıkılır. Heykeller, yüksekte duran su tankları, yığılmış malzemeler, kuleler ve bacalar yıkılır. Temeli zayıf ahşap yapılar devrilir. Ağaç dalları kırılır. Ağır eşyalar ters döner. Araç kullananlar rahatsız olurlar. Su kaynaklarının debisi ve sıcaklığı değişir. Arazide kum fıskırmaları (sıvılaşma), çatlak ve faylar (kırıklar) olur. Kayalar düşer ve heyelanlar olabilir.
IX	Genel bir panik olur. D türü yapıların tümü yıkılır. C türü ağır hasara uğrar. B türü önemli derecede hasar görür. Birçok yapının temelinde hasar olur. Yeryüzünde büyük yarık ve çatlaklar oluşur. Yeraltındaki borular kopar. Kumlu zeminlerde sıvılaşma olur.
X	B, C ve D türü yapıların büyük bir çoğunluğu yıkılır. İyi yapılmamış ahşap karkas, betonarme yapılarda çok ağır hasar ya da kırılma başlangıcı görülür. Baraj ve bentlerde önemli hasar gözlenir. Yeryüzünde büyük çatlaklar ortaya çıkar. Raylar bükülür. Irmak kıyılarında ve dik yamaçlarda heyelanlar olur. Kum ve çamur akmaları(sıvılaşma) görülür.
XI	Pek az yapı ayakta kalır. Köprüler yıkılır. Yeryüzünde büyük çatlaklar oluşur. Yeraltı boruları tümüyle işe yaramaz duruma gelir. Yumuşak zeminde yer kaymaları ve toprak yığıntıları olur. Raylar çok fazla eğilir.
XII	Tüm yapılar yıkılır. Deprem bölgesindeki yeryüzü biçimi değişir. Cisimler havaya fırlar. Yeryüzünde depremdalgalarının ilerleyişi görülür. Ufuk ve yataylık kavramı yok olur.
A türü yapı: İyi işçilik, harç ve tasarım. Yatay kuvvetlere dayanmak üzere demir, beton vb. malzeme ile donatılı olarak inşa edilmiş sağlam yapı. B türü yapı: İyi işçilik ve harç, donatılı. Yatay kuvvetlere dayanıklı olarak tasarlanmamış. C türü yapı: Alalede işçilik ve harç. Çok zayıf bir yapı olmamakla birlikte donatılı olarak ve yatay kuvvetlere dayanıklı olarak yapılmamış. D türü yapı: Kerpiç, taş gibi zayıf malzeme, kötü harç, standart dışı işçilik ve yatay kuvvetlere karşı zayıf.	

Çizelge 2.2 Deprem büyüklüğü ve şiddeti (Türkiye Deprem Vakfı, 1999)

Magnitüd (Richter ölçeği)	Maksimum Şiddet (MSK Ölçeği)	Etki (MSK Ölçeği)	Etkilenen Çap (km)
4.0-4.9	IV-V	Çoğunlukla gözlenir	50
5.0-5.9	VI-VII	Korkutucu-Hasarlı binalar	110
6.0-6.9	VII-VIII	Hasarlı binalar-Bazı binaların yıkımı	200
7.0-7.9	IX-X	Binaların genel hasarı-Binaların genel yıkımı	400
8.0-8.7	XI-XII	Genel yıkım-zemin yapısının değişimi	800

2.1 Deprem Yeryüzünde Neden Olduğu Etkiler

Ülkemizi etkileyen doğal afet türleri içinde deprem, “belirsizlik oranının” en yüksek oluşu nedeniyle, en fazla can ve mal kaybına sebep olan türdür. Depremlerin olması önlenememektedir (Ataman ve Tabban, 1977).

Yeryüzünde depremler oluşum anında yer sarsıntısından başka bazı yer tehlikelerine ve yer hareketlerine neden olurlar. Depremi neden olduğu en önemli yer tehlikeleri; sıvılaşma, dayanım kaybı ve yoğunlaşmadır. Sıvılaşma bir çok depremde görülmüş bir olaydır. Deprem dalgaları suya doygun kum tabakasını, özellikle kum gevşek ise, sıkıştırma yönünde hareket eder. Ancak bu sırada zemin taneleri arasındaki suyun basıncını da arttırarak, zemin tanelerinden birbirine aktarılan kuvvetlerin su tarafından taşınmasına sebep olabilir. İşte bu anda zemin tıpkı bir sıvı gibi davranır, kayma direncini kaybeder (Erdik, 2000) .

Depremi neden olduğu yer hareketleri ise; yer kayması (heyelan), kopma ve çökmedir. Heyelan, deprem olmadığı zamanlarda da ortaya çıkan bir yer hareketidir. Özellikle çok yağışlı mevsimlerde yamaçlarda konumlanmış gevşek ve dolgu tabakaları, altındaki sağlam zemin üzerinde ve eğim yönünde hareket ederler. Depremler sırasında bu tür alanlarda büyük

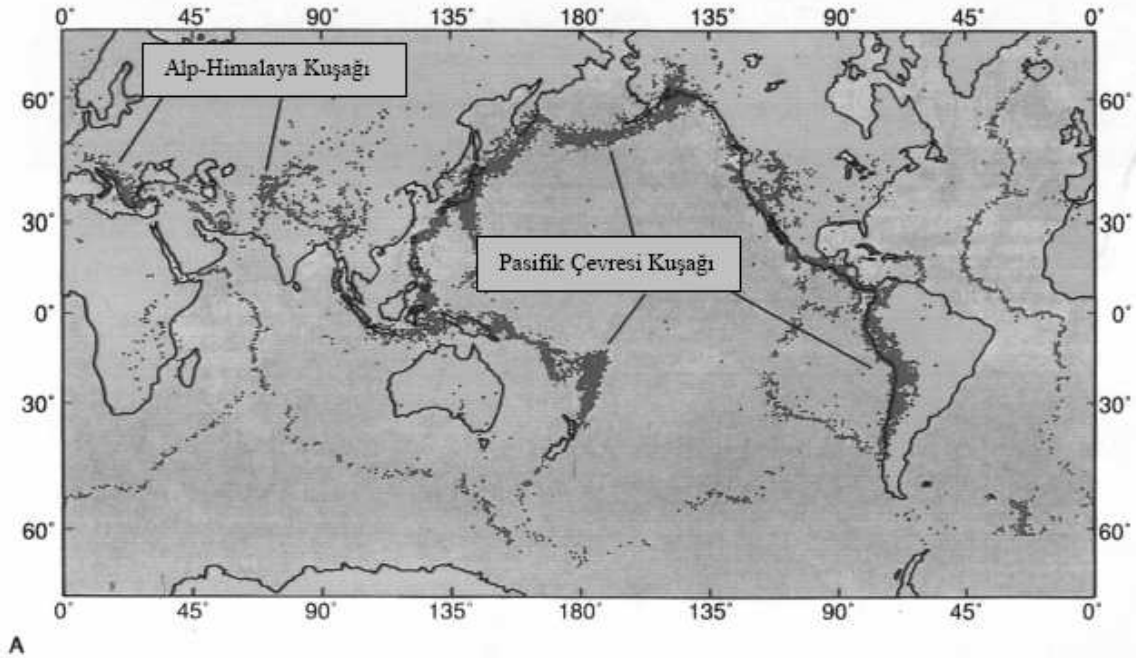
ölçekli heyelanlar tetiklenir (Boyut Yayın Grubu, 2000). Depremi neden olduğu yer kaymalarına en hassas olan malzeme; gevrek, aşınmış ve/veya çatlamış kayalar, doymamış gevşek kumlar, hassas kil tabakaları olan doymuş kum ve çakıldır (Erdik, 1999). Kopma ve çökme ise yamaçlarda konumlanan kaya ve toprak parçalarının depremler sırasında eğim yönünde aşağı doğru hareket etmeleridir (Boyut Yayın Grubu, 2000).

Ayrıca, deniz altında, kıyısında ya da yakınında olan depremler “Tsunami” adı verilen büyük

deniz dalgalarına neden olabilirler. Sismik deniz dalgası olarak da bilinen bu dalgalar genellikle yer yüzeyinden 50 km derine ve Richter ölçeğine göre 6,5'in üzerinde olan depremler sonucu oluşur. Tsunami'nin tehlikesi kıyıya yaklaştıkça artar. Çünkü kıyıya yaklaştıkça sığlaşan zeminle sürati artar ve büyük zararlara neden olur (Boyut Yayın Grubu,2000). Sel, dalganın yapılar üzerindeki yıkıcı etkisi ve kıyı erozyonu Tsunami sonucu oluşabilecek en önemli zararlardır.

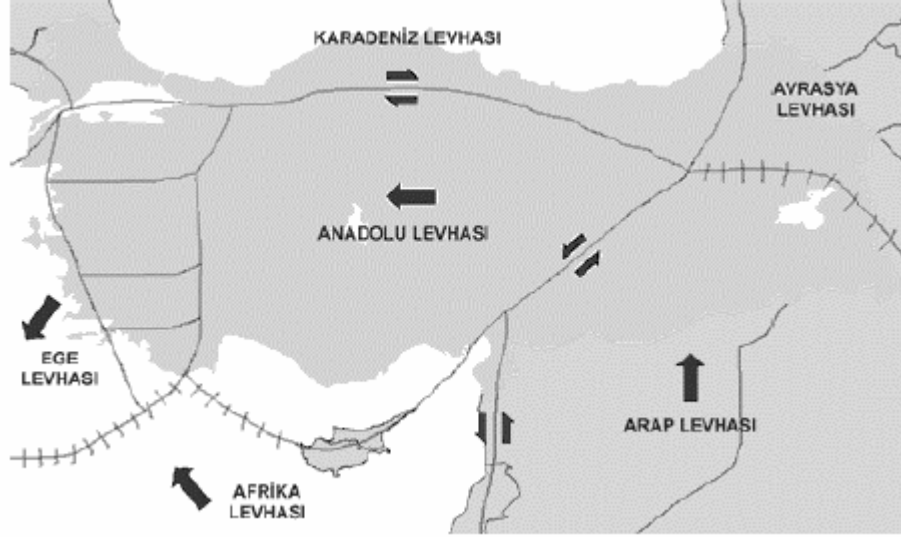
2.2 Türkiye'nin Deprem Özellikleri

Türkiye, dünyadaki depremselliği yüksek olan ülkelerden birisidir. Bilinen tarihsel dönem deprem kayıtlarına göre M.Ö.2000 yılından beri hasar yapıcı büyük depremler yaşamıştır. Türkiye topraklarının % 96'sı değişik deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Nüfusunun %98'i de deprem riski altında yaşamaktadır (Pampal, 2000). Yerküre üzerinde aktif iki önemli deprem kuşağı vardır. Bunlardan biri "Pasifik Çevre Kuşağı", diğeri ise "Alpid Kuşağı"dır. Türkiye, dünya üzerinde Kuzey Hindistan, Afganistan, İran, Yunanistan, Yugoslavya, İtalya, Kuzey Afrika, İspanya'dan geçen "Alpid Kuşağı" adı verilen "Akdeniz Deprem Kuşağı" üzerinde bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Dünyanın önemli deprem kuşakları (Türkiye Deprem Vakfı, 1999)

Avrasya ve Arabistan levhaları arasında sıkışma süreci içine giren Anadolu karmaşık bir tektonik deformasyon, belirgin dizi fay zonları ve dağınık bir depremsellik gösterir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Türkiye ve çevresinin levha tektoniği modeli
(<http://www.sayisलगrafik.com.tr/deprem/>)

İlk bakışta, Anadolu’da iki büyük fay zonu bulunmaktadır. Bunlar Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu faylarıdır. Ege ve Doğu Anadolu bölgelerindeki deprensellik ise daha dağınık bir görünümde (Eyidoğan, 1986). Türkiye belli başlı şu sismotektonik bölgelere ayrılabilir (Eyidoğan, 1986) ;

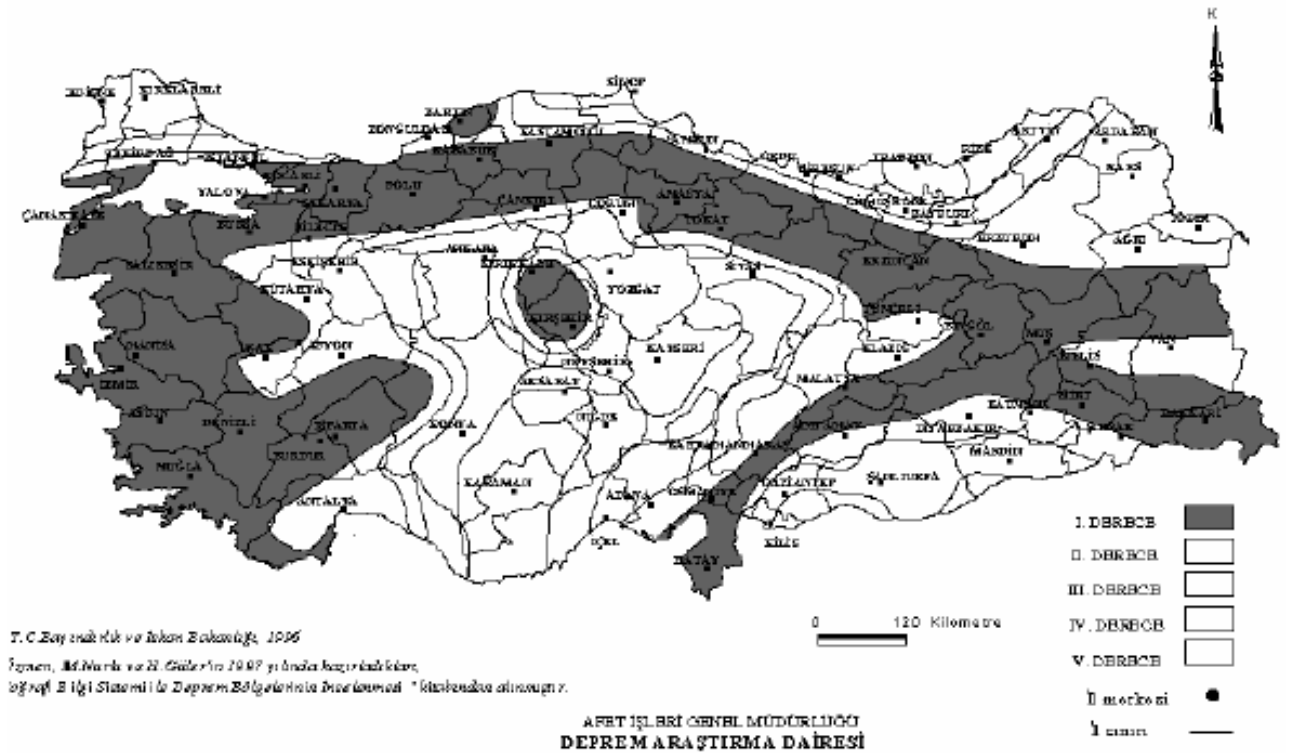
1. Kuzey Anadolu Fay Zonu
2. Doğu Anadolu Fay Zonu
3. Bitlis Bindirme Zonu ve Doğu Anadolu Sıkışma Zonu
4. Ege (Batı Anadolu) Grabenler Zonu



Şekil 2.3 Türkiye ve çevresindeki önemli fay hatları
(<http://www.sayisigrafik.com.tr/deprem/>)

Tarihin ilk çağlarından itibaren sayısız deprem yaşamış olan Türkiye’de, yalnızca cumhuriyetin kuruluşundan bugüne kadar geçen zaman içinde can ve mal kaybına neden olan 40’dan fazla büyük deprem olmuştur. Türkiye’de 1903-1999 yılları arasında, depremlerde oluşan toplam can kaybı 81.630 kişidir. Bu dönemde tarihimizin en büyük depremi olan 26.12.1939 Erzincan depremi 7.9 büyüklüğünde meydana gelmiş ve 116.720 konutun ağır hasar görmesine, 32.962 kişinin ölümüne neden olmuştur. Bu depremlerin neden olduğu ağır hasarlı bina sayısı toplamı ise 463.494’tür (Pampal, 2000).

23.12.1972 tarihinde yürürlüğe giren eski Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, tarihsel deprem kayıtları, neotektonik ve sismolojik bulgulardaki gelişmelerin ışığında yeniden düzenlenerek değiştirilmesi ile hazırlanan yeni deprem bölgeleri haritası 18.04.1996 yılında yürürlüğe girmiştir (Pampal, 2000).



Şekil 2.4 1996 yılında hazırlanan deprem bölgeleri haritası (Türkiye Deprem Vakfı, 1996)

Türkiye, deprem riski bakımından bölgelerin durumunu gösteren deprem bölgeleri haritasında beş bölgeye ayrılmıştır. I. ve II. derece deprem bölgeleri ; çok büyük depremlerin her zaman olabileceği kabul edilen en tehlikeli bölgelerdir. III. ve IV. derece deprem bölgeleri; gerçekleşebilecek depremlerin daha küçük şiddette olabileceği ve aynı zamanda I. ve II.derece deprem bölgelerinde meydana gelecek depremlerden etkilenebileceği kabul gören bölgelerdir. V. derece deprem bölgesi ise tehlikesiz olarak kabul edilen, depremlerin hiç olmayacağı ya da can ve mal kayıplarına neden olmayacağı, diğer bölgelerde yaşanacak depremlerden hiç etkilenemeyeceği kabul edilen bölgedir.

1990 yılı itibariyle, 1996 deprem bölgeleme haritasına göre il ve ilçe merkezlerinde yaşayan nüfusun %60'ı birinci, %14.7'si ikinci, %12.3'ü üçüncü, %11.8'i dördüncü, %0.9'u beşinci deprem bölgesinde yaşamaktadır (Şengezer, 1999). 1996 yılı deprem bölgeleme haritasına göre, deprem bölgelerindeki Türkiye'nin yüzölçümü dağılımı Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 1996 yılı deprem bölgeleme haritasına göre deprem bölgelerinin yüzölçümü
(Özmen vd., 1997)

Deprem Bölgeleri	Yüzölçümü	%
I. derece	328.995	42
II. derece	186.411	24
III. derece	139.594	18
IV. derece	97.894	12
V. derece	32.051	4
Toplam	784.945	100

1996 yılı deprem bölgeleme haritasına göre, deprem bölgelerindeki illerin dağılımı Çizelge 2.4’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre illerimizin büyük çoğunluğunun I. ve II. derece deprem bölgelerinde yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 2.4 Deprem bölgelerindeki il sayısı dağılımı (Özmen vd., 1997) ¹

Deprem Bölgeleri	İl Sayısı	%
I. derece	35	43
II. derece	22	27
III. derece	13	16
IV. derece	9	11
V. derece	2	2
Toplam	81	100

¹ Kaynakta 1.derece deprem bölgesindeki il sayısı 34 olup,Düzce’nin il olması ile sayı 35 olarak düzeltilmiştir.

Büyük deprem etkisinde kalma olasılığı yüksek yerleşim bölgelerinde, deprem etki ve zararlarının derecesini belirleyen bazı unsurlar vardır. Bunlar; bölgenin deprem özelliği, yerleşim alanının yeraltı ve yerüstü fiziksel özellikleri, yapının özelliği, kişilerin deprem konusundaki bilinç düzeyi, nüfus yoğunluğudur.

Türkiye’de büyük sanayi kuruluşlarının %98’i deprem bölgelerinde bulunmaktadır. Fakat daha da önemlisi %74’ü deprem riski yüksek bölgelerde yer almaktadır (Taş, 1995). 1950’lerden itibaren tarım sektöründe yaşanan olumsuz değişimler, hızlı nüfus artışı, 1980’li yıllardan beri Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaşanan terörün etkisiyle sanayi bölgelerine büyük göçler olmuştur. Kentleşmenin hızlanmasıyla birlikte, çarpık yerleşme ve sağlıksız yapılaşma önemli deprem bölgelerindeki can ve mal riskini daha da arttırmıştır.

Aşırı göç alan ve veren kentlerde toplumsal çevrede yaşanan dengesizlik depreme karşı dayanıklı yapıların ve kentlerin oluşmasını olumsuz yönde etkilemiştir. Ülke topraklarının büyük bir kısmının deprem riskine sahip olması, bu topraklar üzerinde önemli sanayi kuruluşlarının bulunması, nüfusun büyük bir kısmının yaşaması tehlikenin boyutunu daha da arttırmaktadır. Bu nedenle geçmişten ders alarak, gelecekteki afetlerin etkilerinin azaltılabilmesi için halkın deprem hakkında eğitilmesi, deprem riskine karşı bir deprem senaryosu; deprem anında neler yapılacağı, deprem sonrasında nelerin yapılması gerektiği mutlaka daha önceden planlanması gereken önemli bir konudur.

3. SİSMİK YAPI YALITIMI

İnşaat mühendisliğinin ana konularından olan deprem mühendisliği, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı, geoteknik gibi alanlarda çalışan akademisyenlerin, mühendislik çevrelerinin, uygulamacıların ve çeşitli kamu çalışanlarının gayretleriyle ülkemizde deprem afetine karşı çeşitli yönetmelik ve standartlar hazırlanmış ve halen hazırlanmaya devam edilmektedir.

Hazırlanan çağdaş yönetmelikler sayesinde kaliteli yapı tasarımında, üretiminde ve kullanımında çok fazla yol alınmış durumdadır. Fakat deprem hareketinin karmaşıklığı, kaotik bir yapıya sahip olması, yani mühendisliğin çözüm üretebilmesi için hazır deterministik özelliklerinin olmaması biz mühendislere yaklaşık ve maksimum güvenli tarafta kalma şansından daha fazlasını vermemiştir.

Deprem mühendisliği özellikle son yüzyılda teknolojinin gelişmesi, haberleşme ve elektroniğin gelişmesi sayesinde deprem hareketini çok daha iyi analiz edebilme şansını bulmuştur. Özellikle bilgisayar sistemlerinin gelişmesi, biz deprem ve yapı mühendislerine çok iyi bir analiz ortamı sunmuştur.

Yapılarda sismik taban yalıtımının yapılmasının pek çok faydaları olabilmektedir. Bunlardan bir tanesi, yalıtım işlemi yapının hakim frekansını azaltabilmesidir. Dolayısıyla, üst yapı rölatif olarak rijit kalabilmektedir. Şekil değiştirmeler daha çok yalıtım cihazlarında meydana gelebilmektedir. Bunun sonucunda, yapının deprem hareketine karşı direnci artmaktadır. Diğer bir faydası ise, deprem hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler azalmakta ve yalıtım sistemi, yapının kullanımda olumsuz değerlendirmelere neden olmaksızın yapıya esneklik kazandırabilmektedir.

Frank Lloyd Wright, 1921 yılında Tokyo'daki Imperial Hotel'in temellerinde taban yalıtımı fikrini ilk uygulayan kişi olmuştur. Wright, birbirine yakın aralıklarla yerleştirilen kazıklarla yumuşak, çamurlu bir zemin tabakasını daha aşağıda bulunan oldukça iyi bir zemin tabakasıyla birleştirmiştir. Imperial Hotel batı tarzında inşa edilmiş olup, 1923 yılında Tokyo depreminde ayakta kalabilen birkaç yapıdan biri olmuştur.

Binalarda birinci katın esnek yapılması kavramı, binaların yalıtım yapılarak depreme karşı güvenliğinin artırılmasındaki ilk yaklaşımlardan biri olmuştur. Bu yaklaşım ilk defa 1929 yılında Martel tarafından önerilmiştir. Bu konu daha sonra 1935 yılında Green ve 1938 yılında da Jacobsen tarafından çalışılmıştır. Fintel ve Khan ise deprem hareketi esnasında oluşan taban kesme kuvvetlerini azaltmak amacıyla birinci kat kolonlarının akma dayanımı

yüksek olmasının gerektiğini önermiştir. Ayrıca bu konudaki ilk bilgisayar programı Chopra vd tarafından yapılmıştır.

Binalarda birinci katın esnek yapılmasının zor olması nedeniyle taban yalıtımı temini amacıyla ile hareketli mesnet mekanizmaları önerilmiştir. Bunlardan bazılarının patent alınmış ve test edilmiştir. Ancak deprem hareketinin yapıya herhangi bir yönde gelebileceği gerçeği bu tür mesnet mekanizmalarının yaygınlaşmasını engellemiştir. Bunun sonucunda, her yönde harekete izin verebilen küresel mesnetler veya iki yönde hareket edebilen mesnetlerin kullanımının gerekliliği fikri hakim olmuştur.

Depremden korunmak amacıyla ilk kauçuk mesnet Yugoslavya'nın Skopje şehrinde bir okul binasında kullanılmıştır. Bu bina betonarme 3 katlı bir yapı olup 1969 yılında inşası tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Kauçuk içerisine çelik plakalar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenen rijitlik elde edilememiş ve kauçuk bloklar yanlara doğru şişmiştir. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğine eşit olduğundan deprem hareketi esnasında bina ileriye veya geriye doğru sallanıp yukarıya doğru sıçrayabilmektedir. Mesnetler çelik plakalarla takviye edilerek yukarıda karşılaşılan zorlukların üstesinden gelinmiştir.

Modern anlamda taban yalıtımına sahip yapılar, yapının temeli ve tabanı arasında yerleştirilen, yatay yönde esnek ve düşey yönde ise rijit olan taşıyıcılarla yapılabilmektedir. Bu taşıyıcılar, yalıtım aletleri veya yalıtım sistemleri olarak bilinmektedir.

Derham, bir yapının deprem etkilerinden ve istenmeyen titreşimden eşzamanlı olarak korunabileceğini kauçuk taşıyıcılar kullanarak göstermiştir. Kullanılan bu kauçuk taşıyıcılar, 7 kata kadar inşa edilen betonarme veya yığma yapılar için uygun olabilmektedir. Bu tip mesnetlerde yukarıya doğru kalkma meydana gelmeyecek ve rüzgar yükleri etkili olmayacaktır.

Deprem yalıtımı amacıyla imal edilen ve kullanılan yalıtım cihazları ve sistemleri bir sonraki bölümlerde genel özellikleri ve teorik özellikleri ile anlatılmıştır.

4. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA SİSMİK YALITIM

Depremde yapıya etkiyen kuvvet, dinamik, bir başka deyişle zaman içinde değişen bir kuvvettir. Bilindiği gibi yapıya gelen kütle ile ivmenin çarpımıdır.

$$F = m.a(t) \text{ 'dir.} \quad (4.1)$$

m : Yapının kütlesi

a(t) : Depremde oluşan yer ivmesinin deprem süresi içinde değişimi

Depremi kuvvetli yer hareketinin etkisi altında yapı davranışı, yapının periyot ve sönüm gibi dinamik özelliklerine bağlıdır. Tepki spektrumu bu değişik dinamik sistemlerin en büyük tepkilerin grafiğidir. Buradan periyodu ve sönümü bilinen bir yapının, belli bir depremin kuvvetli yer hareketi altında zorlanacağı en büyük ötelenme, ivme ve hız değerleri hesaplanabilir.

Tasarım spektrumları yapıların elastik olarak davrandıkları varsayımına göre hesaplanır. Bu varsayıma göre de yapılara gelen yükler çok büyük boyutlarda olur. Öte yandan yapıların elastik olarak taşıyabilecekleri yükler ile sınırlıdır. Buna karşın, yaşanan pek çok depremde gözlemlendiği gibi, ağırlığının %10'u gibi bir yatay yüke elastik olarak karşı koyabileceği hesaplarla gösterilmiş ve bu yükü izin verilen gerilme sınırları içerisinde taşıyabilen bir yapının, bu depremde yükünün 3 ila 5 kat üzerinde olan deprem yüklerine yıkılmadan taşıyabilmesinin açıklanması gereklidir.

Bu tasarım yaklaşımında, yapı depremde oluşabilecek yatay yüke göre 5-6 kez daha düşük bir yüke elastik olarak taşıyabilecek biçimde tasarlanır. Şiddetli depremde ise yapının elastik ötesi enerji tüketme gücünden yararlanılarak yapının depreme karşı koyması yıkılmaması sağlanır.

4.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yaklaşımı

Yapılarda; sıva, kaplama, bölme duvarları gibi taşıyıcı olmayan mimari elamanlar ve kolon, kiriş, perde duvar gibi taşıyıcı elemanlar vardır. Yapıların ekonomik ömürleri içinde değişik şiddetlerde çok sayıda deprem olabilir. Bir de yapının ekonomik ömrü içinde beklenen en şiddetli bir deprem vardır. Depreme dayanıklı yapının değişik elemanlarından değişik şiddetlerdeki depremlerde beklenen davranış aşağıdaki gibidir.

- Yapının ömrü içinde çok sayıda olması beklenen hafif şiddetli depremlerde, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda, yapı içindeki eşyalarda hiç hasar olmamalıdır.

- Yapının ömrü içinde birden çok kez olacak orta şiddetli depremlerde mimari elemanlarda ve az da olsa taşıyıcı sistem hasarı başlangıcı olabilir.
- Yapının ekonomik ömründe olacak en şiddetli depremde can kaybı olmamalı, bir başka deyişle taşıyıcı sistemde ileri düzeyde hasar olabilir, ancak yapı yıkılmamalıdır.

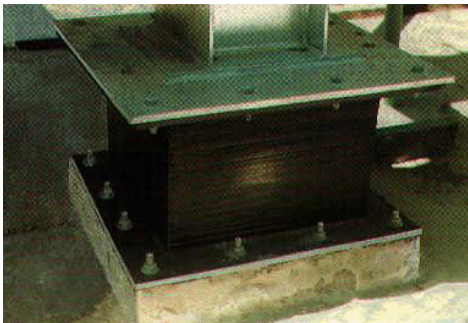
Bu davranışı sağlamak için yapı elemanlarının, yapının ağırlığının %10-15'i gibi bir yatay yük ve düşey yükleri emniyetle taşıyabildiği hesaplarla gösterilir. Yapı elemanlarına şiddetli depremlerdeki enerjiyi tüketebilecek donatı, en kesit ve düşey yük kısıtlamaları uygulanır.

4.2 Sismik Yalıtımlı Yapı Tasarımı

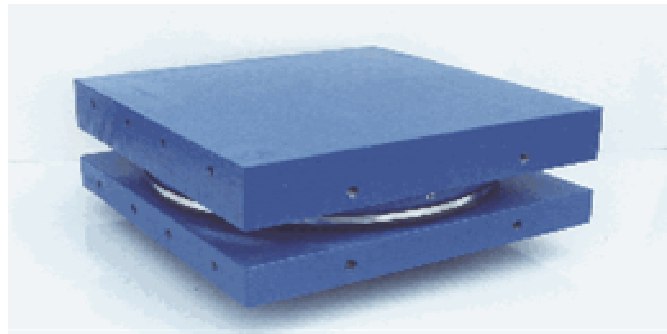
Depreme dayanıklı yapı tasarımında depremde yapıya gelebilecek yüklere de etkiyen ve bunları azaltan tasarım yaklaşımları yapılmaktadır.

Yapıların temellerinin sismik olarak yatay hareket için yalıtılması, yapıya gelen yatay yüklerin ve titreşim enerjisinin azaltılması depreme dayanıklı yapı tasarımında başka bir seçenektir.

Deprem kuvvetli yer hareketinin etkisi altında yapı davranışı, yapının periyot ve sönüm gibi dinamik özelliklerine bağlıdır. Sismik yapı yalıtımı yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Sismik amacı bir yapıya etkiyen deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Bu cihazların özel tasarımları sayesinde deprem hareketi sırasında üst yapıya etkiyen deprem yükleri konvansiyonel (temele ankastre bağlı) yapılara oranla önemli ölçüde azaltılabilmektedir.



a)

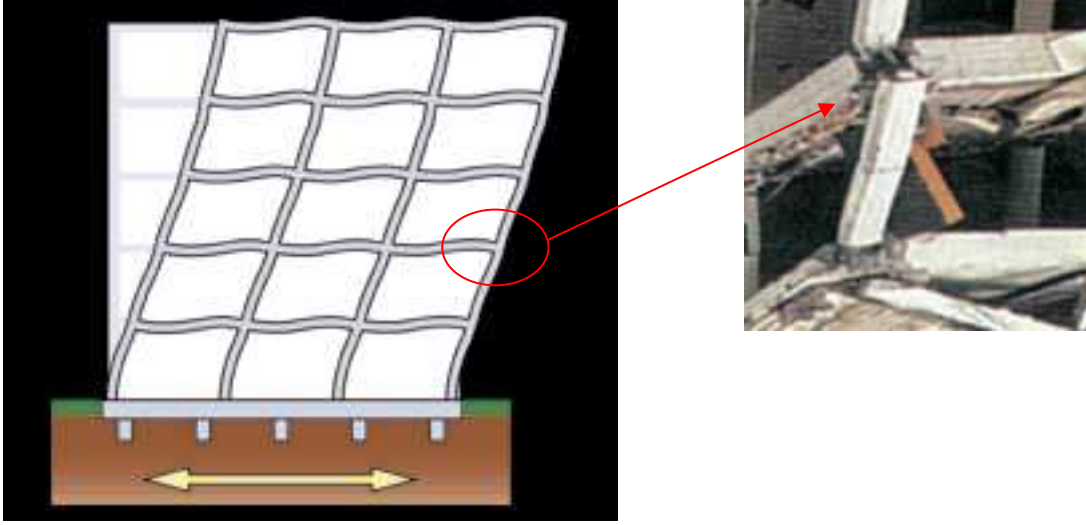


b)

Şekil 4.1 a) Kauçuk esaslı sismik yalıtım cihazı b) Sürtünme esaslı sismik yalıtım cihazı

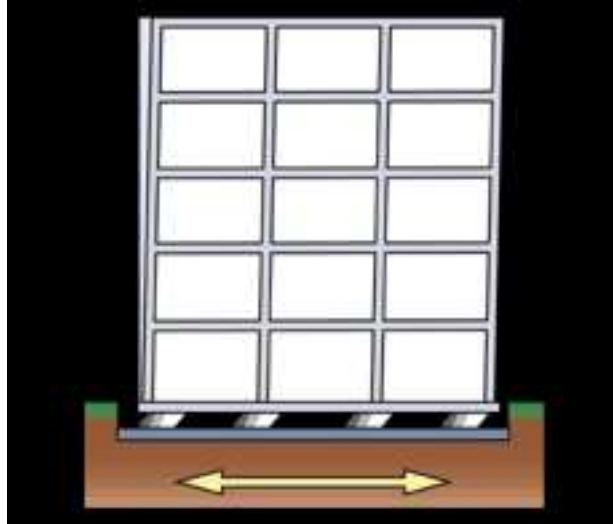
(www.alga.it/www.earthquakeprotection.com)

Normal bir yapıda deprem sırasında katlar arası farklı yer değiştirmelerden dolayı, kolon ve kiriş birleşimlerinde hasarlar meydana gelir.(Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Normal bir yapıda deprem yüklemesi durumunda yapının kolon kiriş birleşimlerindeki zorlanmalardan dolayı oluşan hasar (www.dis-inc.com)

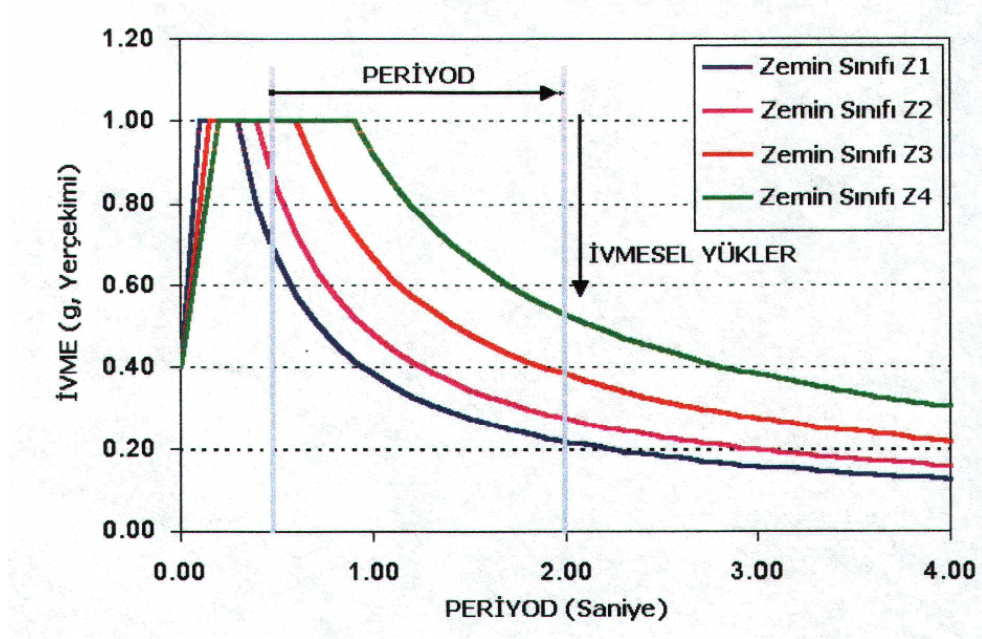
Sismik yalıtılmış bir yapıda katlar arası farklı deplasman oluşmayacağı veya çok daha az oluşacağı için kolon ve kirişlerde zorlanmalar minimum olacaktır. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 Sismik olarak yalıtılmış bir yapıda ise kolon kiriş birleşimlerindeki zorlanmalar minimum olacaktır. (www.dis-inc.com)

4.3 Sismik Yapı Yalıtımın Sağladığı Teknik Avantajlar

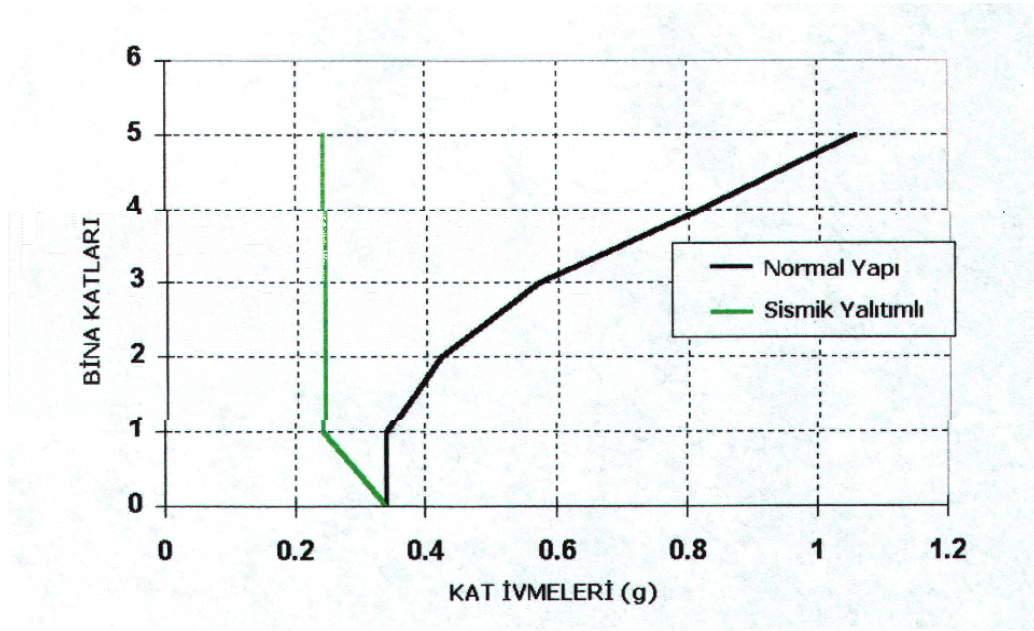
Sismik yapı yalıtımı yapı taşıyıcı elemanlarında oluşan sismik iç kuvvetlerini önemli ölçüde azaltır. Sismik yapı yalıtımı kullanarak yapılmak istenen temel titreşim periyodun uzatılarak, yapının yüksek deprem enerjisi bulunan periyot aralığından uzaklaşması sağlamaktır. Sismik yapı yalıtımı kullanılarak bir yapının taşıyıcı elemanlarına etkiyen sismik (depresel) iç kuvvetler ortalama dörtte üç oranında azaltılabilir. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Yapının temel titreşim periyodun uzatılarak yapının yüksek deprem enerjisi bulunan periyot aralığından uzaklaştırılması (Dumanoglu, A. ve Ates, S., 1999)

Sismik yapı yalıtımı ile yapıda oluşan deprem kat ivmeleri etkili bir şekilde azaltılabilir. Uzatılmış temel titreşim periyodu ve azaltılmış deprem yükleri sayesinde sismik yalıtımlı yapılarda konvansiyonel (temele rijit bağlı) yapılara oranla şiddetli deprem etkileri altında bile daha küçük kat ivmeleri oluşur. Kat ivmelerinin küçülmesi yapının daha yavaş ve kontrollü salınım göstermesi ve bu şekilde yapı içeriğinin (bina sakinleri, değerli eşyalar ve hassas cihazlar) etkin bir şekilde korunmasını sağlar.

Sismik yalıtımın yapıldığı bir binada sismik yalıtılmış kattan sonraki katlarda farklı deplasman oluşmaz. Oysaki normal bir yapıda her kat birbirinden farklı yer değiştirme yapar. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5 Normal bir yapı ile sismik yalıtımlı yapının kat deplasmanları (Dumanoğlu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

Sismik yapı yalıtımının temel faydalarını kısaca özetlemek gerekirse ;

- Yüksek can güvenliği
- Yapının taşıyıcı sistemi ve mimari elemanlarından minumum deprem hasarı
- Şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım
- Yapının değerli eşya ve içeriğine etkin koruma
- Yapının içerdği tehlikeli malzemelere (yanıcı, parlayıcı) etkin koruma
- Yapıların operasyona minumum engelleme ile güçlendirilmesi
- Minumum bakım gereksinimi
- Deprem yer hareketi sebebiyle yapıda oluşan ivme azalır, böylelikle yapı çerçevesinde kullanılan kesitler daha küçük seçilebilir.
- Yapıdaki kuvvet azalması hem bina sakinlerine hem de taşıyıcı sisteme eşit uygulanır. Taşıyıcı sistem üzerindeki kuvveti hiçbir geleneksel sistem azaltmaz.
- Yapı rijit hareket eder. Bu en çok dış cephe kaplamasının parçalanıp dağılmasını ve camların ve dış yüzeydeki malzemelerin kırılmasını azaltır. Böylelikle sokaktaki

insanların can güvenliği riski ortadan kalkar.

- Sismik yalıtım yapılmış bir yapının yüksek periyot değerlerini taşıyor olması, yapıya gelen deprem yüklerini büyük oranlarda düşürecektir.

4.4 Sismik Yapı Yalıtımın Kullanım Alanları

Sismik yapı yalıtımının ihtiyaç duyulduğu yapı türleri, yüksek deprem performansı istenen tüm yapılar, hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, stratejik önemi haiz binalar, itfaiye bina ve tesisleri, Telekom ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, köprü, viyadük gibi sanat yapıları, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, ilk yardım, kriz merkezleri, afet planlama merkezleri, atık, patlayıcı vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı tesisler, bilgi işlem merkezleri, tarihi binalar, müzeler olarak sıralanabilir.

Bu yapıların ortak özelliği dikkat edilebileceği gibi yapıların fonksiyonları ve içerikleridir ve bu tür yapıların tüm deprem mühendisliği literatürlerindeki sınıfı “deprem sonrası ayakta kalması gereken yapılar” dır.

Bunların dışında dünyadaki birçok örneğe bakıldığında sismik taban yalıtım yöntemi ile yapılmış birçok iş merkezi veya konut da vardır. Deprem gerçeği ile ülkemizden çok daha önce tanışmış olan ülkeler de gayrimenkul şirketleri veya başka sektörlerde faaliyet gösteren şirketler yaptıkları yatırımın depremlerden etkilenmemesi amacıyla yapılarında sismik taban yalıtımı metodunun kullanmışlardır.

Çizelge 4.1 Dünya üzerinde yapılan sismik yapı yalıtımı ile ilgili uygulamalar ve organizasyonları (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

Ülke	İnsaa Edilen Yapılar	Aktif Organizasyonlar
Belcika		D'Appolonia
Kanada	1 tane Kömür Yükleyicisi, Prens Rupert B.C.	İngiliz Kolombiya Üniversitesi, Vancouver Pall Dinamik, Motreal Swan Wooster Engineering, Vancouver Khanna Grubu
Şili	1 tane Kömür Yükleyicisi, Guacolda	Şili Üniversitesi
Çin	2 tane Bina,(1975)	Beijing İnşaat ve Yapı Araştırma Enstitüsü Merkezi
	1 tane Yol İstasyonu, (1980)	
	1 tane 4 katlı Yurt Binası, Beijing (1981)	
İngiltere	1 tane nükleer yakıt geri dönüşümü yapabilen santral	Malezya Kauçuk Üreticileri Araştırma Birliği, Imperial Fen ve Teknoloji Koleji, Southhampton Londra Üniversitesi
Finlandiya		Imatran Voima Grubu
Fransa	4 tane Bina,(1977- 1982)	Ulusal Fen Bilimleri Araştırma Merkezi, Saclay Nükleer Enstitüsü Merkezi, Fransız Elektrik, Spie Batignolies
	1 tane 3 katlı Okul, Lambesc (1978)	
	2 tane Nükleer Atık Depolama Ünitesi, Cruas ve LePellirin ,(1982)	
Almanya		GERB, Berlin, Kraftwerke Derneği, Mühendislik Analizi, Polensky ve Zolher, Frankfurt, Jupp Grote
Yunanistan	2 İşhanı	Patras Üniversitesi
Macaristan		Budapeşte Teknik Üniversitesi
İzlanda	5 Köprü	İzlanda Kara Yolları
Hindistan		Roorkee Üniversitesi, Bhabha Atom Araştırma Merkezi
İran/Irak	1 tane Nükleer Güç Santrali, Karun Irmağı, (1978)	
	1 tane 12 katlı Bina, Tahran, (1968)	

Çizelge 4.1 (Devam) Dünya üzerinde yapılan sismik yapı yalıtımı ile ilgili uygulamalar ve organizasyonları (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

Ülke	İnşaa Edilen Yapılar	Aktif Organizasyonlar
İsrail		İsrail Teknoloji Enstitüsü
İtalya	3 tane viyadük	Austrotrade, Roma, TESIT, Milano, Milano Politeknik
Japonya	4 tane Bina	Taisei Şirketi, Tokyo Kenchiku, Okumura Şirketi, Obayashi-Gumi Şirketi, Oiles Endüstri, Sumitomo İnşaat, Takenaka Komuten Şirketi, Kajima Şirketi, Shimizu Şirketi, Bayındırlık Bakanlığı, Tokyo Üniversitesi, Tohoku Üniversitesi, Ulusal Elektrik Enerjisi Kurumu
	7 tane Araştırma laboratuvarı	
	2 adet Müze	
	5 tane İşhanı	
Meksika	1 tane 4 kalı okul, Mexico City, (1974)	Gonzales Flores, Mühendisler Odası
Ortadoğu	Propan ve Bütan Gaz Depolama Tankları	
Yeni Zelanda	3 tane İşhanı, Auckland ve Wellington (1982, 1983 ve 1989)	Fizik ve Mühendislik Laboratuvarı, Auckland Üniversitesi, Araştırma ve Geliştirme Bakanlığı
	37 tane Köprü	
	2 tane Endüstri Yapısı	
Romanya	Bina	Jassy Politeknik Enstitüsü
Rusya	3 tane Bina, Sivastopol	
	1 tane 3 katlı Bina	
Güney Afrika	1 tane Nükleer Güç Santrali, Koeberg	
İsviçre		İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü, Zürih
Amerika	6 tane Köprü	Dinamik İzolasyon Sistemleri, Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley, Reid ve Tracis Taban İzolasyon Danışmanlıkları, Forell, Elsesser, Reaveley Mühendislik, KPFF Mühendisler Odası, Bazı Ulaştırma Bölümleri
	6 tane Bina	
	3 tane Endüstri Yapısı	
Makedonya	1 tane 3 Katlı Okul, Üsküp (1960)	Kiril ve Metodij Üniversitesi
Türkiye	Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali	TAV Konsorsiyumu, Astaldi, Karayolları Genel Müdürlüğü
	Bolu Tüneli Viyadükleri	

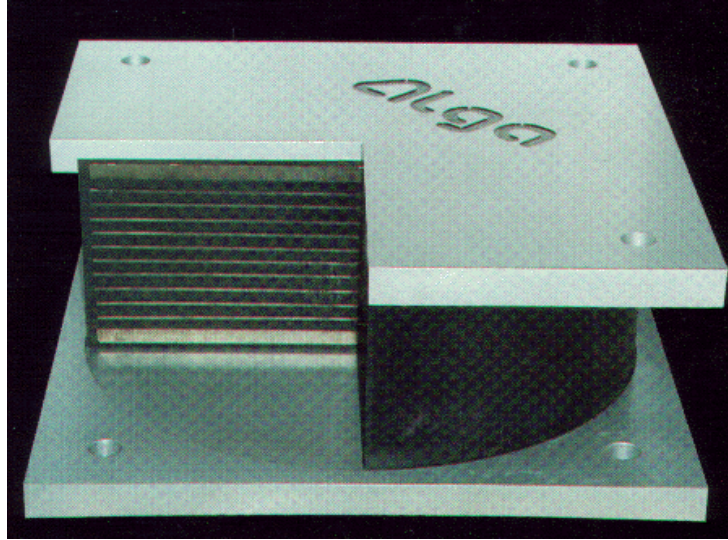
5. SİSMİK YALITIM CİHAZLARI TİPLERİ VE METODLARI

Taban yalıtımdan genel olarak iki tip sismik yalıtım cihazından söz edilebilir;

- Kauçuk Esaslı Sismik İzolatörler (Rubber Bearings-RB)
- Sürtünme Esaslı Sismik İzolatörler (Friction Pendulum Bearings-FPB)

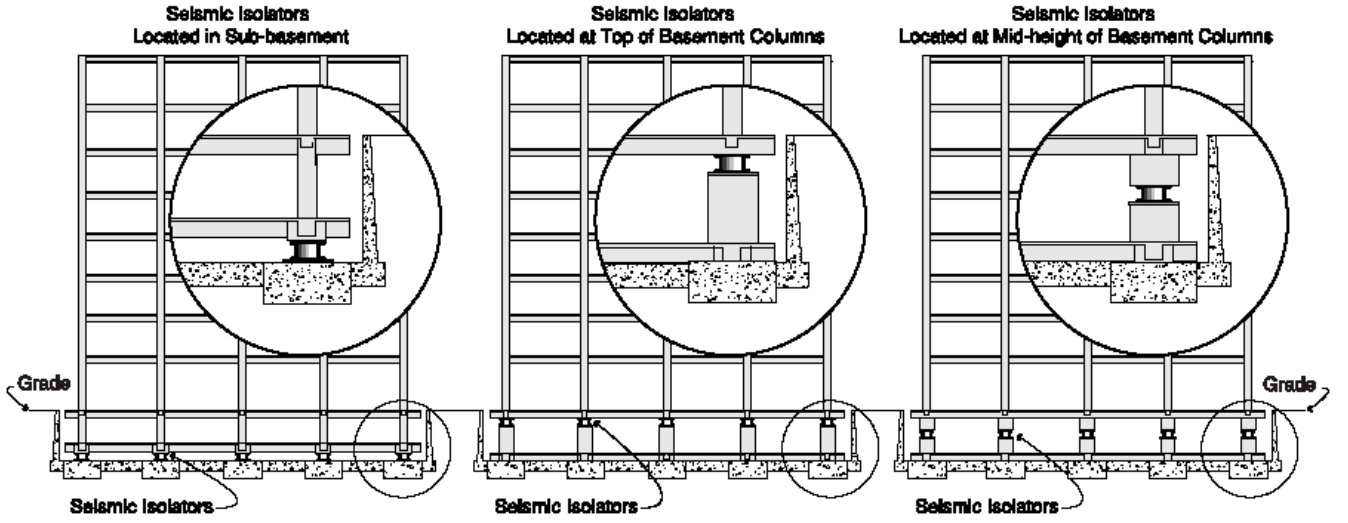
5.1 Kauçuk Esaslı Sismik İzolatörler

İki çelik levha arasına yerleştirilen, yatay birim şekil değiştirmesi ve kayma deformasyonu yüksek olan doğal kauçuğun içine rijitlik ve sönüm artışı için karbon siyahı eklenir. Ayrıca dinamik sönümü ve yatay stabilitesini yükseltmek amacıyla kauçuk malzemenin ortasına kurşun çekirdek yerleştirilir. Yatay deplasman sırasında düşey yüklere karşı rijitliği sağlamak amacıyla kauçuk malzemenin içerisine yatayda çelik levhalar yerleştirilir.



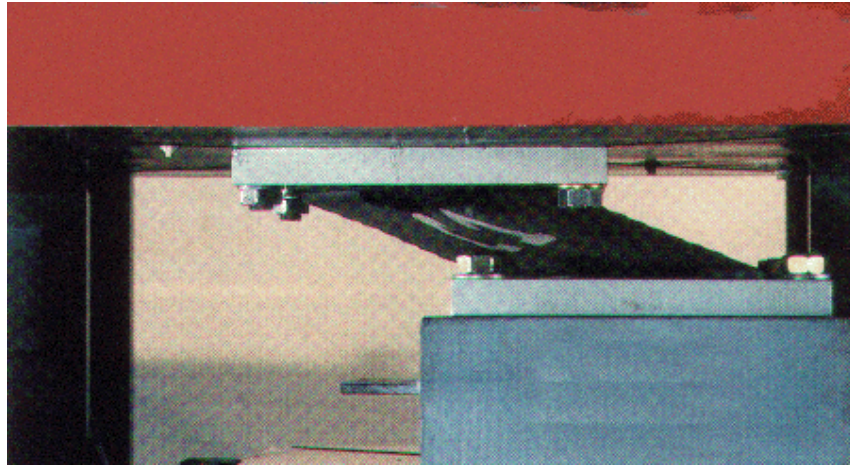
Şekil 5.1 Kauçuk esaslı sismik izolatör kesiti (www.alga.it)

Hesaplanan yatay ve düşey deplasmanları karşılayabilecek kapasitedeki kauçuk esaslı sismik izolatör taban plakları yardımıyla kolon altına yerleştirilir. Kauçuk esaslı sismik izolatörlerde yatayda her yönde kayma deformasyonu %150'ye yakındır. İzolatör cihazının orijinal pozisyonuna dönmesi düşey yüke ve içindeki çelik levhaların ve kurşun çekirdeğe bağlıdır. Yapılan statik hesaplara göre kauçuk esaslı sismik izolatörler kolon tabanına, kolon ortasına veya kat altına yerleştirilir. Yapının yatayda hareket etmesi prensibinden yararlanıldığından dolayı yeni yapılacak bir yapıda cihazın yerleşimi genellikle temel üst kotu olarak tayin edilir. Eğer yapıda bodrum kat mevcutsa, yatay harekete engel olmaması amacıyla yerleşim zemin altı altı kotu da seçilebilir.



Şekil 5.2 Kauçuk esaslı sismik izolatörün yapıda düşey yerleşimi (www.dis-inc.com)

Kauçuk esaslı sismik izolatörlerin genel kullanım olarak dairesel ve dikdörtgen kesitli iki tipi vardır. Boyutlarına göre fiziksel ve mukavemet değerleri değişmektedir. Değişik firmaların standart üretimlerine karşın genellikle bu tür cihazlar, proje bazında çalışmalarla ile tasarlanmakta ve boyutlandırılmaktadır. Kauçuk esaslı sismik izolatörlerde yatayda her yönde kayma deformasyonu %150'ye yakındır. İzolatör cihazının orijinal pozisyonuna dönmesi düşey yüke ve içindeki çelik levhaların ve kurşun çekirdeğe bağlıdır.



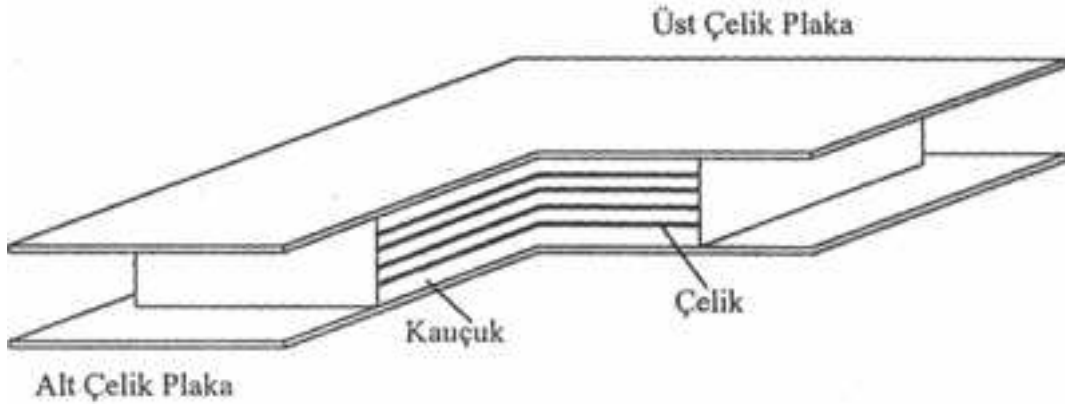
Şekil 5.3 Kauçuk esaslı sismik izolatörün test sırasında çekilmiş bir fotoğrafı (www.dis-inc.com)

Kauçuk esaslı yalıtım cihazları kendi içinde 3 ana başlıkta kategorize edilebilir;

- Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Sismik İzolatörler (LDRB)
- Kurşun Çekirdekli İzolatörler (LRB)
- Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler (HDRB)

5.1.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk İzolatörler (LDRB) :

Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler; viskoz sönümleyiciler, çelik çubuklar vb. gibi birtakım ek sönüm aletleri ile birlikte, Japonya'da yaygın olarak kullanılmıştır. Japonya'da kullanılan elastomer malzeme, doğal kauçuktan imal edilmektedir. Kauçuk malzeme, bir kalıp içinde uygulanan sıcaklık ve basınç altında tek bir işlen dahilinde, vulkanize edilmiş ve çeliğe bağlanmıştır. Çelik ara levhalar, kauçuk malzemenin iki yandan şişmesini yani yanal deformasyon yapmasını önlemekte ve düşey yönde yüksek bir rijitlik sağlamaktadır.



Şekil 5.4 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk esaslı sismik izolatörün tipik kesiti (Uludağ, 2005)



Şekil 5.5 Kauçuk esaslı sismik izolatörde bulunan çelik levhaların şematik olarak benzetimine ait bir resim (www.dis-inc.com)

Ancak bunla birlikte elik ara levhaların, yatay rijitlik üzerine hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Yanal rijitlik, kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik; tabaka kalınlığı sabit tutularak kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesi ile sağlanır. Kayma durumunda malzemenin davranışı, %100'n üzerindeki kayma şekil değiştirmelerine kadar oldukça lineerdir. Aynı zamanda kritik sönüm miktarı %2–3 arasında değişmektedir. İzolatörlerin yüksekliğinin artması mekanizmada burkulmaya yol atığından, yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmıştır. İzolatör çapının 1 m'den fazla ve taşıma kapasitesinin 500 ton civarında alınması genellikle uygundur.

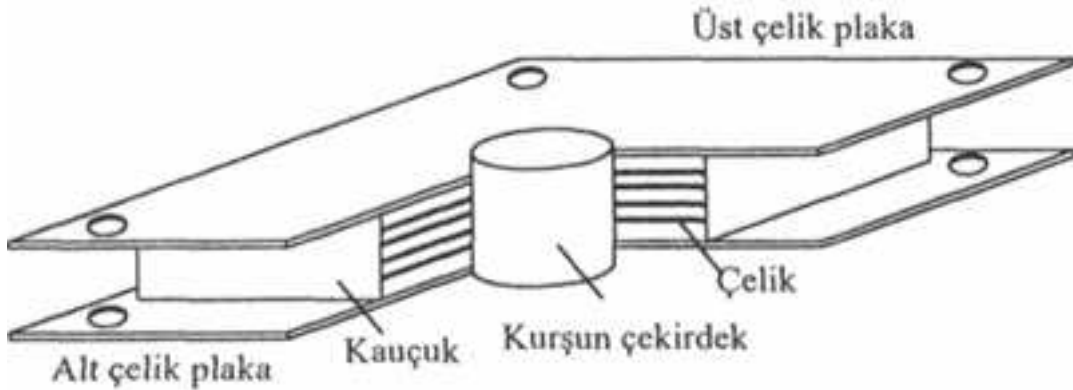
Düşük sönümlü doğal kauçuk taban izolatör sistemlerinde, yer değiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak, lineer değişmektedir. Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin imal edilmesi ve modellenmesi basittir, mekanik davranışları; hız, sıcaklık ve zamanla eskime gibi faktörlerden çok fazla etkilenmemektedirler. Fakat sönüm dereceleri düşük olduğundan yapıda tek başlarına kullanılamamaktadır, ek sönümleyici cihazlar (elik çubuklar, viskoz sönümleyiciler vb.) ile birlikte kullanılmaları uygundur.

5.1.2 Kurşun ekirdekli İzolatörler (LRB)

Kurşun ekirdekli izolatör, 1975 yılında Yeni Zelanda'da icat edilmiş ve bu olayı takiben Yeni Zelanda, Japonya ve A.B.D gibi ülkelerde yaygın olarak kullanılmıştır. Kurşun ekirdekli izolatörler; düşük sönümlü kauçuk izolatörlere benzer olarak ince tabakalara ayrılmış kauçuk izolatrlerdir. Ancak bu izolatörlerin düşük sönümlü kauçuk izolatrlerden farkı, şekil 5.6'da gösterildiği gibi, deliklerin arasına sokulmuş, bir tane ya da daha fazla sayıda kurşun çekirdeklerin kullanılmasıdır. İzolatörün içindeki elik levhalar, kurşun çekirdeği kayma sırasında şekil değiştirmeye zorlamaktadır. İzolatörün içindeki kurşun, 10 Mpa civarındaki bir akış gerilmesinde fiziksel olarak şekil değiştirmektedir. Böylelikle izolatörün lineer bir davranış göstermesi sağlanmaktadır. Kurşun çekirdeğin enerji sönümleme kapasitesi izolatörün yatay yer değiştirmesini azaltır. Bu sistem prensip olarak histeretik sönümleyici aletler gibi davranmaktadır. Bu nedenle kurşun çekirdekli izolatörlerin kuvvet-yer değiştirme karakteristik özelliği, lineer olmayan diferansiyel denklemler kurularak modellenebilmektedir. Bu izolatör sisteminin en önemli sakıncası; şiddetli yer hareketinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışarıdan tespit edilememesidir.

Kurşun ekirdekli izolatörler, Yeni Zelanda'da kapsamlı bir şekilde test edilmişlerdir. Bu tür izolatörlerin tasarımı ve modellenmesi konusu üzerinde hazırlanmış ve tamamlanmış,

tasarım ana hatları bulunmaktadır. Bu izolatörlerle taban izolasyonu yapılan binalar, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde iyi bir performans sergilemişlerdir.



Şekil 5.6 Kurşun Çekirdekli Sismik İzolatörün tipik kesiti (Uludağ, 2005)

5.1.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk Sismik İzolatörler (HDRB)

İngiltere'ye bağlı "Malaysian Rubber Producers Research Association (MRPA)" kurumu tarafından 1982 yılında; ek sönüm elemanlarına olan ihtiyacı gidermek üzere, yeterli içsel sönümü olan doğal kauçuk bir bileşimin geliştirilmesi başarılmıştır. Sönüm miktarı; aşırı saf karbon blok, yağlar veya reçineler ve diğer patentli katkı maddeleri eklenilmesi suretiyle arttırılmaktadır. % 100 oranındaki kayma şekil değiştirmelerinde, sönüm % 10 ve % 20 arasındaki mertebelere çıkarılmıştır. Sönümün; düşük sertliğe karşı gelen (50-55 durometer) küçük değerlerinde kayma modülü 0.34 Mpa civarında olmaktadır. Bununla birlikte, sönümün yüksek katılığa karşı gelen (70-75 durometer) büyük değerlerinde ise kayma modülü de yükselmekte ve 1.40 Mpa değerine ulaşmaktadır.

Malzeme % 20'den az orandaki kayma şekil değiştirmelerinde nonlineer davranmaktadır. Bununla birlikte; rüzgar yükü ve düşük düzeyli deprem yüklemesi altındaki davranışının minimize edilmesine yol açacak şekilde, daha yüksek rijitlik ve daha yüksek sönüm vasıtasıyla karakterize edilmektedir. % 20 ila % 120 arasındaki kayma şekil değiştirme oranlarının ötesinde, kayma modülü düşük ve sabit olmaktadır. Büyük şekil değiştirmelerde, bir sekil değiştirme kristalizasyonu işlemine bağlı olarak kayma modülü artmaktadır. Bununla beraber enerji yutulmasında da bir artış meydana gelmektedir.

İzolatörlerdeki sönüm ne viskoz ne de histeretik karakterlidir. Ancak ikisinin arasındadır. Tamamıyla lineer viskoz bir elemandaki enerji yutulması, yer değiştirme durumunda kuadratikdir. Histeretik sistemde ise enerji yutulması, yer değiştirme durumunda lineer olma

eğilimindedir.

Yüksek sönümlü doğal kauçuk sistemin bir diğer avantajı çevresel titreşimin azaltılmasında, bir aşama sağlamasıdır. İzolatörler; trafik ya da yakında bulunan bir yeraltı treni hattı nedeniyle meydana gelebilecek yüksek frekanslı düşey titreşimleri dışarı süzmek için harekete geçmektedir.

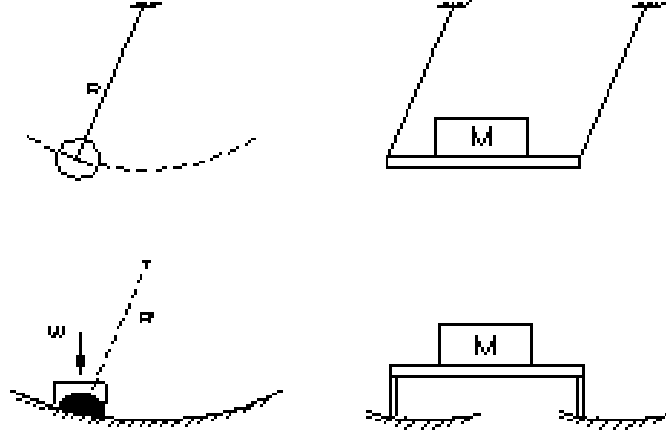
Bu tez çalışmasında kauçuk esaslı sismik izolatörlere ilişkin kullanılmak üzere standart üretim tipleri hakkında ki teknik özellikler “Alga Spa” ve “Dynamic Isolation Systems, Inc.-DIS” firmalarından alınıp derlenmiş ve aşağıda Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 300mm – 700mm çaplı sismik izolatörlerin teknik özellikleri (GZP-Kurşun sönümsüz, GZY-Kurşun sönümlü) (www.alga.it/www.dis-inc.com)

KAUÇUK SİSMİK YALITIM CİHAZLARI (Φ300-Φ700)								
	Çap	Yükseklik	Düşey Basınç Kapasitesi	Düşey Rijitlik	Yatay Rijitlik	Sönüm Oranı	Tasarım Deplasman ₁	Maximum Deplasman
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN/mm)	(kN/mm)	(%)	(mm)	(mm)
GZP-300	320	110.5	1000	530	0.52	5	64	160
GZY-300	320	110.5	1000	800	0.84	22	64	160
GZP-400	420	124	1800	750	0.85	5	80	200
GZY-400	420	125	1800	1000	1.42	18	80	200
GZP-500	510	158	2500	1000	1.05	5	98	245
GZY-500	510	158	2500	1400	1.75	18	98	245
GZP-600	620	197	4000	1690	0.90-1.57	5	112	350
GZY-600	620	197	4000	2200	1.92-3.36	29	112	350
GZP-700	720	237	5500	2480	1.13-1.97	5	133	385
GZY-700	720	237	5500	3050	1.90-3.32	25	133	385

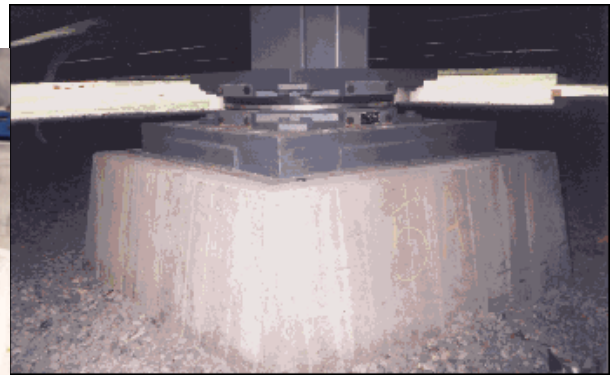
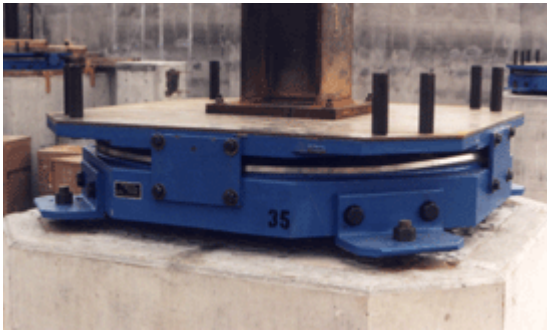
5.2 Sürtünme Esaslı Sismik İzolatörler

Özel metaller kullanılarak içbükey küresel yüzey üzerinde kayabilen mesnet elemanı bu yatay hareket sırasında binayı yükselten bir özelliği olduğundan gelen enerjiyi sönmölemek ve deprem etkisini %80 oranında azaltmaktadır.



Şekil 5.7 Sürtünme esaslı sismik izolatörlerin teorik esaslarını anlatan, kinematik ve potansiyel enerji değişimlerini anlatan bir şema (www.earthquakeprotection.com)

Kolon altına yerleştirilen sürtünme esaslı sismik izolatör, içbükey %5'lik sürtünmeli yüzeyi sayesinde tabandan gelen deprem yüklerinin yapıya %5'lik kısmını aktarır. Deprem enerjisini içbükey kısım sarkaç prensibine dayanarak yapının ağırlığını kullanarak sönmöler. Çevresel etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olan bu sistem, sürtünmeli olması özelliğinden deprem enerjisini yutmayı sağlar.



Şekil 5.8 Sürtünme esaslı sismik izolatörlerin uygulama sırasında çekilmiş fotoğrafları (www.earthquakeprotection.com)

Sürtünme esaslı sismik izolatörde, izolatörün geometrisi ve taşıdıkları ağırlık-yapının ağırlığı-önemli parametrelerdir. Zira bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel ilkelerine bağlıdır. Sürtünmeli sismik izolatör ile mesnetlenen yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sarkaç sistemi, kayıcı olup silindirik iç büküye yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu mesnet malzemesi yüksek basınç mukavemetine sahiptir.

Tamamı ile kayıcı bir sistem, önerilen en eski ve en basit taban izolasyon sistemidir. Yalnızca kaymayı kullanan bir sistem; Johannes Avetican Calantarients adında, İngiltere'de yaşayan bir tıp doktoru tarafından, 1909 yılında önerilmiştir. Johannes, talktan bir tabaka yardımı ile yapıyı temelden ayırmayı önermiştir. Bina ile temeli arasında oluşabilecek büyük yer değiştirmeler pahasına da olsa, izolasyon sisteminin taban izolasyonlu binadaki ivmeleri azalttığına açık bir şekilde anlamıştır.

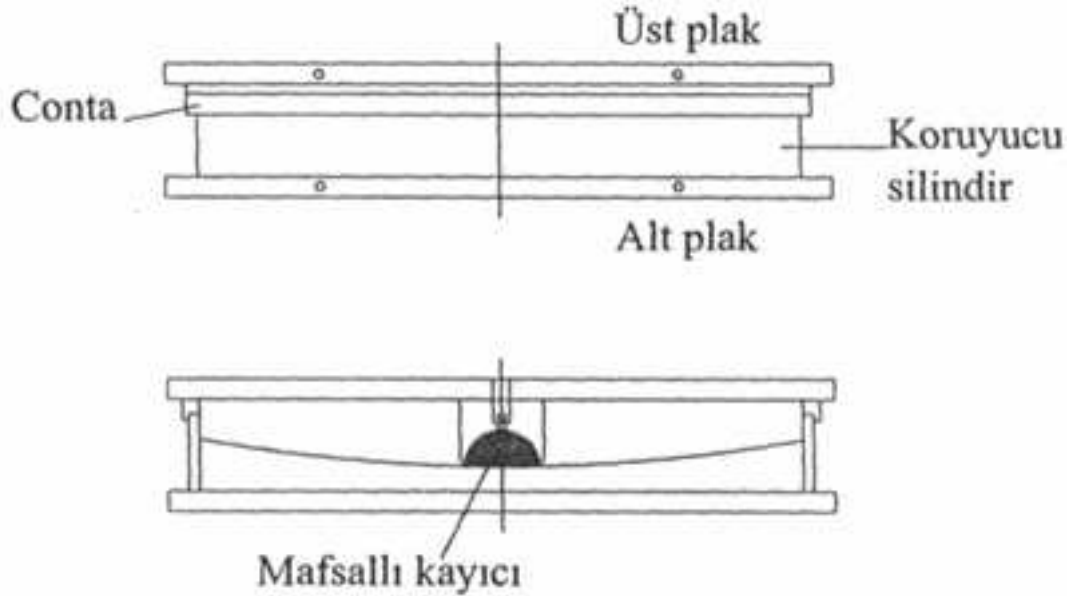
Harmonik yükleme ya da deprem yüklemesine maruz kalmış kayıcı sistemler üzerindeki yapıların dinamiği konusu hakkında çok miktarda teorik analiz yapılmıştır. Örneğin, taban izolasyonlu bir binanın tasviri olarak ifade edilmesi için Westermo ve Udwadia, Coulomb sürtünmesi kayıcı ara yüzey üzerindeki bir lineer osilatorun periyodik davranışı üzerinde çalışmışlardır. Sürtünmenin daima tepkiyi azaltacağı şeklindeki genel anlayışın aksine, bu kişiler tepkinin aynı binanın ankastre temelli modelinde ortaya çıkan tepkiden çok daha büyük olabileceğini ve tek serbestlik dereceli modelin kayıcı ara yüzey tarafından üretilen harmonik altı rezonans frekanslarına sahip olduğunu, bulmuşlardır. Benzer bir modelin, deprem yüklemesi altındaki davranışı konusunda da, Mostaghel çalışmıştır.

Coulomb sürtünmesi varsayımı, bu teorik analizlerde genellikle kullanılmış. olmakla birlikte gerçek davranışı tam olarak doğru bir şekilde temsil edebileceği de olası değildir.

Kayıcı mesnetler için en çok kullanılan malzemeler, paslanmaz çelik üzerine kaplanan doldurulmamış ya da doldurulmuş 'politetrafloraetilen'dir. (PTFE ya da Teflon). Bu sistemin sürtünme karakteristikleri; sıcaklığa, ara yüzey hareketinin hızına, aşınma derecesine ve yüzeyin temizliğine bağlıdır. Buna benzer kayıcı elemanların mekanik davranışının söz konusu yönleri üzerinde kapsamlı test çalışmaları yapılmıştır.

Sürtünme esaslı sismik izolatör sistemi, bir kayma hareketini ve bir geri dönüş kuvvetini geometrisi yardımıyla birleştiren, sürtünmeli bir izolasyon sistemidir. FPB izolatörü; paslanmaz çelikten küresel bir yüzey üzerinde hareket eden, mafsallı kayıcıya sahiptir. Mafsallı kayıcının kenarı, düşük sürtünmeli kompozit bir malzeme ile kaplanmıştır. Kayıcının

diğer kenarı da tam küresel olup, paslanmaz çelik ile kaplıdır ve yine düşük sürtünmeli kompozit malzeme ile kaplanmış küresel bir oyuk içinde oturmaktadır. Kayıcı, küresel üzerinde hareket ettikçe taşınan kütlenin yükselmesine yol açmakta ve sistem için geri dönüş kuvveti sağlamaktadır. Mafsallı kayıcı ve küresel yüzey arasındaki sürtünme, izolatörlerde sönüm meydana getirmektedir.



Şekil 5.9 Sürtünme esaslı sismik izolatörlerin tipik kesiti (Uludağ, 2005)

Sürtünmeli sarkaç sistemlerin geometrisi ve taşıdıkları ağırlık, önemli parametrelerdir. Çünkü bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel prensiplerine dayanır. Sürtünmeli sarkaç tipteki izolatör ile mesnetlenen yapı, deprem hareketine karşı, küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Mesnedin küresel yüzeyi aşağı ve yukarıya yönelik olabilir. Her iki tür de aynı davranışı göstermektedir.

Sürtünme esaslı sismik izolatör sistemlerde bulunan koruyucu silindir, yatay yer değiştirmelerin engellenmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca, iç elemanların çevresel kirlilikten korunmasını engellemektedir. Koruyucu silindir tarafından sağlanan yer değiştirme sınırlandırılması, deprem yüklerinin hesap yüklerini büyük miktarda aşması halinde, çok önemli bir emniyet sağlamaktadır.

İzolatörün efektif rijitliği ve yapının izolasyon periyodu, içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı vasıtasıyla kontrol edilmektedir. İzolatörün titreşim periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada

R : Küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı,

g : Yerçekimi ivmesini

ifade etmektedir.

Yukarıdaki ifadede görüldüğü üzere titreşim periyodu, kütleden bağımsız ancak içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Böylelikle yapının izolasyon periyodu tek parametreye bağlı olduğundan, değiştirilmesi kolaydır. İzolatörlerin sürtünme kuvveti aşıldığında, izolasyonlu periyot aktif hale gelmektedir. Kayma hareketi başladığında aktif olan sürtünme kuvveti, mesnet malzemesinin seçimi ile kontrol edilir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu sürece, sarkaç sistemlerle mesnetlenen yapı, titreşimin izolasyonsuz periyoduna karşılık gelen bir tepki gösterecektir.

6. TABAN İZOLATÖRLERİNİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ VE MODELLENMESİ

6.1 Giriş

Bir izolasyon sistemi için tasarım işlemi; önceki bir projeden yada sistemin yapacağı olası en büyük yer değiştirmeyi tahmin edebilmek için üretici firmadan alınan bilgilere dayanan parametreleri kullanarak, bir ön tasarım işlemi ile başlar. Üretici firmadan alınabilecek diğer kontrol parametreleri arasında kayma şekil değiştirmesi de sıralanabilir. Burada amaç yapının taban kesmesi ve izolatörlerin stabilizesi hakkında bir fikir sahibi olmaktır. Bu ön tasarım işlemi tamamlandıktan sonra izolatörlerin kesin yani nihai tasarımı için örnekler sipariş edilir. Daha sonra bu örnekler yönetmeliğe tabii bir test programından geçirilirler. Prototip test sonuçlarına bağlı olarak, ön tasarımın değiştirilmesi gerekecek ya da gerekmeyecektir. Tasarımdaki iterasyon adımlarının sayısını minimize etmek için, ön tasarım aşamasında mutlaka doğru bilgiye sahip olunmalı ve iyi tasarım işlemleri yapılmalıdır.

6.2 Kauçuk Esaslı İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri

Tabakalı kauçuk esaslı izolatörlerin mekanik karakteristikleri üzerinde, uzun yıllardır çalışmalar sürdürülmektedir. Nonlineer teknikleri kullanarak kesin analizlerin yapılması hala oldukça zor olmakla birlikte, birçok araştırmacı tarafından elastik teoriye dayalı basit tahminler geliştirilmiştir. Bu tahminler ayrıca laboratuvar testleri ve en son olarak sonlu elemanlar analizi ile doğrulanmış durumdadır. İzolatörün en önemli mekanik özelliği, izolatörün yatay rijitliğidir. Yatay rijitlik aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$K_H = \frac{G.A}{t_r} \quad (6.1)$$

Burada,

G: Elastomer malzemenin yani kauçuğun kayma modülü,

A: Kauçuğun plandaki enkesit alanı

t_r : Kauçuğun toplam kalınlığıdır.

Maksimum yatay yer değiştirme değeri D , maksimum kayma şekil değiştirmesi γ_m ile ilişkilidir. Bu durum aşağıda gösterilmektedir:

$$\gamma_m = \frac{D}{t_r} \quad (6.2)$$

Düşey rijitlik, K_v ve eğilme rijitliği (kiriş teorisi analojisinde EI olarak ifade edilir.) değerleri de yine basit bir lineer elastik teori yardımı ile verilmektedir. Bunlar bir izolatörün tasarımı için gerekli büyüklüklerdir.

Taban izolasyonlu bir yapının düşey frekansı, izolasyon sistemini oluşturan izolatörlerin düşey rijitliği tarafından kontrol edilir. Bu düşey frekansı tahmin edebilmek için, tasarımcının; sadece belirli bir zati yük etkisi altında izolatörlerin düşey rijitliğini hesaplaması gerekmektedir. Bunun için bir lineer analiz yeterlidir. Bir izolatörün düşey yük altındaki başlangıç davranışı oldukça lineerdir ve çeşitli faktörlere bağlıdır.

Tasarım için analiz edilmesi zorunlu bir diğer önemli izolatör özelliği, taban izolatörünün burkulma davranışdır. Bu analizin yerine getirilmesi için, basınç etkisi altında sıkıştırılmış bir izolatörün, eğilme momenti etkisi altındaki davranışının incelenmesi gerekmektedir. "Eğilme rijitliği" olarak adı geçen bu özellik, düşey rijitliğin belirlenmesi için yapılan analizin bir uzantısı yardımıyla tespit edilmektedir.

Kauçuk bir mesnedin düşey rijitliği aşağıdaki formül yardımıyla verilmektedir:

$$K_v = \frac{E_c \cdot A}{t_r} \quad (6.3)$$

Burada

A: İzolatörün enkesit alanı (genellikle levhaların alanı olarak alınır.)

t_r : Kauçuğun toplam kalınlığıdır.

E_c : Belirli düzeydeki bir düşey yük etkisi altında, kauçuk ve çelikten oluşan kompozit elemanın elastisite modülüdür. Tek bir kauçuk tabakasına ait E_c değeri, şekil faktörü S 'e bağlıdır. S, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır :

$$S = \frac{\text{Yüklü Alan}}{\text{Kuvvet Uygulanmayan Alan}} \quad (6.4)$$

S faktörü, elastomer kauçuk malzemenin tek bir tabakasına ait boyutsuz bir oran ölçüsüdür. Örneğin t kalınlığında ve 2b genişliğindeki, tek tabakalı sonsuz bir şerit için

$$S = \frac{b}{t} \quad (6.5)$$

Çapı ϕ yada yarıçapı R ile belirtilen ve t kalınlığındaki dairesel bir izolatör için

$$S = \frac{\phi}{4t} \text{ veya } S = \frac{R}{2t} \quad (6.6)$$

Bir kenarın uzunluğu a olan, t kalınlığındaki kare bir izolatör için

$$S = \frac{a}{4t} \quad (6.7)$$

Tam daire şeklindeki tek bir tamponun elastisite modülü aşağıdaki gibi verilir;

$$E_c = 6GS^2 \quad (6.8)$$

Aynı değer, kare şeklindeki bir izolatör için

$$E_c = 6.73GS^2 \quad (6.9)$$

İle hesaplanır.

Bazı durumlarda izolatörler, doldurulmamış bir merkezi boşlukları olacak şekilde tasarlanabilmektedir. İç yarıçapı a ve dış yarıçapı b olan, halka şeklindeki bir izolatör için basınç modülü;

$$E_c = 6\lambda GS^2 \quad (6.10)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Burada

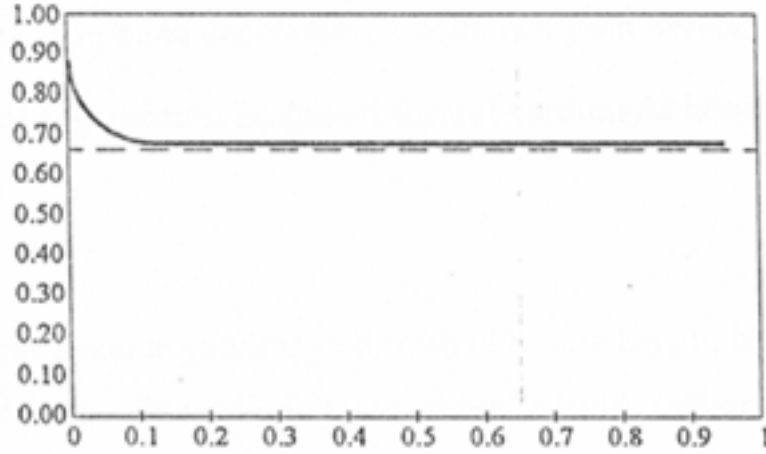
$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2) / \ln(b/a)]}{(b-a)^2} \quad (6.11)$$

$$a/b \longrightarrow 0 \text{ ise } \lambda \longrightarrow 1 \quad E_c = 6GS^2$$

$$a/b \longrightarrow 1 \quad a/b = 1 - \varepsilon \quad \varepsilon \longrightarrow 0 \quad \lambda = 2/3 \quad E_c = 4GS^2 \text{ sonsuz şerit için}$$

λ , 2/3 değerine çok hızlı yaklaşmaktadır.

Bu durum aşağıdaki Şekil 6.1’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Basınç modülü E_c 'nin, izolatör geometrisine bağlı olarak azalma grafiği
(Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

Şekilde açıkça görülmektedir ki, $a/b > 0.10$ için λ değeri neredeyse $2/3$ olmaktadır. Yani, izolatör üzerindeki küçük bir deliğin bile E_c basınç modülü üzerinde çok büyük bir etkisi bulunmaktadır. O yüzden, merkezi delikleri olan izolatörler için çoğu durumda, basınç modülü yani E_c değeri $4GS^2$ olarak alınmalıdır.

Basınç etkisi altında, birbirine bağlı çelik levhalar nedeniyle kauçukta γ_c ile gösterilen bir kayma şekil değiştirmesi meydana gelir. Nominal basınç şekil değiştirmesi ε_c aşağıdaki gibi verilirse,

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta}{t_r} \quad (6.12)$$

Burada Δ , basınç etkisi altında meydana gelen düşey yer değiştirme yani kısalma miktarıdır. Bu durumda

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \quad (6.13)$$

Olur. Bu değer izolatörün kenarlarında meydana gelen maksimum kayma şekil değiştirmesidir ve çoğu zaman tasarımda kullanılır.

Tasarımcının üzerinde durduğu tek kayma şekil değiştirmesi değeri, basınca bağlı maksimum kayma şekil değiştirmesi değildir. Ortalama kayma şekil değiştirmesini belirlemek de ayrıca faydalı olmaktadır. Çünkü kauçuk malzeme her zaman bir şekilde, şekil değiştirmeye karşı duyarlıdır. Kayma modülü, G , özellikle çok dolu kauçuk malzemelerde olmak üzere, şekil

değiştirme düzeyine bağlı olarak değiştirilmektedir. Ortalama şekil değiştirmeyi tahmin etmek için kullanılan uygun basınç modülü değeri, tamponda depolanmış elastik enerjinin hesabına dayanır.

Ortalama kayma şekil değiştirmesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır;

$$\gamma_{ort} = \sqrt{6} S \varepsilon_c \quad (6.14)$$

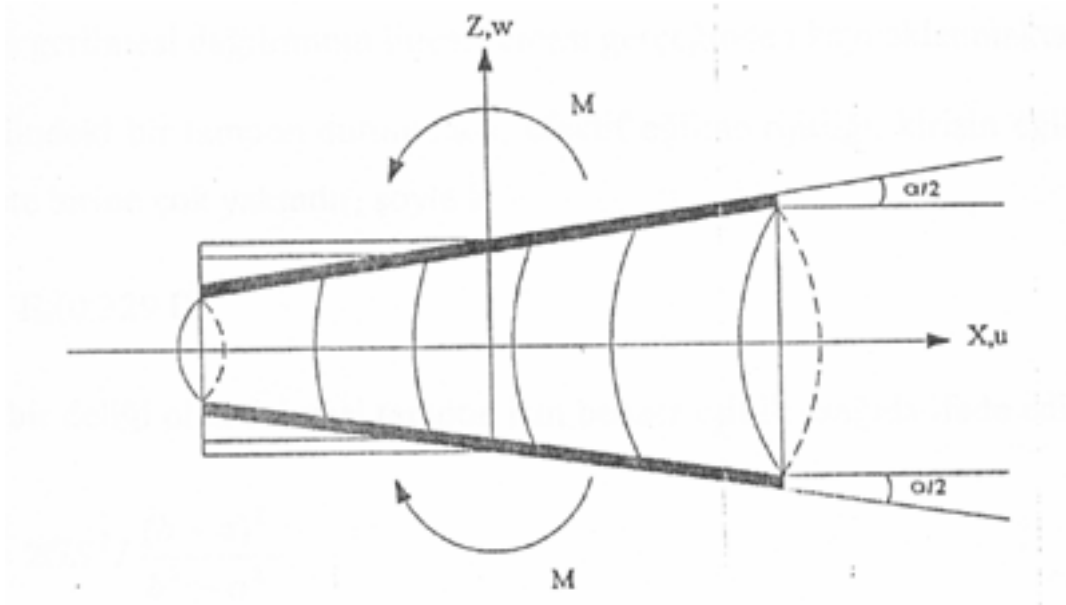
Belirli bir mertebedeki deneme yanılmaya ihtiyaç olmasına karşın, bu tür hesaplamalar uygun G değerinin tahmin edilmesi için tasarımcıya kolaylık sağlamaktadır. Böylelikle bu adımdan sonra düşey rijitlik değeri belirlenebilmektedir. ε_c 'yi hesaplamak için ilk olarak rasgele bir G değeri seçilmek zorundadır. Bu adımdan sonra da γ_{ort} hesaplanır. Bulunan sonuca göre kayma modülü değeri gerekirse yeni bir iterasyon daha yapılarak değiştirilir. %20'nin üzerindeki şekil değiştirme oranlarında kayma modülü, şekil değiştirmeye karşı çok duyarlı değildir. Bu nedenle birkaç iterasyon gereklidir.

Bir tamponun eğilme rijitliği, yer değiştirme kabullerinde kullanılan yaklaşımla benzer bir yaklaşım kullanılarak hesaplanır. Tamponun, salt bir M momenti ile yüklü olduğu kabul edilir. Tampondaki yer değiştirme ise, tampona bağlı üst ve alt levhaların bir dönmesi olarak kabul edilir. Bu durum aşağıdaki Şekil 6.2'de gösterilmektedir. Üst ve alt levhalar arasındaki rölatif açı α ile gösterilmektedir. Yer değiştirme tarafından meydana getirilen eğrilik yarıçapı ρ , α ile aşağıda gösterildiği gibi ilişkilidir.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha}{t} \quad (6.15)$$

Kiriş teorisindeki analogi göz önüne alırsak;

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (6.16)$$



Şekil 6.2 Salt eğilme etkisi altında olan rijit tabakalar arasındaki kauçuk izolatör
(Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

Bu durumda aşağıdaki ifade ortaya çıkar;

$$M = (Et)_{eff} \frac{\alpha}{t} \quad (6.17)$$

Burada

M: Eğilme momenti

α : Alt ve üst levhaların arasındaki rölatif açı

t: Tek bir kauçuk tabakasının kalınlığıdır.

R yarıçaplı dairesel bir izolatör için aynı sonuç aşağıdaki gibi çıkacaktır;

$$M = \frac{3\alpha G}{3t^3} \cdot \frac{\pi R^6}{12} \quad (6.18)$$

Ve dairesel kesitli bir kiriş için,

$$I = \frac{\pi R^4}{4} \quad (6.19)$$

Olacaktır.

Ancak bu durumda, eğilme rijitliği yani EI ifadesindeki elastisite modülü E'yi,

$E_c = 6GS^2$ olarak almamız halinde, I için $\pi^4/12$ sonucunu buluruz. Bulunan sonuç, yukarıda ifade edilen kiriş atalet momentinin üçte birine eşittir. Aradaki bu fark, izolatör boyunca basınç dağılımının kübik parabol olarak değişmesine karşın, kirişte ise eğilme gerilmesi dağılımının lineer olması gerçeğinden kaynaklanmaktadır.

Kare şeklindeki bir izolatör durumunda; efektif eğilme rijitliği kirişin eğilme rijitliği EI'nın üçte birine çok yakındır, şöyle ki;

$$(EI)_{eff} = E_c (0.329 I) \quad (6.20)$$

Merkezi bir deliği olan dairesel izolatör için benzer eşitlik ifade edilmektedir.

$$(EI)_{eff} = 2GS^2 I \frac{(b+a)^2}{b^2 - a^2} \quad (6.21)$$

Eğilme nedeniyle oluşan kayma şekil değiştirmeleri, aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\gamma_b = 6S\varepsilon_b \quad (6.22)$$

Burada

$\varepsilon_b = R(\alpha/t)$: Eğilme nedeniyle oluşan kenar basınç şekil değişimidir.

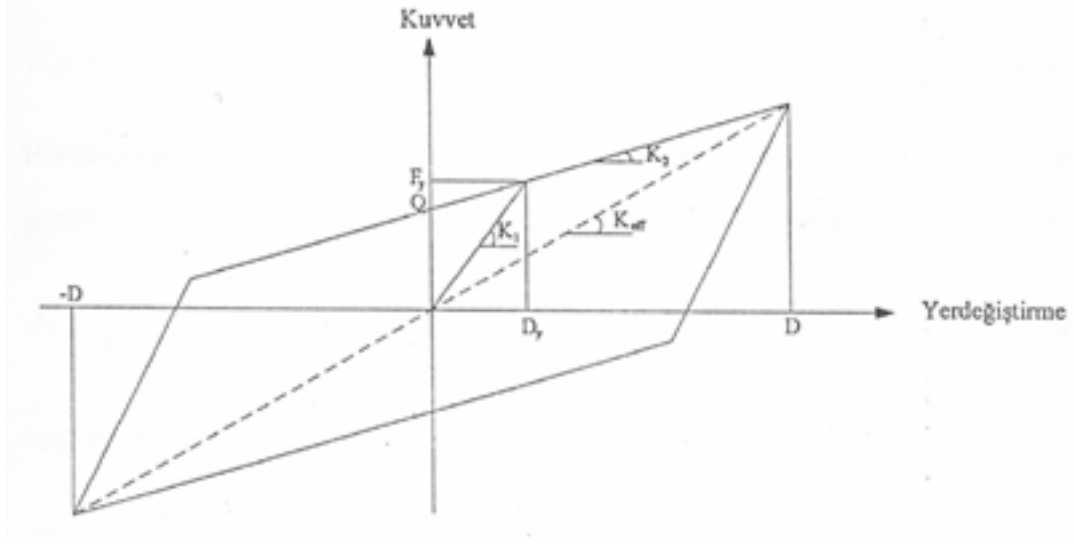
Ortalama kayma şekil değişimi;

$$\begin{aligned} \gamma_b^{ort} &= \sqrt{2} S^2 \alpha \\ &= \sqrt{2} S \frac{R}{4} \cdot \frac{\alpha}{t} = \frac{\sqrt{2}}{4} S \varepsilon_b \end{aligned} \quad (6.23)$$

6.3 Kurşun Çekirdekli Tabakalı Kauçuk İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri

Kurşun çekirdekli izolatörler daima bileer elemanlar olarak modellenirler. Bu izolatörlerin karakteristikleri üç temel parametreye dayanır. Bunlar sırasıyla K_1 , K_2 ve Q 'dur. Elastik rijitlik K_1 'in hesaplanması zordur ve genellikle K_2 'nin deneye dayalı olarak belirli bir katsayı ile çarpılması sonucunda hesaplanır. K_2 ise, kauçuğun kayma modülünden ve izolatör mesnedinin tasarım boyutlandırması sonucu kesin bir şekilde belirlenen, "Akma sonrası rijitliktir. Karakteristik dayanım Q , kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisinde kuvvet eksenini üzerindeki bir büyüklüktür. Q , kurşunun akma gerilmesi (10.3 Mpa) ve kurşun çekirdeğin alanına göre belirlenir.

Kurşun çekirdekli bir izolatörün efektif rijitliği kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisinin en alt ve en üst noktalarını birleştiren doğru parçasını eğimidir, dolayısıyla yer değiştirme değeri arttıkça efektif rijitlik küçülür. Bu durum aşağıdaki Şekil 6.3'te gösterilen tipik bir kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisinden kolayca anlaşılabilir.



Şekil 6.3 Kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisi üzerindeki temel parametreler (Dumanoğlu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

Temel parametreler olan K_1 , K_2 ve Q cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad D \geq D_y \quad (6.24)$$

Burada D_y akma gerilmesidir.

Doğal frekans, ω aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\begin{aligned} \omega &= \sqrt{\frac{K_{eff} \cdot g}{W}} \\ &= \sqrt{\omega_0^2 + \mu \cdot \frac{g}{D}} \end{aligned} \quad (6.25)$$

burada $\mu = \frac{Q}{W}$, $\omega_0^2 = K_2 \cdot g / W$ ve efektif periyot T ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \cdot \frac{g}{D}}} \quad (6.26)$$

$D \geq D_y$ için, efektif sönüm β_{eff} aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\beta_{eff} = \frac{\text{Histeresis eğrisinin alanı}}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (6.26)$$

Histeresis eğrisinin alanı $4Q(D - D_y)$ çarpım ifadesi ile verilmektedir. β_{eff} 'i, bu temel parametreler cinsinden yeniden yazmak gerekirse aşağıdaki notasyon takip edilebilir.

$$D_y = \frac{F_y}{K_1} \quad F_y = Q + K_2 D_y \quad (6.27)$$

Böylelikle

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$$

Olarak hesaplanır.

β_{eff} 'in tanımı ve denklem (6.24)'teki sonucu kullanırsak aşağıdaki sonucu elde ederiz.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (6.30)$$

Genel bir kural olarak rijitlik K_1 , $10 K_2$ olarak alınır. Bu kabul $D_y = Q/(9K_2)$ sonucunu verir ve sonuç olarak efektif sönümü aşağıdaki gibi elde ederiz.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q[D - (Q/9)K_2]}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (6.31)$$

6.4 Sürtünme Esaslı Sismik İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri

Sürtünmeli sarkaç tipteki bir izolatörün taşıdığı yük W , yaptığı yatay yer değiştirme D , sürtünme katsayısı μ ve sürtünme kuvveti F_s olsun. Aşağıdaki Şekil 6.4'te sistemin serbest cisim diyagramı ve tüm değişkenleri gösterilmektedir.

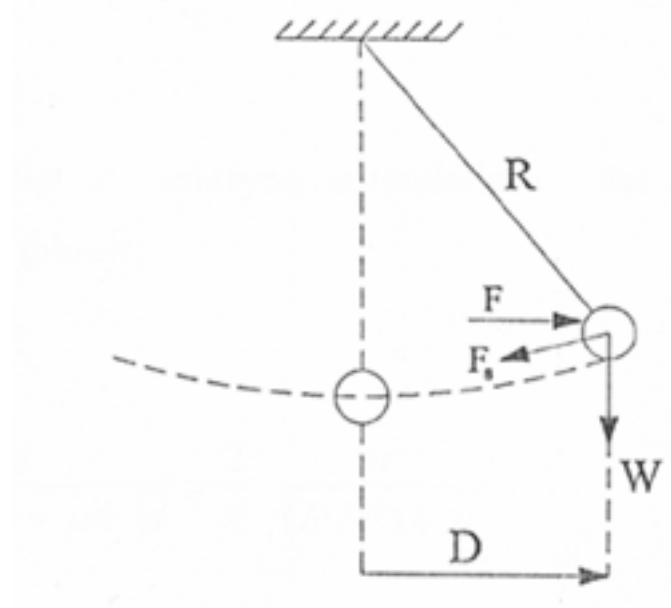
Sistemde meydana gelen F tepki kuvveti aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F = \frac{W}{R} \cdot D + \mu \cdot W [\text{sgn}(\dot{D})] \quad (6.32)$$

burada

R : Küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı

$[\text{sgn}(\dot{D})]$: Kayma hızına bağlılığı gösteren bir işaret fonksiyonun ifade etmektedir.



Şekil 6.4 Sürtünme esaslı sismik izolatör sisteminin serbest cisim diyagramı ve temel parametreleri (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

Yukarıdaki eşitlikte yer alan ilk terim, kütlenin yükselmesinden kaynaklanan geri dönüş kuvveti yani sarkaç kuvvetidir. Bu kuvvet değeri, bir yatay rijitlik sağlamaktadır.

$$K_H = \frac{W}{R} \quad (6.33)$$

Yatay rijitlik aşağıda gösterildiği üzere “ T ” ile ifade edilen bir izolasyonlu yapı periyodu üretmektedir.

$$T = 2\pi\sqrt{R/g} \quad (6.34)$$

Yukarıdaki eşitlikten anlaşılabacağı gibi, izolasyonlu yapı periyodu taşınan kütleden

bağımsızdır. (6.32) nolu eşitlikte yer alan ikinci terim ise mafsallı kayıcı ve içbükey (konkav) yüzey arasında oluşan sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Sürtünme katsayısı, μ ; p basıncına ve kayma hızı yani $\dot{D}$ 'ne bağlıdır. Basınç değeri arttıkça, sürtünme katsayısı azalmakta; 51 mm/s'nin üzerindeki hızlarda ve 14 MPa'dan daha yüksek basınçlarda ise hızdan bağımsız hale gelmektedir. Sürtünmeli sarkaç tipteki izolasyonlu sistemlerde; geri dönüş, kuvvetinin çok doğrusal özellik göstermesi, kayma hareketi meydana gelmeden önce sistemin yüksek rijitliğe sahip olması ve kayma hareketi nedeniyle oluşan sürtünme dolayısıyla enerji yutulması gibi özellikler, kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrilerinin karakteristik özellikleridir.

Efektif rijitlik aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir;

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu \cdot W}{D} \quad (6.35)$$

Sürtünme esaslı sismik izolatör tipteki sistemlerin diğer karakteristikleri aşağıdaki eşitliklerde verildiği gibidir ;

$$\beta_{eff} = \frac{4\mu Wd}{2\pi[(W/R)D + \pi W]d} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\mu}{(D/R) + \mu} \quad (6.36)$$

D yatay yer değiştirmesinden sonra yukarı yöndeki δ_v yer değiştirmesi;

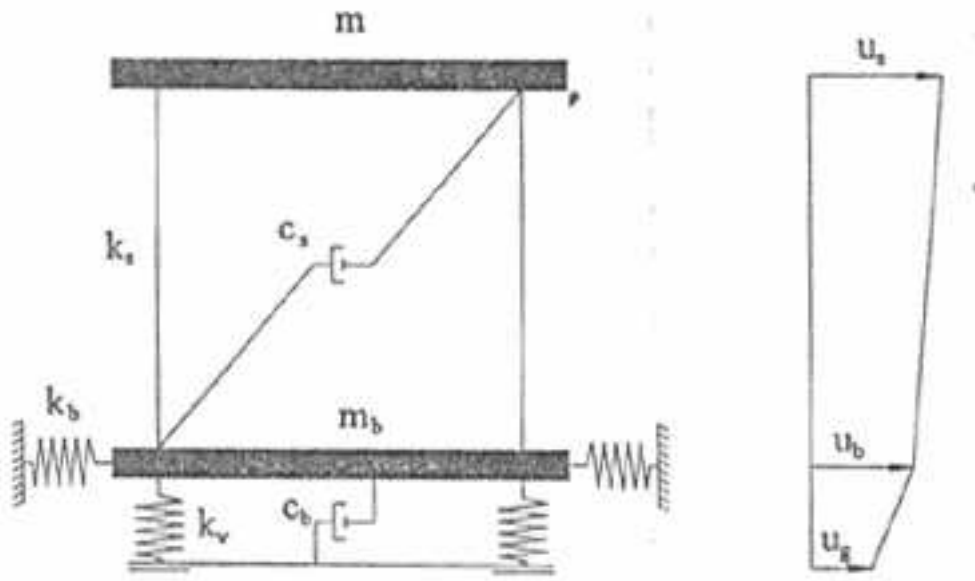
$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D}{R} \right) \right] \quad (6.37)$$

Denklemleri ile hesaplanır.

7. TABAN YALITIMIN TEORİK ESASLARI

7.1 Lineer Teori

Taban izolasyonuna ait lineer teori konusu, Kelly tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Lineer Teori Şekil 7.1'de gösterildiği gibi iki kütleli bir yapı modeline dayanmaktadır. "m" ile Şekil 7.1'de gösterilen kütle, binanın üst yapısını temsil etmek üzere planlanmıştır. "m_b" ile ifade edilen kütle ise, izolasyon sistemi üzerindeki temel katmanının kütlesini göstermektedir. Yapı rijitliği ve sönüm değerleri sırasıyla k_s ve c_s ile gösterilmiştir. (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)



Şekil 7.1 İzole edilmiş binanın şematik çizimi (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999)

İzolasyona ait rijitlik ve sönüm değerleri ise k_b ve C_b ile gösterilmiştir. İki kütleli mutlak deplasmanları "u_s" ve "u_b" sembolleri ile gösterilmektedir. Ancak, rölatif deplasmanları kullanıp ona göre tarif etmek daha elverişli olacaktır.

$$v_b = u_b - u_g \quad v_s = u_s - u_b \quad (7.1)$$

Burada u_g, zemin deplasmanıdır. Rölatif deplasmanların bu şekilde tercih edilerek kullanılması, özellikle bu analiz için çok elverişli olmaktadır. Çünkü bulunacak iki önemli sonuç şunlar olacaktır ;

v_b: Yalıtım sisteminin deplasmanı, ve

v_s : Göreli kat ötelemesidir.

Bu nicelikler açısından iki serbestlik dereceli modelin temel hareket denklemleri

$$(m + m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b v_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (7.2)$$

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s \dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \quad (7.3)$$

Yukarıdaki denklem takımını matris notasyonu içinde aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (7.4)$$

Burada $M = m + m_b$ ifadesi yukarıdaki matris notasyonunda kullanılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir ;

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr\ddot{u}_g$$

γ sembolü ile gösterilen bir kütle oranı tanımlarsak

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M} \quad (7.5)$$

ve nominal frekans olan ω_b ve ω_s aşağıdaki gibi verilirse

$$\left\{ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \right\} \quad \left\{ \beta = \frac{c}{2m\omega} \right\}$$

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b} \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (7.6)$$

ve aşağıdaki gibi bir kabul yaparak

$$\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \varepsilon \quad \text{ve} \quad \varepsilon = 0.01 \quad (7.7)$$

Sönüm faktörleri β_b ve β_s aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (7.8)$$

Bu nicelikler cinsinden (7.1) ve (7.2) temel hareket denklemleri aşağıdaki şekle

dönüştürülerek yeniden yazılabilir.

$$\dot{\gamma}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_b\beta_b\dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (7.9a)$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_s\beta_s\dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (7.9b)$$

Birleşik sistemin klasik modları ω_1 ve ω_2 frekansları ile birlikte, $\phi^{(1)}$ ve $\phi^{(2)}$ olarak gösterilmektedir.

$$\phi^i = (\phi_b^i, \phi_s^i) \quad i=1,2$$

Frekanslar için karakteristik denklem,

$$(1-\gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (7.10)$$

Bu denklemin çözümleri:

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\} \\ \omega_2^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (7.11)$$

(7.7)'de ifade edilen ε tanımı kullanılırsa,

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \omega_b^2 (1 - \gamma\varepsilon) \\ \omega_2^2 &= \frac{\omega_b^2}{1-\gamma} (1 + \gamma\varepsilon) \end{aligned} \quad (7.12)$$

Formuna dönüşerek sadeleştirilebilir.

$(\phi_b^i = i)$, $i=1,2$ yardımıyla mod şekilleri belirlenir.

$$\begin{aligned} \phi^{1r} &= (1, \varepsilon) \\ \phi^{2r} &= \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\varepsilon] \right\} \end{aligned} \quad (7.13)$$

Modal koordinatlardaki asal yer değiştirmeleri ifade etmek için,

$$v_b = q_1\phi_b^{(1)} + q_2\phi_b^{(2)} \quad (7.14)$$

$$v_s = q_1 \phi_s^{(1)} + q_2 \phi_s^{(2)}$$

Şeklinde yazılır. Burada q_1 ve q_2 zamana bağlı modal katsayılarıdır. Modal büyüklükler M_i , L_i aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$M_i = \phi^{i^T} M \phi^i$$

$$M_i L_i = \phi^{i^T} M_r \quad (7.15)$$

ω 'da birinci dereceden olan bu ifadeler yeniden düzenlenirse,

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\epsilon)$$

$$M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\epsilon]}{\gamma} \quad (7.16)$$

Ve

$$L_1 = 1 - \gamma\epsilon \quad L_2 = \gamma\epsilon \quad (7.17)$$

Şeklini alırlar.

(7.2) ve (7.3)'deki hareket denklemleri içinde yer alan (v_b, v_s) terimleri, $\phi^{(1)}$ ve $\phi^{(2)}$ cinsinden ifade edilecek olursa; aşağıdaki formda gösterildiği üzere, içinde modal katsayıların (q_1, q_2) yer aldığı iki tane denklem ortaya çıkacaktır.

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{q}_1 + \lambda_1 \dot{q}_2 + \omega_1^2 q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (7.18)$$

$$\ddot{q}_2 + 2\omega_2 \beta_2 \dot{q}_2 + \lambda_2 \dot{q}_1 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \quad (7.19)$$

$2\omega_1 \beta_1$ ve $2\omega_2 \beta_2$ terimleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır,

$$M_i 2\omega_i \beta_i = \phi^{i^T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^i \quad (7.20)$$

Yukarıdaki eşitlikten yararlanılarak $\omega_i \beta_i$ 'lerin ($i=1,2$) çözümü

$$2\omega_i \beta_i = 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma\epsilon)$$

$$2\omega_2 \beta_2 = \frac{1}{1-\gamma} (2\omega_s \beta_s + 2\gamma\omega_b \beta_b) \quad (7.21)$$

Ve buradan hareket ederek β_i 'leri (i=1,2)

$$\beta_1 = \beta_b \left(1 - \frac{3}{2} \gamma \varepsilon \right) \quad (7.22)$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma \beta_2 \varepsilon^{1/2}}{(1 - \gamma)^{1/2}} \left(1 - \frac{\gamma \varepsilon}{2} \right) \quad (7.23)$$

Olarak bulunur. λ_1 ve λ_2 ile gösterilen etkileşim katsayıları aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak hesaplanır.

$$\lambda_1 M_1 = \phi^{(1)r} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^{(2)} \quad (7.24)$$

$$\lambda_2 M_2 = \phi^{(2)r} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^{(1)} = \lambda_1 M_1$$

Böylece

$$\lambda_1 M_1 = (1, \varepsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -a \end{pmatrix} = c_b - \varepsilon a c_s \quad (7.25)$$

$$a = \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma) \varepsilon]$$

Denklem (7.16)'da ifade edilen (M_1, M_2)'yi kullanarak

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \varepsilon \{(1/\gamma)[1 - (1 - \gamma) \varepsilon]\} 2\omega_s \beta_s m}{M(1 + 2\gamma \varepsilon)} \\ &= 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma \varepsilon) - \varepsilon 2\omega_s \beta_s (1 - 2\gamma \varepsilon) \\ &= 2\omega_b [\beta_b (1 - 2\gamma \varepsilon) - \varepsilon^{1/2} \beta_s] \end{aligned} \quad (7.26)$$

ve

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \varepsilon \{(1/\gamma)[1 - (1 - \gamma) \varepsilon]\} 2\omega_s \beta_s m}{[M(1 - \gamma)/\gamma][1 - 2(1 - \gamma) \varepsilon]} \\ &= (2\omega_b \beta_b - \varepsilon 2\omega_s \beta_s) [1 + 2(1 - \gamma) \varepsilon] \frac{\gamma}{1 - \gamma} \end{aligned}$$

$$= 2\omega_b \left\{ \beta_b [1 + 2(1 - \gamma)\epsilon - \epsilon^{1/2} \beta_s] \right\} \frac{\gamma}{1 - \gamma} \quad (7.27)$$

Şeklinde sonuçlanır.

Yapısal uygulamaların çoğunda, sönümün yeterince küçük olduğu diyagonal olmayan bileşenlerin (burada λ_1 ve λ_2 'dir) etkisinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmektedir. Gerekli çözüm, ayrık hareket denklemlerinden elde edilebilir, yani;

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -L_1\ddot{u}_g \\ \ddot{q}_2 + 2\omega_2\beta_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -L_2\ddot{u}_g \end{aligned} \quad (7.28)$$

Eğer yer hareketinin zamana bağlılığı $\ddot{u}_g(t)$ biliniyorsa, $q_1(t)$ ve $q_2(t)$ olarak gösterilen modal bileşenler aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir.

$$q_1 = \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_1\beta_1\tau} \sin \omega_1\tau \, d\tau \quad (7.29a)$$

$$q_2 = \frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_2\beta_2\tau} \sin \omega_2\tau \, d\tau \quad (7.29b)$$

q_1 ve q_2 'nin maksimum değerleri ise aşağıda gösterildiği gibi verilebilir.

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (7.30a)$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (7.30b)$$

Burada $S_D(\omega, \beta)$; yer hareketinin ω frekansında ve β sönüm faktörü için yer değiştirme davranış spektrumudur.

Söz konusu davranış spektrumundaki pik değerlerden, yapının ve izolasyon sisteminin en büyük yer değiştirme miktarlarını tahmin etmek için “karelerin toplamının karekökü (SRSS)” yöntemini kullanmak gereklidir. İzolasyon sistemi maksimum yer değiştirmesi ve yapısal şekil değiştirme değerleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$|v_s|_{\max} = \left[\left(\phi_2^{(1)} |q_1|_{\max} \right)^2 + \left(\phi_2^{(2)} |q_1|_{\max} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7.31a)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[\left(\phi_1^{(1)} |q_1|_{\max} \right)^2 + \left(\phi_1^{(2)} |q_1|_{\max} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7.31b)$$

(7.16),(7.17),(7.31a) ve (7.31b) denklemlerinden elde edilen sonuçları çözüme dahil ederek şunu elde ederiz.

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \left\{ [L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (7.32)$$

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \left\{ \epsilon^2 (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \epsilon \left\{ (1 - 2\gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (7.33)$$

Genellikle yüksek frekanslardaki (örn. ω_2) yer değiştirmelerin, daha düşük frekanslardaki (örn. ω_1) yer değiştirmelerden çok daha küçük olduğu deprem spektrumları için $\epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2$ terimi ihmal edilebilir. Bu durum aşağıdaki sonucu vermektedir.

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma \epsilon) S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (7.34)$$

Eğer ϵ^2 'den yüksek terimleri ihmal edersek, yapısal şekil değiştirme veya üstyapıda meydana gelecek en büyük göreceli kat ötelemesi,

$$|v_s|_{\max} = \epsilon [S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \quad (7.35)$$

Olarak verilmektedir.

Benzer olarak taban kesme kuvveti katsayısı C_s ,

$$\begin{aligned} C_s &= \left| \frac{k_s v_s}{m} \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max} \\ &= \omega_s^2 \epsilon [S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \\ &= [\omega_b^4 S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + \epsilon^2 \omega_s^4 S_D(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \\ &= [S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + \epsilon^2 S_D(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (7.36)$$

İfadesi ile gösterilir.

Yalnız ilk terimleri göz önünde tutarsak aşağıdaki denklemleri elde ederiz.

$$|v_s|_{\max} = \frac{\varepsilon S_v}{\omega_b} = \varepsilon S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (7.37a)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_v}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (7.37b)$$

Ve taban kesme kuvveti katsayısı C_s , aşağıdaki denklem ile tarif edilir.

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{k_s v_s}{m} = \omega_s^2 v_s \\ &= \omega_b S_v \left[1 + \varepsilon^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \right]^{1/2} = S_A(\omega_b, \beta_b) \left(1 + \frac{\varepsilon}{1 - \gamma} \right)^{1/2} \\ &\approx S_A(\omega_b, \beta_b) \end{aligned}$$

Yukarıdaki ifadeler şunu belirtmektedir. Küçük ε değeri ve tipik bir tasarım spektrumu için izolasyon sistemi en azından başlangıç aşamasında $S_D(\omega_b, \beta_b)$ gibi bir bağıl taban yer değiştirmesi içi tasarlanabilir. Aynı durumda binanın tasarımı için ise $S_A(\omega_b, \beta_b)$ gibi bir taban kesme kuvveti katsayısı alınarak yapılabilir.

$C_s = S_A(\omega_s, \beta_s)$ Olan ankastre tabanlı bir yapı ile karşılaştırıldığında, taban kesme kuvvetinde meydana gelen azalma $S_A(\omega_b, \beta_b) / S_A(\omega_s, \beta_s)$ oranı ile verilmektedir.

Sabit hız spektrumu için bu oran ω_b / ω_s ya da kabaca $\varepsilon^{1/2}$ ile verilmektedir. Bu durumda genellikle β_s, β_b 'den daha büyük olacağı için, taban kesme kuvvetinde meydana gelen azalma, olması gerekenin altında kalır.

7.2 Teorinin Bina Tipi Yapılarda Uygulanması

Daha önceden geliştirilen basit lineer modelin iki serbestlik dereceli analizi, çok katlı binalar için uygulanabilir. Kütle matrisi M , sönüm derecesi C ve rijitlik matrisi K olan bir yapı sistemini ele alalım. Konvansiyonel yapı sistemi için, her bir serbestlik derecesinin yere göre görelî yer değiştirmesi

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Mr\ddot{u}_g \quad (7.38)$$

Formundaki hareket denklemi ile verilir. Burada r , her bir serbestlik derecesini yer hareketiyle etkinleştiren bir vektördür. Bu yapısal modeli taban kütlesi m_b , rijitliği k_b ve sönümü c_b olan

bir taban izolasyon sisteminin oturtulduğu denklem (7.38)'in yeni formu,

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr(\ddot{u}_g + \ddot{v}_b) \quad (7.39)$$

Olur. Burada,

v : Taban döşemesine göre yer değiştirme ve

v_b : Taban döşemesinin yere göre yer değiştirmesidir.

Bina ve taban izolasyon sisteminin oluşturduğu birleşik sistemin hareket denklemi;

$$r^T M (\ddot{v} + r\ddot{v}_b + r\ddot{u}_g) + m_b (\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (7.40)$$

Bu başka formda,

$$r^T M \ddot{v} + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (7.41)$$

Yazılabilir. Denklem 5.40'da verilen $r^T M r$ üst yapının toplam kütlesi, $m + m_b$ ise izolasyon sisteminin taşıdığı toplam kütledir. Matris formunda,

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (7.42)$$

Şeklini alır. Yukarıdaki ifadede yer alan matrislerin açılımları aşağıdaki gibidir;

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

$$r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad v^* = \begin{bmatrix} v_b \\ v \end{bmatrix}$$

7.3 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modal Analizleri

Ankastre mesnetli yapıların doğal modlarının biliniyor olduğu varsayılır ve bu doğal modlar ϕ^i [$i = 1, 2, \dots, N$] ile adlandırılır. Bu mod şekillerinin terimlerini kullanarak, yapının her bir serbestlik derecesindeki yer değiştirme aşağıda gösterildiği gibi

$$v = \sum_{i=1}^N q_i \phi_i \quad (7.43)$$

hesaplanabilir. Doğal frekanslar, ω_i^2 ,

$$M\phi^i \omega_i^2 = K\phi^i \quad (7.44)$$

denklemleri ile verilir. Aşağıdaki varsayım yapılmıştır.

$$\phi^i C \phi^j = 0 \quad i \neq j \text{ ise}$$

Hareket denkleminin matris formu N+1 sayıda denklem takımına indirgenebilir.

$$\sum_{i=1}^v r^T M \phi^i \ddot{q}_i + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (7.45a)$$

ve

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

Yazılır. Burada L_i , ankastre mesnet durumunda modların katılım faktörleridir.

$$L_i = \frac{\phi^{i^T} M r}{\phi^{i^T} M \phi^i}, \text{ dir.} \quad (7.46)$$

Ankastre mesnet durumunda modal kütleler,

$$M_i = \phi^{i^T} M \phi^i \quad (7.47)$$

olarak verilir. Denklemler aşağıdaki formda yazılabilir;

$$\sum_{i=1}^N \frac{L_i M_i}{m + m_b} \ddot{q}_i + \ddot{v}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (7.48)$$

ve

$$L_i \ddot{v}_b + \ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i \ddot{u}_g \quad i=1,2,\dots,N \quad (7.49)$$

Genelde taban izolasyonlu yapılarda birinci modun üstündeki modlar üstyapı ve izolasyon sisteminin tasarımında hiçbir rol oynamazlar (Dumanoglu, A. ve Ateş, Ş., 1999). Bu nedenle analizde birinci mod dikkate alınmalıdır. Yukarıdaki hareket denklemleri, (7.9a) ve (7.9b) denklemleriyle verilen tek serbestlik dereceli izole edilmiş sistemin hareket denklemleri ile karşılaştırılarak, v_b yerine $L_1 v_b$ ve $\ddot{u}_g$ yerine $L_1 \ddot{u}_g$ kullanılırsa ve

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M}$$

ile

$$\gamma_1 = \frac{L_1^2 M_1}{m + m_b}$$

yerdeğiştirirse;

$$\frac{L_1^2 M_1}{m + m_b} \ddot{q}_1 + (L_1 \ddot{v}_b) + 2\omega_b \beta_b (L_1 \dot{v}_b) + \omega_b^2 (L_1 v_b) = -L_1 \ddot{u}_g$$

$$(L_1 \ddot{v}_b) + \ddot{q}_1 + 2\omega_b \beta_b \ddot{q}_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (7.50)$$

Elde edilir.

Bu denklemlerin çözümü sonucunda q_1 için sonuç, tek serbestlik dereceli sistemdeki v_s çözümüne karşı gelir.

Tek serbestlik dereceli sistem için elde edilmiş olan yer değiştirme ve taban kesme kuvveti katsayıları değerleri,

$$|v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (7.51)$$

ve

$$C_s = [S_A(\omega_b^*, \beta_b^*) + \varepsilon^2 (1 - \gamma)^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)]^{1/2} \quad (7.52)$$

Çok serbestlik dereceli sistem için yukarıda yer alan ifadeler, aşağıdakilerle yer değiştirilir. Maksimum görelî taban yer değiştirmesi aşağıdaki gibi verilir.

$$|L_1 v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} L_1 S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (7.53)$$

ile verilir; fakat L_1 terimi eşitliğin her iki tarafında bulunduğu için sonuç öncekiyle aynı olur.

Taban kesme kuvvetini elde etmek için

$$|q_1|_{\max} = \left[\frac{\varepsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*)}{(\omega_b^*)^4} + \frac{\varepsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)}{(\omega_s^*)^4} \right]^{1/2} \quad (7.54)$$

Büyüklüğü kullanılabilir. Burada ω_s^*, β_s^* daha önce hesap edilenlerle aynıdır.

$\varepsilon, \varepsilon_1 = \omega_b^2 / \omega_1^2$ ile yer değiştirilir. Bağlı yer değiştirme vektörü v ,

$$v = q_1 \phi^{(1)} \quad (7.55)$$

İle verilir ve sönüm katılımları ihmal edilerek, her bir elemandaki atalet kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F = Kv = q_1 K \phi^{(1)} = q_1 M \phi^{(1)} \omega_1^2 \quad (7.56)$$

Üstyapı için toplam yatay kuvvet

$$r^T F = q_1 \omega_1^2 L_1 M_1 \quad (7.57)$$

ile hesaplanır ve bu ifade taban kesme kuvveti katsayısı C_s cinsinden ifade edilirse,

$$C_s m = r^T F \quad (7.58)$$

Böylece,

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{L_1 M_1}{m} \left[L_1^2 S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right]^{1/2} \\ &= \frac{L_1^2 M_1}{m} \left[S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (7.59)$$

Şeklinde yazılır. Burada, daha önce ifade edildiği gibi $\varepsilon = \omega_b^2 / \omega_1^2$ 'dir.

8. MODELLEME YAPILMASI

Konvansiyonel biçimde tasarlanmış ve inşa edilen bir yapı ile sismik yalıtımlı tasarlanan bir yapı arasındaki maliyet farkı, gerek yatırımcı gerekse mal sahibi için en önemli unsurlardan birisidir. Bu tez çalışmasında bu maliyet farkının bulunması amacıyla birkaç tip yapı modellenmiş ve kesit tesirlerinde meydana gelen farkların yapının maliyeti üzerine etkileri ile ilgili bir sonuç bulunmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada her yapı modeli, ankastre ve sismik izolatörlü olarak çözülmüştür. Sismik izolatör tipi olarak kurşun sönümsüz kauçuk izolatör tipleri kullanılmıştır. Her iki tip analizde de yapının taşıyıcı elemanlarının boyutları değiştirilmemiştir. Aynı kesitler kullanılarak çözülmüş olan her iki analiz içinde kesit tesirlerinden kaynaklanan donatı alanları karşılaştırılmıştır. Kolonlar normal kuvvet ve eğilme etkisinde olan elemanlar olduğundan dolayı, donatı yüzdelerinde çok büyük farklılıklar meydana gelmemekte ve hatta minimum donatı yüzdesi değerinde kaldığından, donatı alanları sadece eğilme etkisinde olan kirişler üzerinde karşılaştırılmıştır.

Analizi yapılan modellerin ilk üç moda göre yapı periyotları, kat kütleleri ve kat deplasmanları karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre her modelde belli akslar seçilerek, bu akslarda ki deprem momentleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlere göre her yapı modelinin statik ve dinamik analiz verileri aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Karşılaştırmalar yapılırken statik hesaplardan gelen kesit tesirleri kullanılmıştır. Yapının sabit ve hareketli yüklerden gelen kesit tesirleri ile depremden gelen kesit tesirleri süperpoze edilmiş ve buna göre donatı alanları hesaplanmıştır. Bazı durumlarda, kesit tesirlerinin çok az olması durumunda, TS500 ve “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”,1998 şartları kullanılmıştır. İlgili standart ve yönetmeliklerde geçen minimum donatı oranları kullanılmıştır.

Minimum donatı alanı koşulları TS500 ve “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”,1998 uyarınca hesaplanmıştır. Beton karakteristik dayanımı C25 ($f_{cd}=25\text{Mpa}$), çelik karakteristik dayanımı S420 ($f_{yk}=420\text{Mpa}$) olduğuna göre TS500 ve yönetmelik gereği, kirişlerde açıklık donatısı minimum oranı aşağıdaki bağıntıyla bulunabilir;

$$\rho = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (8.1)$$

Buna göre açıklık donatısı minimum oranı 0.00263 olarak bulunur. Aynı zamanda kiriş mesnetlerinde üst donatı oranı “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”,1998 uyarınca aşağıdaki bağıntıda verilmiştir;

$$\rho_{ii} = f_{ctd} / f_{yd} \quad (8.2)$$

Yukarıdaki bağıntıya göre;

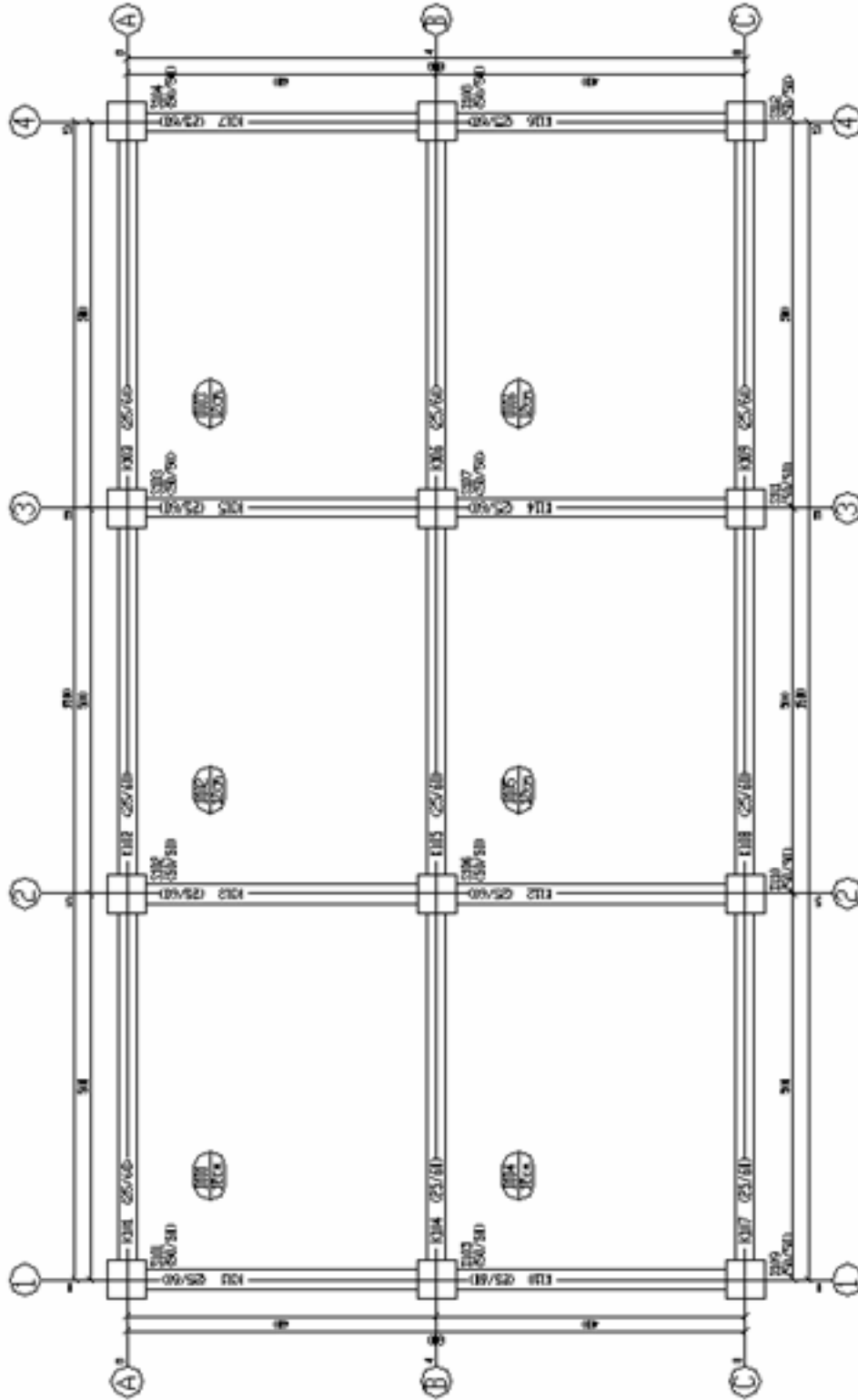
Çeliğin tasarım akma dayanımı $f_{yd} = 365MPa$ ve beton tasarım çekme dayanımı $f_{ctd} = 1.2MPa$ 'dır. Buna göre kirişin mesnet bölgesinde çekme donatısı oranı $\rho_{ii} = 0.00328$ olarak bulunur. Gene TS500 ve yönetmelik gereği kiriş mesnetlerindeki alt donatı ise üst donatının yarısından az olamaz. Aşağıdaki bütün modellerde beton ve çelik kalitesi aynı alındığından, açıklık, mesnet donatı alanları bu minimum şartlar gözetilerek bulunmuştur.

8.1 Model 1

Bu yapı modeli 4 katlı betonarme bir yapı olup, 15,00m x 8,00m genişliğindedir. Yapının ankastre ve yalıtımlı hali Sta4Cad bilgisayar programı ile çözülmüştür. Yapının kalıp planı Şekil 8.1’de verilmiştir. Yapının statik ve dinamik hesap verileri aşağıda verilmiştir. Yapının yalıtımlı çözümünde kauçuk esaslı sismik izolatör kullanılmıştır, izolatör özellikleri aşağıda verilmiştir. (Çizelge 8.1)

Statik ve dinamik hesap verileri :

• Normal kat döşeme kalınlığı	12 cm
• Kiriş boyutları	25x60cm
• Kolon boyutları	50x50cm
• Kat sayısı	4
• Bodrum kat sayısı	-
• Bina önem katsayısı (I)	1
• Kat yükseklikleri	Her katta 3m
• Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0.30
• Döşeme hareketli yükü	0.35 t/m ²
• Deprem bölgesi	1.Derece
• Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0)	0.40
• Yerel zemin sınıfı	Z2
• Spektrum karakteristik periyotları	$T_A=0.15s, T_B=0.40s$
• Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	8
• Beton karakteristik dayanımı (f_{ck})	C25
• Çelik karakteristik dayanımı (f_{yk})	S420



Şekil 8.1 Hesap modelinin normal kat kalıp planı (Model 1)

Çizelge 8.1 Kauçuk sismik yalıtım cihazı özellikleri

	KAUÇUK SİSMİK YALITIM CİHAZI ÖZELLİKLERİ							
	Çap	Yükseklik	Düşey Basınç Kapasitesi	Düşey Rijitlik	Yatay Rijitlik	Sönüm Oranı	Tasarım Deplasmanı	Maximum Deplasman
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN/mm)	(kN/mm)	(%)	(mm)	(mm)
GZP-500	510	158	2500	1000	1.05	5	98	245

Hesap sonuçlarına göre kolonlarda oluşan en büyük normal kuvvet 160 ton mertebesindedir. Seçilen sismik yalıtım cihazının maksimum 2500 kN düşey basınç kapasitesine sahip olduğu düşünüldüğünde, GZP-500 cihazı bu yapı için yeterli kapasitedir. Analizlerden sonra yapının periyotları ve kütle oranları Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Yapı modelinin periyot (s) ve kütle oranı (%) değerleri

Mod	Ankastre		Taban Yalıtımlı		Periyod Oranı	Kütle Oranı
	Periyot T(s)	Kütle Oranı	Periyot T(s)	Kütle Oranı	Ankastre/Yalıtımlı	Ankastre/Yalıtımlı
1	0,3744 (x)	84,57	1,5591 (x)	99,937	0,2401	0,8462
2	0,3726 (y)	84,42	1,5579 (y)	99,942	0,2392	0,8447
3	0,2814 (b)	84,69	1,1791 (b)	99,947	0,2387	0,8473

Yukarıdaki çizelgeden de görüldüğü gibi taban yalıtımlı yapının periyodu, ankastre olan haline göre %75 daha büyüktür. Kütle katılım oranı da %15 daha fazladır. Bunlar beklenen sonuçlardır. Bununla birlikte yalıtımlı bir yapı ile ankastre bir yapının asıl incelenmesi gereken diğer bir özelliği ise yapının kat deplasmanlarıdır. Kat deplasmanlarına ilişkin değerler aşağıda Çizelge 8.3’de verilmiştir.

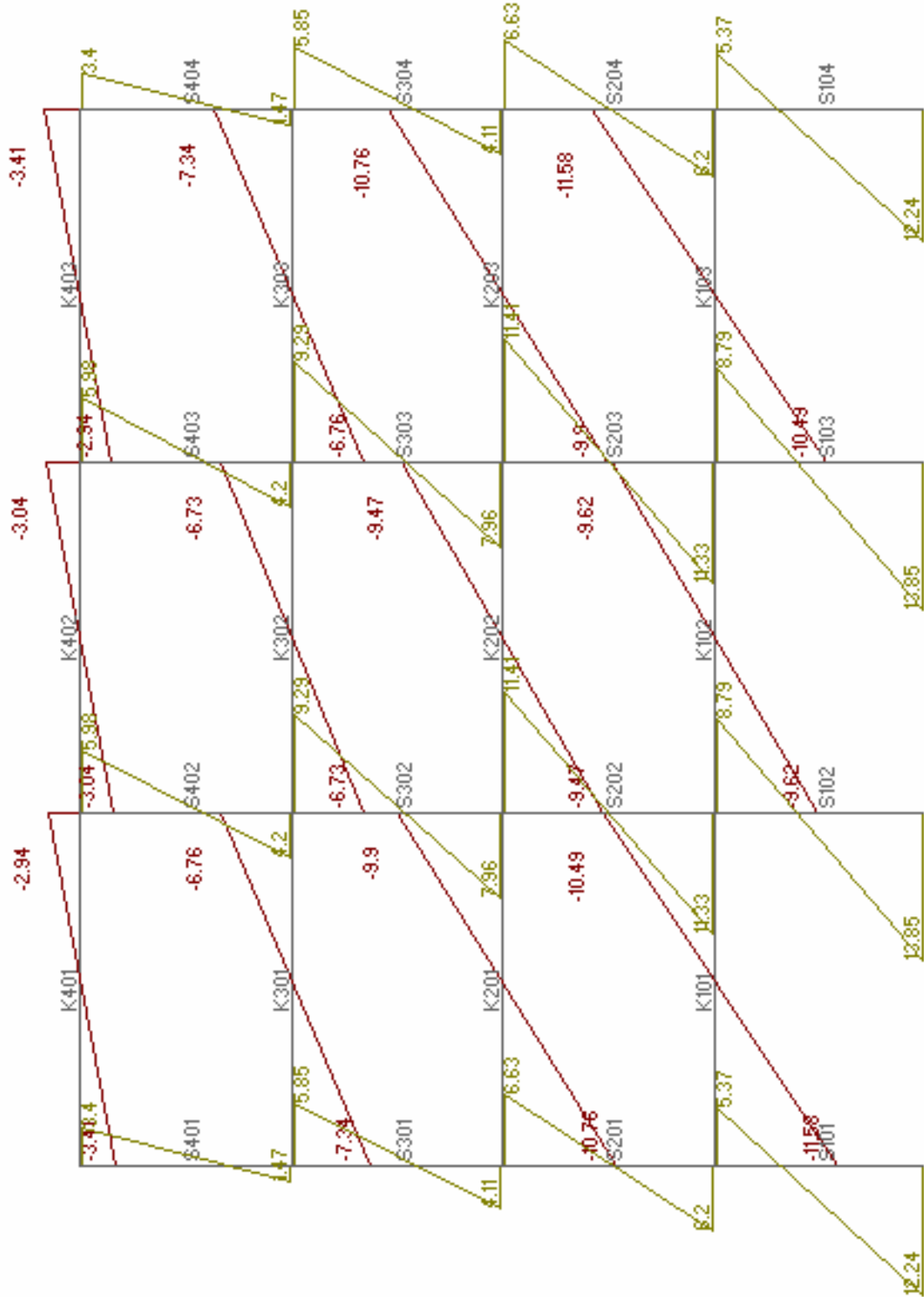
Çizelge 8.3 Yapı modelinin kat deplasmanları (mm)

	Ankastre				Taban Yalıtımlı			
	X Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (X)	Y Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (Y)	X Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (X)	Y Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (Y)
4.Kat	6,53	1,04	6,5	1,07	26,06	0,27	26,13	0,31
3.Kat	5,49	1,73	5,43	1,72	25,79	0,49	25,82	0,52
2.Kat	3,76	2,14	3,71	2,11	25,3	0,82	25,3	0,84
1.Kat	1,62	1,62	1,6	1,6	24,48	1,7	24,46	1,69
Taban	0	0	0	0	22,78	0	22,77	0

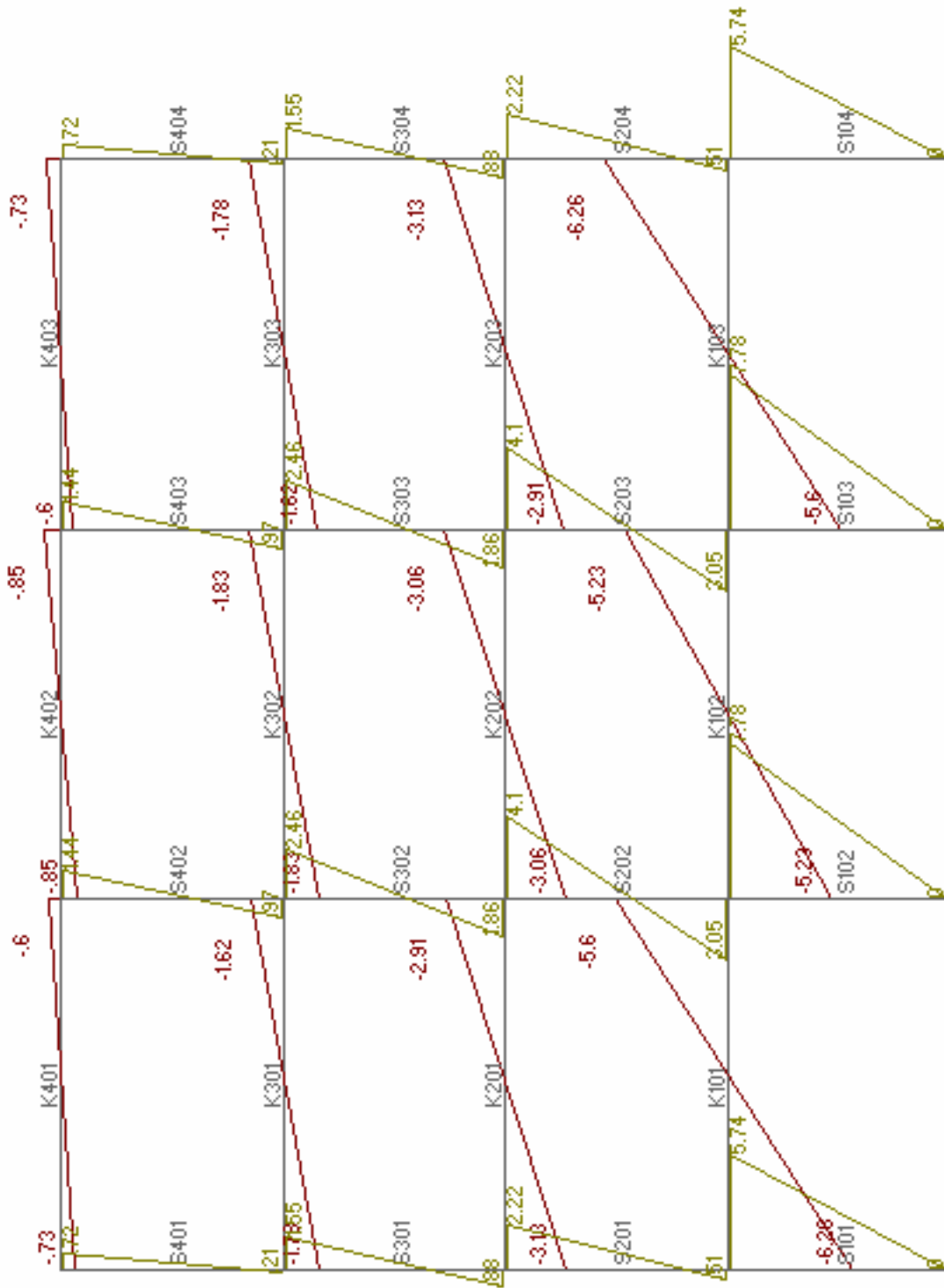
Yukarıdaki çizelgeden de görülmektedir ki, sismik yalıtımlı bir yapının toplam deplasmanları ankastre bir yapının yaklaşık 4 katı büyüklüğündedir. Fakat tabandaki yani sismik izolatörde ki toplam deplasmanın 22,77mm olduğu düşünülürse yapının en üst noktasındaki görelî deplasmanın aslında 3.36mm olduğu rahatlıkla görülür, bu değer de ankastre bir yapının en üst katında yapacağı toplam deplasmanın yaklaşık yarısıdır.

Asıl bu tezin konusu olarak sismik yalıtılmış bir yapıda, ankastre bir yapıya göre azalan veya artan kesit tesirlerinin bulunması ve bundan hareketle yapının maliyetindeki değişimleri bulmaya çalışırsak, bununla ilgili olarak yapının çerçevesinde depremde dolayı oluşan moment diyagramlarını incelememiz gerekir. (Şekil 8.2, Şekil 8.3, Şekil 8.4 ve Şekil 8.5)

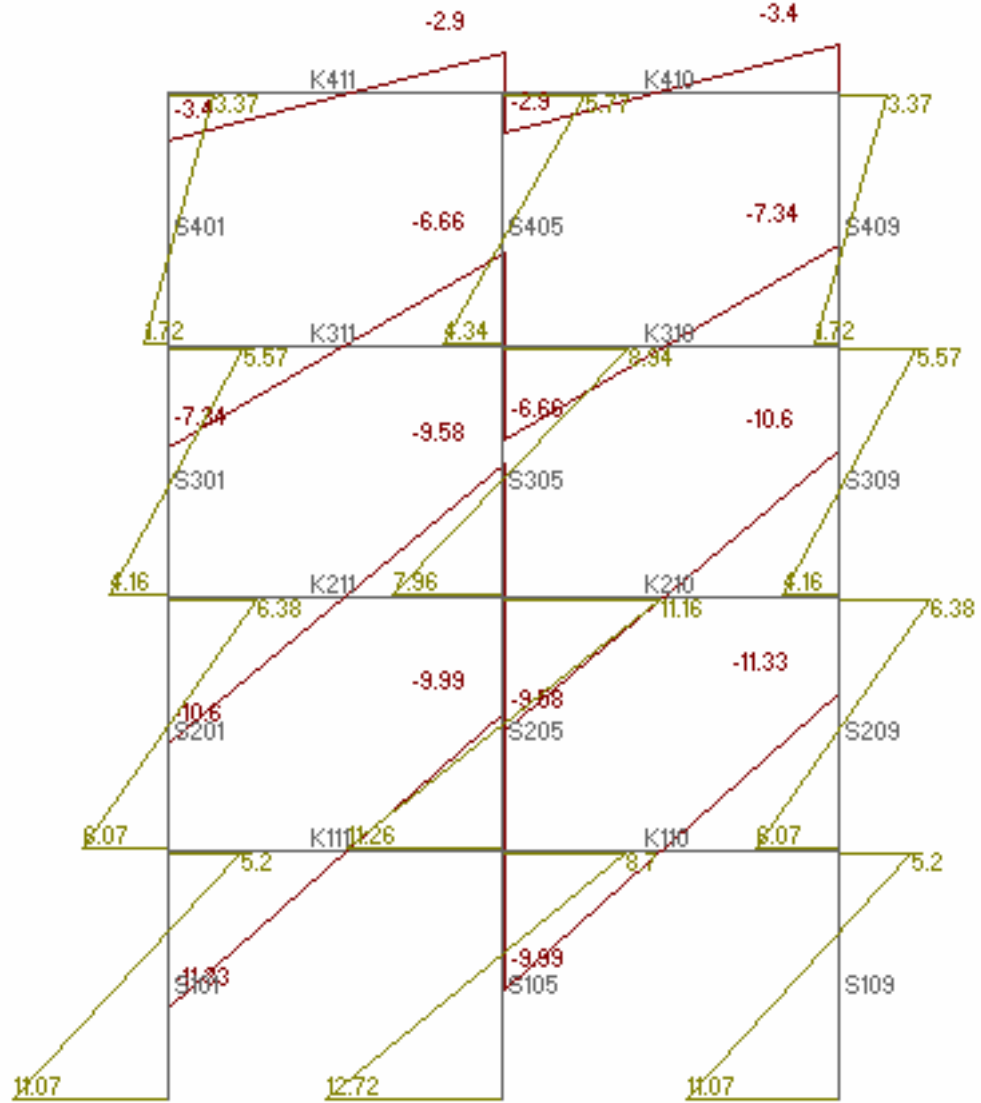
Örnek teşkil etmesi amacıyla bu modelde yapının A ve 1 aksına ait sadece deprem momentleri dikkate alınmıştır. Aşağıdaki moment diyagramlarından da görüldüğü gibi sismik yalıtımlı bir yapıda 1.kattaki momentler ankastre yapının moment değerlerinin %50'si, 2. katta %33'ü, 3. katta %16'sı, 4. katta ise %8'i mertebesindedir.



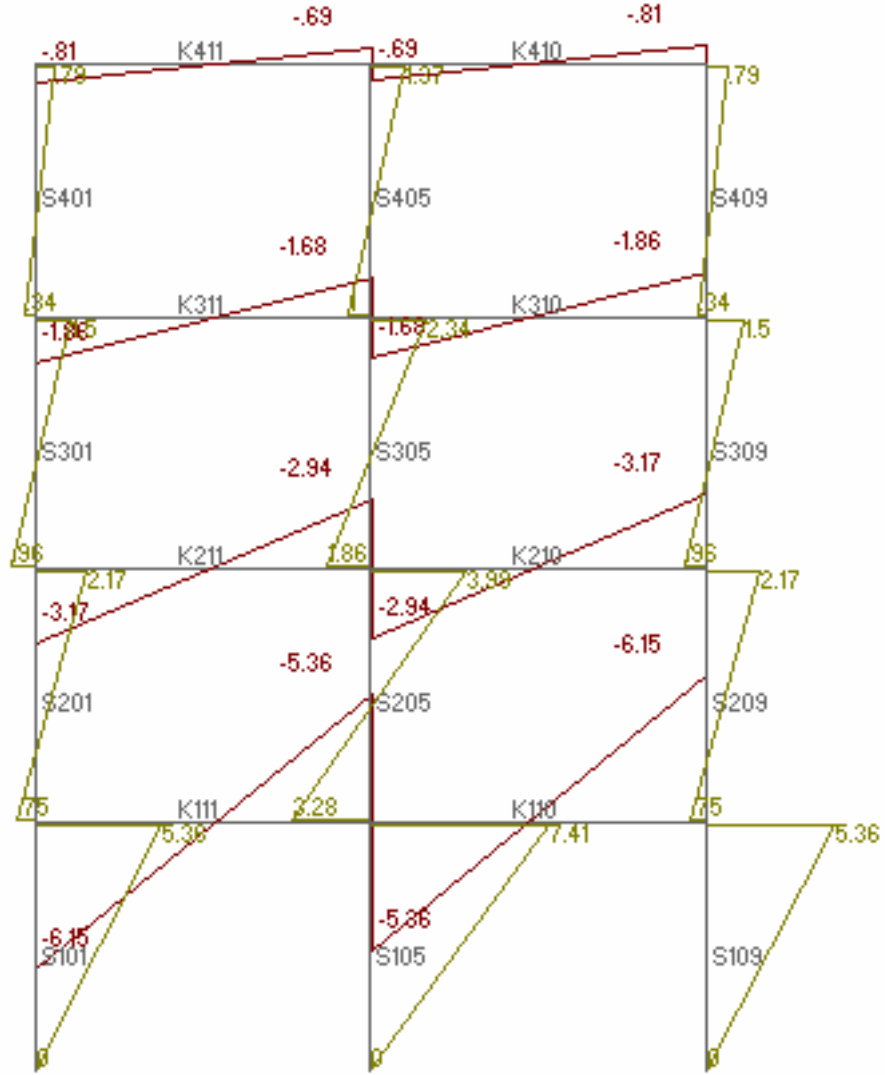
Şekil 8.2 Ankastre yapının A aksı moment diyagramı (+X Deprem)



Şekil 8.3 Sismik izolatörlü yapının A aksı moment diyagramı (+X Deprem)

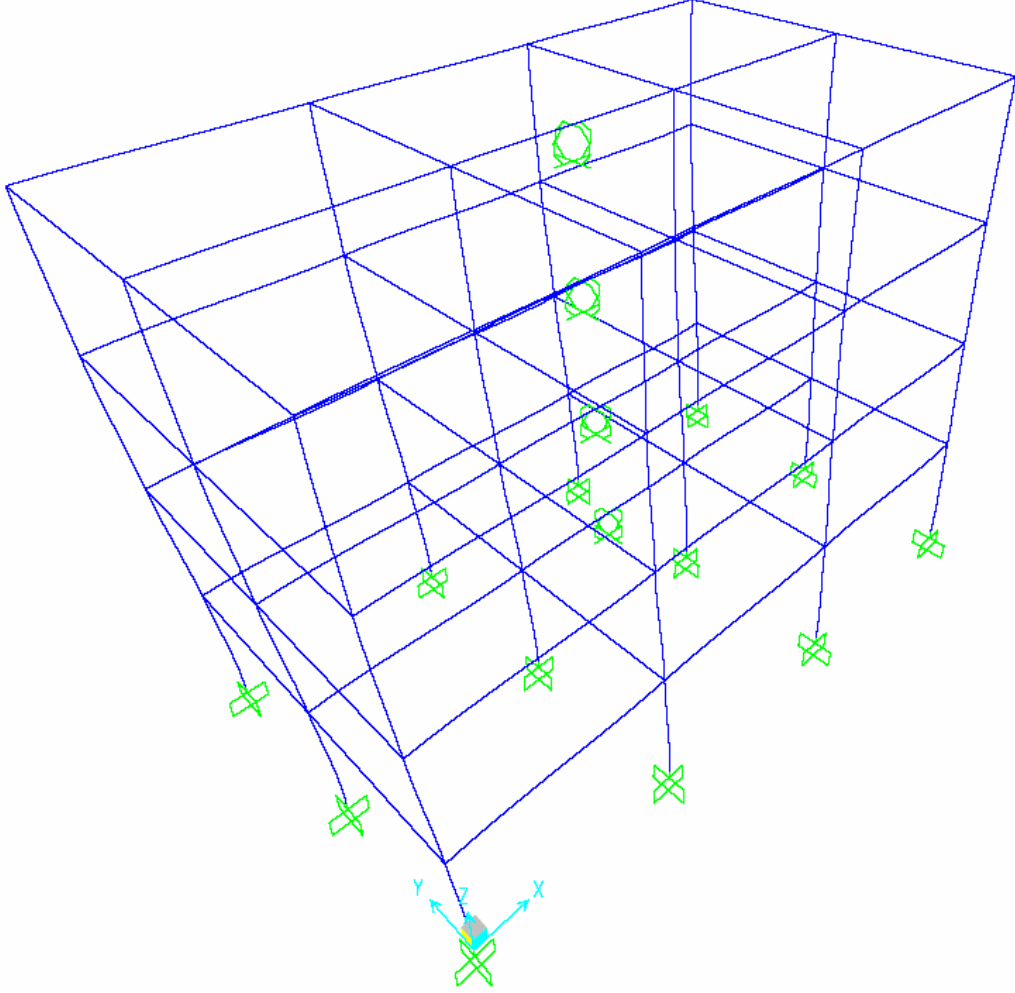


Şekil 8.4 Ankastre yapının 1 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)



Şekil 8.5 Sismik izolatörlü yapının 1 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)

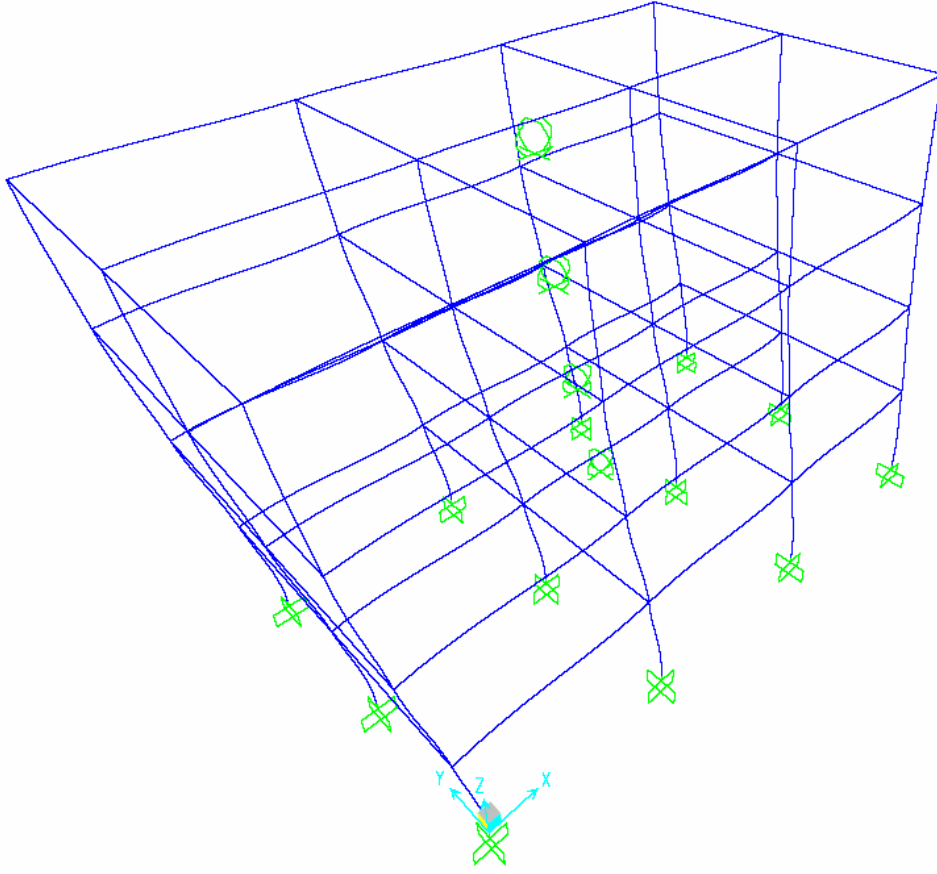
Model1 yapı modeli aynı zamanda Sap2000 Nonlinear bilgisayar programı ile çözülmüştür. Yapının Petkim (Kuzey-Güney) ve Petkim(Doğu-Batı) yönlerinde 17 Ağustos 1999 depremi ivme kayıtlarına göre, Time History analizleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.



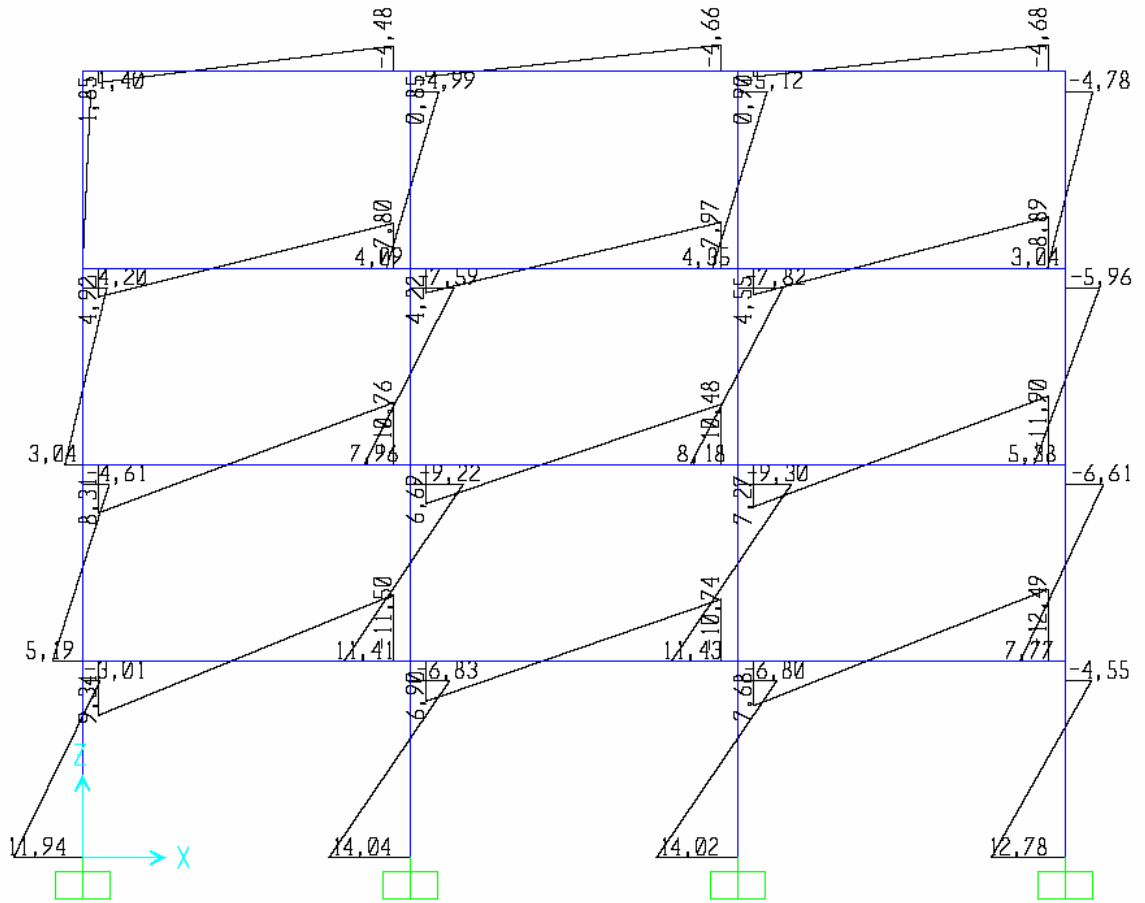
Şekil 8.6 Model1'in Sap2000 Hesap modeli

Model1'in çözümleri yapıldıktan sonra bulunan sonuçlar Sta4Cad ile yapılan çözümler ile yakınlık göstermektedir. Sistemin Sta4Cad bilgisayar programına göre ankastre hali için 1.mod periyodu 0.3744sn iken Sap2000 çözümünde 1.mod periyodu 0,4115sn olarak bulunmuştur.

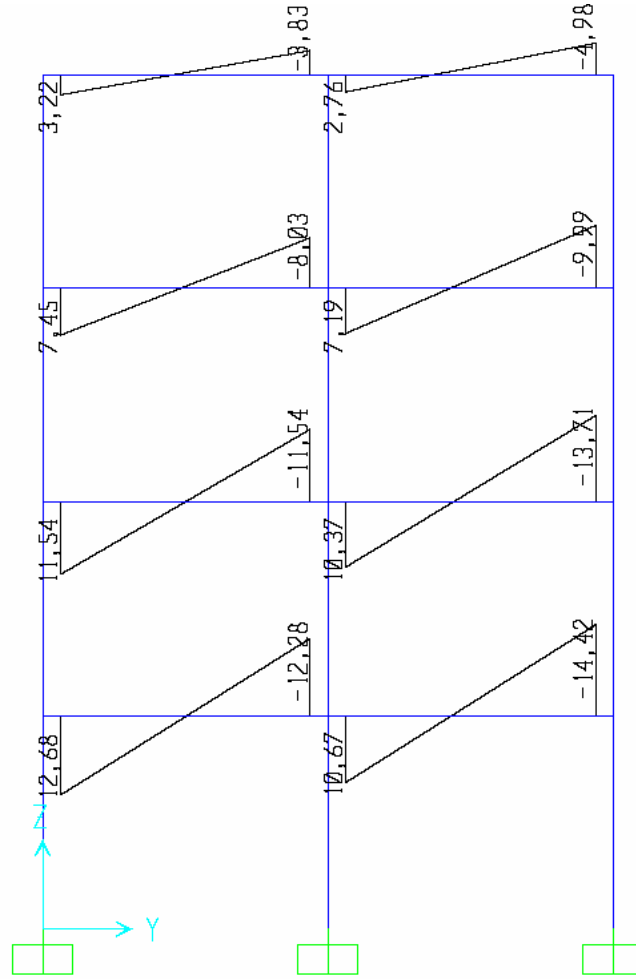
Örnek teşkil etmesi amacıyla Şekil 8.7'de yapının deplasman grafiği, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8'de verilen A ve 1 aksı moment diyagramları verilmiştir.



Şekil 8.7 Model1 ankastre çözümünün Sap2000 ile Time History analizine göre deplasman grafiği



Şekil 8.8 Model1 ankastre çözümünün Sap2000 ile Time History analizine göre A aksının moment diyagramı (+X)



Şekil 8.9 Model1 ankastre çözümünün Sap2000 ile Time History analizine göre 1 aksının moment diyagramı (+Y)

Sap2000 ve Sta4Cad bilgisayar programları ile yapılan çözümlerin değerlerini bir tabloda göstermek istersek, aşağıdaki tabloyu elde ederiz.

Çizelge 8.4 Her iki bilgisayar programına göre çözümlerde kirişlerde çıkan moment değerleri karşılaştırma tablosu

	STA4 CAD ÇÖZÜMÜ		SAP2000N ÇÖZÜMÜ	
	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ
K101	11,58	10,79	9,34	11,5
K102	9,62	9,62	6,9	10,47
K103	10,49	11,58	7,68	12,49
K201	10,76	9,9	8,31	10,76
K202	9,47	9,47	6,69	10,48
K203	9,9	10,76	7,27	11,9

Yukarıdaki çizelgeden de anlaşıldığı üzere her iki bilgisayar programında çıkan değerler birbirine yakın değerler olduğundan dolayı, modellerin çözümleri pratik bir yol yakalamak ve maliyetleri daha gerçeğe yakın bulmak amacıyla Sta4Cad bilgisayar programı ile yapıldı.

Sta4Cad bilgisayar programı ile yapılan çözümlerde kirişlerin mesnetlerinde ki gerekli donatı alanlarının her iki tip çözüm için çıkan değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 8.5 A aksına ait kirişlerin ankastre ve sismik izolatörlü çözümlere göre donatı alanları

	As(cm ²)	Sol üst	Sol alt	Açıklık	Sağ üst	Sağ alt
K101(25/60)	Ankastre	7,80	4,42	3,58	7,59	3,79
	Sismik İzolatörlü	5,34	2,67	3,58	4,60	2,30
K102(25/60)	Ankastre	7,09	3,54	4,58	7,15	3,57
	Sismik İzolatörlü	4,68	2,34	3,58	4,74	2,37
K103(25/60)	Ankastre	7,54	3,77	3,58	7,83	4,42
	Sismik İzolatörlü	4,60	2,30	3,58	5,34	2,67
K201(25/60)	Ankastre	7,60	3,86	3,58	7,11	3,55
	Sismik İzolatörlü	4,60	2,30	3,58	4,47	2,23
K202(25/60)	Ankastre	7,04	3,52	3,58	7,05	3,52
	Sismik İzolatörlü	4,60	2,30	3,58	4,60	2,30
K203(25/60)	Ankastre	7,09	3,55	3,58	7,60	3,86
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,60	2,30
K301(25/60)	Ankastre	5,97	2,98	3,58	5,32	2,66
	Sismik İzolatörlü	4,60	2,30	3,58	4,47	2,23
K302(25/60)	Ankastre	5,54	2,77	3,58	5,58	2,79
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
K303(25/60)	Ankastre	5,30	2,65	3,58	5,97	2,98
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,30
K401(25/60)	Ankastre	4,47	2,23	3,58	4,54	2,27
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
K402(25/60)	Ankastre	4,60	2,30	3,58	4,60	2,30
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
K403(25/60)	Ankastre	4,60	2,30	3,58	4,47	2,23
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23

Çizelge 8.6 1 aksına ait kirişlerin ankastre ve sismik izolatörlü çözümlere göre donatı alanları

	As(cm ²)	Sol üst	Sol alt	Açıklık	Sağ üst	Sağ alt
K110(25/60)	Ankastre	7,07	4,90	3,58	7,99	5,87
	Sismik İzolatörlü	4,60	2,50	3,58	5,06	2,57
K111(25/60)	Ankastre	7,99	5,87	3,58	7,11	4,90
	Sismik İzolatörlü	5,06	2,57	3,58	4,60	2,50
K210(25/60)	Ankastre	6,64	4,81	3,58	7,75	5,28
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,49	2,25
K211(25/60)	Ankastre	7,75	5,28	3,58	6,66	4,81
	Sismik İzolatörlü	4,49	2,25	3,58	4,47	2,23
K310(25/60)	Ankastre	4,65	3,21	3,58	5,84	3,21
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
K311(25/60)	Ankastre	5,84	3,21	3,58	4,66	3,21
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
K410(25/60)	Ankastre	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
K411(25/60)	Ankastre	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23
	Sismik İzolatörlü	4,47	2,23	3,58	4,47	2,23

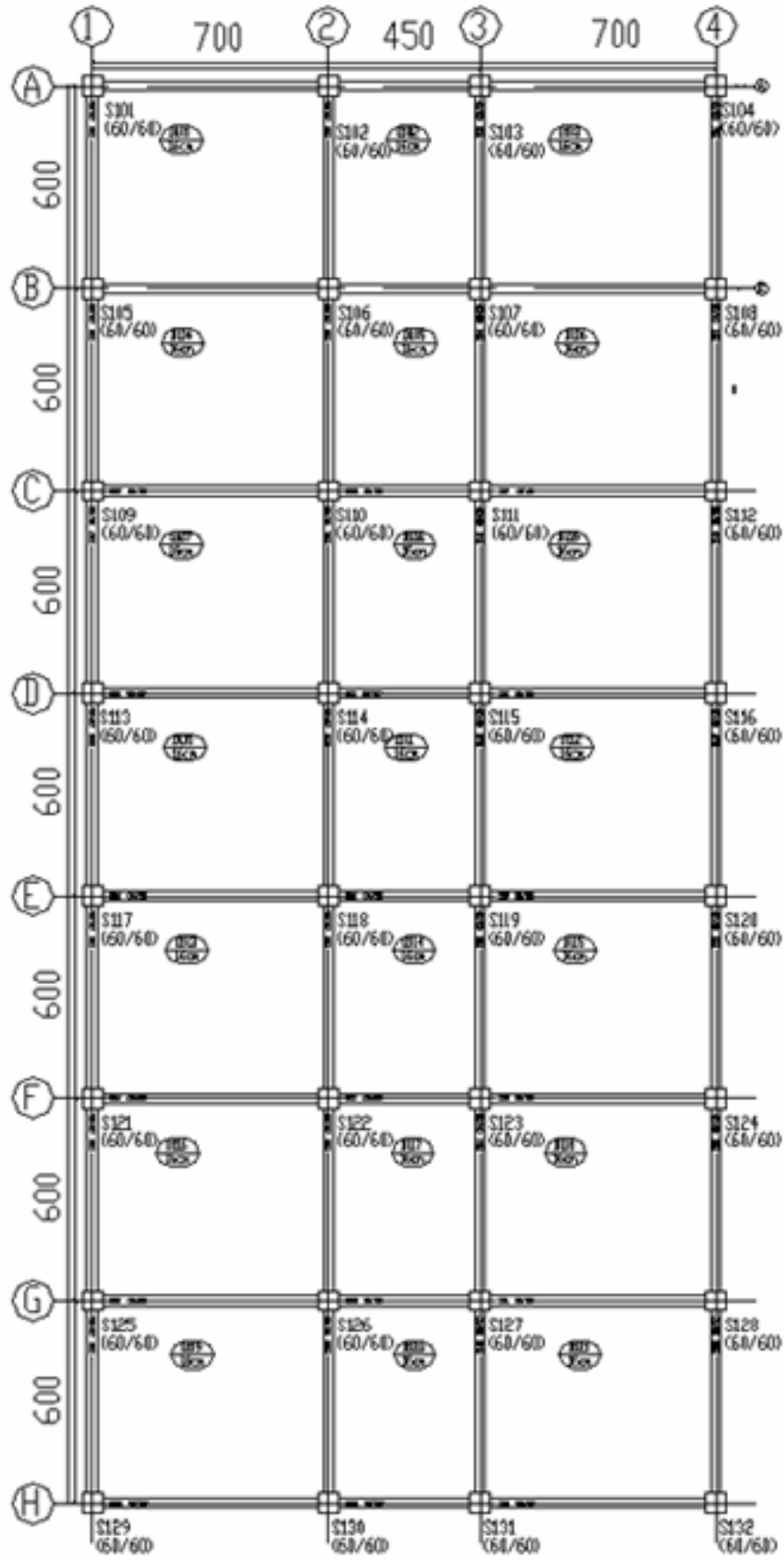
Yukarıdaki çizelgelerden de gözüktüğü gibi açıklık donatısı her iki durumda da minimum donatı oranını sağlaması gerektiğinden aynıdır. Ama mesnet üst ve alt donatı alanları sismik izolatörlü yapıda alt katlarda büyük bir oranla farklıdır.

8.2 Model 2

Bu yapı modeli 6 katlı betonarme bir yapı olup, 42,00m x 18,50m genişliğindedir. Yapının kolonları 60x60cm boyutlarında, kiriş genişlikleri ise 30x60cm'dir. Yapının beton kalitesi C25 olarak alınmıştır. Yapının ankastre ve yalıtımlı hali Sta4Cad bilgisayar programı ile çözülmüştür. Yapının kalıp planı Şekil 8.10'da verilmiştir. Yapının yalıtımlı çözümünde kauçuk esaslı sismik izolatör kullanılmıştır, izolatör özellikleri aşağıda verilmiştir. (Çizelge 8.6)

Statik ve dinamik hesap verileri :

• Normal kat döşeme kalınlığı	16 cm
• Kiriş boyutları	30x60cm
• Kolon boyutları	60x60cm
• Kat sayısı	6
• Bodrum kat sayısı	-
• Bina önem katsayısı (I)	1
• Kat yükseklikleri	Her katta 3m
• Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0.30
• Döşeme hareketli yükü	0.35 t/m ²
• Deprem bölgesi	1.Derece
• Etkin yer ivmesi katsayısı (A ₀)	0.40
• Yerel zemin sınıfı	Z2
• Spektrum karakteristik periyotları	T _A =0.15sn, T _B =0.40sn
• Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	8
• Beton karakteristik dayanımı (f _{ck})	C25
• Çelik karakteristik dayanımı (f _{yk})	S420



Şekil 8.10 Hesap modelinin normal kat kalıp planı (Model 2)

Çizelge 8.7 Kauçuk sismik yalıtım cihazı özellikleri

	KAUÇUK SİSMİK YALITIM CİHAZI ÖZELLİKLERİ							
	Çap	Yükseklik	Düşey Basınç Kapasitesi	Düşey Rijitlik	Yatay Rijitlik	Sönüm Oranı	Tasarım Deplasmanı	Maximum Deplasman
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN/mm)	(kN/mm)	(%)	(mm)	(mm)
GZP-600	620	197	4000	1690	0.90-1.57	5	112	350

Analizlerden sonra yapının periyotları ve kütle oranları ve kat deplasmanları Çizelge 8.8 ve Çizelge 8.9 'da verilmiştir. Ayrıca yapının C,F ve 2 aksları deprem momentleri de Şekil 8.11-16'da verilmiştir. Hesap sonuçlarına göre kolonlarda oluşan en büyük normal kuvvet 385 ton mertebesinde. Seçilen sismik yalıtım cihazının maksimum 4000 kN düşey basınç kapasitesine sahip olduğu düşünüldüğünde, GZP-600 cihazı bu yapı için yeterli kapasitededir.

Çizelge 8.8 Yapı modelinin periyot (s) ve kütle oranı (%) değerleri

Mod	Ankastre		Taban Yalıtımlı		Periyot Oranı	Kütle Oranı
	Periyot T(s)	Kütle Oranı	Periyot T(s)	Kütle Oranı	Ankastre/Yalıtımlı	Ankastre/Yalıtımlı
1	0,6822 (x)	81,47	2,2832 (x)	99,85	0,2988	0,8159
2	0,6479 (y)	81,99	2,2669 (y)	99,88	0,2858	0,8201
3	0,5904 (b)	81,57	1,9752 (b)	99,86	0,2989	0,8168

Çizelge 8.9 Yapı modelinin kat deplasmanları (mm)

	Ankastre				Taban Yalıtımlı			
	X Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (X)	Y Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (Y)	X Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (X)	Y Yönü	Görelî Kat Deplasmanı (Y)
6.Kat	14,91	1,3	13,88	1,15	41,94	0,35	41,34	0,28
5.Kat	13,61	2,1	12,73	1,9	41,59	0,59	41,06	0,5
4.Kat	11,51	2,79	10,83	2,57	41	0,84	40,56	0,73
3.Kat	8,72	3,27	8,26	3,04	40,16	1,13	39,83	0,98
2.Kat	5,45	3,34	5,22	3,16	39,03	1,58	38,85	3,76
1.Kat	2,11	2,11	2,06	2,06	37,45	2,61	35,09	0,05
Taban	0	0	0	0	34,84	0	35,04	0

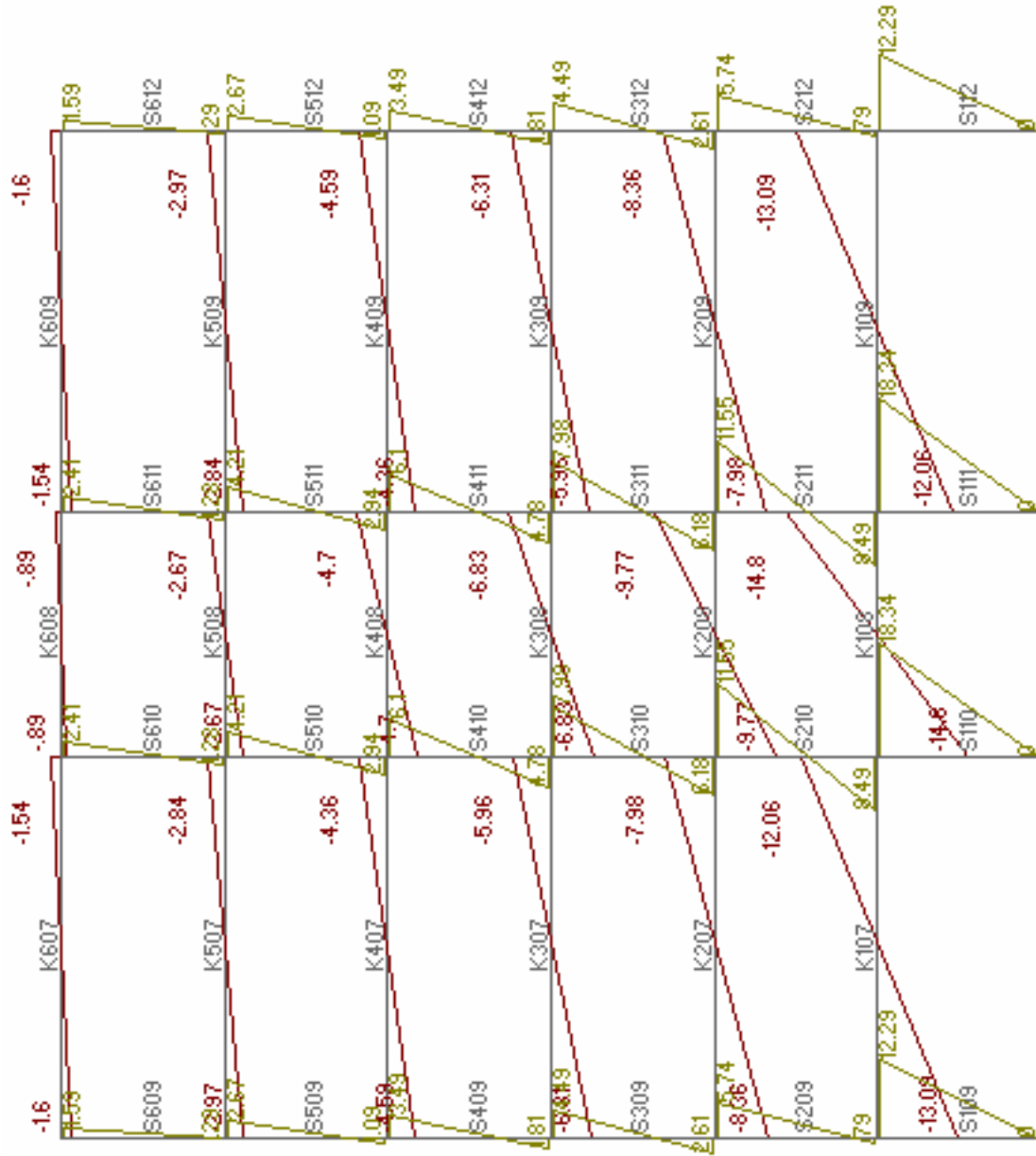


Şekil 8.11 Ankastre yapının C aksı moment diyagramı (+X Deprem)

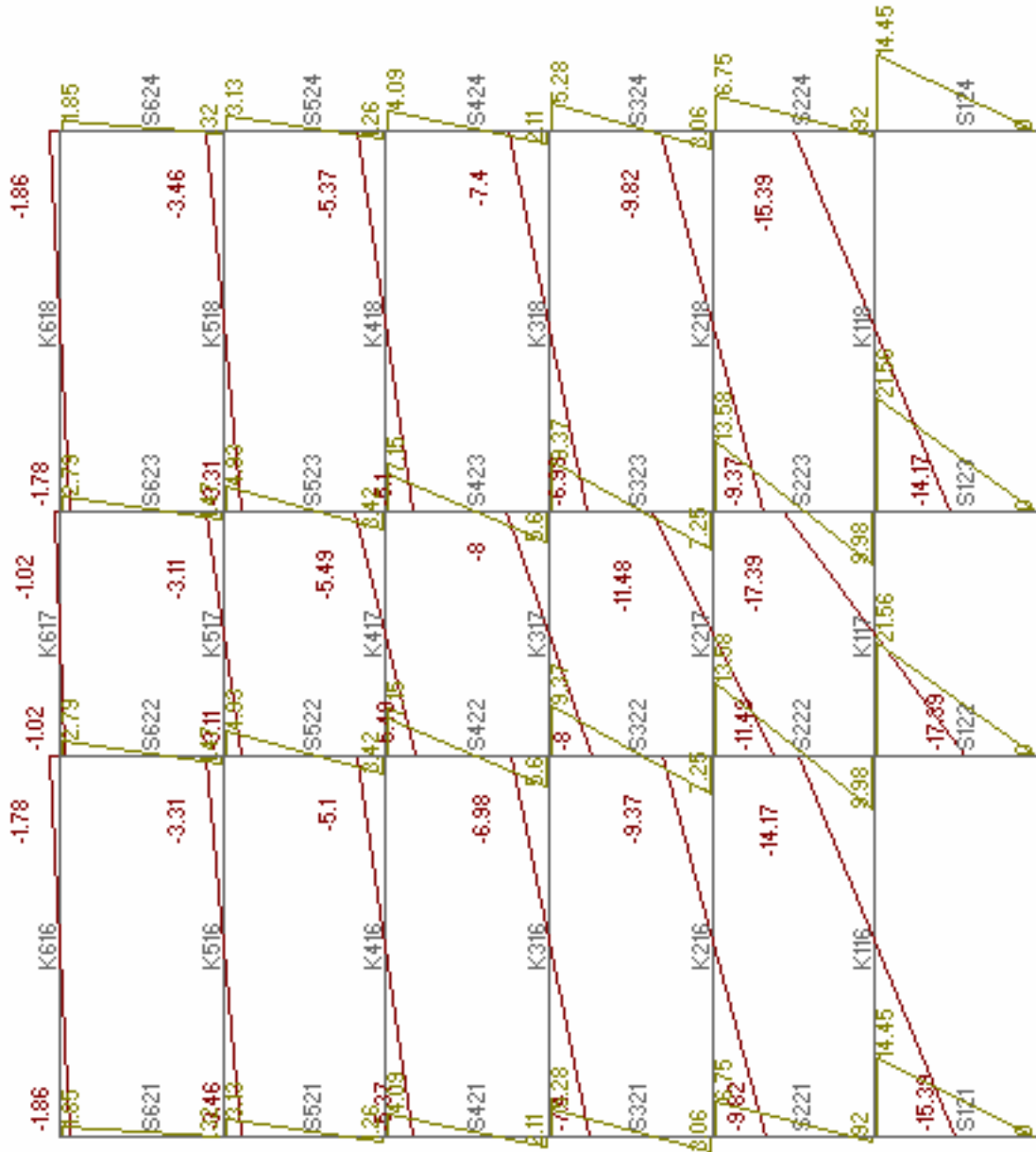


Şekil 8.12 Ankastre yapının F aksı moment diyagramı (+X Deprem)

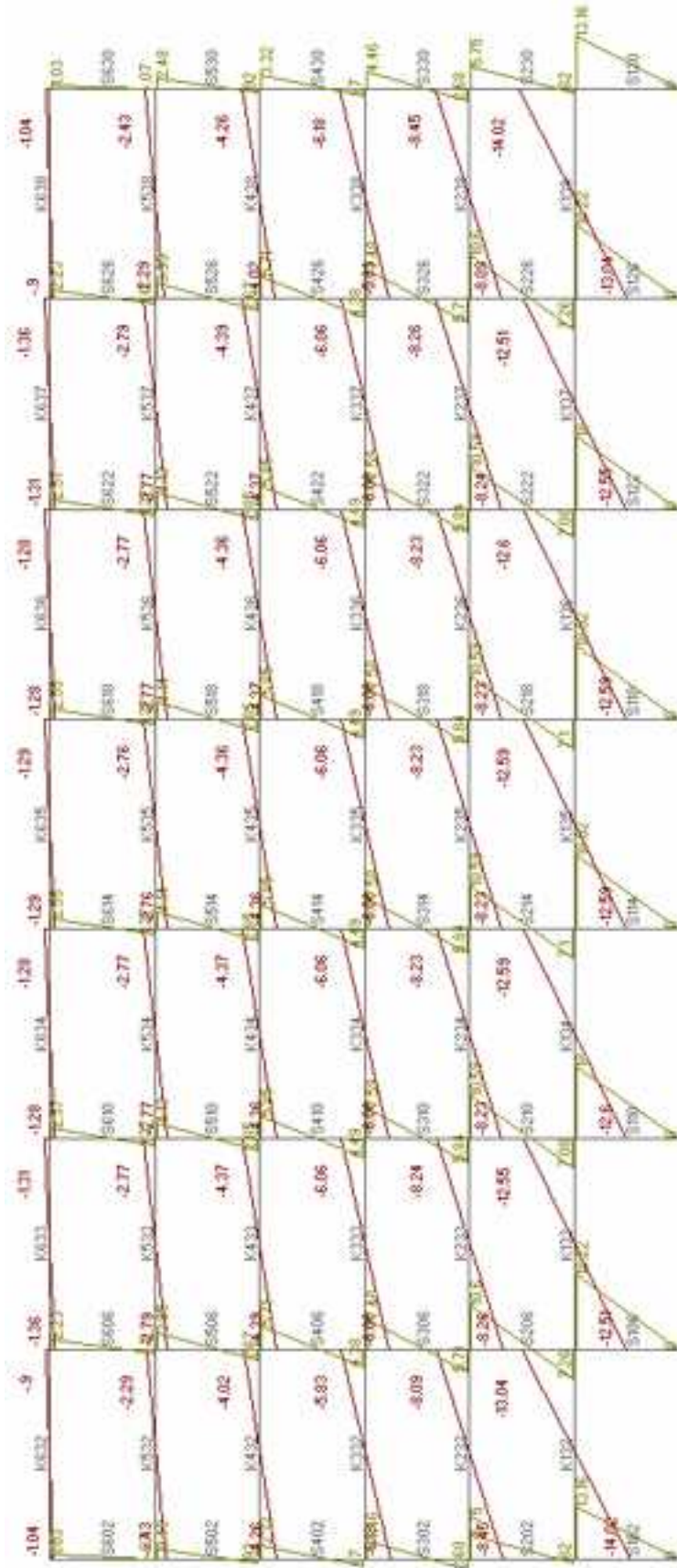
Şekil 8.13 Ankastre yapının 2 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)



Şekil 8.14 Sismik izolatörlü yapının C aksı moment diyagramı (+X Deprem)



Şekil 8.15 Sismik izolatörlü yapının F aksı moment diyagramı (+X Deprem)



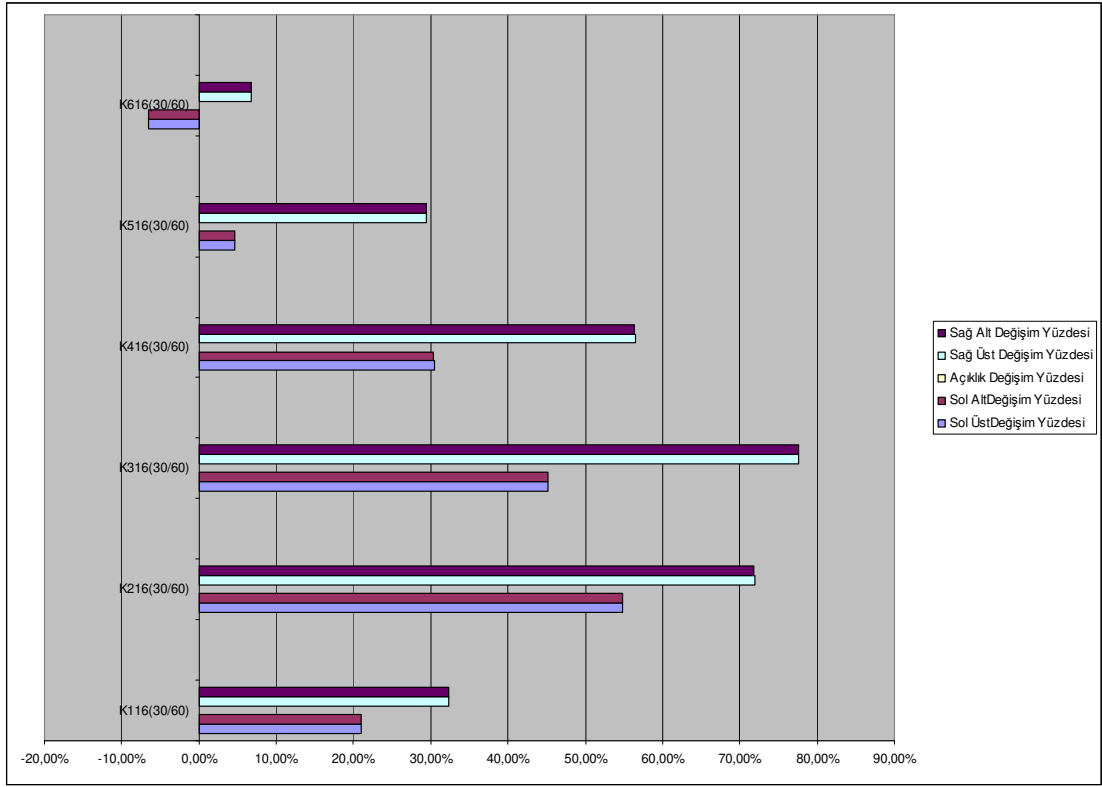
Şekil 8.16 Sismik izolatörlü yapının 2 aksı moment diyagramı (+Y Deprem)

F aksına ait kirişlerin donatı alanlarını hesaplırsak Çizelge 8.10'daki tabloyu elde ederiz. Donatı alanlarının değişim yüzdesi de tabloda yer almaktadır. Açıklık donatı alanları değişmediğinden ona ait oranlar verilmemiştir.

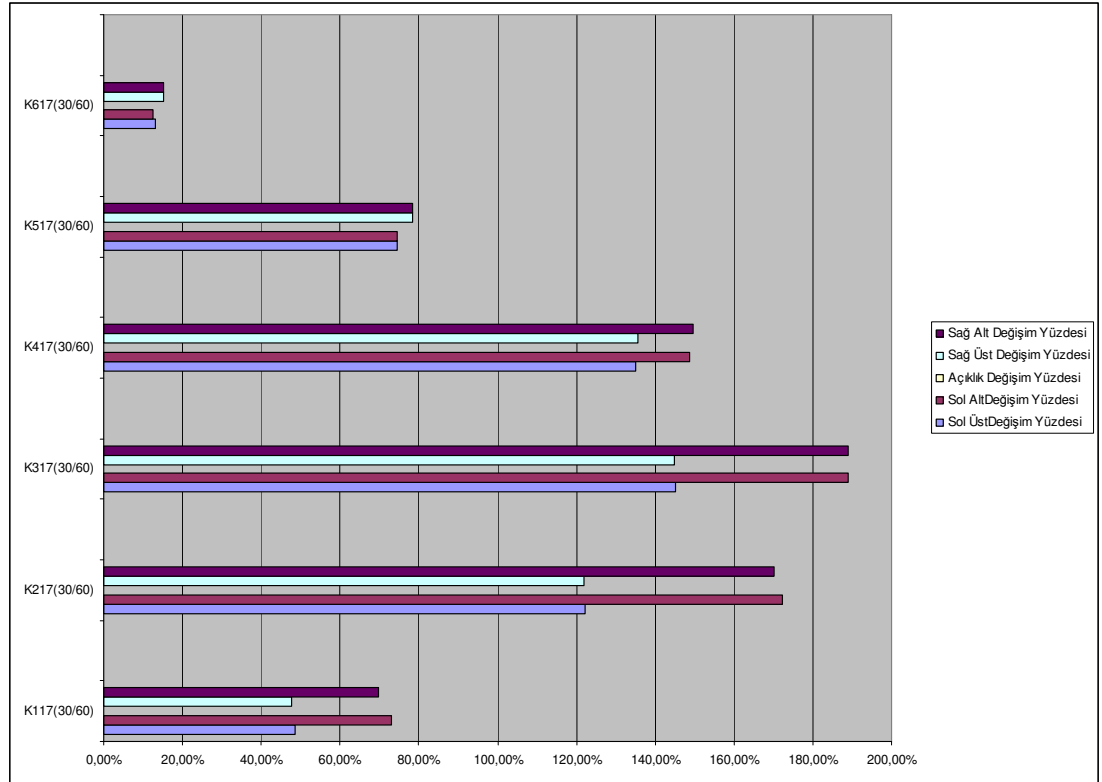
Çizelge 8.10 F aksına ait kirişlerin donatı alanları ve donatı değişim yüzdeleri

	Açıklık	As(cm ²)	Sol üst	Sol Üst Değişim Yüzdesi	Sol alt	Sol Alt Değişim Yüzdesi	Açıklık	Sağ üst	Sağ Üst Değişim Yüzdesi	Sağ alt	Sağ Alt Değişim Yüzdesi
K116(30/60)	7m	Ankastre	22,01	21,07%	11,00	21,01%	8,48	21,31	32,36%	10,65	32,30%
		Sismik İzolatörlü	18,18		9,09		8,48	16,10		8,05	
K117(30/60)	4,5m	Ankastre	17,13	48,57%	9,98	72,96%	4,29	17,40	47,83%	9,98	69,73%
		Sismik İzolatörlü	11,53		5,77		4,29	11,77		5,88	
K118(30/60)	7m	Ankastre	21,22	32,79%	10,61	32,79%	8,49	22,03	21,24%	11,02	21,23%
		Sismik İzolatörlü	15,98		7,99		8,49	18,17		9,09	
K216(30/60)	7m	Ankastre	23,81	54,81%	11,91	54,88%	8,36	22,40	71,91%	11,20	71,78%
		Sismik İzolatörlü	15,38		7,69		8,36	13,03		6,52	
K217(30/60)	4,5m	Ankastre	19,05	122,29%	11,65	172,20%	4,29	19,15	121,90%	11,65	170,30%
		Sismik İzolatörlü	8,57		4,28		4,29	8,63		4,31	
K218(30/60)	7m	Ankastre	22,39	71,97%	11,19	71,89%	8,38	23,81	54,91%	11,90	54,95%
		Sismik İzolatörlü	13,02		6,51		8,38	15,37		7,68	
K316(30/60)	7m	Ankastre	22,75	45,18%	11,37	45,21%	8,42	21,00	77,66%	10,50	77,66%
		Sismik İzolatörlü	15,67		7,83		8,42	11,82		5,91	
K317(30/60)	4,5m	Ankastre	16,86	145,06%	9,94	188,95%	4,29	16,84	144,77%	9,94	188,95%
		Sismik İzolatörlü	6,88		3,44		4,29	6,88		3,44	
K318(30/60)	7m	Ankastre	20,99	77,88%	10,49	77,80%	8,43	22,74	45,21%	11,37	45,21%
		Sismik İzolatörlü	11,80		5,90		8,43	15,66		7,83	
K416(30/60)	7m	Ankastre	20,61	30,44%	10,30	30,38%	8,48	18,26	56,47%	9,13	56,34%
		Sismik İzolatörlü	15,80		7,90		8,48	11,67		5,84	
K417(30/60)	4,5m	Ankastre	13,68	135,05%	7,24	148,80%	4,29	13,67	135,69%	7,24	149,66%
		Sismik İzolatörlü	5,82		2,91		4,29	5,80		2,90	
K418(30/60)	7m	Ankastre	18,24	56,57%	9,12	56,70%	8,49	20,60	30,46%	10,30	30,54%
		Sismik İzolatörlü	11,65		5,82		8,49	15,79		7,89	
K516(30/60)	7m	Ankastre	17,55	4,59%	8,78	4,65%	8,28	14,89	29,48%	7,44	29,39%
		Sismik İzolatörlü	16,78		8,39		8,28	11,50		5,75	
K517(30/60)	4,5m	Ankastre	9,63	74,46%	4,82	74,64%	4,29	9,84	78,26%	4,92	78,26%
		Sismik İzolatörlü	5,52		2,76		4,29	5,52		2,76	
K518(30/60)	7m	Ankastre	14,84	29,83%	7,42	29,72%	8,29	17,55	4,65%	8,77	4,65%
		Sismik İzolatörlü	11,43		5,72		8,29	16,77		8,38	
K616(30/60)	7m	Ankastre	12,86	-6,54%	6,43	-6,54%	9,38	12,20	6,83%	6,10	6,83%
		Sismik İzolatörlü	13,76		6,88		9,38	11,42		5,71	
K617(30/60)	4,5m	Ankastre	6,77	13,02%	3,38	12,67%	4,29	6,36	15,22%	3,18	15,22%
		Sismik İzolatörlü	5,99		3,00		4,29	5,52		2,76	
K618(30/60)	7m	Ankastre	12,37	6,64%	6,19	6,72%	9,39	12,85	-6,55%	6,43	-6,54%
		Sismik İzolatörlü	11,60		5,80		9,39	13,75		6,88	

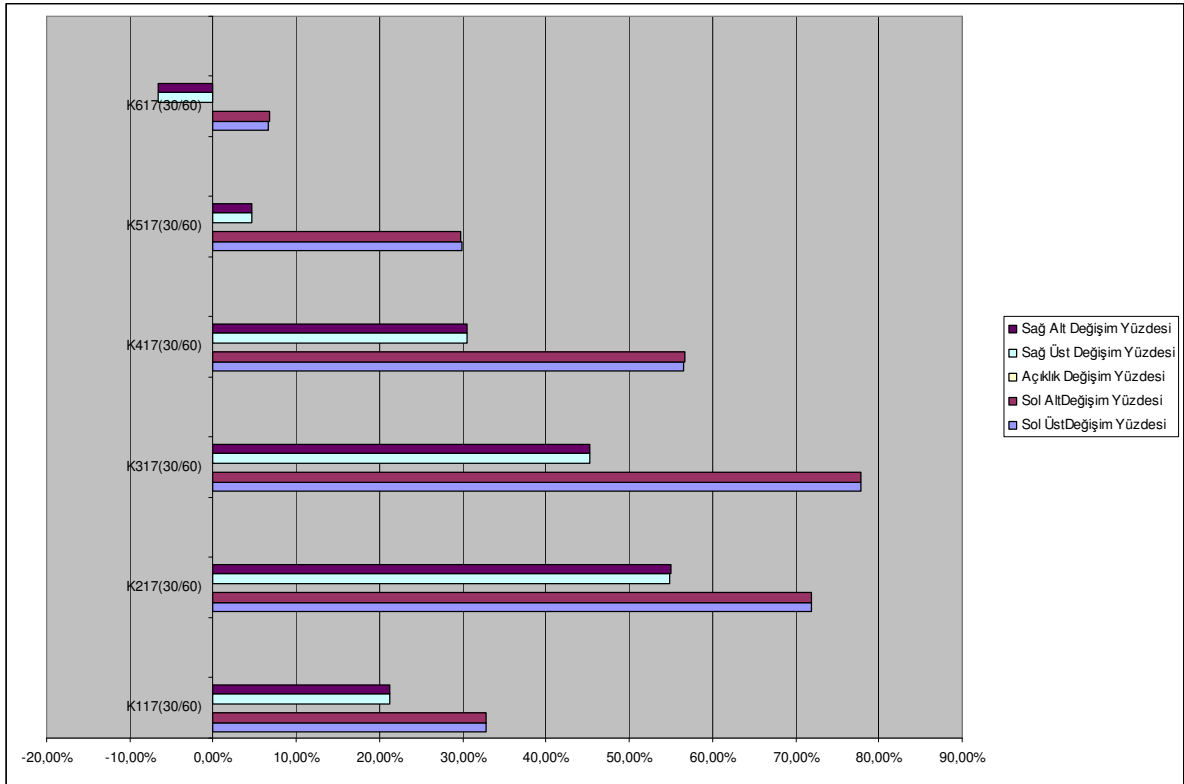
F aksına ait her bir kirişin değerlerini bir grafik halinde görmek istersek aşağıdaki şekilleri elde ederiz.



Şekil 8.17 F aksı K116 kirişine ait katlarda ki donatı değişimini gösteren grafik



Şekil 8.18 F aksı K117 kirişine ait katlarda ki donatı değişimini gösteren grafik



Şekil 8.19 F aksı K118 kirişine ait katlarda ki donatı değişimini gösteren grafik

Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı gibi yapının F aksındaki dış kirişlerdeki donatı alanları değişim yüzdeleri, orta akstaki K117 kirişine göre çok daha küçüktür. Aynı zamanda F aksındaki tüm kirişlerde ki değişimin en büyük olduğu kat, 2. 3. ve 4. kattır. Bu değeri kullanarak şunu söyleyebiliriz ki, sismik izolatörlü yapılarda üst katlara yaklaştıkça donatı değişim yüzdesi küçülürken, orta katlarda %100 seviyesindedir.

9. MALİYET KARŞILAŞTIRMALARININ YAPILMASI

9.1 Yapı İnşaat Maliyetleri

Model 1 ve model 2 üzerinde inşaat maliyetleri açısından bir karşılaştırma yapılırsa, en iyi çözüm inşaat alanları üzerinden giderek, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 2005 yılında yayınlamış olduğu “Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ” değerlerini kullanmak olacaktır. Yapıların IIIA ve IVA grubuna girdiğini varsayarsak;

Çizelge 9.1 Yapıların inşaat maliyetleri (YTL)

Model No	Alan (m ²)	Birim Maliyeti	Toplam Maliyeti
Model 1	480	315-YTL/m ² (IIIA Grubu)	151.200-YTL
Model 2	4662	406-YTL/m ² (IVA Grubu)	1.892.772-YTL

Çizelge 9.1'dan her iki yapı modeli için yaklaşık inşaat maliyetini bulabiliriz. Bu maliyetler toprak işleri, kaba inşaat, ince işler dahil olmak üzere, elektrik ve mekanik tesisat işlerinin tamamını kapsar. Kaba inşaatın toplam yapı maliyetine yüzdesini belirlemek amacıyla standart bir değer olmadığı için her iki modeldeki kaba inşaat maliyetlerini karşılaştırmak gerekecektir. Buna göre her iki modelin ankastre ve sismik yalıtımlı çözümlerindeki boyutlandırmalar dikkate alınır ve bunlar “T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı İnşaat Birim Fiyatları” ile çarpılarak kaba inşaat maliyetleri bulunmaya çalışılırsa ve bunları çizelge halinde gösterirsek;

Çizelge 9.2 Model 1'in ankastre çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL)

Poz No	Açıklama	Birim	Birim Fiyat	Metraj	Toplam Fiyat
16.045/1	C25 Betonu	m ³	96,15 YTL	128,4	12.345,66 YTL
21.011	Betonarme Kalıbı	m ²	10,93 YTL	1046,3	11.436,06 YTL
21.065	İş iskelesi (duvarlar için)(0-12.50 mt yükseklik için)	m ²	2,31 YTL	1200	2.772,00 YTL
21.066	İş iskelesi (tavanlar için)(0.00-12.50 m yükseklik için)	m ³	2,31 YTL	4320	9.979,20 YTL
18.071	(19x19x8.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	71,61 YTL	35	2.506,35 YTL
18.071/1	(19x19x8.5)Tuğla ile yarım tuğla duvar yapılması (yatay delikli)	m ²	8,31 YTL	450	3.739,50 YTL
18.071/2	(19x19x13.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	51,30 YTL	35	1.795,50 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.176,38 YTL	10,9	12.822,54 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.115,25 YTL	6,6	7.360,65 YTL
15.006/1	Makine ile yumuşak ve sert küskülük kazılması (serbest kazı)	m ³	2,73 YTL	180	491,40 YTL
16.045/1	C25 Betonu (Temel)	m ³	96,15 YTL	58,5	5.624,78 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.176,38 YTL	3,6	4.234,97 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.115,25 YTL	2,1	2.342,03 YTL
				TOPLAM	77.450,63 YTL

Çizelge 9.3 Model 1'in sismik yalıtımlı çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL)

Poz No	Açıklama	Birim	Birim Fiyat	Metraj	Toplam Fiyat
16.045/1	C25 Betonu	m ³	96,15 YTL	128,4	12.345,66 YTL
21.011	Betonarme Kalıbı	m ²	10,93 YTL	1046,3	11.436,06 YTL
21.065	İş iskelesi (duvarlar için)(0-12.50 mt yükseklik için)	m ²	2,31 YTL	1200	2.772,00 YTL
21.066	İş iskelesi (tavanlar için)(0.00-12.50 m yükseklik için)	m ³	2,31 YTL	4320	9.979,20 YTL
18.071	(19x19x8.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	71,61 YTL	35	2.506,35 YTL
18.071/1	(19x19x8.5)Tuğla ile yarım tuğla duvar yapılması (yatay delikli)	m ²	8,31 YTL	450	3.739,50 YTL
18.071/2	(19x19x13.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	51,30 YTL	35	1.795,50 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.176,38 YTL	10,8	12.704,90 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.115,25 YTL	6,2	6.914,55 YTL
15.006/1	Makine ile yumuşak ve sert küskülük kazılması (serbest kazı)	m ³	2,73 YTL	180	491,40 YTL
16.045/1	C25 Betonu (Temel)	m ³	96,15 YTL	58,5	5.624,78 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.176,38 YTL	3,6	4.234,97 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.115,25 YTL	2,1	2.342,03 YTL
				TOPLAM	76.886,89 YTL

Çizelge 9.4 Model 2'nin ankastre çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL)

Poz No	Açıklama	Birim	Birim Fiyat	Metraj	Toplam Fiyat
16.045/1	C25 Betonu	m ³	96,15 YTL	1189,1	114.331,97 YTL
21.011	Betonarme Kalıbı	m ²	10,93 YTL	7604,5	83.117,19 YTL
21.065	İş iskelesi (duvarlar için)(0-12.50 mt yükseklik için)	m ²	2,31 YTL	4800	11.088,00 YTL
21.066	İş iskelesi (tavanlar için)(0.00-12.50 m yükseklik için)	m ³	2,31 YTL	17280	39.916,80 YTL
18.071	(19x19x8.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	71,61 YTL	365	26.137,65 YTL
18.071/1	(19x19x8.5)Tuğla ile yarım tuğla duvar yapılması (yatay delikli)	m ²	8,31 YTL	3300	27.423,00 YTL
18.071/2	(19x19x13.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	51,30 YTL	440	22.572,00 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.176,38 YTL	85,4	100.462,85 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.115,25 YTL	45,1	50.297,78 YTL
15.006/1	Makine ile yumuşak ve sert küskülük kazılması (serbest kazı)	m ³	2,73 YTL	2100	5.733,00 YTL
16.045/1	C25 Betonu (Temel)	m ³	96,15 YTL	190	18.268,50 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.176,38 YTL	21	24.703,98 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.115,25 YTL	16	17.844,00 YTL
				TOPLAM	541.896,71 YTL

Çizelge 9.5 Model 2'nin sismik yalıtımlı çözüme göre kaba inşaat maliyeti (2005 B.F.-YTL)

Poz No	Açıklama	Birim	Birim Fiyat	Metraj	Toplam Fiyat
16.045/1	C25 Betonu	m ³	96,15 YTL	1189,1	114.331,97 YTL
21.011	Betonarme Kalıbı	m ²	10,93 YTL	7604,5	83.117,19 YTL
21.065	İş iskelesi (duvarlar için)(0-12.50 mt yükseklik için)	m ²	2,31 YTL	4800	11.088,00 YTL
21.066	İş iskelesi (tavanlar için)(0.00-12.50 m yükseklik için)	m ³	2,31 YTL	17280	39.916,80 YTL
18.071	(19x19x8.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	71,61 YTL	365	26.137,65 YTL
18.071/1	(19x19x8.5)Tuğla ile yarım tuğla duvar yapılması (yatay delikli)	m ²	8,31 YTL	3300	27.423,00 YTL
18.071/2	(19x19x13.5)Tuğla ile duvar yapılması (yatay delikli)	m ³	51,30 YTL	440	22.572,00 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.176,38 YTL	87,5	102.933,25 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik	Ton	1.115,25 YTL	34,6	38.587,65 YTL
15.006/1	Makine ile yumuşak ve sert küskülük kazılması (serbest kazı)	m ³	2,73 YTL	2100	5.733,00 YTL
16.045/1	C25 Betonu (Temel)	m ³	96,15 YTL	190	18.268,50 YTL
23.014	Φ8-12mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.176,38 YTL	21	24.703,98 YTL
23.015	Φ14-50mm'lik Nervürlü Çelik (Temel)	Ton	1.115,25 YTL	16	17.844,00 YTL
				TOPLAM	532.656,98 YTL

Yukarıdaki 4 adet çizelgeden de anlaşılacağı gibi yapıların beton ve kalıp metrajlarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bu tezin konusu olarak sadece kiriş mesnetlerindeki ve buna bağlı olarak kiriş gövde donatılarındaki azalmayı bulmaya çalıştığımızdan dolayı, kolon ve kiriş betonarme boyutlarında herhangi bir azaltma yapılmamıştır. Dolayısıyla maliyet farkı analizi sadece demir miktarı ile sınırlandırılmıştır. Buna göre sismik yalıtılmış bir yapının, ankastre bir yapıya göre, üst yapı kaba inşaatındaki maliyet azalmasını görebilmek için aşağıdaki çizelgeye bakılması gereklidir.

Çizelge 9.6 Her iki modele ait kaba inşaat ve toplam maliyetleri ve oranları

Model No		Kaba İnşaat Maliyeti (YTL)	Toplam Maliyeti (YTL)	Yüzdesi (%)
Model 1	Ankastre	77.450,63 YTL	151.200,00 YTL	51,22%
	Sismik Yalıtılmış	76.886,89 YTL	151.200,00 YTL	50,85%
Model 2	Ankastre	541.896,71 YTL	1.892.772,00 YTL	28,63%
	Sismik Yalıtılmış	532.656,98 YTL	1.892.772,00 YTL	28,14%

Yukarıdaki çizelgelerden de görülmektedir ki, IIIA grubu bir yapının IVA grubu bir yapıya göre kaba inşaat maliyetinin, toplam inşaat maliyetine oranı daha yüksektir. Çünkü IVA grubu bir yapının kalorifer ve asansör gibi tesisat imalatları IIIA grubu bir yapınınkinden çok daha fazladır.

9.2 Sismik İzolatör Cihazları Maliyetleri

Aynı zamanda yukarıda verilen yüzdeler ve oranlar sismik yalıtım cihazlarının maliyetlerinin katılmadığı durumdur. Gerçek bir maliyet analizi yapabilmek için sismik yalıtım cihazlarının da maliyetlerini bu çizelgeye eklememiz gerekir. Daha önceki bölümde model 1 ve model 2'nin analizlerini yaparken hesapların kolaylığı amacıyla bütün kolonlarda aynı tip sismik yalıtım cihazı kullanılmıştır, oysaki orta kolonlara gelen normal kuvvet ile kenar kolonlara gelen normal kuvvet birbirinden farklı olduğundan dolayı, kullanılabilecek sismik yalıtım tiplerini aşağıda gösterirsek;

Çizelge 9.7 Her iki modelde orta ve kenar akslara göre seçilen sismik yalıtım cihazı tipleri

		En Büyük Normal Kuvvet (ton)	Seçilen İzolatör Tipi
Model1	Orta Akslar	160	GZP-500
	Kenar Akslar	105	GZP-400
Model2	Orta Akslar	385	GZP-600
	Kenar Akslar	235	GZP-500

Hesapları idealize etmek amacıyla hesaplarda kenar ve orta akslarda aynı tip sismik yalıtım cihazı kullanılmıştır, maliyetleri ciddi oranda etkileyeceği için maliyet analizlerinde farklı tiplerin seçilerek bir hesap yapılması gereklidir. Sismik yalıtım cihazları ülkemizde resmi

literatürde olmadığından dolayı, cihazların birim fiyatları yoktur. Bundan dolayı bu cihazlarla ilgili fiyatları ancak piyasa fiyatları olarak alınması doğru olacaktır. Birkaç firma ile görüşmeler sonucunda GZP-400, GZP-500 ve GZP-600 tipindeki sismik yalıtım cihazlarının yaklaşık adet birim fiyatları elde edilmiştir. Bu fiyatlar İtalyan Alga Spa.'nın Amerikan DIS Co.'ın (Dynamic Isolation Systems) ve Çinli Shantou Yutai firmasının Türkiye bayilerinden alınmış fiyatlardır. Bu fiyatlara gümrük, nakliye, montaj ve müteahhitlik karları dahildir. Sadece %18'lik KDV oranı hariçtir.

Çizelge 9.7 Sismik Yalıtım Cihazları Adet Fiyatları (USD-Amerikan Doları)

Firma	Birim	GZP-400 için Birim Fiyat	GZP-500 için Birim Fiyat	GZP-600 için Birim Fiyat
Alga	Adet	1200-USD	1450-USD	1900-USD
DIS	Adet	1460-USD	1750-USD	2100-USD
Martı	Adet	360-USD	500-USD	900-USD
ORTALAMA		1006,66-USD	1233.33-USD	1633.33-USD

Yukarıdaki döviz fiyatlarını T.C. Merkez Bankası 31.12.2005 tarihli döviz kurunu (1 USD = 1.3418 YTL) kullanarak YTL cinsine çevirirsek;

Çizelge 9.8 Sismik Yalıtım Cihazları Adet Fiyatları (YTL)

Birim	GZP-400 için Birim Fiyat	GZP-500 için Birim Fiyat	GZP-600 için Birim Fiyat
Adet	1.350,74-YTL	1.654,88-YTL	2.191,60-YTL

Yalıtım cihazlarının maliyete etkilerini her iki modelin sismik yalıtılmış yapı maliyetlerine eklersek aşağıdaki sonuçları elde ederiz.

Çizelge 9.9 Her iki modele ait yalıtım cihazı ve toplam kaba inşaat maliyetleri

Model No	Kolon Sayısı (İzolator Sayısı)	Birim Fiyat	Yalıtım Cihazı Maliyeti (YTL)	Yalıtım Cihazı Toplam Maliyeti (YTL)	Kaba İnşaat Maliyeti (YTL)	Yalıtılmış Yapı Kaba İnşaat Toplam Maliyeti (YTL)
Model 1	10 Adet (GZP-400)-Kenar	1.350,74 YTL	13.507,40 YTL	16.817,16 YTL	76.886,89 YTL	93.704,05 YTL
	2 Adet (GZP-500)-Orta	1.654,88 YTL	3.309,76 YTL			
Model 2	20 Adet (GZP-500)-Kenar	1.654,88 YTL	33.097,60 YTL	59.396,80 YTL	532.656,98 YTL	592.053,78 YTL
	12 Adet (GZP-600)-Orta	2.191,60 YTL	26.299,20 YTL			

9.3 Ankastre Bir Yapı İle Sismik Yalıtılmış Yapı Maliyet Kıyaslaması

Buna göre sismik yalıtılmış bir yapının maliyetleri ile ankastre bir yapının maliyetleri arasındaki farkları ve bunların bölümün başında birim metrekare üzerinden hesapladığımız maliyetler ve en son sismik yalıtım cihazları eklenmiş hali ile hesapladığımız maliyetlerle olan ilişkisini aşağıdaki çizelgeden görebiliriz;

Çizelge 9.10 Her iki modele ait toplam inşaat maliyetleri karşılaştırması

Model No		Kaba İnşaat Maliyeti (YTL)	Kaba İnşaat (Sismik Yalıtılmış / Ankastre) (%)	Toplam Maliyeti (YTL)	Toplam Maliyet (Sismik Yalıtılmış / Ankastre) (%)	Kaba İnşaatın Toplam Maliyete Oranı (%)
Model 1	Ankastre	77.450,63 YTL	120,99%	151.200,00 YTL	111,12%	51,22%
	Sismik Yalıtılmış	93.704,05 YTL		168.017,16 YTL		55,77%
Model 2	Ankastre	541.896,71 YTL	109,26%	1.892.772,00 YTL	103,14%	28,63%
	Sismik Yalıtılmış	592.053,78 YTL		1.952.168,80 YTL		30,33%

Buradan şu sonuçları çıkartabiliriz;

- Model 1 yapısı, IIIA grubuna ait bir yapıdır, kaba inşaat maliyeti, toplam inşaat maliyetinin %51'i ve toplam inşaat alanı 480m² olduğundan sismik yalıtılmış yapının maliyeti, ankastre yapının yaklaşık %4,55 daha fazlasıdır.
- Model 2 yapısı, IVA grubuna ait bir yapıdır, kaba inşaat maliyeti, toplam inşaat

maliyetinin %29'u ve toplam inşaat alanı 4662m² olduğundan sismik yalıtılmış yapının maliyeti ankastre yapının yaklaşık %1,70 daha fazlasıdır.

- Model 1 ve model 2 yapılarını kendi içlerinde karşılaştırsak, IVA grubu bir yapının genel olarak metrekare birim inşaat fiyatının IIIA grubuna göre daha yüksek olması, kaba inşaatla ilgili değildir, tesisat malzemeleri ve ince imalatlarla ilgilidir. Aynı zamanda, model 2 yapısının toplam inşaat alanı model 1 yapısından yaklaşık 10 kat daha fazladır.
- Sismik yalıtım metodu kullanarak çözülen yapı modelinin toplam inşaat maliyetinde ki artış, ankastre çözülen yapı modeline göre IIIA grubu yapıda %4,55, IVA grubu yapıda ise %1,70 düzeyindedir. Bunu şunu işaret etmektedir; sismik izolatör kullanımı özellikli binalarda maliyete fazla etki etmemektedir.

9.4 Sonuç

Yukarıda yapılan çalışmalar şunu göstermiştir; sismik yalıtım metodu yeni ve gelişen bir teknoloji olduğundan dolayı, teknik donanımı tam ve güvenli bir sistemdir. Fakat yatırımcılar açısından bakıldığında, sistemin maliyetli oluşu, bu sistemin gelişiminin önünü tıkadığı söylenebilir. Bu tez çalışmasında bu maliyet faktörü üzerinde durulmuştur.

Maliyet aslında çok değişken bir parametre olduğu için tez çalışmasında ülkemizde en çok inşa edilen iki farklı yapı tipini kullanılmıştır. Buna göre yapının inşaat maliyeti arttığı zaman, sismik yalıtım cihazlarının maliyet oranının düştüğü görülmektedir.

Yapının tüm maliyeti düşünüldüğünde, sonuç şunu göstermektedir ki, sismik yalıtım cihazlarının kullanılması bütün inşaat maliyetinin aslında en fazla %12.76'lık bölümünü kapsamaktadır.

Sismik yalıtım sisteminin gelişmesi, rekabet ortamının artması ile bu sistem daha da az maliyetli bir hal alacaktır.

Tez çalışmasının konusu olarak, betonarme elemanların boyutlarında bir değişiklik yapılmamıştır. Şartnamelerde ve yönetmeliklerde yapılacak düzenlemeler ile bu boyutların minimum değerleri belirlenebilirse, kaba inşaat maliyetleri daha da düşebilecektir.

KAYNAKLAR

- Amasralı, S., (2004) Sta4-Cad Ver-12.0 “Çok katlı betonarme yapıların 3 boyutlu analiz ve tasarımı”.
- Ataman, O., Tabban, A.,(1977), “Türkiye’de Yerleşme Alanlarının Doğal Afetler İle İlişkileri”, Mimarlık, 1977/4:25.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1997), “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1996), “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (18.04.1996), İndeks”, Temmuz 1996, Ankara, 8.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2005), “2005 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları”.
- Boyut Yayın Grubu,(2000), Yeryüzü ve Deprem, 2000, 35-38.
- Celep, Z. ve Kumbasar N., (2000), “Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı”.
- Dumanoğlu, A. ve Ateş, Ş., (1999), “Taban izolasyonlu binaların lineer olmayan deprem analizi”, Teknik Rapor TDV/TR 026-42, Türkiye Deprem Vakfı.
- Earthquake Protection Systems,Inc., (1994), “Friction Pendulum seismic isolation bearings”, Richmond, CA.
- Erdik, M., (1999), “İstanbul İçin Kapsamlı Bir Deprem Afet Master Planı Geliştirilmesi”, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, 1999, Ankara,18-37.
- Erdik, M., (2000), “Şiddetli Deprem Zeminden Çok Bina Ayrımı Yapar”, Bilim Teknik Dergisi Cumhuriyet Gazetesi Deprem Özel Sayısı, 19 Ağustos 2000, 700:3.
- Eyidoğan, H., (1986), “Türkiye’nin Sismoteknik Özellikleri”, Deprem, Panel / Seminer, 13 Mart 1986, YEM,3.
- Kelly, J.M., (1993),”Seminar on seismic isolation, passive energy dissipation, and active control Volume I.” State-of-the-art and state-of-the-practice in base isolation, American Technology Council, ATC-17-1 San Francisco, CA. 11-12 Mart, s.9-20.
- Naeim, F. and Kelly, J.M., (1999), “Design of seismic isolated structures from theory to practice” John A. Martin and Associates, Inc., University of California.
- Özmen B., Nurlu M., Güler H., (1997), “Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1997, Ağustos, 10.
- Pampal, S., (2000), Depremler, Alfa Yayını, 2000, Ocak, 65.
- Şengezer, B., (1999), “13 Mart 1992 Erzincan Depremi Hasar Analizi ve Türkiye’de Deprem Sorunu”, Y.T.Ü. Basın Yayın Merkezi, 1999, İstanbul, 334.
- Taş, M., (1995), “Türkiye’de Endüstri Yapılarında Deprem Sorunu”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1995, 42.
- T.C. Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi, “Depremler 1999”.

Tezcan, S. ve Uluca, O. (2000), “Reduction of seismic of seismic response by viscoelastic dampers” TDV/KT 012-48, Türkiye Deprem Vakfı, Ocak 2000. s.88.

Türker, H., (2002), “Taban İzolasyonu İle Klasik Güçlendirme Arasında Bir Maliyet Karşılaştırması”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2002.

Uludağ, S., (2005), “Taban İzolasyon Sistemleri’nin Karşılaştırmalı Analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2005, 20.

INTERNET KAYNAKLARI

- [1] <http://www.afet.gen.tr/deprem/adana.html>
- [2] <http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem>
- [3] <http://www.die.gov.tr>
- [4] <http://www.fema.gov/about/index.stm>
- [5] <http://www.ibb.gov.tr/deprem>
- [6] <http://www.alga.it>
- [7] <http://www.earthquakeprotection.com>
- [8] <http://www.dis-inc.com>
- [9] <http://www.parlar.com.tr/sismik.html>
- [10] <http://www.deprem.gov.tr>
- [11] <http://www.depremvakfi.com.org>
- [12] <http://www.mta.gov.tr>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.09.1977

Doğum yeri İstanbul

Lise 1987-1995 Özel Boğaziçi Lisesi

Lisans 1995-1999 Yıldız Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1999-2000	Serda Mühendislik ve İnşaat
2000-2002	İsmet Babuş Mühendislik
2002-2006	Tolay Mühendislik ve İnşaat