

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR BİNANIN TASARIMINDA TABAN
İZOLASYONUNUN BİNA MALİYETİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. M. Tarık KESKİN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2005

**BETONARME BİR BİNANIN TASARIMINDA TABAN
İZOLASYONUNUN BİNA MALİYETİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. M. Tarık KESKİN
501001178**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Şubat 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Şubat 2005**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kadir GÜLER
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Metin AYDOĞAN (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Feridun ÇILI (İ.T.Ü.)**

ŞUBAT 2005

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, öncelikle depreme karşı dayanıklı bir yapı tasarımı yöntemi olarak taban izolasyon sistemi hakkında bilgi verilmiş daha sonra örnek bir yapı üzerinde bu sistemin modellenmesi anlatılmıştır. Tez çalışması boyunca emeği geçen Prof. Dr. Kadir Güler'e, DOKA Endüstri Ltd. Şti.'ne, Tuncel Mühendislik' e, bana destek ve yardımcı olan arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

Şubat 2005

M. Tarık KESKİN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. DEPREM	1
1.1 Giriş	1
1.2 Deprem Nedir?	1
1.3 Deprem Oluş Nedenleri ve Türleri	2
1.4 Deprem Türleri	5
1.5 Deprem Parametreleri	5
1.5.1 Odak Noktası	6
1.5.2 Dış Merkez	6
1.5.3 Odak Derinliği	6
1.5.4 Eşşiddet Eğrileri	7
1.5.5 Şiddet	7
1.5.6 Manyitüd	8
1.6 Deprem Diğer Özellikleri	9
1.7 Deprem Dalgaları	9
1.8 Deprem Şiddet Cetveli	10
1.9 Depremlerin Oluşum Yerleri ve Türkiye'nin Deprem Potansiyeli	14
2. DEPREM ETKİSİNE KARŞI KORUYUCU SİSTEMLER	16
2.1 Giriş	16
2.2 Taban Yalıtımı Sisteminin Uygulanması	18
2.3 Kauçuk Esaslı Sistemler	20
2.3.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk İzolatörler (LDRB)	20
2.3.2 Kurşun Çekirdekli İzolatörler (LRB)	22
2.3.3 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler (HDNR)	23
2.4 Kayma Esaslı Sistemler	25
2.4.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler (FPS)	26
2.4.2 Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (RFBI)	28
2.4.3 Çelik Plakalı Tabakalar İle Ayrılmış Neopren Malzemeli İzolatörler	28
2.4.4 EERC Birleşik Sistemi	30

2.5 Pasif Enerji Tüketen Sönümleyici Sistemler	30
2.5.1 Çevrimsel Sönümleyiciler	31
2.5.2 Hıza Bağlı Sönümleyiciler	32
3. TABAN İZOLASYONUNUN TEORİK ESASLARI	34
3.1 Lineer Teori	34
3.2 Teorinin Bina Türü Yapılara Uygulanması	43
3.2.1 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri	43
3.2.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modal Analizleri	44
4. TABAN İZOLASYONLU YAPILARIN TASARIMI İLE İLGİLİ GEÇERLİ YÖNETMELİKLER	48
4.1 Giriş	48
4.2 1997 UBC Yönetmeliğindeki Taban İzolasyonlu Yapılara Yönelik Şartlar	50
4.2.1 Sismik Tehlike Düzeyi	50
4.2.2 Tasarım Yöntemleri	50
4.2.3 Kauçuk İzolatörlere Ait Statik Analiz	51
4.2.4 Dinamik Analiz	53
4.2.5 Yapısal Olmayan Elemanlar İçin Diğer Gereksinimler	54
4.2.6 Göz Önüne Alınması Gereken Diğer Hususlar	54
5. SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ İZOLATÖRÜN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ ve MODELLENMESİ	56
5.1 Sürtünmeli Sarkaç Tipi Taban Yalıtımı Sisteminin Analizi	57
5.1.1 Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörün Mekanik Karakteristikleri	58
5.2 Taban İzolasyonlu Yapıların Nonlineer Analizi için Kullanılan ETABS Bilgisayar Programında, İzolatör Özelliklerinin Nonlineer Link Elemanı Olarak Modellenmesi	60
6. UYGULAMA	70
6.1 Giriş	70
6.2 Ankastre Mesnetli Çözüm	70
6.2.1 Yapı Genel Bilgisi	70
6.2.2 Deprem Kuvvetlerinin Hesaplanması	73
6.2.3 Ankastre Mesnetli Yapının ETABS Analiz Programında Modellenmesi	75
6.2.4 Ankastre Mesnetli Yapı Analiz Sonuçları	76
6.3 Taban Yalıtımlı Çözüm	79
6.3.1 BSE-1 Seviyesinde Deplasman ve Taban Kesme	

Kuvveti Hesapları	79
6.3.2 BSE-2 Seviyesinde Deplasman ve Taban Kesme	
Kuvveti Hesapları	81
6.3.3 Taban Yalıtımlı Yapının ETABS Analiz Programında	
Modellenmesi	83
6.3.4 Taban Yalıtımlı Yapı Analiz Sonuçları	85
6.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	89
6.5 Maliyet Karşılaştırılması	91
6.6 Sonuç	93
KAYNAKLAR	94
EKLER	95
EK A	96
EK B	104
EK C	118
ÖZGEÇMİŞ	132

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Şiddet ve manyitüd değerleri arasındaki ilişki 9
Tablo 6.1	Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması 74
Tablo 6.2	Ankastre mesnetli yapının titreşim periyotları 76
Tablo 6.3	Ankastre mesnetli sistemin maksimum kat ötelenmeleri 77
Tablo 6.4	Sönüm katsayısı B_m 81
Tablo 6.5	Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin mekanik özellikleri 85
Tablo 6.6	Taban yalıtımlı sistemin maksimum kat ötelenmeleri 86
Tablo 6.7	Taban yalıtımlı sistemin titreşim periyotları 86
Tablo 6.8	Zaman Tanım Alanında çözüm sonucu analiz sonuçlarının karşılaştırılması 90
Tablo 6.9	Eşdeğer Deprem Kuvveti çözümü sonucu analiz sonuçlarının karşılaştırılması 91
Tablo 6.10	Spektral çözüm sonucu analiz sonuçlarının karşılaştırılması 91
Tablo A.1	Ankastre mesnetli yapı kolon boyutları 96
Tablo A.2	Taban yalıtımlı yapı kolon boyutları 100
Tablo B.1	Ankastre çözüm kolon kesit tesirleri 104
Tablo B.2	Ankastre çözüm düğüm noktası deplasmanları 111
Tablo B.3	Ankastre çözüm perde kesit tesirleri 115
Tablo C.1	Sismik kolon kesit tesirleri 119
Tablo C.2	Sismik çözüm düğüm noktası deplasmanları 127

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	Yerkabuğu hareketinin şematik anlatımı	2
Şekil 1.2	Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı	6
Şekil 2.1	Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin a) kesiti ve elemanları b) kuvvet-yer değiştirme davranışı	21
Şekil 2.2	Kurşun çekirdekli izolatör sisteminin a) kesiti ve elemanları b) kuvvet-yer değiştirme davranışı	24
Şekil 2.3	Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin a) kesiti ve elemanları b) kuvvet-yer değiştirme davranışı	25
Şekil 2.4	Sürtünmeli sarkaç sisteminin kesiti	26
Şekil 2.5	Sürtünme katsayısının öteleme hızına bağlılığı ve bunun artan normal kuvvetle değişimi	27
Şekil 2.6	Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sisteminin a) kesiti ve elemanları b) kuvvet-yer değiştirme davranışı	29
Şekil 2.7	Çelik plakalı tabakalar ile ayrılmış neopren malzemeli izolatörlerin kuvvet-yer değiştirme davranışı	30
Şekil 2.8	Pasif sönümleyicilerde kuvvet-yer değiştirme ilişkisi	31
Şekil 2.9	Çubuk türünden pasif sönümleyici	32
Şekil 2.10	Hıza bağlı sönümleyicide kuvvet-yer değiştirme ilişkisi	33
Şekil 2.11	Viskoz sönümleyici	33
Şekil 3.1	İzole edilmiş binanın şematik çizimi	35
Şekil 5.1	Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörün hareket şekli	56
Şekil 5.2	Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörün periyot-ivme grafiği	57
Şekil 5.3	N1link elemanı için tanımlanan deformasyon şekilleri	63
Şekil 5.4	N1link elemanı için tanımlanan altı serbestlik dereceli yay elemanı	63
Şekil 5.5	N1link elemanında iç kuvvet ve momentler	64
Şekil 5.6	Isolator2 property elemanının sürtünmeli sarkaç kayma davranışı idealizasyonu	66
Şekil 6.1	Ankastre yapının kat kalıp planı	72
Şekil 6.2	Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri	75
Şekil 6.3	İvme spektrumu	77
Şekil 6.4	Ankastre mesnetli yapının deformasyon şekli	78
Şekil 6.5	Taban yalıtımlı sistemin kat kalıp planı	84
Şekil 6.6	Taban yalıtımlı yapının deformasyon şekli	87
Şekil 6.7	Taban kesme kuvveti (kN)– Zaman grafiği (s)	88
Şekil 6.8	Taban seviyesi deplasmanı UX (m) – Zaman (s) grafiği	88
Şekil 6.9	Yapıya etkiyen deprem kuvvetinin ivme(m/s ²) – zaman grafiği (s)	89
Şekil 6.10	Ankastre mesnetli yapıda Taban kesme kuvveti (kN) – Zaman grafiği (s)	90
Şekil C.1	Sürtünmeli sarkaç tipi izolatör detayı	118

BETONARME BİR BİNANIN TASARIMINDA TABAN İZOLASYONUNUN BİNA MALİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışma, binaların periyodunu büyüterek deprem etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan sismik taban izolatörlerini, uygulamalarını, avantajlarını ve dezavantajlarını incelemektedir. Sismik taban izolasyonunun temel ilkesi, bina ile temel arasına yanal rijitliği düşük elemanlar koyarak, binayı depremin yıkıcı etkilerinden uzaklaştırmak ve tabanda ankastre bağlı durumundaki doğal periyodundan ve özellikle deprem hareketinin hakim periyodundan daha büyük bir doğal periyot kazandırmaktır.

Taban izolasyonu, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, depreme karşı tepkisini azaltma esasına dayanan bir yapı tasarımı yaklaşımıdır. Bunun için yapı ile temeli arasına düşük yatay rijitliği olan yapı elemanları yerleştirilir. Böylelikle yapıda yer hareketinin yani depremin neden olacağı zorlamalar azaltılabilmektedir. Taban izolasyonu ile, bir yapıda meydana gelecek görece kat ötelemeleri ve kat ivmelerini aynı anda azaltmak mümkündür. Taban izolasyonu kullanılan bir yapıya kazandırılan esneklik sistemin izolasyon seviyesinde meydana gelen yer değiştirmeler yardımıyla sağlanmaktadır. Taban izolasyonunun üzerinde yer alan üst yapı neredeyse tamamen rijit bir davranış gösterir. Bu yöntem ile, yapıya aktarılan asal frekans; hem ankastre mesnetli yapı frekansından hem de yer hareketinin hakim frekansından çok daha düşüktür. Yapının en çok yer değiştirme üreten modu, 1. mod deformasyon şeklidir. Üst modların yapının yer değiştirmesinde fazla bir rolü yoktur.

Bu tez çalışmasında, taban izolasyon sistemleri esas olarak kauçuk esaslı ve kayıcı sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Yurdumuzda aktif ve pasif kontrol sistemlerine ilişkin geçerli bir yönetmelik henüz bulunmadığından, A.B.D. 'de yürürlüğe konulmuş ve taban izolasyonlu binaların tasarımı için şartlar içeren yönetmelikler incelenmiştir.

A COST EFFECT RESEARCH FOR THE BASE ISOLATED REINFORCED CONCRETE BUILDING

SUMMARY

This study examines, the applications, advantages and disadvantages of seismic base isolators used to reduce the earthquake's effects by increasing the free vibration periods of structure. The main principle of base isolation is to protect the building against destructive effects of earthquake by using components having less lateral stiffness between the base and upper structure; and to make the building acquire, natural period higher than fixed-base system's and especially earthquake motion's fundamental period.

Base isolation has an approach as reducing the response of a building instead of increasing the durability of the building against earthquake. Therefore over forcing induced by ground motions, can be decreased. Base isolation gives its user the possibility of reducing simultaneously inter story drifts and floor accelerations. The base isolation system provides flexibility for the structure, by the displacements occurring at the level of isolation. The superstructure, standing above isolation system, behaves almost completely rigid. This method gives the structure a fundamental frequency that is much lower than both its fixed-base frequency and predominant frequencies of the ground motion. The mode shape that produces the greatest displacement, is the first mode deformation shape. Higher modes do not participate in the motion.

In this study, base isolation systems are basically classified as elastomeric-base isolation systems and the systems based on sliding. There is not any valid guidelines, developed for active and passive control systems, in our country yet. Because of this, the guidelines, that are validly being used in U.S.A. including the provisions of the design of base isolated structures are examined.

1.DEPREM

1.1 Giriş

Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremlerin ardışıklı olarak oluştuğu ve sonucundan da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir.

Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birisi üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğramamız söz konusudur.

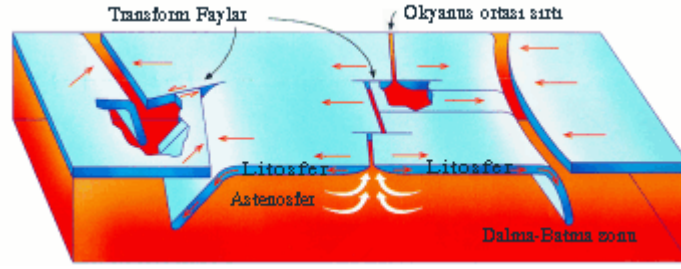
Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93' ünün aktif deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir.

Son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.003 vatandaşımız ölmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır.

1.2 Deprem Nedir?

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına "DEPREM" denir.

Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapıların da hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir afettir.



Şekil 1.1 Yer kabuğu hareketinin şematik anlatımı

Depremlerin önemli bir bölümü yeryüzünden yaklaşık 15-20 km derinliklere kadar uzanan elastik kısımda üst kabuk içinde meydana gelmektedir. Bu derinlikten daha derinliklerde sıcaklık 400 derecenin üzerinde olduğu için yer değiştirme hareketi depresiz, krip denilen yavaş plastik şekil değiştirme enerjisi şeklinde yutulur. Buna karşılık elastik üst kısımda ise her yıl birkaç cm'lik yer değiştirme yüzyıllarca birikerek birkaç metre birden büyük bir depremle meydana gelmektedir. Depremler sırasında ilk kırılma başlangıcının bu elastik alan sınırında meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Deprem yer içerisinde fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu karmaşık elastik dalga hareketleridir. Bu yer değiştirme miktarı depremin büyüklüğü ile doğru orantılı olup özellikle sığ depremlerde belirli bir büyüklükten sonra faylanma ile ilgili kırıklar yeryüzünde görülmektedir.

1.3 Depremin Oluş Nedenleri Ve Türleri

Dünyanın iç yapısı konusunda, jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen verilerin desteklediği bir yeryüzü modeli bulunmaktadır. Bu modele göre, yerkürenin dış kısmında yaklaşık 70-100 km. kalınlığında oluşmuş bir taşküre (Litosfer) vardır. Kıtalar ve okyanuslar bu taşkürede yer alır. Litosfer ile çekirdek arasında kalan ve kalınlığı 2.900 km olan kuşağa Manto adı verilir. Manto'nun altındaki çekirdeğin Nikel-Demir karışımından oluştuğu kabul edilmektedir. Yerin, yüzeyden derine gidildikçe ısının arttığı bilinmektedir. Enine deprem dalgalarının yerin çekirdeğinde yayılamadığı olgusundan giderek çekirdeğin sıvı bir ortam olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Manto genelde katı olmakla beraber yüzeyden derine inildikçe içinde yerel sıvı ortamları bulundurmaktadır.

Taşküre'nin altında Astenosfer denilen yumuşak Üst Manto bulunmaktadır. Burada oluşan kuvvetler, özellikle konveksiyon akımları nedeni ile, taş kabuk parçalanmakta ve birçok "Levha"lara bölünmektedir. Üst Manto'da oluşan konveksiyon akımları, radyoaktivite nedeni ile oluşan yüksek ısıya bağlanmaktadır. Konveksiyon akımları yukarılara yükseldikçe taşıyuvarda gerilmelere ve daha sonra da zayıf zonların kırılmasıyla levhaların oluşmasına neden olmaktadır. Halen 10 kadar büyük levha ve çok sayıda küçük levhalar vardır. Bu levhalar üzerinde duran kıtalarla birlikte, Astenosfer üzerinde sal gibi yüzmekte olup, birbirlerine göre insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket etmektedirler.

Konveksiyon akımlarının yükseldiği yerlerde levhalar birbirlerinden uzaklaşmakta ve buradan çıkan sıcak magmada okyanus ortası sırtlarını oluşturmaktadır. Levhaların birbirlerine değdikleri bölgelerde sürtünmeler ve sıkışmalar olmakta, sürtünen levhalardan biri aşağıya Manto'ya batmakta ve eriyerek yitme zonlarını oluşturmaktadır. Konveksiyon akımlarının neden olduğu bu ardışıklı olay taşkürenin altında devam edip gitmektedir.

İşte yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirine süttündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri bu levhaların sınırları dünyada depremlerin oldukları yerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada olan depremlerin hemen büyük çoğunluğu bu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında dar kuşaklar üzerinde oluşmaktadır.

Birbirlerini iten ya da diğerinin altına giren iki levha arasında, harekete engel olan bir sürtünme kuvveti vardır. Bir levhanın hareket edebilmesi için bu sürtünme kuvvetinin giderilmesi gerekir.

İtilmekte olan bir levha ile bir diğer levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman bir hareket oluşur. Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve şok niteliğindedir. Sonunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem (sarsıntı) dalgaları ortaya çıkar. Bu dalgalar geçtiği ortamları sarsarak ve depremin oluş yönünden uzaklaştıkça enerjisi azalarak yayılır. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve FAY adı verilen arazi kırıkları oluşabilir. Bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemez, yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilir. Bazen de eski

bir depremden oluşmuş ve yeryüzüne kadar çıkmış, ancak zamanla örtülmüş bir fay yeniden oynayabilir.

Depremlerinin oluşumunun bu şekilde ve "Elastik Geri Sekme Kuramı" adı altında anlatımı 1911 yılında Amerikalı Reid tarafından yapılmıştır ve laboratuvarlarda da denenerek ispatlanmıştır.

Bu kurama göre, herhangi bir noktada, zamana bağımlı olarak, yavaş yavaş oluşan birim deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaç bloklarının birbirine göreli hareketlerini oluşturmaktadır. Bu olay ani yer değiştirme hareketidir. Bu ani yer değiştirmeler ise bir noktada biriken birim deformasyon enerjisinin açığa çıkması, boşalması, diğer bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ile ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır.

Aslında kayaların, önceden bir birim yer değiştirme birikimine uğramadan kırılmaları olanaksızdır. Bu birim yer değiştirme hareketlerini, hareketsiz görülen yer kabuğunda, üst mantoda oluşan konveksiyon akımları oluşturmakta, kayalar belirli bir deformasyona kadar dayanıklılık gösterebilmekte ve sonrada kırılmaktadır. İşte bu kırılmalar sonucu depremler oluşmaktadır. Bu olaydan sonra da kayalardan uzun zamandan beri birikmiş olan gerilmelerin ve enerjinin bir kısmı ya da tamamı giderilmiş olmaktadır.

Çoğunlukla bu deprem olayı esnasında oluşan faylarda, elastik geri sekmeler (atım), fayın her iki tarafında ve ters yönde oluşmaktadır.

Faylar genellikle hareket yönlerine göre isimlendirilirler. Daha çok yatay hareket sonucu meydana gelen faylara "Doğrultu Atımlı Fay"denir. Fayın oluşturduğu iki ayrı bloğun birbirlerine göreli olarak sağa veya sola hareketlerinden de bahsedilebilir ki bunlar sağ veya sol yönlü doğrultulu atımlı faya bir örnektir.

Düşey hareketlerle meydana gelen faylara da "Eğim Atımlı Fay"denir. Fayların çoğunda hem yatay, hem de düşey hareket bulunabilir.

1.4 Deprem Türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde tektonik orijinli oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle de olan deprem türleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "TEKTONİK" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhalar sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir. İkinci tip depremler "VOLKANİK" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar da yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır.

Bir başka tip depremler de "ÇÖKÜNTÜ" depremlerdir. Bunlar yer altındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukları tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır fazla zarar getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir.

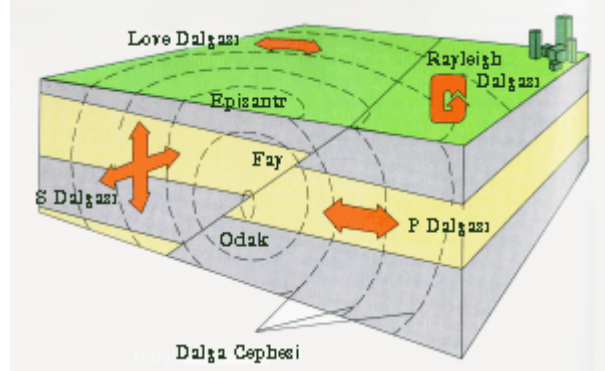
Odağı deniz dibinde olan Derin Deniz Depremlerinden sonra, denizlerde kıyılara kadar oluşan ve bazen kıyılarda büyük hasarlara neden olan dalgalar oluşur ki bunlara (Tsunami) denir. Deniz depremlerinin çok görüldüğü Japonya'da Tsunami'den 1896 yılında 30.000 kişi ölmüştür.

1.5 Deprem Parametreleri

Herhangi bir deprem oluştuğunda, bu depremin tariflenmesi ve anlaşılabilmesi için "Deprem Parametreleri" olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmektedir. Aşağıda kısaca bu parametrelerin açıklaması yapılacaktır.

1.5.1 Odak Noktası (Hiposantr)

Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkez de denir. Gerçekte , enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır , fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1.2 Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı

1.5.2 Dış Merkez (Episantr)

Odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu , bir noktadan çok bir alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle "Episantr Bölgesi" ya da "Episantr Alanı" olarak tanımlama yapılması gerçeğe daha yakın bir tanımlama olacaktır.

1.5.3 Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km. derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km. derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km. den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km. arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir , buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

1.5.4 Eşşiddet (İzoseist) Eğrileri

Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara denir. Bunun tamamlanmasıyla eşşiddet haritası ortaya çıkar. Genelde kabul edilmiş duruma göre, eğrilerin oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eşşiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır.

1.5.5 Şiddet

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık dahi değişik olabilmektedir. Şiddet depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız herşeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler Şiddet Cetveli'nde hangi şiddet derecesi tanımına uygunsa, depremin şiddeti, o şiddet derecesi olarak değerlendirilir. Örneğin; depremin neden olduğu etkiler, şiddet cetvelinde VIII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VIII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir. Deprem Şiddet Cetvellerinde, şiddetler romen rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelidir. Her iki cetvelde de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler.

VI-XII arasındaki şiddetler ise, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarıлма, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir.

1.5.6 Manyitüd

Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Amerika Birleşik Devletleri'nden Prof.C.Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Manyitüd" tanımlanmıştır. Prof .Richter, episantrdan 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütmeli, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson burulma Sismografi ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 10^{-6} mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "manyitüdü" olarak tanımlamıştır. Bugüne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük manyitüd değerinin 8.9 olduğu görülmektedir (31 Ocak 1906 Colombiya-Ekvator ve 2Mart 1933 Sanriku-Japonya depremleri).

Manyitüd, aletsel ve gözlemsel manyitüd değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Aletsel manyitüd, yukarıda da belirtildiği üzere, standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyot değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel manyitüd değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanılmaktadır.

Genel olarak, hacim dalgalarından hesaplanan manyitüdlar (m), ile yüzey dalgalarından hesaplanan manyitüdlar de (M) ile gösterilmektedir. Her iki manyitüd değerini birbirine dönüştürecek bazı bağıntılar mevcuttur.

Gözlemsel manyitüd değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak, bu tür hesaplamalarda, manyitüd-şiddet bağıntısının incelenilen bölgeden bölgeye değiştiği de göz önünde tutulmalıdır.

Gözlemevleri tarafından bildirilen bu depremin manyitüdü depremin tesiri hakkında fikir vermez. Çünkü deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Manyitüdü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar

yapacağından arada bir fark olacaktır. Yine de Richter ölçeği (manyitüd) depremlerin özelliklerini saptamada çok önemli bir unsur olmaktadır.

Depremlerin şiddet ve manyitüdüleri arasında birtakım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan şiddet ve manyitüd değerleri arasındaki dönüşümler aşağıdaki gibi verilebilir.

Tablo 1.1 Şiddet ve manyitüd değerleri arasındaki ilişki

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Manyitüdü	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

1.6 Depremi Diğer Özellikleri

Bazen büyük bir deprem olmadan önce küçük sarsıntılar olur. Bu küçük sarsıntılara "ÖNCÜ DEPREMLER" denilmektedir. Büyük bir depremin oluşundan sonra da belki birkaç yüz adet küçük deprem olmaya devam etmektedir. Bu küçük depremler "ARTÇI DEPREMLER" olarak isimlendirilir ve büyük depremin oluş anına göre bunların şiddetinde ve sayısında azalım görülür.

1.7 Deprem Dalgaları

Deprem dalgaları P, S ve Yüzey Dalgaları olarak üç gruba ayrılır.

P dalgaları: Kayıtlara ilk ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı, kabuğun yapısına göre 1.5 ile 8 km/sn arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna paraleldir(Bu yüzden Boyuna Dalgalar olarak ta isimlendirilirler).

S dalgaları: Kayıtlara ikincil olarak ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı P dalgası hızının %60'ı ile %70'i arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna dik ya da çaprazdır (Bu yüzden Enine Dalgalar olarak ta isimlendirilirler). Yıkım etkisi yüksektir

Yüzey dalgaları: Dünya'nın yüzeyi boyunca yayılan, P ve S Dalgaları'ndan sonra kayıtlara gelen ve depremlerde esas hasarı yapan dalgalardır.Bu dalgalar Rayleigh ve Love dalgalarıdır.

1.8 Deprem Şiddet Cetveli

Şiddet cetvellerinin açıklamasına geçmeden önce, burada kullanılacak terimlerin belirtilmesine çalışılacaktır. Özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmemiş yapılar üç tipe ayrılmaktadır:

- A Tipi : Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.
- B Tipi : Tuğla yapılar, yarım kagir yapılar, kesme taş yapılar, beton briket ve hafif prefabrike yapılar.
- C Tipi : Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.

Şiddet derecelerinin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pek çok deyimleri ortalama bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir.

Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır :

- Hafif Hasar : İnce sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.
- Orta Hasar : Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.
- Ağır Hasar : Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.
- Yıkıntı : Duvarların yarılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.
- Fazla Yıkıntı : Yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Şiddet çizelgelerinin açıklanmasında her şiddet derecesi üç bölüme ayrılmıştır.

Bunlardan;

- a) Bölümünde depremin kişi ve çevre,
- b) Bölümünde depremin her tipteki yapılar,
- c) Bölümünde de depremin arazi üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

MSK Şiddet Cetveli :

I- Duyulmayan

(a) : Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismograflarca kaydedilirler.

II- Çok Hafif

(a) : Sarsıntılar yapıların en üst katlarında, dinlenme bulunan az kişi tarafından hissedilir.

III- Hafif

(a) : Deprem ev içerisinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir kamyonetin meydana getirdiği sallantı gibidir. Dikkatli kişiler, üst katlarda daha belirli olan asılmış eşyalardaki hafif titreşimi izleyebilirler.

IV- Orta Şiddetli

(a) : Deprem ev içerisinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen ağır yüklü bir kamyonun oluşturduğu sallantı gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları v.s. titrer, asılı eşyalar biraz sallanır. Ağzı açık kaplarda olan sıvılar biraz dökülür. Araç içerisindeki kişiler sallantıyı hissetmezler.

V- Şiddetli

(a) : Deprem, yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlanmaya başlar. Yapılar baştan aşağıya titrerler, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olmayan eşyalar yerlerini değiştirebilirler ya da devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyice dolu, ağzı açık kaplardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içerisine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.

(b) : A tipi yapılarda hafif hasar olabilir.

(c) : Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

VI- Çok Şiddetli

(a) : Deprem ev içerisinde ve dışarıda hemen hemen herkes tarafından hissedilir. Ev içerisindeki birçok kişi korkar ve dışarı kaçarlar, bazı kişiler dengelerini kaybederler. Evcil hayvanlar ağlarından dışarı kaçarlar. Bazı hallerde tabak, bardak v.s.gibi cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini değiştirirler.

(b) : A tipi çok ve B tipi az yapılarda hafif hasar ve A tipi az yapıda orta hasar görülür.

(c) : Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1 cm. genişliğinde çatlaklar olabilir. Dağlarda rastgele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

VII- Hasar Yapıcı

(a) : Herkes korkar ve dışarı kaçar, pek çok kişi oturdukları yerden kalkmakta güçlük çekerler. Sarsıntı, araç kullanan kişiler tarafından önemli olarak hissedilir.

(b) : C tipi çok binada hafif hasar, B tipi çok binada orta hasar, A tipi çok binada ağır hasar, A tipi az binada yıkıntı görülür.

(c) : Sular çalkalanır ve bulanır. Kaynak suyu debisi ve yeraltı su düzeyi değişebilir. Bazı durumlarda kaynak suları kesilir ya da kuru kaynaklar yeniden akmaya başlar. Bir kısım kum çakıl birikintilerinde kaymalar olur. Yollarda heyelan ve çatlama olabilir. Yeraltı boruları ek yerlerinden hasara uğrayabilir. Taş duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşur.

VIII- Yıkıcı

(a) : Korku ve panik meydana gelir. Araç kullanan kişiler rahatsız olur. Ağaç dalları kırılıp, düşer. En ağır mobilyalar bile hareket eder ya da yer değiştirerek devrilir. Asılı lambalar zarar görür.

(b) : C tipi çok yapıda orta hasar, C tipi az yapıda ağır hasar, B tipi çok yapıda ağır hasar, A tipi çok yapıda yıkıntı görülür. Boruların ek yerleri kırılır. Abide ve heykeller hareket eder ya da burkulur. Mezar taşları devrilir. Taş duvarlar yıkılır.

(c) : Dik şevli yol kenarlarında ve vadi içlerinde küçük yer kaymaları olabilir. Zeminde farklı genişliklerde cm. ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar meydana çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su düzeyleri değişir.

IX- Çok Yıkıcı

(a) : Genel panik. Mobilyalarda önemli hasar olur. Hayvanlar rastgele öte beriye kaçar ve bağırırlar.

(b) : C tipi çok yapıda ağır hasar, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda yıkıntı, B tipi az yapıda fazla yıkıntı ve A tipi çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Heykel ve sütunlar düşer. Bentlerde önemli hasarlar olur. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğrilip, bükülür yollar bozulur.

(c) : Düzlük yerlerde çokça su, kum ve çamur tasmaları görülür. Zeminde 10 cm. genişliğine dek çatlaklar oluşur. Eğimli yerlerde ve nehir teraslarında bu çatlaklar 10 cm.den daha büyüktür. Bunların dışında, çok sayıda hafif çatlaklar görülür. Kaya düşmeleri, birçok yer kaymaları ve dağ kaymaları, sularda büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Kuru kayalar yeniden sulanır, sulu olanlar kurur.

X- Ağır Yıkıcı

(b) : C tipi çok yapıda yıkıntı, C tipi az yapıda yıkıntı, B tipi çok yapıda fazla yıkıntı, A tipi pek çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Tren yolu rayları eğrilir. Yeraltındaki borular kırılır ya da eğrilir. Asfalt ve parke yollarda kasisler oluşur.

(c) : Zeminde birkaç desimetre ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Bazen 1 m. genişliğinde çatlaklar da olabilir. Nehir teraslarında ve dik meyilli yerlerde büyük heyelanlar olur. Büyük kaya düşmeleri meydana gelir. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar. Yeni göller oluşabilir.

XI - Çok Ağır Yıkıcı

(b) : İyi yapılmış yapılarda, köprülerde, su bentleri, barajlar ve tren yolu raylarında tehlikeli hasarlar olur. Yol ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır.

(c) : Yer, yatay ve düşey doğrultudaki hareketler nedeniyle geniş yarık ve çatlaklar tarafından önemli biçimde bozulur. Çok sayıda yer kayması ve kaya düşmesi meydana gelir. Kum ve çamur fışkırmaları görülür.

XII- Yok Edici (Manzara Değişir)

(b) : Pratik olarak toprağın altında ve üstündeki tüm yapılar baştanbaşa yıkıntıya uğrar.

(c) : Yer yüzeyi büsbütün değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Kaya düşmeleri ve nehir versanlarındaki göçmeler çok geniş bir bölgeyi kaplarlar. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur.

1.9 Depremlerin Oluşum Yerleri Ve Türkiye'nin Deprem Potansiyeli

Deprem herhangi bir yerde ve herhangi bir zamanda oluşabilir. Yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklüğü ve neden oldukları zararlar göz önüne alındığında iki ana deprem kuşağı en çok ilgi çeken bölgelerdir. Bunlardan biri Büyük Okyanusu çevreleyen ve özellikle Japonya üzerinde etkili olan Pasifik Deprem Kuşağı (Yeryüzündeki depremlerin yaklaşık %81'i bu kuşakta meydana gelir.), diğeri ise Cebelitarık'tan Endonezya adalarına uzanan ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz-Himalaya deprem kuşağıdır (%17'si de bu kuşakta oluşur).Genel olarak depremlerin, kabuğu oluşturan levhaların sınırlarında oluştuğu söylenebilir.

Türkiye'nin bulunduğu bölgede büyük levhalar arasında küçük birçok levhanın olması, Türkiye'nin büyük bir bölümünün deprem kuşağı içinde yer almasına neden olur.

Türkiye, üç büyük levhanın etkisi altındadır. Avrasya, Afrika ve Arap levhaları. Anadolu'nun büyük bir kısmının yer aldığı Anadolu levhası, Avrasya levhasının küçük bir bölümüdür

Bu levhalar arasındaki etkileşim şöyledir: Afrika levhası, Akdeniz'de Helenik-Kıbrıs Yayı denilen bölgede, Avrasya (veya onun bir parçası olan Anadolu) levhasının altına dalar. Arap levhası ise Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle kuzeye doğru hareket eder ve Anadolu levhasını sıkıştırır. Bu sıkıştırma sonucu Bitlis Bindirme Zonu (Bitlis Kenet Kuşağı) oluşmuştur. Sıkıştırma halen sürdüğü için, Anadolu levhası

kuzey ve güneydeki fay hatları boyunca batıya doğru hareket eder. Anadolu levhasının kuzey sınırı, bir bölümünde 17 Ağustos depreminin olduğu Kuzey Anadolu Fayıdır. Güney sınırını ise, Helenik-Kıbrıs Yayı ile Doğu Anadolu Fayı oluşturur.

Arap levhasının sıkıştırması sonucu batıya kayan Anadolu levhasının sınırlarında ve Afrika levhasının Avrasya levhasının altına dalması sonucu Akdeniz’de ve Ege Graben Sistemi içersinde depremler meydana gelir. Ancak Arap levhasının sıkıştırması bu bölgelerdeki hareketlenme ile tamamen telafi edilemediği için İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde de içsel deformasyon nedeniyle depremler olabilmektedir.

Türkiye, bilinen tarihsel dönem deprem kayıtlarına göre M.Ö. 2000 yılından beri sürekli olarak hasar yapıcı ve yüzey faylanmasına neden olmuş büyük depremlere maruz kalmıştır. 1990 ile 1998 yılları arasında oluşmuş manyitüdü, $M_s \geq 5.5$ hasar yapıcı depremler ile 1989 ile 1998 yılları arasında oluşmuş manyitüdü $M_s \geq 4.0$ depremlerin episantrları, özellikle diri fay segmentlerine karşılık gelen fay uçlarında yoğunlaşma eğilimi göstermişlerdir. Araştırmalar, Türkiye’de muhtemelen kırılmadan kalmış yaklaşık 15 sismik boşluk (yersel boşluk) olabileceğine işaret etmektedir. Özellikle son on yıl içerisinde oluşmuş güncel mikro-depremlerin, bu sismik boşlukların başlangıç ve bitiş kısımlarında yoğunlaşmasına karşılık, esas kırılabilen uzun fay segmentleri boyunca herhangi bir mikro-aktivite (bir çeşit zamansal boşluk) görülmemiştir.

Kuzey Anadolu fay zonundaki depremler önce fayın orta kısımlarında oluşmakta ve daha sonra batı ve doğu uçlarında yoğunlaşmaktadır. Fayın farklı kesimleri, paleosismolojik olarak farklı davranışlar göstermektedir. Bu farklı davranışlar, Kuzey Anadolu fayında dört büyük ana sismik parça ile birkaç kısa uzunluklara sahip küçük segmentlerin varlığına işaret etmektedir. Tarih ve tarihsel-öncesi kayıtlar, ana parçalardaki depremlerin 200-250 yıl, daha kısa uzunluklardaki parçalardaki depremlerin 50-100 yıl gibi kısa zaman aralıkları ile tekrarlandıklarını ortaya koymuştur.

2. DEPREM ETKİSİNE KARŞI KORUYUCU SİSTEMLER

2.1 Giriş

Deprem Mühendisliği'nin amacı; mühendislik yapılarını, karayolu, otoyol ve demiryolu güzergahlarındaki köprü ve viyadük gibi önemli büyük sanat yapılarını depreme dayanıklı olarak projelendirmektir. Deprem Mühendisliği'nde ve yürürlükteki şartnamelerde amaçlanan, öncelikle deprem etkisine maruz kalabilecek yapılardaki ve çevresindeki canlıların hayatlarını kurtarmak ve en az ekonomik zarar ve hasar ile depremi karşılamaktır. Bu amaca ulaşmanın tek başına yeterli olamayacağı; dünyada ve yurdumuzda son yıllarda yaşanan şiddetli depremlerin meydana getirdiği can kayıpları, ulaşımın engellenmesi ve yapılarda meydana gelen kalıcı hasarlarla önemli işgücü ve üretimdeki gecikmelerin neden olduğu ekonomik kayıplar ile daha iyi anlaşılmıştır.

Uzun zaman binaların deprem etkilerine karşı korunmasında ana amaç, meydana gelen etkileri karşılayacak biçimde taşıyıcı sistemin oluşturulması ve elemanlarının boyutlandırılması şeklinde olmuştur. Bu amaç genellikle daha rijit taşıyıcı sistemlerin çıkmasına sebep olur. Bu durumda depremde etkili olan serbest titreşim periyotları azalır ve bunun sonucu olarak da karşılanması gereken deprem kuvvetleri artar. Deprem etkisinin azaltılmasında kullanılan iki yöntem burada söz konusu edilecektir. Bunlardan birisi depreme karşı taban izolasyonu sisteminin kullanılması ve diğeri pasif olarak enerji tüketen sistemlerin kullanılmasıdır, [5].

Taban izolasyonu uygulaması; yapı mühendislerince kullanılan geleneksel yaklaşımlara nazaran, depreme karşı dayanıklılık sağlamak üzere köklü ve radikal bir yaklaşımdır. Geleneksel yöntem olan ankastre temelli yapı tasarımında, yapıya üstün nitelikli bir sismik performans kazandırmak üzere yapı sistemini sağlamlaştırmak; yapının daha rijit olmasına yol açmakta, bu durum yapının ve ona bağlı diğer taşıyıcı elemanların daha fazla kuvvet almasına neden olmaktadır.

Taban İzolasyonu, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmaktan daha ziyade, yapının depreme karşı tepkisini azaltma esasına dayanan bir tür depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımıdır. Bu teknolojinin düzgün ve doğru bir şekilde uygulanması, yapıların şiddetli depremler sırasında rijit davranış göstermesine ve zorlanmanın elastik sınırlar içinde kalmasına yol açmaktadır.

Ancak bununla birlikte taban izolasyonlu yapıların tasarımı için kullanılan yönetmelik şartları zor ve mühendisler için uygulaması da güç olmaktadır. Taban izolasyonunun, teorik altyapısı ve teknolojisi; özellikle son otuz yıl içerisinde yürütülen kapsamlı deneysel çalışmalar yardımıyla oluşturulmuş ve geliştirilmiştir.

Taban İzolasyonu; mühendisin düşük fiyatlı yapı sistemleri kullanarak orta ve büyük şiddetli depremlerde, hem binadaki hem de bina içindeki eşyalarda meydana gelebilecek hasarı kontrol etmesini yani sınırlandırmasını sağlar.

Bir binaya; depreme karşı üstün bir dayanım kazandırmakla sorumlu olan yapı mühendisinin karşılaşacağı temel ikilem, görelî kat ötelemesini ve kat ivmelerini en aza indirmektir. Büyük görelî kat ötelemeleri, yapısal olmayan elemanlarda ve katları birbirine bağlayan yapı elemanlarında hasara neden olmaktadır. Yapıyı daha rijit hale getirerek, görelî kat ötelemeleri azaltılabilir. Ancak bu yöntem, yer hareketi etkisinin büyümesine ve hassas eşyalara zarar gelmesine neden olabilecek yüksek kat ivmelerinin meydana gelmesine yol açacaktır. Kat ivmeleri ise sistemi daha esnek yaparak azaltılabilir. Fakat bu durum da büyük görelî kat ötelemelerine yol açacaktır. Görelî kat ötelemesini ve kat ivmelerini eş zamanlı olarak azaltmanın tek uygulanabilir yolu, taban izolasyon yöntemini kullanmaktır. İzolasyon sistemi gerekli esnekliği, izolasyon seviyesinde toplanan yer değiştirmeler vasıtasıyla sağlamaktadır.

Taban izolasyonu kavramı oldukça basittir. Taban izolasyon sistemi; yapı ile temeli arasına düşük yatay rijitliği olan yapı elemanlarını sokarak yapıyı, yer hareketinin yatay bileşenlerinden ayırmaktadır. Bu yöntem, yapıya; hem ankastre mesnetli sistemin frekansından hem de yer hareketinin hakim periyotlarından çok daha küçük olan bir asal frekans vermektedir. Taban izolasyonlu yapının birinci dinamik modu sırasında yer değiştirme sadece izolasyon sisteminde olur. Üstyapı neredeyse tamamen rijit davranış gösterir. Yapıda yer değiştirme üreten diğer modlar, birinci moda ve dolayısıyla yer hareketine ortogonaldirler. Bu üst modların harekete

katılımı düşüktür. Böylelikle, yüksek frekanslardaki yer hareketinin büyük enerjisi yapıya aktarılmamaktadır. İzolasyon sistemi, dinamikleri vasıtasıyla deprem enerjisinin yönünü değiştirmektedir.

2.2 Taban Yalıtımı Sisteminin Uygulanması

Taban yalıtımı kavramının kullanılması oldukça basittir. Deprem sırasında, yeryüzünde bir hareket meydana gelir. Bu olay bir dalga şeklinde her doğrultuda yayılır ve hareket bir yapıya eriştiğinde temellerini sallamaya başlar. Temeller de kendisine bağlı olan taşıyıcı sistemi sallar ve sistem elemanlarının kesitlerinde atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etkiler meydana gelir. Yapının temelinin taşıyıcı sistemden ayrılarak titreşimin yapıya erişmesinin önlenmesi, depremde taban yalıtımının ana fikrini oluşturur.

Depreme karşı yalıtım, temel ile yapı arasında bazı özel düzeneklerin veya yapı elemanlarının yerleştirilmesi ile yapılır. Yapı bir bina olabildiği gibi, bir köprü de olabilir.

Taban yalıtımı olmayan ve doğrudan temele bağlı bir sistemde deprem titreşimleri temel yoluyla yapıya iletilir. Bu kısa zamanda yön değiştiren titreşimler, temel ile üst yapı arasında relatif küçük yer değiştirmeler meydana getirmesine rağmen, yapı elemanlarında ve birleşim bölgelerinde önemli etkiler oluşturur. Taban yalıtımlı bir sistemde temel ile üst yapının tamamen ayrılması mümkün değildir. Arada düşey yüklerin güvenli bir şekilde iletimini sağlayan elemanlar kullanılır. Yatay harekette relatif olarak elastik olan bu elemanlar sayesinde, yatay deprem titreşimlerinin ancak bir bölümü üst yapıya geçer. Bunun sonucu olarak üst yapıdaki etkiler azaltılmış olur. Ancak, temel deprem etkisinde hareket ederken, üst yapıdaki yer değiştirmeler sonucu, temel ile yapı arasında önemli bir relatif hareket görülür.

Sonuç olarak taban yalıtımının, bir yalıtım modu oluşturarak sistemin etkili periyodunu büyütmesi sonucu daha küçük spektral ivme değerlerinin hesaba katılmasını sağlaması sebebiyle, taban kesme kuvvetini azalttığı anlaşılar. Sistemin özelliğinden dolayı yüksek modların etkileri azalır. Bunun yanında, ikincil bir etki olarak taban yalıtımının sönüm etkisinden dolayı sistemde deprem enerjisinin yutulması artmaktadır.

Taban yalıtım sistemlerinin kullanılmasında en önemli husus, yapının yere göre, en az 100mm hatta bazı durumlarda 1m yatay hareket imkanına sahip olmasıdır. Bu yer değiştirme imkanını vermek için, bir ayrılma düzleminin seçilmesine ihtiyaç vardır. Genellikle bu düzlem yalıtım elemanlarının hemen üstünde teşkil edilir. Bu suretle yalıtım elemanlarına deprem yükü yatay rijitlikleri ile orantılı olarak dağılır. Bodrum katı olmayan binalarda yalıtım elemanları hemen temel üzerine yerleştirilir ve üst yapı bunların üzerine inşa edilir. Seçilen yerin daha sonra yapılacak kontrollere müsait olması gerekir. Eğer binanın bodrum katı varsa, yalıtım elemanları bodrum kat kolon ve perdelerinin alt, orta ve üst kesitlerine yerleştirilebilir. Bu kesitlerde meydana gelen kesme kuvvetinin karşılanması için, büyük kolon kesitleri gerekli olabilir. Kolon orta kesiti, eğilme momentinin alt ve üst kesite dağıtılabilmesi bakımından tercih edilebilir. Kolonlarda yatay yer değiştirmesinden oluşan ikinci mertebe momentlerinin taşınması gerektiği de unutulmamalıdır.

Yalıtım elemanlarının mevcut yapılara güçlendirme amacıyla konulmasında daha büyük güçlüklerle karşılaşılır. Mevcut kolon veya perdeler ayırma düzleminde kesilerek, geçici bir mesnetlenme oluşturulur. Bu sırada düşey yüklerin uygun şekilde yayılmalarının sağlanması gerekir. Bu amaçla ayrılma kesitlerinde basıncı hassas biçimde kontrol edilebilen krikolar kullanılabilir. Genellikle epoksili tamir harcı kullanılarak, bu krikolar yerinde bırakılır. Ayrılma düzleminde bulunan ve kesilen kolon veya perdelerin yükünü yalıtım elemanına iletebilmesi için üst ve alt başlık plakaları ve bunların betonarme kesite bağlanması ve bu kolon veya perdelerin güçlendirilmesi gerekir. Bu şekilde oluşturulan taşıyıcı sistemin genellikle 150mm~500mm civarında bir yatay yer değiştirmeyi serbestçe yapabilmesi için tedbir alınmalıdır.

Yalıtımın bulunduğu ayrılma düzlemi; merdiven ve asansör gibi hacimleri ve temiz ve kullanılmış su, haberleşme ve elektrik hatlarını kesmesi durumunda, ilgili tedbirlerin alınarak, hareketi engelleyen durumların oluşmaması sağlanmalıdır.

Taban izolasyon sistemleri, esas olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi kauçuk esaslı izolasyon sistemleri, bir diğeri ise kayma esaslı taban izolasyon sistemleridir.

Taban izolasyon sistemlerinin tümü için aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılabilir, [3,4]:

a) Kauçuk Esaslı Sistemler

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

b) Kayma Esaslı Sistemler

- Sürtünmeli Sarkaç Sistemler (FPS)
- Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (RFBI)
- Çelik Plakalı Tabakalar İle Ayrılmış Neopren Malzemeli İzolatörler
- EERC Birleşik Sistemi

2.3 Kauçuk Esaslı Sistemler

Tabakalı kauçuk esaslı sistemler taban izolasyonunda en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Bu sistemin temel elemanları, tabakalar halinde kullanılmakta olan çelik ve kauçuk plakalardır. Ayrıca bu sistemin en önemli özelliği; sönümün ve rijitliğin bu sistemlerde paralel etkilere sahip olmasıdır. Genellikle kauçuk esaslı sistemler, yatayda esneklik ve düşeyde rijitlik özelliği ile yüksek sönüm kapasitesi gösterir. Bu sistemin ayrıca iki karakteristik özelliği daha vardır ki bunlar sırasıyla doğal frekans (ω_b) ve sönüm sabiti (ξ_b)'dir. Sistemin sönüm sabiti izolatörün şekil değiştirmesine bağlıdır.

2.3.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk İzolatörler (LDRB)

Bunlarda doğal veya yapay kauçuk kullanılır. Bu mesnetler, kalınlığı 8mm~20mm arasındaki ince kauçuk levhalar ile kalınlığı 2mm~3mm arasındaki ince çelik levhaların üst üste getirilmesiyle oluşur. Kayma durumunda malzemenin davranışı, %100-250 oranındaki kayma şekil değiştirmesine kadar doğrusal davranış devam eder.

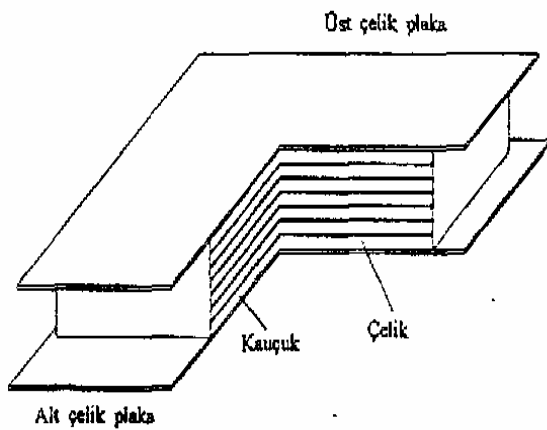
İzolatörlerin Şekil 2.1 a'da gösterildiği gibi, iki adet kalın çelikten uç levhası ve

bununla birlikte bu levhaların arasında da çok sayıda ince çelikten ara saç levhaları bulunmaktadır. Kauçuk malzeme, bir kalıp içinde uygulanan sıcaklık ve basınç altında tek bir işlem dahilinde, vulkanize edilmiş ve çeliğe bağlanmıştır. Çelik ara saclar, kauçuk malzemenin iki yanından şişmesini yani yanal deformasyon yapmasını önlemekte ve yüksek bir düşey rijitlik sağlamaktadır. Ancak bununla birlikte çelik ara saçların, yatay rijitlik üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Yatay rijitlik, kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır Genellikle istenilen rijitlik; tabaka kalınlığı sabit tutularak, kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesi ile sağlanır.

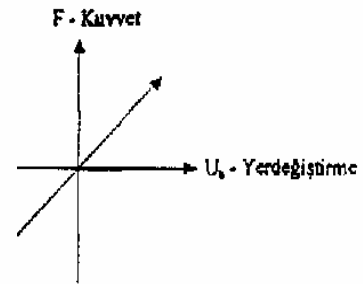
Aynı zamanda kritik sönüm miktarı % 2-3 arasında değişmektedir. İzolatörlerin yüksekliğinin artması mekanizmada burkulmaya yol açtığından, yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmıştır. İzolatör çapının 1 m'den fazla ve taşıma kapasitesinin 500 ton civarında alınması genellikle uygundur.

Elastomer mesnetler düşey doğrultuda rijit olup, bu mesnetlerde düşey yük altında 1mm~3mm arasında bir düşey kısalma oluşur. Düşey rijitlikleri, yatay rijitliklerinin bir kaç yüz katıdır. Yatay bir yer değiştirme durumunda, meydana gelen büyük şekil değiştirmeden dolayı taşıyabileceği düşey yük azalır. Bu durum aktif deprem bölgelerinde elastomer yalıtımların kullanımı zorlaştırır.

Düşük sönümlü doğal kauçuk taban izolatör sistemlerinde, yer değiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak, lineer olarak değişmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.1 Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

Tek bir dezavantajları bulunmaktadır. O da ek bir sönüm sistemine ihtiyaçları olmasıdır. Bu ek sistemler; çok karmaşık bağlantılar gerektirmekte, metalik sönümleyiciler durumunda ise kısa sürede yıpranmaktadırlar.

2.3.2 Kurşun Çekirdekli İzolatörler (LRB)

Kurşun çekirdekli izolatörler; düşük sönümlü kauçuk izolatörlere benzer olarak, ince tabakalara ayrılmış kauçuk izolatörlerdir. Ancak bu izolatörlerin düşük sönümlü kauçuk izolatörlerden farkı, Şekil 2.2 a'da gösterildiği gibi, deliklerin arasına sokulmuş bir tane ya da daha fazla sayıda kurşun çekirdeklerin kullanılması olup, izolatörün içindeki çelik levhalar, kurşun çekirdeği kayma sırasında şekil değiştirmeye zorlamaktadır. İzolatörün içindeki kurşun, 10 MPa civarındaki bir akış gerilmesinde fiziksel olarak şekil değiştirmektedir. Böylelikle izolatörün bilineer bir davranış göstermesi sağlanmaktadır. Kurşun çekirdeğin enerji yutma 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.

Kauçuğun düşük kayma rijitliğinden dolayı doğrusal davranış büyük şekil değiştirmelerde de devam eder. Sistemin enerji tüketme mekanizması, kauçuğun sönümü ve esas olarak levhaların ortasındaki kurşunun sönümü ile oluşur. Kurşunda plastik davranış etkili olduğu için, çevrimsel davranış sonucu sönüm ortaya çıkar. Yer değiştirmeye bağlı olan, eşdeğer sönüm %15-%35 arasında bulunur. Kurşunun çevrimsel davranışında rijitliğin sürekli değişimi üst yapının yüksek modlarının tahrik edilmesine sebep olurken, mesnetten beklenen verimin alınmasını önleyebilir. Kauçuk ve kurşunun beraber etkileşimi ile başlangıçta küçük bir bölgede elastik ve daha sonra pekleşen plastik davranış gösteren bir şekil değiştirme durumu ortaya çıkar. İlk rijitlik pekleşmede görülen rijitliğin onda biri mertebesinde dir. Deprem sırasında ilk elastik rijitliğin aşılmasından sonra, yalıtımın sisteme olan etkisi daha belirgin olarak ortaya çıkar. Pekleşme rijitliğinin bulunması özellikle büyük deprem etkilerinde şekil değiştirmelerin sınırlı kalması için ek bir güvence oluşturur. Mesnedin güç tükenmesine erişmesi kayma şekil değiştirmesinin %500 gibi büyük

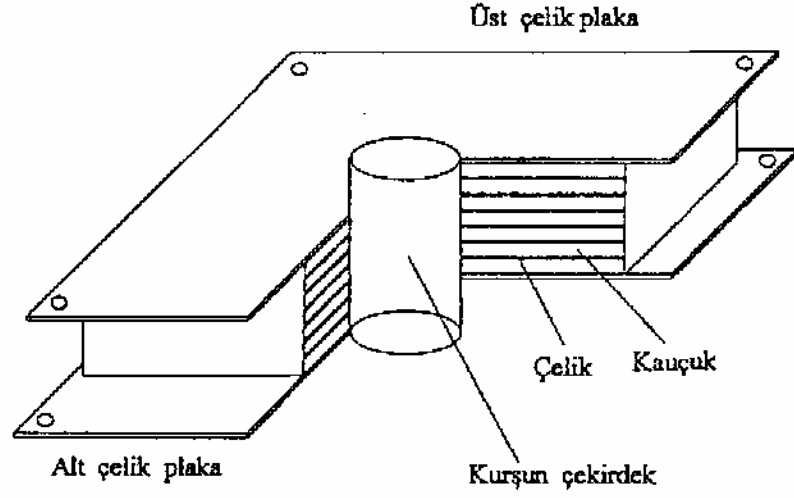
değerinde meydana gelir. Bu değerin kurşun çekirdeğin bulunup bulunmamasına veya normal çekme veya basınç gerilmelerinin bulunmasına bağlı olmadığı tespit edilmiştir. Deprem sırasında yükleme, yönünün değişmesiyle çevrimsel sönüm ortaya çıkar. Genel olarak mesnedin bu özelliği, ilk yaklaşım olarak bir etkili elastik rijitlik ve viskoz sönüm oranı ile temsil edilir. Bu tür mesnetlerde ilk elastik rijitliğin bulunması, kullanımdaki küçük titreşimlerde sönüm etkisinin ortaya çıkmamasına sebep olur. Bu ise, hassas aletlerin bulunduğu binalarda rahatsız edici olur. Bu durumun önlenmesi için ek sönümleyicilerin kullanılması gerekli olabilir.

Şekil 2.2 b’de kurşun çekirdekli mesnet sistemlerinin, kuvvet-yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.

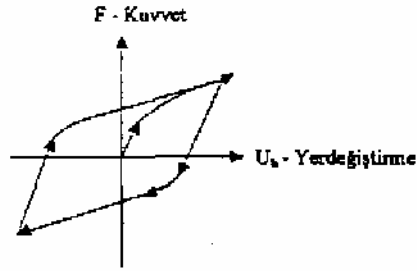
2.3.3 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler (HDNR)

Normal elastomer mesnetler %2 civarında bir sönüme sahipken, bu tür mesnetlerde sönüm %8~%15 arasında değişir. Düşük sekil değiştirmelerde sönüm %15 civarında iken şekil değiştirmenin %100 ün üzerine çıkması ile %8~%12 ye düşer. Bu sönüm elastomer mesnedi oluşturan kauçuğun malzeme olarak değiştirilmesi ile elde edilir. Bu tür mesnetle yüksek sönümlü ince tabakalardan oluşan kauçuk çelik plaklar arasında bulunur. Hazırlanma işlemi kurşun kauçuk mesnetler gibidir. Kauçuk, sönüm özelliğine sahip karbon veya reçine gibi bir malzeme ile doldurulmuştur. Mesnedin kayma modülü 0,3~1,5 MPa arasında bulunur. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerde, sistemi rüzgar yüklerinin tahrik etmesini önleyecek yeterli bir başlangıç rijitliği mevcut değildir. Birinci titreşim periyodu yükseltilmiş böyle bir sistem başlangıç rijitliği bulunmaması sebebiyle rüzgar gibi etkilere hassas duruma gelir. Ayrıca, bu tür sistemlerin özelliklerinin sıcaklığa bağlı olması yaygın kullanımını engellemiştir.

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin ortasında kurşun çekirdek olan türleri de mevcuttur. Böylece iki sistemin de olumlu özellikleri bir araya toplanmıştır. Bu durumda eşdeğer viskoz sönüm %20~30 değerlerine ulaşır.



(a)

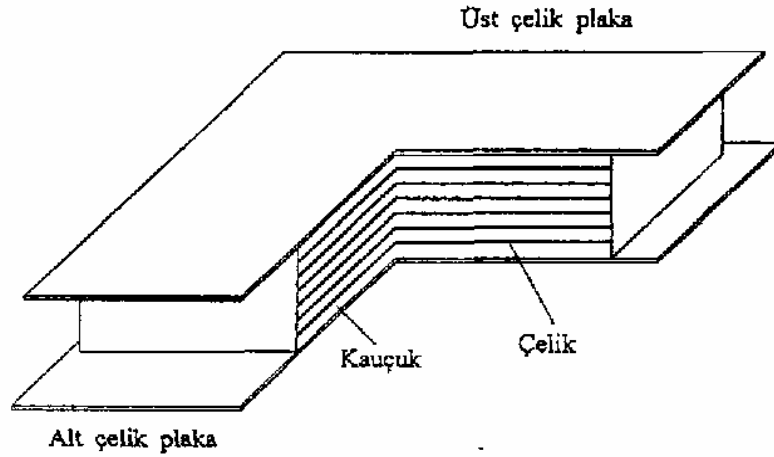


(b)

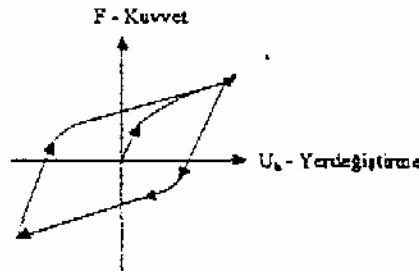
Şekil 2.2 Kurşun çekirdekli izolator sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

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 rijittik 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 şekil değiştirme kristalizasyonu işlemine bağlı olarak kayma modülü artmaktadır. Bununla beraber enerji

yutulmasında da bir artış meydana gelmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.3a ve Şekil 2.3b’de yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet sistemlerinin, sırasıyla kesiti ve kuvvet-yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.3 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

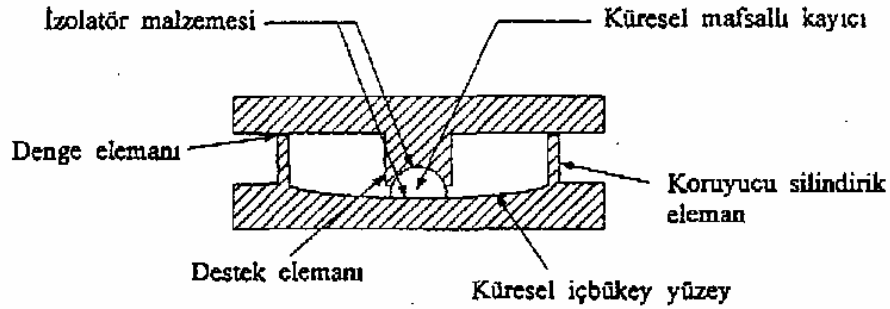
2.4 Kayma Esaslı Sistemler

Bu tür mesnetlerde bulunan sürtünme sebebiyle, kayma kuvvetleri belirli bir değere kadar iletilir. Bu değerden sonra mesnette öteleme hareketi başlar. Küçük sürtünme katsayısı seçilerek, küçük taban kesme kuvvetinin oluşması sağlanabilir. Temele aktarılan taban kesme kuvveti, deprem etkisinden bağımsız ve sadece sürtünme kuvvetine bağlıdır. Bu sistemlerde öteleme (kayma) yüzeyi paslanmaz çelik veya

teflondandır. Teflon yüzeyler elastomere göre daha fazla normal gerilme taşıyabilirler, örneğin, teflon için tipik bir değer 50 MPa iken, elastomer için 15 MPa olabilir. Büyük depremlerde verimli bir şekilde kullanılan bu sistemler nispeten ucuz ve uygulaması kolaydır.

2.4.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler (FPS)

Sürtünmeli sarkaç sistemi, bir kayma hareketini ve bir geri dönüş kuvvetini geometrisi yardımıyla birleştiren, sürtünmeli bir izolasyon sistemidir. Şekil 2.4'te şematik olarak gösterilen FPS 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 yüzey 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.



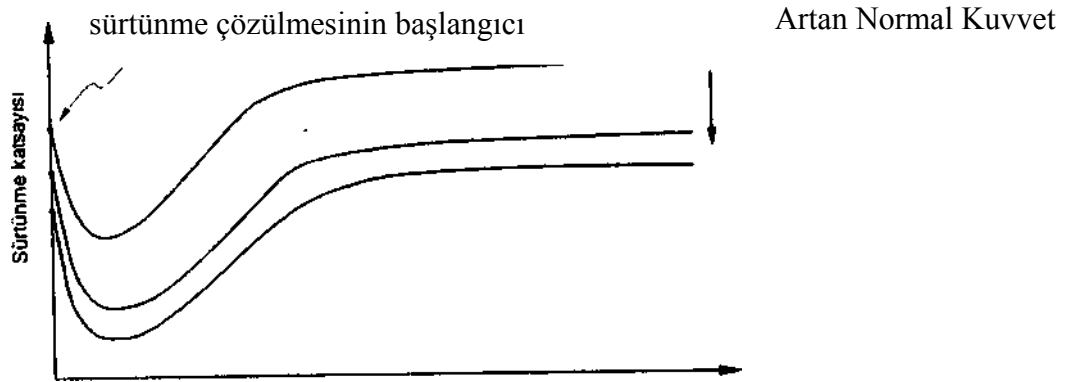
Şekil 2.4 Sürtünmeli sarkaç sistemin kesiti

Bu sistemde, ilk konumdan ayrılma durumu ortaya çıktığında, sistemde yatay hareket yanında düşey hareket de olduğu için, kendisini tekrar ilk duruma getiren kuvvet oluşur. Bu tür mesnetlere bu özelliğinden ve kayma yüzeyinin arasında sürtünmenin bulunmasından dolayı Sürtünmeli Sarkaç ismi verilmiştir. Depremde sistemde oluşan taban kesme kuvveti, mesnette oluşan sürtünme kuvveti ile sınırlı

kalır. Bu kuvvet yalıtım yüzeyinin eğrilik yarıçapına ve mesnetteki normal kuvvete bağlıdır. Eğrilik yarıçapı yalıtım sisteminin esas parametresini teşkil eder. Eğrilik içbükey ve dışbükey olarak her iki yönde de bulunabilir. Enerji tüketimi aradaki küresel yüzey üzerinde oluşan sürtünme kuvveti ile meydana gelir. Şekil 2.5’de sürtünme katsayısının öteleme hızına bağlılığı ve bunun artan normal kuvvetle değişimi görülmektedir. Başlangıçta sürtünme katsayısı yüksek bir değerden başlamakta hıza bağlı olarak hemen düşmekte ve daha sonra başlangıç değerine erişmektedir. Bu tür mesnetlerde sürtünme hareketinden önce ve sonra rijitliğin ani olarak değişmesi üst yapının yüksek modlarının tahrik edilmesine ve ani harekete, sebep olabilir. Bu nedenle titreşime karşı korumanın önemli olduğu taşıyıcı sistemlerde uygun olmayabilir. Diğer bir sakınca da sürtünme katsayısının zamanla ve sıcaklıkla değişmesidir. Bu ise, düşük taban kesme kuvvetine göre boyutlandırılmış sistemlerde bazen taban kesme kuvvetinin büyümesi ile sürtünme katsayısının küçülmesi sonucu, hasar oluşmasına sebep olabilir. Böyle bir sistemde hareket μW sürtünme kuvvetinin yenilmesi ile başlar ve W / R öteleme rijitliği ile devam eder. Burada, μ sürtünme katsayısı, W mesnede gelen düşey yük ve R eğrilik yarıçapıdır. Üst yapının rijit davrandığı durumda sistemin titreşim periyodu sadece yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlı olup,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (2.1)$$

olarak ortaya çıkar.



Şekil 2.5 Sürtünme katsayısının öteleme hızına bağlılığı ve bunun artan normal kuvvetle değişimi

Yukarıdaki ifadede görüldüğü üzere titreşim periyodu, kütleden bağımsız ancak içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Böylelikle yapının izolasyon periyodu tek parametreye bağlı olduğundan, değiştirilmesi kolaydır, izolatörlerin 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.

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.

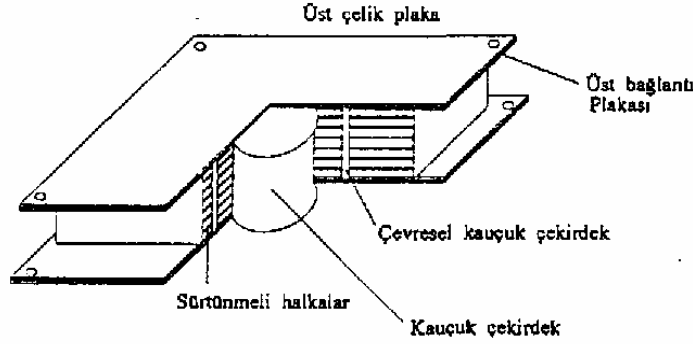
2.4.2 Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (RFBI)

Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi, yüksek kayma hızlarında paslanmaz çelik üzerindeki Teflon'un yüksek sürtünme katsayısı probleminin üstesinden gelmeye çalışmaktadır. Bunun için, tek bir izolatör içinde çok sayıda kayıcı arayüzeyler kullanma yöntemine gidilmektedir. Böylece izolatörün üst ve alt yüzleri arasındaki hız, tabakaların sayısına bölünmektedir. Bu sayede düşük bir sürtünme katsayısı korunarak, her bir yüzdeki hız değeri küçük olmaktadır. Kayıcı elemanlara ek olarak, hiç düşey yük taşımayan ancak geri dönüş kuvveti sağlayan merkezi bir kauçuk çekirdek bulunmaktadır. Bu sistem üzerinde yapılan testlerde kauçuk çekirdeğin, yer değiştirmenin tek bir arayüzeyde toplanmasını önleyemediği görülmüştür. Bu nedenle kauçuk çekirdeğin içine, kayıcı tabakalar arasındaki yer değiştirme dağılımını düzelten, merkezi bir çelik çubuk koyulmuştur. Şekil 2.6a ve Şekil 2.6b'de geri şekillenen taban izolasyon sisteminin, sırasıyla kesit ve elemanları ve kuvvet-yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.

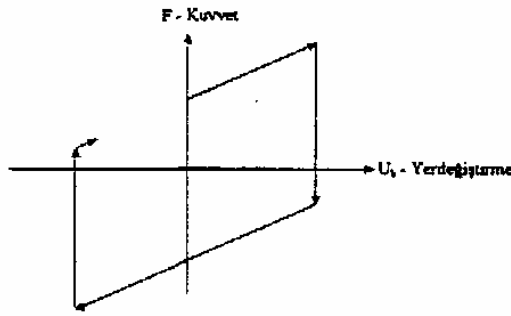
2.4.3 Çelik Plakalı Tabakalar İle Ayrılmış Neopren Malzemeli İzolatörler

Bu sistem, nükleer elektrik santrali tesislerine yapılacak uygulama için, 1970'li yılların başlarında geliştirilmiştir. Söz konusu kuruluş, içinde güvenliğinin sağlanması gereken donanıma sahip ve 0.2g 'lik ivmeye dayanacak nitelikte, standart bir nükleer elektrik santrali geliştirmişti. Santral, daha yüksek depremselliği olan

yerlere yerleştirilmek üzereyken; donanımın ivme mertebelerini binanın sahip olduğu sınır değerinin altında tutmak için izole edilmiştir.



(a)



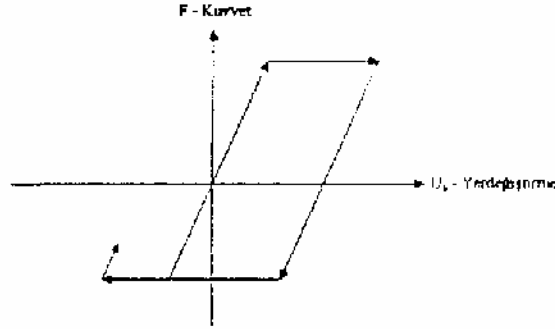
(b)

şekil 2.6 Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sisteminin;

a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

Sistem; tabakalı suni kauçuk (neopren) izolatörleri, paslanmaz çelikle temas halinde olan kurşun-bronz alaşımı ile birleştirmektedir. Sistemin kayıcı yüzeyi ise, elastomerik izolatörün üstüne oturtulmaktadır. Kayıcı yüzeyin sürtünme katsayısının, izolatörün servis ömrü göz önüne alınarak, 0.2 olması gerekmektedir. Suni kauçuk tampon, çok düşük yer değiştirme kapasitesine sahip olup, yaklaşık ± 5 cm'den fazla değerdir. Meydana gelen yer değiştirmelerin bu sınır değerini aşması halinde, kayıcı eleman öngörülen yeterli hareketi sağlamaktadır. Sistem, mesneti düzeltici yani merkeze geri çeken herhangi bir mekanizmaya sahip değerdir. Bu nedenle sistemde

kalıcı yer değiştirmeler meydana gelebilir. Sisteminin şekil 2.7 de kuvvet-yer değiştirme davranışı gsterilmiştir.



şekil 2.7 elik Plakalı Tabakalar İle Ayrılmış Neopren Malzemeli İzolatörlerin kuvvet-yer değiştirme davranışı

2.4.4 EERC Birleşik Sistemi

Bu sistemde yapının iç kolonları, Teflon malzeme ile kaplı paslanmaz çelikten yapılmış kayıcı elemanlar ile taşıttırılmıştır. Binanın dış kolonları ise, dışuk sönümlü doğal kauçuk izolatörler ile taşıttırılmıştır. Kauçuk izolatörler, yapının yeniden merkezlenmesi yeteneğini sağlamakta ve yapının burulma davranışını kontrol etmektedir. Buna karşın kayıcı elemanlar ise sönümü sağlamaktadır.

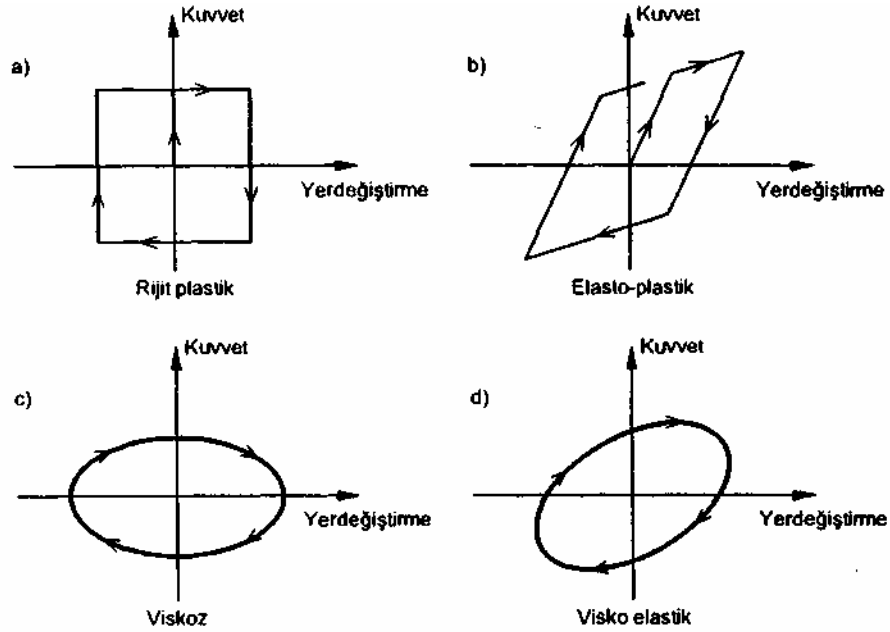
2.5 Pasif Enerji Tüketen Sönümleyici Sistemler

Mevcut ve yeni taşıyıcı sistemlere hareketi sönümleyici elemanların ilave edilmesi ile depremden ortaya çıkan enerjinin tüketilmesi ve bu suretle deprem hasarının sınırlandırılması veya önlenmesi amaçlanır. Bu tür sönümleyiciler uzun zamandır uçak ve makine mühendisliğinde başarı ile kullanılmıştır. Yapılarda kullanımına yeni olarak başlanan bu elemanlar dışey yüklerin karşılanmasında taşıyıcı sistemin bir parçası değildir. Özelliklerine göre depremden sonra bu elemanların değiştirilmesi ve yenilenmesi gerekebilir. Ancak, bu işlem sırasında binada çalışanlara verilen rahatsızlık ve ortaya çıkan masraf oldukça küçüktür. Bu sistemlerin ana çalışma ilkeleri aynı olmakla beraber üreticiye bağlı olarak değişik türleri vardır. Genellikle bunlar yapıda katlar arasında bir köşegen elemanın parçası olarak veya temelde temel sönümleyicisi olarak ortaya çıkar. Katların birbirine göre farklı yer değiştirmesinden veya yapı temelinin farklı yer değiştirmesinden sönümleyicide ortaya çıkan kuvvet ile deprem enerjisinin tüketilmesi söz konusu olur. En çok söz konusu olanlar

çevrimsel veya yer değiştirmeye bağlı sönümleyiciler ile hıza bağlı sönümleyicilerdir, [5].

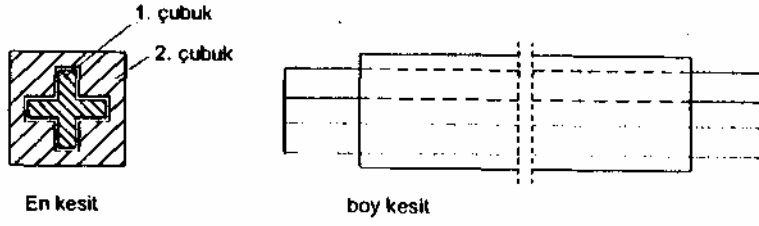
2.5.1 Çevrimsel Sönümleyiciler

Şekil 2.8’de rijit-plastik ve elasto-plastik davranış gösteren çevrimsel sönümleyicilerin, kuvvet-yer değiştirme çevrimi gösterilmiştir. Bunlarda enerji, sürtünme (rijit-plastik davranış) veya metallerin akması (elasto-plastik davranış) yoluyla sönümlenir. Relatif kat yer değiştirmelerine bağlı sönümleyicinin oluşmasında, bu sönümleyicilerin bulundukları çerçevelerin de boyutlandırılması önem kazanır. Değişik türden olanlar mevcuttur. Mesnet çerçevesi şeklinde olanlarda, sönümleyici malzemesinin akmaya erişmesi söz konusudur. Çubuk şeklinde olanlarda, ikinci bir çubuk birinci çubuğa geçirilmiş olup, birinci çubuğun



Şekil 2.8 Pasif sönümleyicilerde kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

burkulma yükünü arttırırken, iki çubuk arasında tam bütünleşmenin olmaması nedeniyle, basınç akma kuvvetini arttırmaz (Şekil 2.9). Bu suretle sönümleyici çubuğun hem çekmede ve hem de basınçta akmaya gelmesi sağlanır. Sönümleme, çubuğun akmaya erişmesiyle yaptığı şekil değiştirme sonucu ortaya çıkar.



Şekil 2.9 Çubuk türünden pasif sönümleyici

2.5.2 Hıza Bağlı Sönümleyiciler

Bu tür sönümleyiciler visko-elastik katı madde davranışına veya viskoz bir akışkanın bir dar ağızdan zorlanması esasına dayanır. Bir visko-elastik sönümleyicideki F kuvvetinin Δ yer değiştirmesine bağlılığı

$$F = K_{etkili} \Delta + c \dot{\Delta} \quad (2.2)$$

olarak ifade edilebilir. Harmonik bir harekette Δ_0 genlik ve ω dairesel frekans olmak üzere visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yer değiştirme çevrimi

$$\left(\frac{F - K_{etkili} \Delta}{c \Delta_0 \omega} \right)^2 + \left(\frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^2 = 1 \quad (2.3)$$

olarak elde edilir ve değişimi Şekil 2.10'daki gibidir. Bir çevrimde sönümlenen enerji aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

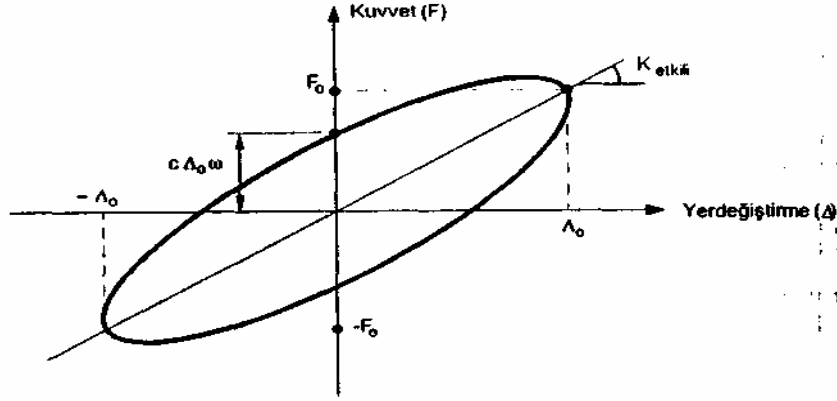
$$W_D = \int F d\Delta = c \Delta_0^2 \pi \omega \quad (2.4)$$

Burada ilgili sönüm ve sönüm oranı

$$c = \frac{W_D}{\Delta_0^2 \pi \omega} \xi = \frac{c}{2m\omega} = \frac{W_D}{2\pi K_{etkili} \Delta_0^2} \quad (2.5)$$

olarak ortaya çıkar.

Viskoz sönümleyiciler, pistonda bulunan bir viskoz akışkanın bir dar ağızdan geçmeye zorlanması esasına dayanır (Şekil 2.11). Uygulamada viskoz sıvı ile dolu olan bir silindirin içinde bulunan pistonun hareketi ile tüketilen enerji viskoz sönümleyiciye örnektir.



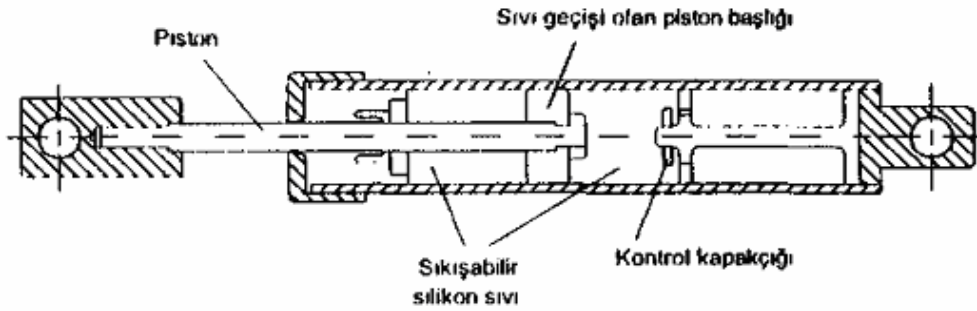
Şekil 2.10 Hıza bağlı sönümleyicide kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

Bunlarda şekil 2.10'da gösterilen etkili rijitlik sıfır olup, piston kuvveti sadece hıza bağlı olarak ortaya çıkar. Böyle bir viskoz sönümleyici pistonunu çapraz olarak alt ve üst katlara bağlı olduğunu kabul edelim. Aradaki relatif hıza bağlı olarak pistonda bir kuvvet doğacaktır:

$$F = c \dot{\Delta} \quad (2.6)$$

Relatif yer değiştirmenin harmonik fonksiyonla ifade edilebileceği kabul edilerek, piston kuvveti hesaplanabilir:

$$\Delta(t) = \Delta_0 \sin \omega t \quad F(t) = c \omega \Delta_0 \cos \omega t \quad (2.7)$$



Şekil 2.11 Viskoz sönümleyici

Görüldüğü gibi, relatif yer değiştirme ile kuvvet arada bir faz farkı ile ortaya çıkar. Yer değiştirme sıfırken, kuvvet maksimum olmaktadır. Halbuki, yapıdaki elemanlarda kuvvet yer değiştirme ile aynı fazda olup, her ikisi birden sıfır veya maksimum olurlar. Ayrıca, sıvının özelliğine bağlı olarak kuvvetin yüksek hızlarda hıza bağıllığı daha düşük oranlarda olur. Yani; kuvvet hızın, örneğin 1/3 gibi, birden daha küçük bir kuvveti ile orantılı olur.

3. TABAN İZOLASYONUNUN TEORİK ESASLARI

3.1 Lineer Teori

Lineer Teori Şekil 3.1’de gösterildiği gibi iki kütleli bir yapı modeline dayanmaktadır, “m” ile Şekil 3.1’de gösterilen kütle, binanın üstyapısını temsil etmek üzere planlanmıştır, “m_b” ile ifade edilen kütle ise, izolasyon sistemi üzerindeki temel katının kütlelerini göstermektedir. Yapı rijitliği ve sönüm değerleri sırasıyla k_s ve c_s ile gösterilmiştir. İzolasyona ait rijitlik ve sönüm değerleri ise k_b ve c_b ile gösterilmiştir, iki kütleli mutlak deplasmanları “u_s” ve u_b” sembolleri ile gösterilmektedir. Ancak, rölatif deplasmanları kullanıp ona göre tarif etmek daha elverişli olacaktır.

$$\begin{aligned} v_b &= u_b - u_g & v_s &= u_s - u_b \end{aligned} \quad (3.1)$$

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 : İzolasyon sisteminin deplasmanı, ve

v_s : Göreli kat ötelemesidir.

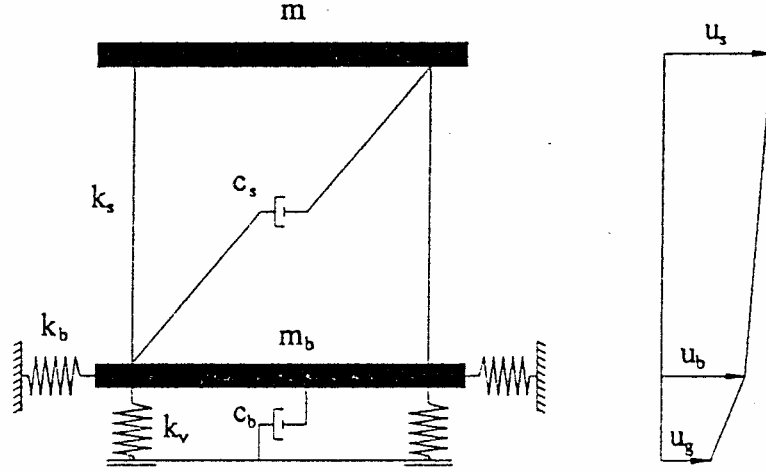
Bu nicelikler açısından iki serbestlik dereceli modelin temel hareket denklemleri

$$(m + m_b)\ddot{v}_b + m\dot{\ddot{v}}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (3.2)$$

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s \dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \quad (3.3)$$

yukarıdaki denklem takımını matris notasyonu içinde aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (3.4)$$



Şekil 3.1 İzole edilmiş binanın şematik çizimi

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

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}\mathbf{v} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{u}_g$$

γ sembolü ile gösterilen bir kütle oranı tanımlarsak

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M} \quad (3.5)$$

ve nominal frekans değerleri olan ω_b ve ω_s aşağıdaki gibi verilirse

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

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b} \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (3.6)$$

ve aşağıdaki gibi bir kabul yaparak

$$\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \varepsilon \text{ ve } \varepsilon = O(10^{-2}) \quad (3.7)$$

[0(10⁻²) merteye olarak yüzde virgülden sonra iki basamak anlamına gelmektedir. 0,01 örneğinde olduğu gibi]

Sönüm faktörleri β_b ve β_s aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (3.8)$$

Bu nicelikler cinsinden [(3.1) ve (3.2)] temel hareket denklemleri aşağıdaki şekle dönüştürülerek yeniden yazılabilir.

$$\gamma\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_b\beta_b\dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (3.9a)$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_s\beta_s\dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (3.9b)$$

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

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

Frekanslar için karakteristik denklem,

$$(1 - \gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (3.10)$$

bu denklemin çözümleri:

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2(1 - \gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2} \right\}$$

$$\omega_2^2 = \frac{1}{2(1 - \gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2} \right\} \quad (3.11)$$

(3.7)'de ifade edilen ε tanımı kullanılırsa,

$$\omega_1^2 = \omega_b^2(1 - \gamma\varepsilon)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{1 - \gamma}(1 + \gamma\varepsilon) \quad (3.12)$$

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

$$\phi^{1r} = (1, \varepsilon)$$

$$\phi^{2r} = \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\varepsilon] \right\} \quad (3.13)$$

Modal koordinatlarındaki asal yer değiştirmeleri ifade etmek için,

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

$$v_s = q_1 \phi_s^{(1)} + q_2 \phi_s^{(2)} \quad (3.14)$$

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

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

$$M_i L_i = \phi^{ir} M r \quad (3.15)$$

ε 'da birini dereceden olan bu ifadeler yeniden düzenlenirse,

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

$$M_2 = M \frac{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (3.16)$$

ve

$$L_1 = 1 - \gamma\varepsilon \quad L_2 = \lambda\varepsilon \quad (3.17)$$

şeklini alırlar.

(3.2) ve (3.3)'deki hareket denklemleri içinde yer alan (v_b, v_s) terimleri, $\phi^{(1)}$ ve $\phi^{(2)}$ cinsinden ifade edilerek olursa, aşağıdaki formda gösterildiği üzere, içinde modal katsayıların (q_1, q_2) yer aldığı iki tane denklem ortaya çıkacaktır:

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

$$(3.18)$$

$$\ddot{q}_2 + \lambda_2 \dot{q}_1 + 2\omega_2 \beta_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \quad (3.19)$$

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

$$M_i 2\omega_i \beta_i = \phi^{iT} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^i \quad (3.20)$$

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

$$2\omega_1 \beta_1 = 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma \epsilon)$$

$$2\omega_2 \beta_2 = \frac{1}{1-\gamma} (2\omega_s \beta_s + 2\gamma \omega_b \beta_b) \quad (3.21)$$

ve buradan hareket ederek β_i 'ler ($i = 1,2$)

$$\beta_1 = \beta_b \left(1 - \frac{3}{2} \gamma \epsilon \right) \quad (3.22)$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma \beta_2 \epsilon^{1/2}}{(1-\gamma)^{1/2}} \left(1 - \frac{\gamma \epsilon}{2} \right) \quad (3.23)$$

olarak bulunur. λ_1 ve λ_2 ile gösterilen etkileşim katsayıları aşağıdaki eşitliklerden yararlanarak hesaplanır.

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

$$\lambda_2 M_2 = \phi^{(2)r} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^{(1)} = \lambda_1 M_1 \quad (3.24)$$

Böylece

$$\lambda_1 M_1 = (1, \epsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -\alpha \end{pmatrix} = c_b - \epsilon \alpha c_s \quad (3.25)$$

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

Denklem (3.16)'da ifade edilen (M_1, M_2)'yi kullanarak,

$$\begin{aligned}
\lambda_1 &= \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon\{(1/\gamma)[1 - (1-\gamma)\varepsilon]\}2\omega_s\beta_s m}{M(1 + 2\gamma\varepsilon)} \\
&= 2\omega_b\beta_b(1 - 2\gamma\varepsilon) - \varepsilon^2\omega_s\beta_s(1 - 2\gamma\varepsilon) \\
&= 2\omega_b[\beta_b(1 - 2\gamma\varepsilon) - \varepsilon^{1/2}\beta_s] \tag{3.26}
\end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}
\lambda_2 &= \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon\{(1/\gamma)[1 - (1-\gamma)\varepsilon]\}2\omega_s\beta_s m}{[M(1 - \gamma)/\gamma][1 - 2(1 - \gamma)\varepsilon]} \\
&= (2\omega_b\beta_b - \varepsilon 2\omega_s\beta_s)[1 + 2(1 - \gamma)\varepsilon]\frac{\gamma}{1 - \gamma} \\
&= 2\omega_b\{\beta_b[1 + 2(1 - \gamma)\varepsilon] - \varepsilon^{1/2}\beta_s\}\frac{\gamma}{1 - \gamma} \tag{3.27}
\end{aligned}$$

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,

$$\begin{aligned}
\ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -L_1\ddot{u}_g \\
\ddot{q}_2 + 2\omega_2\beta_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -L_2\ddot{u}_g \tag{3.28}
\end{aligned}$$

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

$$q_1 = \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_1\beta_1\tau} \sin \omega_1\tau \, d\tau \tag{3.29a}$$

$$q_2 = \frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_2\beta_2\tau} \sin \omega_2\tau \, d\tau \tag{3.29b}$$

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

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (3.30a)$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (3.30b)$$

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

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

$$|v_s|_{\max} = \left[(\phi_2^{(1)} |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^{(2)} |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.31a)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[(\phi_1^{(1)} |q_1|_{\max})^2 + (\phi_1^{(2)} |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.31b)$$

(3.16), (3.17), (3.31a) ve (3.31b) denklemlerinden elde edilen sonuçları çözüme dahil ederek spektral deplasmanlar

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \left\{ [L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (3.32)$$

ve

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \left\{ \epsilon^2 (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 \cdot \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \epsilon \left\{ (1 - 2\gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (3.33)$$

olarak elde edilir.

Genellikle yüksek frekanslardaki (örn. ω_2) yer değiştirmenin, daha düşük frekanslardaki (örn. ω_1) yer değiştirmeden çok daha küçük olduğu deprem

spektrumları için $\varepsilon^2[S_D(\omega_2, \beta_2)]^2$ terimi ihmal edilebilir. Bu durum aşağıdaki sonucu vermektedir.

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma\varepsilon)S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (3.34)$$

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

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon[S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \quad (3.35)$$

olarak verilmektedir.

Benzer olarak taban kesme kuvveti katsayısı, C_s ,

$$\begin{aligned} C_s \left| \frac{k_s v_s}{m} \right|_{\max} &= \omega_s^2 |v_s|_{\max} \\ &= \omega_s^2 \varepsilon [S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \\ &= [\omega_b^4 S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + \varepsilon^2 \omega_s^4 S_D(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \\ &= [S_A(\omega_1, \beta_1)^2 + \varepsilon^2 S_A(\omega_2, \beta_2)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (3.36)$$

ifadesi ile gösterilir.

Yalnız ilk terimleri göz önünde tutarsak aşağıdaki denklemleri elde ederiz.

$$|v_s|_{\max} = \frac{\varepsilon S_v}{\omega_b} = \varepsilon S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (3.37a)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_v}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (3.37b)$$

ve hesap 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 s değeri ve tipik bir tasarım spektrumu için izolasyon sistemi en azından başlangıç aşamasında $S_D(\omega_b, \beta_b)$ gibi bir bağıl taban yerdeğiştirmesi için 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_b, β_s 'den daha büyük olacağı için, taban kesme kuvvetinde meydana gelen azalma, olması gerekenin altında kalır.

3.2 Teorinin Bina Türü Yapılara Uygulanması

3.2.1 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri

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

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Mr\ddot{u}_g \quad (3.38)$$

formundaki hareket denklemi ile verilir. Burada r , her bir serbestlik derecesini yer hareketiyle etkinleştiren bir vektördür. Bu yapısal model, taban kütlesi m_b rijitliği k_b ve sönümü c_b olan bir taban izolasyon sisteminin üstüne oturtulduğunda denklem (3.36)'nın yeni formu,

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr(\ddot{u}_g + \ddot{v}_b) \quad (3.39)$$

olur. Burada,

v : Taban döşemesine göre yerdeğiştirme ve

v_b : Taban döşemesinin yere göre yerdeğiştirmesidir.

Bina ve taban izolasyon sisteminin oluşturduğu birleşik sistemin hareket denklemi;

$$r^T M(\ddot{v} + r\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + m_b(\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (3.40)$$

Bu başka formda,

$$r^T M \ddot{v} + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (3.41)$$

yazılabilir. Denklem 2.40' da verilen $r^T M r$ üst yapının toplam kütlesi, $m+m_b$ ise izolasyon sisteminin taşıdığı toplam kütledir. Matris formunda,

$$M \ddot{v} + C \dot{v} + K v = -M r \ddot{u}_g \quad (3.42)$$

şeklini alır. Yukarıdaki ifadede yer alan matrislerin açılımları aşağıdaki gibidir:

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

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

3.2.2 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 adlandırılırlar. Bu mod şekillerinin terimlerini kullanarak, yapının her bir serbestlik derecesindeki yerdeğiştirmesi aşağıda verildiği gibi

$$v = \sum_{i=1}^N q_i \phi^i \quad (3.43)$$

ile hesaplanabilir. Doğal frekanslar, ω_i^2

$$M \phi^i \omega_i^2 = K \phi^i \quad (3.44)$$

denklemini verir. 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.

$$\sum_{i=1}^v r^T M \phi^i \ddot{q}_i + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (3.45a)$$

ve

$$\ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i (\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) \quad i = 1, \dots, N \quad (3.45b)$$

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

$$L_i = \frac{\phi^{iT} M r}{\phi^{iT} M \phi^i} \quad (3.46)$$

dir.

Ankastre mesnet durumunda modal kütleler,

$$M_i = \phi^{iT} M \phi^i \quad (3.47)$$

olarak verilir. Denklemler aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\sum_{i=1}^N \frac{L_i M_i}{m + m_b} \ddot{q}_i + \ddot{v}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (3.48)$$

$$L_i \ddot{v}_b + \ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i \ddot{u}_g \quad i = 1, \dots, N \quad (3.49)$$

Genelde taban izolasyonlu yapılarda birinci modun üstündeki modlar, üstyapı ve izolasyon sisteminin tasarımında hiçbir rol oynamazlar. Bu nedenle analizde birinci mod dikkate alınmalıdır. Yukarıdaki hareket denklemleri, 3.9a ve 3.9b 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

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

yer değiştirirse;

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

$$(L_1 \ddot{v}_b) + \ddot{q}_1 + 2\omega_b \beta_b \ddot{q}_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (3.50)$$

elde edilir.

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

Tek serbestlik dereceli sistem için elde edilmiş olan yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti katsayısı değerleri,

$$|v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (3.51)$$

ve

$$C_s = [S_A(\omega_b^*, \beta_b^*) + \varepsilon^2 (1 - \gamma)^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)]^{1/2} \quad (3.52)$$

Çok serbestlik dereceli sistem için yukarıda yer alan ifadeler, aşağıdakilerle yer değiştirir. Maksimum görelı taban yerdeğiştirmesi aşağıdaki gibi verilir:

$$|L_1 v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} L_1 S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (3.53)$$

Fakat L_1 terimi eşitliğin her iki tarafında bulunduğu için sonuç öncekiyle aynı olur.

Taban kesme kuvvetini elde etmek için

$$|q_1|_{\max} = \left[\frac{\varepsilon^2 L_t^2 S_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*)}{(\omega_b^*)^4} + \frac{\varepsilon^2 L_t^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)}{(\omega_s^*)^4} \right]^{1/2} \quad (3.54)$$

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

$\varepsilon, \varepsilon_1 = \omega_b^2 / \omega_1^2$ ile yer değiştirir. Bağıl yerdeğiştirme vektörü v ,

$$v = q_1 \phi^{(1)} \quad (3.55)$$

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

$$F = Kv = q_1 K \phi^{(1)} = q_1 M \phi^{(1)} \omega_1^2 \quad (3.56)$$

Üstyapı için toplam yatay kuvvet

$$r^T F = q_1 \omega_1^2 L_1 M_1 \quad (3.57)$$

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

$$C_s m = r^T F \quad (3.58)$$

Böylece,

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{L_1 M_1}{m} \left[L_t^2 S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 L_t^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right]^{1/2} \\ &= \frac{L_t^2 M_t}{m} \left[S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*) \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (3.59)$$

şeklinde yazılır, [2]. Burada, daha önce ifade edildiği gibi $\varepsilon = \omega_b^2 / \omega_1^2$ dir.

4. TABAN İZOLASYONLU YAPILARIN TASARIMI İLE İLGİLİ GEÇERLİ YÖNETMELİKLER

4.1 Giriş

Türkiye'de, afet bölgelerinde yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek, onarılacak ya da güçlendirilecek resmi ve özel tüm binaların ve bina türü yapıların bağlı olacağı teknik şartlar "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" adlı şartnamedeki ilkelere uyularak yerine getirilir. Ancak yine bu yönetmeliğin 5.2 No lu, Kapsam Başlığı altındaki şartlardan dördüncü ve beşinci maddelerde sırası ile şöyle denilmektedir, [1]:

- Yapı taşıyıcı sistemini deprem hareketinden yalıtmaq amacı ile, temelleri ile zemin arasında özel sistem ve gereçlerle donatılan veya diğer aktif ve pasif kontrol sistemleri bulunan binalar için bu Yönetmelik hükümleri uygulanamaz.
- Her türlü kapsam dışı yapılara uygulanacak esaslar, kendi özel yönetmelikleri yapıncaya dek, yapımları denetleyen Bakanlıklar tarafından çağdaş uluslararası standartlar göz önünde tutularak özel olarak saptanacak ve projeleri bu esaslara göre düzenlenecektir.

Ortaya konulan yukarıdaki şartlar doğrultusunda, bu tez çalışması için; Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlüğe konulmuş ve taban izolasyonlu binaların tasarımı için şartlar içeren yönetmelikler göz önüne alınmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde taban izolasyonlu binaların tasarımı için, halen kullanılmakta olan iki yönetmelik bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, Uniform Building Code'un, "International Conference of Building Officials" tarafından yayımlanan 1997 yılı baskısıdır. Bu yönetmeliğin literatürdeki ismi UBC - 97 olarak geçmektedir. İkincisi ise "Title 24, Part 2 of the California Code of Regulations, Division III" tür. Literatürde ismi OSHPD-96 olarak geçmektedir. Title 24, UBC 94'e çok benzer olmakla birlikte, özellikle taban izolasyonlu hastane yapılarına ve

Kaliforniya eyaletine bağılı diğerk kamu binalarına yönelik olarak, daha özenli şartları da içermektedir.

Yeni binaların tasarımını düzenlemek amacıyla, UBC ve OSHPD-96 yönetmelikleri izolasyon yöntemi kullanılarak mevcut binaların iyileştirilmesine yönelik şartları içermemektedir. Ancak yine de pek çok iyileştirme projesinde UBC Yönetmeliğı'nin ortaya koyduğı düzenlemeler yakından takip edilmektedir. Ayrıca UBC Yönetmeliğı, düşey izolasyon konusuna hitap etmemektedir. Düzenlemeler, İzolasyon sistemleri ile ilgili olarak kesin olmayan bir dille yazılmıştır. Yani hiçbir izolasyon sistemi "kabul edilebilir" nitelikte tanıtılmamıştır. Ancak yönetmelik şartları, tüm izolasyon sistemlerinin; gerekli deplasman için stabil olması gerektiğini, artan deplasmanla beraber artan bir dayanım temin etmesi gerektiğini ve tekrarlı yükleme durumunda özelliklerinin azalmaması gerektiğini şart kılmıştır.

Bu yönetmeliklerin altında yatan felsefe şudur: bu düzenlemeler kullanılarak tasarlanmış izolasyonlu bir yapının, orta ve yüksek şiddetteki depremler durumunda ankastre temelli bir yapı gibi davranış sergilemesi beklenmektedir. Yönetmeliğın amacı yapının maliyetini düşürmek değil ancak yapıya ve onun içindekilere gelecek hasan sınırlandırmaktır. Bunu sağlarken, taban İzolasyonunun şu avantajı gözden kaçmamalıdır: Taban İzolasyonu, yapıda elastik bir davranışa ve büyük bir deprem itkisi için düşük kat ivmelerine izin vermektedir.

Bu yönetmelikler ve tasarım anahatları; "Structural Engineers Association of Northern California - SEAONC" nin bir alt komitesi tarafından 1980'lerde geliştirilen tasarım anahatlarından yavaş yavaş geliştirilmiştir. 1986 yılında SEAONC, "Sarı Kitap" olarak bilinen ve "Tentative Seismic Isolation Design Requirements" başlıklı bir belge yayınladı. Bu belgede onaya konulan şartlar, SEAONC tarafından tavsiye edilen muhtelif yöntemler için, kaynak vazifesi görmüştür. Ayrıca bu şartlar, Amerika Birleşik Devletleri'nde depreme dayanıklı binaların tasarımı için kullanılan UBC Yönetmeliğinin çeşitli baskılarında yürürlüğe konulmuştur. Son kitapta üzerinde en çok önemle durulan konular; eşdeğer yanal kuvvet yöntemleri ve ankastre temelli yapıların tasarımı için gerekli olan sismik taleplerin mertebesi idi. O da, 50 yıllık bir periyotta aşılması olasılığı % 10 olan bir yer hareketidir. Bu yönetmeliklerde, dinamik analiz yöntemlerine izin verilmiş ancak basitçe, statikçe eşdeğer formüller tasarıma yönelik minimum bir düzey sağlamıştır.

4.2 1997 UBC Yönetmeliği'ndeki Taban İzolasyonlu Yapılara Yönelik Şartlar

4.2.1 Sismik Tehlike Düzeyi

Model olarak alınan UBC - 97 Yönetmeliğinde, iki düzeyli sismik tehlike yaklaşımı ele alınmaktadır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir, [8]:

- Tasarım Esaslı Deprem, "Design Basis Earthquake" (DBE)

50 yıl içinde aşılması olasılığı % 10 olan (istatistiksel olarak tekrar periyodu ~500 yıl olan depreme karşılık gelen) yer sarsıntısıdır.

- Olabilecek En Büyük Deprem, "Maximum Capable Earthquake" (MCE)

Bina sahasında, meydana gelmesi beklenebilecek en büyük düzeydeki yer sarsıntısıdır 100 yıllık zaman diliminde aşılması olasılığı % 10 olan (İstatistiksel olarak tekrar periyodu 1000 yıl olan depreme karşılık gelen) yer sarsıntısıdır.

4.2.2 Tasarım Yöntemleri

UBC Yönetmeliği'nin önceki baskılarında, statikçe eşdeğer tasarım yönteminin üzerinde önemle durulmuştur. Bu yöntemde, taban izolasyonlu bir yapıda meydana gelen deplasmanların izolasyon seviyesinde toplanması gerçeğinden faydalanılmakta ve böylece üstyapı neredeyse rijit bir cisim gibi hareket etmektedir. Tasarım tek bir titreşim moduna dayandırılmıştı ve üstyapı için tasarım kuvvetleri, hesap yer değiştirme durumunda izolatörlerde ortaya çıkan kuvvetlerden hesaplanmaktaydı. Bu durum çok basit bir tasarım işlemi ile sonuçlanmıştı. Bununla beraber yönetmelik yavaş yavaş geliştikçe, dinamik analizin kullanılmasının zorunlu hale geldiği durumların sayısı da artmıştır. Nihayet, gerekli olmayabilecek durumlarda dahi, dinamik analizin kullanılmasına yönelik teşvikler yönetmeliğin içine dahil edilmiştir.

Tüm sismik izolasyon tasarımları için bir statik analiz ortaya koymak zorunludur. Bu durum, tasarım deplasmanları ve tasarım kuvvetleri için minimum bir seviye teşkil etmektedir. Statik analiz hem izolasyon sisteminin ön tasarım ve dinamik analizin gerekli olduğu yapı için, hem de tasarımın yeniden gözden geçirilmesi adına yararlı olmaktadır. Hatta bazı özel koşullar halinde statik analiz, kullanılan tek hesap yöntemi olabilmektedir.

UBC - 97 Yönetmeliği'nde, dinamik analiz pek çok durumda gereklidir (OSHPD-96 Yönetmeliği'nde ise her durum için). Yapılacak olan dinamik analiz, davranış spektrumu analizi ya da zaman tanım alanında yapılan analiz şeklinde yürütülebilir. Yapının bulunduğu yerel zemin koşullarına bağlı olarak aşağıdaki durumlarda spektral analiz gerekmektedir:

- İzole edilecek yapı S_3 ya da S_4 gibi yumuşak bir zemin üzerine oturuyorsa,
 - İzole edilecek yapı bilinen aktif bir fay hattına 10 km mesafe yakınlığında bulunuyorsa,
 - İzole edilecek yapının olabilecek en büyük deprem periyodu 3 saniyeden büyükse
- spektral analiz gereklidir.

Davranış spektrumu analizinin gerekli olduğu haller aşağıda sıralanmıştır;

- Yerel zemin koşullarına bağlı spektrum gerekiyorsa,
 - Üstyapının yatay ya da düşey yönde düzensiz olması halinde,
 - Binanın dört kattan ya da 19.8 m'den daha yüksek olması halinde,
 - Yapının izolasyon periyodunun (DBE), elastik ankastre temelli yapının titreşim periyodundan en az üç kat büyük olması halinde
- gereklidir.

Zaman tanım alanında analiz, davranış spektrumu analizinin yerine kullanılabilir. Ancak izolasyon sisteminin veya üstyapının yüksek derecede nonlineer olması halinde, zaman tanım alanında analiz zorunlu hale gelmektedir.

4.2.3 Kauçuk İzolatörlere Ait Statik Analiz

Statik analiz formülleri, yer değiştirmeleri ve kuvvetleri vermekte ve 1 s ile 3 s periyot aralığındaki sabit hızlı spektraya dayanmaktadır. UBC - 94 ve OSHPD - 96 Yönetmelikleri'nde, sabit hız spektrumunun değeri "Applied Technology Council - ATC - 3 - 06" şartından türetilmiştir. $Z = 0.40$, $S = I$ ve % 5'lik bir sönüm için hız değeri 0.60 m/s' dir. Buradan yola çıkarak S_D yer değiştirme spektrumu aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S_D = \frac{S_V}{\omega} = \frac{T}{2\pi} * \frac{Z}{4} * (0.60) = 0.25ZTm \quad (4.1)$$

Burada spektrum, bir zemin faktörü ve bir sönüm katsayısı ile değiştirilmekte ve ardından diğer sismik bölgeler için ayarlanarak tasarım yer değiştirmesi D'ye ulaşılır.

Hesaplanacak üç yer değiştirme düzeyi aşağıda sıralanmıştır:

- D, Tasarım yer değiştirmesi; DBE mertebesindeki deprem durumu için izolasyon sisteminin rijitlik merkezindeki yer değiştirmedir.
- D_T, Toplam tasarım yer değiştirmesi; D yönündeki burulma yer değiştirmesi bileşenini de içerecek şekilde, binanın bir köşe noktasındaki mesnet yer değiştirmesidir.
- D_{TM}, Toplam maksimum yer değiştirme; MCE düzeyindeki bir deprem durumu için hesaplanan toplam tasarım yer değiştirmesidir.

UBC-94 ve OSHPD-96 Yönetmelikleri'nde tarif edilen tasarım yer değiştirmesi, D, tüm tasarım işlemi için başlangıç noktası teşkil etmekte ve dinamik analiz kullanılsın veya kullanılsın mutlaka hesap edilmek zorundadır. Tasarım yer değiştirmesi kavramı, üstyapıda meydana gelen deformasyonların ihmal edilebilir düzeyde olduğu kabulüne dayanmaktadır ve aşağıdaki formül ile hesap edilmektedir.

$$D = \frac{0.25ZNS_1T_i}{B} \text{ (m)} \quad (4.2)$$

Burada

Z : Sismik bölge faktörü (Örneğin 4 no'lu bölge için 0.4)

N : Aktif faya yakınlık faktörü

S₁ : Zemin faktörü

T_i: Saniye cinsinden efektif periyot

B : Sönüm oranı

Tasarım yer değiştirmesi kavramı hala aynı olmakla birlikte, UBC - 97 yönetmeliğindeki formulasyon daha karmaşıktır. Birçok sayıda yeni terim yönetmeliğe dahil edilmiştir. Örneğin şu andaki yönetmelikte birbirinden farklı altı adet yer değiştirme değeri hesaplanmalıdır. Zemin profili tiplerinin sayısı altıya çıkmıştır. Bunlardan üçü; sert kaya, kaya ve yumuşak kayadır.

Yine aynı şekilde hesaplanması gereken dört tane sismik katsayı bulunmaktadır. Ancak 4 No'lu bölgede aşağıdaki faktörlerin hesaplanması zorunludur:

- Sismik kaynak tipine ve sismik kaynak yakınlığına bağlı olarak değişen N_a ve N_v katsayıları,
- ZN_v 'ye bağlı olarak değişen C_{AM} ve C_{VM} katsayıları

Tasarlanan taban izolasyonlu projelerde halen dinamik analiz kullanılıyor olmasına rağmen, statik analiz hala zorunludur.

UBC - 97 Yönetmeliği'ne göre iki temel yer değiştirme değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunlar D_D ve D_M ya da bir başka deyişle izolasyon sisteminin rijitlik merkezinde meydana gelen DBE ve MCE yer değiştirmeleridir. Bu değerler aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır:

$$D_D = \frac{(g/4\pi^2)C_{VD}T_D}{B_D} \quad (\text{mm}) \quad (4.3.a)$$

$$D_M = \frac{(g/4\pi^2)C_{VM}T_M}{B_M} \quad (\text{mm}) \quad (4.3.b)$$

Burada

g : Yerçekimi ivmesi

C_{VD} ve C_{VM} : Sismik katsayılar

T_D ve T_M : İzolasyon periyotları

B_D ve B_M : Sırasıyla DBE ve MCE düzeyindeki deprem durumlarına karşılık gelen sönüm katsayılarıdır

Bu formüllerdeki C_{VD} ve C_{VM} terimleri; sismik bölge faktörü Z 'nin, yerel zemin profili tipinin ve deprem fayına yakınlık faktörlerinden birisi olan N_v 'nin, birer fonksiyonudurlar.

4.2.4 Dinamik Analiz

Tasarım spektrumu , yerel zemin koşullarına bağlı spektrumdur ve aşağıdaki hallerde gereklidir:

- MCE deprem durumunda görülen periyot değerinin (T_m) 3 saniyeden büyük veya eşit olduğu ya da,

- Zemin tipinin S_E , S_F olması durumunda veya,
- Yapı, aktif bir fay hattına 10 km mesafe dahilinde bulunuyorsa gereklidir.

UBC - 97 Yönetmeliği gereği, dinamik analiz ayrıca, izole edilmiş yapının efektif periyodunun yani T_D 'nin, izolasyon sistemi üzerindeki elastik ankastre temelli yapının periyodundan üç kat daha fazla olması halinde yine gereklidir. Yerel zemin koşullarına bağlı bir spektrumun kullanılması halinde, kullanılan bu spektrum yönetmelik tarafından belirlenmiş davranış spektrumunun % 80'inin altına düşemez.

4.2.5 Yapısal Olmayan Elemanlar İçin Diğer Gereksinimler

Yapısal olmayan elemanların dayanım tasarımına yönelik olarak; ya ankastre temelli yapılar için belirlenen şartlar kullanılır ya da olabilecek en büyük davranış deprem yükü hesaplanır. İzolasyon ara yüzeyinden geçen elemanlar, D_{TM} yer değiştirmesi değeri için tasarlanmalıdır. Buna karşın, izolasyon sisteminin altında, ankastre temelli tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Buna ek olarak göz önüne alınması zorunlu olan başka detaylı sistem gereksinimleri bulunmaktadır. Bunlar içinde; çevresel koşullar, rüzgar kuvvetleri, yangına dayanıklılık ve yatay geri döndürücü kuvvet sıralanabilir.

4.2.6 Göz Önüne Alınması Gereken Diğer Hususlar

Uniform Building Code'un tüm versiyonlarında anlatılan taban izolasyonu düzenlemelerinde, üzerinde ısrarla durulan özelliklerden bir tanesi de deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesidir, yani bir davranış spektrumu gibi sunulmasıdır. Yönetmelik aslen, iki taraflı yer hareketini dikkate almak amacıyla hedef spektrumda % 30'luk bir artışı zorunlu kılmaktadır. Taban izolasyon sistemlerinin daima izotropik olmalarına karşın, maksimum izolatör yer değiştirmesi de her yönde olabilmektedir. Bu nedenle maksimum yer değiştirme için kullanılan temel statik formüllerin, her yönde uygulanması amaçlanır. Dinamik analizin, neden iki yönlü yer değiştirmeleri kapsamı gerektiği açık değildir. Ayrıca bu gereksinim, eski tip (konvansiyonel) yapılardaki detay sistemlerin tasarım şartları ile doğrudan çalışmaktadır. Bu tasarım şartlarında şöyle ifade edilmektedir: "Öyle elemanlar tasarlanır ki, bir yönde önceden tarif edilmiş tasarım deprem yüklerinin % 100 'ü için ve buna ek olarak o yöne dik doğrultu için de önceden tarif edilmiş deprem

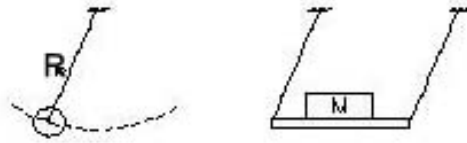
yüklerinin % 30'u için, birbirine dik (ortogonal) etkilerin şartları yerine getirilmelidir".

Prototip izolatörlerin kapsamlı bir şekilde test edilmesi için gereken şartlar UBC Yönetmeliği'nin önceki versiyonlarından alınmıştır. Denetleme İşlemi için yeni şartlar eklenmiş ve bazı eski şartlar yenileriyle değiştirilmiştir Bu yeni şartlar içinde; periyodik gözlemleme, izolasyon sisteminin onanım ya da iyileştirilmesi ve yatay yer değiştirme için bir gözlem cihazı kullanılması gibi konulara yönelik şartlar bulunmaktadır.

5. SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ İZOLATÖRÜN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ ve MODELLENMESİ

Earthquake Protection Systems Inc. Firması tarafından dizayn edilerek üretilen sürtünme esaslı sarkaç tipi izolatörler (Friction Pendulum) yapının taşıyıcı sistemleri arasına yerleştirilen malzemelerdir. Yapının salınım periyodunu artırarak yıkıcı özellik taşıyan kritik bölgeden uzaklaşmasını ve yatay deprem kuvvetlerinden minimum şekilde etkilenmesini temin eder. İzolatör, deprem tarafından zorlandığında alt ve üst plakaları arasında yer alan çelik küre konkav şekilde üretilmiş olan alt plakanın üzerinde kaymaya başlar ve üzerindeki yapının sarkaç misali küçük salınımlar yapmasını sağlar. Oluşan dinamik sürtünme kuvveti deprem enerjisinin sönmelenmesini sağlar. Sonuç olarak; izolatör, deprem anında yapıya aktarılan sarsıntı hareketlerini büyük oranda düşürmekte ve yapıyı izole etmektedir.

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.



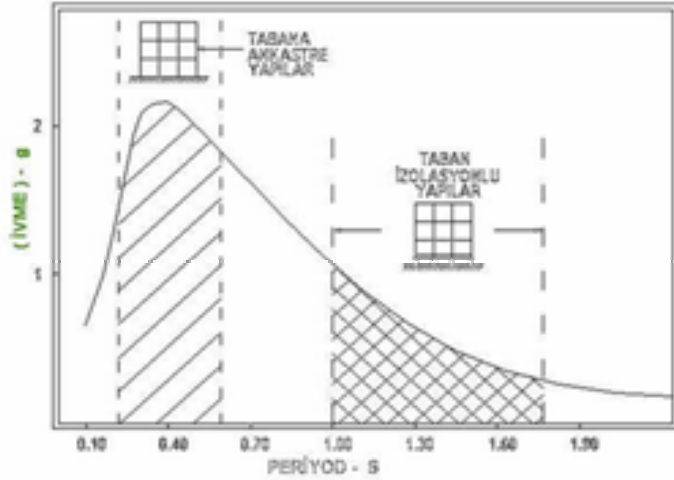
Sarkaç Hareketi



Kayıcı Sarkaç Hareketi

Şekil 5.1 Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörün hareket şekli

Titreşim periyodu, kütleden bağımsız ancak içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Böylelikle, yapının izolasyon periyodu tek parametreye bağlı olduğundan deprem sırasında yapılarda burulma etkisi yaratmaz. İzolatörlerin statik sürtünme kuvveti aşıldığında izolasyonlu periyot aktif hale gelmektedir.



Şekil 5.2 Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörün periyot-ivme grafiği

Sismik izolatörün dizayn aşamasında

- Periyodu
- Düşey yük taşıma kapasitesi
- Deplasman kapasitesi
- Enerji sönmleme kapasitesi
- Gerilme kapasitesi
- Rijitlik özellikleri
- Sürtünme değeri gibi özellikleri tayin edilmektedir.

5.1 Sürtünmeli Sarkaç Tipi Taban Yalıtımı Sisteminin Analizi

Şu anda yürürlükte bulunan 1998 Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde sismik izolasyonla ilgili bir kayıt bulunmamaktadır. Amerika'da kullanılan FEMA 356

“Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings” sismik yalıtımla ilgili teknik inceleme ve analizler içermektedir.

Bu çalışmada da faydalanılan FEMA 356 Bölüm 9 “Seismic Isolation and Energy Dissipation”, sismik analiz sisteminin analiz ve dizayn kriterlerini anlatmaktadır, [6].

FPS kayıcı izolatörlerin teknik özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

5.1.1 Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörün Mekanik Karakteristikleri

Dinamik sürtünme katsayısı, hız ve ana iki safhanın fonksiyonudur, [7].

i) Sabit Mod: Bu mod; deprem yükleri, kayıcı yüzeyde oluşan statik sürtünme kuvvetlerinden küçükse geçerlidir.

ii) Kayıcı Mod: Bu mod; deprem yükleri, kayıcı yüzeyde oluşan statik sürtünme kuvvetlerinden büyükse geçerlidir.

Böylece temas yüzeyinde sıfırdan farklı görelî kayma hızı meydana gelir.

FPS yalıtım sisteminin rijitlik parametreleri Denklem 5.1’de verilmiştir.

$$K_i = \frac{\mu \cdot W}{D_y} \text{ kN/m} \quad (5.1)$$

Burada;

K_i : Sabit moddaki başlangıç rijitliği

μ : Sürtünme katsayısı

W : Herbir izolatör tarafından taşınan düşey yük

D_y : Kabul deplasmanı, çok küçük olup yaklaşık 2,5 mm’ dir.

Kayıcı moddaki rijitlik K_{FPS} , Denklem 5.2’de verilmiştir.

$$K_{FPS} = \frac{W}{R} \text{ kN/m} \quad (5.2)$$

Burada;

R : Konkav yüzeyin eğrilik yarıçapı, oluşan kuvvet F , denklem 5.3’de verilmiştir.

$$F = \mu W + \left[\frac{W}{R} \right] D \text{ kN} \quad (5.3)$$

Burada;

D : İzolatörde meydana gelen yerdeğiştirmedir.

Yalıtımlı sistemin periyodu T, eğrilik yarıçapına bağlıdır.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \text{ s} \quad (5.4)$$

Burada;

g : Yerçekimi ivmesi 9,81 m/s²

Efektif rijitlik K_{eff}, denklem 4.5’de verilmiştir.

$$K_{eff} = \frac{F}{D} \text{ (kN/m)} \quad (5.5)$$

Ve efektif periyod T_{eff},

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} g}} \text{ s} \quad (5.6)$$

İzolatörün efektif sönüm oranı, B, denklem 5.7 ile ifade edilir.

$$B = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu}{\mu + D/R} \right] \quad (5.7)$$

Yalıtımlı sistemin maksimum deplasmanı, D_m, denklem 5.8 ile ifade edilir.

$$D_m = \left[\frac{g}{4\pi^2} \right] \frac{Sx_1 * T_{effm}}{B_m} \text{ (m)} \quad (5.8)$$

Burada;

Sx₁ : Herhangi bir sönümde ve herhangi bir deprem tehlike seviyesinde, 1 s periyotta spektral ivme parametresi.

Toplam maksimum deplasman, D_{Tm} , Denklem 5.8 ile hesaplanan maksimum deplasmanın 1,1 katından küçük olamaz.

Kayıcı yalıtım sistemlerinde, yatay ve düşey yükler arasındaki ilişki lineerdir (Denklem 5.5). Bundan dolayı taşıyıcıların mekanik davranışlarında oluşan devrilme momentinin etkisi küçüktür ve ihmal edilebilir.

5.2 Taban İzolasyonlu Yapıların Nonlinear Analizi için Kullanılan ETABS Bilgisayar Programında, İzolatör Özelliklerinin Nonlinear Link Elemanı Olarak Modellenmesi

ETABS bilgisayar programı; sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, yapıların üç boyutlu statik ve dinamik analizi ile tasarımlarını yapabilmektedir.

ETABS bilgisayar programının nonlinear versiyonunda yerel nonlinear özellikler “Nonlinear link elemanları” ve “Nonlinear Özellikler” başlıkları altında verilmiştir.

Bu program vasıtasıyla modellenen link elemanları aşağıda sıralanmıştır.

- Viskoelastik sönüm sağlayan “Damper” elemanı,
- Yalnız basınca çalışan “Gap” ve yalnız çekmeye çalışan “Hook” elemanları,
- Tek eksenli plastisite özelliği sağlayan “Plastic1” ,
- İki eksenli plastisite özelliği sağlayan “Isolator1” ve
- Sürtünmeli sarkaç tipteki taban izolatörü olan “Isolator2” dir.

Taban izolasyonu yapılarda kullanılan izolatörler için, nonlinear karakterli kuvvet – yerdeğiştirme ilişkileri, yerel nonlinear özellikleri izin verebilme yeteneği atayabilen başka bilgisayar programları da mevcuttur. Bu programlar içinde N-PAD (Base Isolation Consultants, San Francisco, CA) , SAP 2000 (Computers and Structures, Berkeley, CA), 3D-BASIS (State University of New York, Buffalo), DRAIN-3D (University of California, Berkeley) sıralanabilir.

Bu çalışmada üç boyutlu yapı elemanlarının analitik modellenmesi için ETABS bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu nedenle ETABS bilgisayar programında, sürtünmeli sarkaç tipteki taban izolatörlerinin nonlinear link elemanı olarak analitik modellenmesinin nasıl yapıldığından bahsedilecektir.

Şunu da belirtmek gerekmektedir ki, nonlinear davranış yalnızca nonlinear zaman tanım alanında yapılan analizler sırasında sergilenmektedir. Diğer tüm analizler için “Nonlinear link elemanı” lineer davranış gösterecektir.

Her bir nonlinear link elemanının altı adet ayrı yaydan teşkil olduğu kabul edilmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere, nonlinear link elemanı için altı serbestlik derecesi tanımlanabilir. Söz konusu serbestlik dereceleri sırasıyla eksenel, kayma ve burulma şekil değiştirmesi ve üç adet salt eğilme deformasyonlarıdır. Her bir yay birtakım çift yönlü özelliklere sahiptir.

Yaylar:

- Tüm lineer analizler için kullanılan, lineer efektif rijitlik ve efektif sönüm özelliklerine ve
- Sadece nonlinear zaman tanım alanındaki analizler için kullanılan, lineer olmayan kuvvet-deformasyon ilişkisine sahiptir.

İkinci özellikte anlatılmak istenen; nonlinear link elemanı, zaman tanım alanlı nonlinear analiz dışındaki diğer tüm analizlerde, lineer davranış gösterdiği kabul edilerek çözüme katılır. Herhangi bir serbestlik derecesi için nonlineer özellikler belirtilmemişse, lineer rijitlik özellikleri zaman tanım alanındaki nonlinear analizde kullanılır. Lineer efektif sönüm özelliği ise, yalnızca davranış spektrumu analizlerinde ve lineer zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılır.

Yayların nonlinear kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, modellenen davranış tipine bağlı olarak ayrık ya da birleşiktir.

ETABS bilgisayar programında N1link elemanlar, iki düğüm noktalı ve tek düğüm noktalı (yere mesnetlenmiş) olmak üzere iki tiptir. Bu tez çalışmasında tek düğüm noktalı N1link elemanlar kullanılacaktır. N1link elemanı tek düğüm noktalı ise, uzunluğu sıfır olarak alınır ve 1 lokal koordinatı eksenel koordinattır. Z eksen, global eksen olarak alınır ve pozitif yön yukarı yöndedir. İki eksenli izolatör modelinde uzunluk sonsuz alınırken, 1 lokal eksen, i düğüm noktasını j düğüm noktasına bağlayan koordinat olarak alınmaktadır. 2 ve 3 lokal eksenleri, 1 lokal eksen ve Z global eksenine göre belirlenir. 1-2 lokal düzlemi, Z global eksenine paralel ve düşey olarak alınır. Buna karşın 3 lokal eksen ise, x-y düzlemine yatık ve daima yataydır. 2 lokal eksen, global Z eksenine göre düşey iken; global X eksen boyunca yatay olarak alınır.

İki düğüm noktalı izolatörlerde deformasyonlar aşağıda ifade edildiği gibidir:

$$\text{Eksenel} \quad : d_{u1} = u_{1j} - u_{1i}$$

$$1-2 \text{ Düzleminde kayma} \quad : d_{u2} = u_{2j} - u_{2i} - d_{j2}r_{3j} - (L - d_{j2}) r_{3i}$$

$$1-3 \text{ Düzleminde kayma} \quad : d_{u3} = u_{3j} - u_{3i} - d_{j3}r_{2j} - (L - d_{j3}) r_{2i}$$

$$\text{Burulma} \quad : d_{r1} = r_{1j} - r_{1i}$$

$$1-3 \text{ Düzleminde salt eğilme} \quad : d_{r2} = r_{2i} - r_{2j}$$

$$1-2 \text{ Düzleminde salt eğilme} \quad : d_{r3} = r_{3j} - r_{3i}$$

Yere mesnetlenmiş tek düğüm noktalı izolatörlerde, i düğüm noktasındaki deformasyonlar sıfırdır.

Yukarıdaki eşitliklerde yer alan parametreler aşağıda açıklanmaktadır.

$u_{1i}, u_{2i}, u_{3i},$: i düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler,

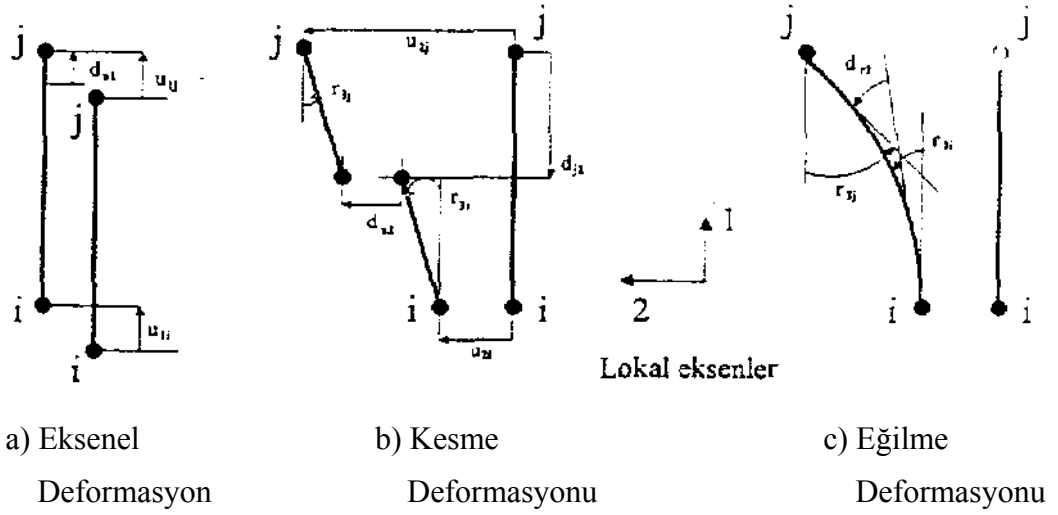
$r_{1i}, r_{2i}, r_{3i},$: i düğüm noktasındaki dönmeler,

$u_{1j}, u_{2j}, u_{3j},$: j düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler,

$r_{1j}, r_{2j}, r_{3j},$: j düğüm noktasındaki dönmelerdir.

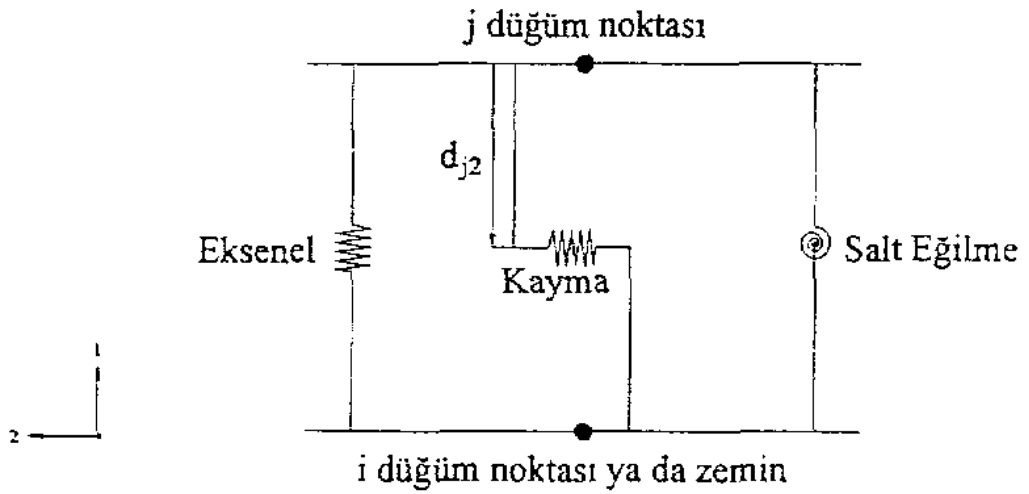
d_{j2} , d_{u2} deformasyonunun olduğu yerin j düğüm noktasına olan uzaklığıdır ve varsayılan olarak sıfır alınır. d_{j3} , d_{u3} deformasyonunun olduğu yerin j düğüm noktasına olan uzaklığıdır ve yine varsayılan olarak sıfır alınır. L eleman uzunluğudur. Elemanın rijit hareketi halinde, tüm deformasyonlar sıfır olacaktır.

Aşağıda Şekil 5.3’de N1link elemanı için tanımlanan deformasyon şekilleri gösterilmiştir. d_{j2} ve d_{j3} farklı değerler alabilmekle beraber, genellikle sürtünmeli sarkaç izolatör tipinde birbirine eşit değerdedir.



Şekil 5.3 N1link elemanı için tanımlanan deformasyon şekilleri

Aşağıdaki Şekil 5.4’de ise, N1link elemanı için tanımlanan ve üzerinde serbestlik dereceleri görülen yay elemanı gösterilmiştir.



Şekil 5.4 N1link elemanı için tanımlanan altı serbestlik dereceli yay elemanı

Bu deformasyonlara karşılık gelen yay kuvvetleri, elemanın davranışını belirler.

Eksenel : d_{u1} için f_{u1}

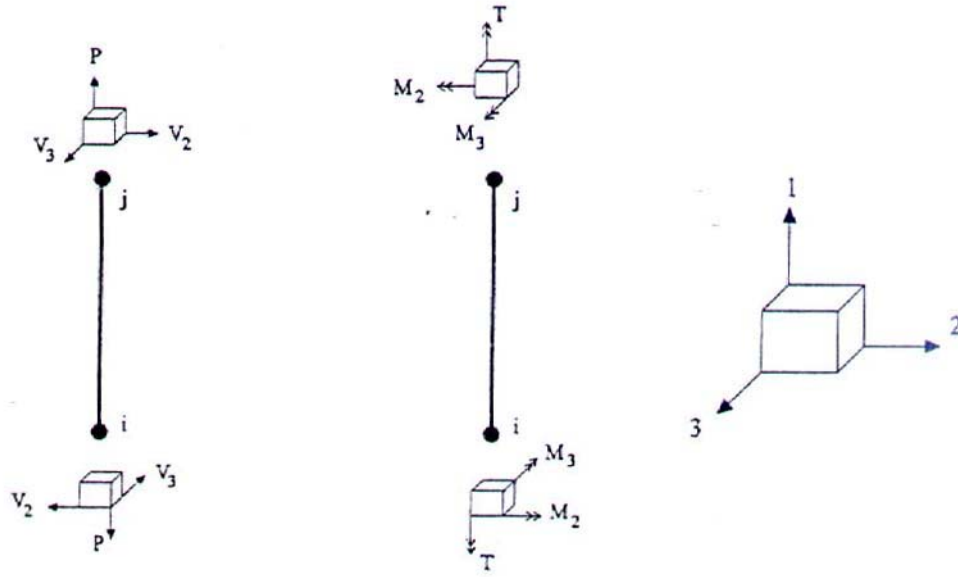
Kayma : d_{u2} için f_{u2} ve d_{u3} için f_{u3}

Burulma : d_{r1} için f_{r1}

Salt Eğilme : d_{r2} için f_{r2} ve d_{r3} için f_{r3}

Burada f_{u1} , f_{u2} ve f_{u3} iç yay kuvvetleri; f_{r1} , f_{r2} ve f_{r3} ise yay momentleridir. Bu kuvvetler sıfır, lineer ya da nonlinear olabilir. Bunun yanı sıra bağımsız ya da birbirleriyle etkileşimli olabilirler.

Eleman iç kuvvetleri P , V_2 , V_3 ve iç momentleri T , M_2 , M_3 çubuk elemanlardaki gibidir ve Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 N1link elemanında iç kuvvet ve momentler

Eksenel : $P = f_{u1}$

1-2 düzleminde kayma : $V_2 = f_{u2}$ $M_{3s} = (d - d_{2j}) f_{u2}$

1-3 düzleminde kayma : $V_3 = f_{u3}$ $M_{2s} = (d - d_{3j}) f_{u3}$

Burulma : $T = f_{r1}$

1-3 Düzleminde salt eğilme : $M_{2b} = f_{r2}$

1-2 Düzleminde salt eğilme : $M_{3b} = f_{r3}$

Kayma ve salt eğilme etkileri beraber düşünüldüğünde;

$$M_2 = M_{2s} + M_{2b}$$

$$M_3 = M_{3s} + M_{3b} \text{ olacaktır.}$$

Bu iç kuvvet ve momentler, nonlinear link elemanın her enkesitinde mevcuttur.

İç yayların her birinin lineer davranış göstermesi halinde yay kuvveti ve deformasyon ilişkileri, matris formunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} f_{u1} \\ f_{u2} \\ f_{u3} \\ f_{r1} \\ f_{r2} \\ f_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{u1} \\ d_{u2} \\ d_{u3} \\ d_{r1} \\ d_{r2} \\ d_{r3} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

Buradaki k_{u1} , k_{u2} , k_{u3} , k_{r1} , k_{r2} , k_{r3} değerleri iç yayların lineer rijitlik katsayılarıdır.

Yere mesnetlenmiş elemanda j noktası için iç kuvvetler ve yerdeğiştirme ilişkileri matris formunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} P \\ V_2 \\ V_3 \\ T \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & -d_{j2}k_{u2} \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & -d_{j3}k_{u3} & 0 \\ 0 & -d_{j2}k_{u3} & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ -d_{j2}k_{u2} & 0 & 0 & 0 & k_{r2} + d_{j3}^2k_{u3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r3} + d_{j2}^2k_{u2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix}_j \quad (5.10)$$

Rijitlik terimlerinin sönüm katsayıları ile, yerdeğiştirmelerin ise kendine karşılık gelen hız değerleri ile yerdeğiştirmesi halinde lineer sönüm davranışı için benzer matris formunu elde etmek mümkündür.

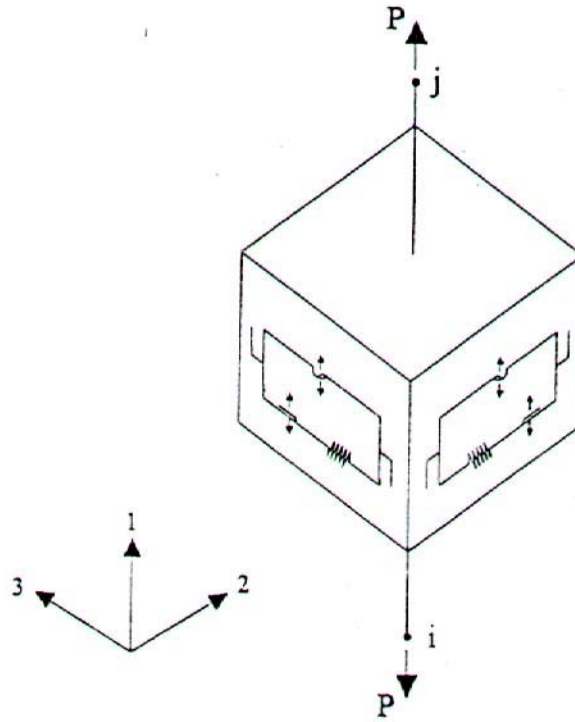
Her bir iç yaya karşılık gelen serbestlik dereceleri için altı adet lineer efektif rijitlik katsayısı belirlemek gerekir. Lineer efektif rijitlik katsayısı, N1link elemanın toplam elastik rijitliğini ifade eder ve bu katsayı lineer analizlerin hepsinde kullanılır. Örneğin statik analiz, P-delta analizi, modal analiz, hareketli yük analizi, davranış spektrumu analizi ve lineer ve periyodik zaman tanım alanında analiz gibi. Bu analiz tiplerinde, gerçek nonlinear özellikler dikkate alınmamaktadır. Ayrıca lineer efektif rijitlik, nonlinear zaman tanım alanında yapılan bir analiz sırasında tüm serbestlik dereceleri için, titreşim modlarının elde edilmesinde kullanılır.

İzolator 2 özelliği, iki doğrultudaki ortogonal ve etkileşimli kayma deformasyonları için sürtünmeli davranış gösterir. Kayma doğrultularında kayıcı yüzeyin eğrilik

yarıçapına bağlı olarak kayma sonrası rijitlik oluşturur. Bu izolatör, eksenel doğrultuda gap (boşluk – sadece basınca çalışan) eleman davranışı gösteren ve moment deformasyonları için lineer efektif rijitlik özellikleri tanımlanan çift eksenli, sürtünmeli sarkaç tipteki izolatördür. İzolatör 2 özelliği elemanının sürtünmeli sarkaç kayma davranışı idealeştirmesi Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

Sürtünmeli model; Wen, Park ve Ang tarafından öngörülen histeretik davranışı esas alır. Sarkaç davranışı, EPS firmasının ürettiği “Friction Pendulum Seismic Isolation Bearings” izolatörünün mucidi Zayas ve firma mühendisi Low tarafından 1990 yılında önerilmiştir.

Sürtünme kuvvetleri ve sarkaç kuvvetleri, elemandaki eksenel basınç yükü ile doğru orantılıdır. Eleman çekme almaz.



Şekil 5.6 İzolatör 2 elemanının sürtünmeli sarkaç kayma davranışı idealizasyonu

Eksenel kuvvet P , her zaman nonlineer bir davranış gösterir.

$$P \equiv f_{u1} = \begin{cases} k_1 d_{u1}, & d_{u1} < 0 \text{ için} \\ 0, & \text{aksi durum için} \end{cases} \quad (5.11)$$

k_1 rijitliği, elemanda nonlinear kayma kuvveti oluşturulması için pozitif olmalıdır. Her bir kayma deformasyonu serbestlik derecesi için linear ya da nonlinear davranış tanımlanabilir.

İki yндеki kayma deformasyonu serbestlik derecesinin nonlinear olması halinde, her bir kayma deformasyonu için sürtünme ve sarkaç etkileri birlikte oluşur.

Sürtünmeli sarkaç izolatorlerde genellikle bu durum hakimdir.

$$f_{u2} = f_{u2f} + f_{u2p}$$

$$f_{u3} = f_{u3f} + f_{u3p} \quad (5.12)$$

Sürtünme kuvveti – deformasyon ilişkileri aşağıdaki gibidir.

$$f_{u2f} = - P\mu_2 z_2$$

$$f_{u3f} = - P\mu_3 z_3 \quad (5.13)$$

Burada μ_2 ve μ_3 sürtünme katsayıları, z_2 ve z_3 ise i histeretik değişkenlerdir.

Sürtünme katsayıları aşağıda ifade edildiği üzere hıza bağlıdır.

$$\mu_2 = \text{hızlı2} - (\text{hızlı2} - \text{yavaş2}) \exp(-rv)$$

$$\mu_3 = \text{hızlı3} - (\text{hızlı3} - \text{yavaş3}) \exp(-rv) \quad (5.14)$$

Burada yavaş2 (slow2) ve yavaş3 (slow3) hızın sıfır olduğu andaki sürtünme katsayılarını, hızlı2 (fast2) ve hızlı3 (fast3) ise yüksek hızlardaki sürtünme katsayılarını gösterir. v bileşke kayma hızı ve r ise efektif ters hızdır. Bu iki değer, aşağıda gösterilen denklemler yardımı ile hesap edilir.

$$v = \sqrt{d\dot{u}_2^2 + d\dot{u}_3^2} \quad (5.15)$$

$$r = \frac{\text{oran2} \cdot d\dot{u}_2^2 + \text{oran3} \cdot d\dot{u}_3^2}{v^2} \quad (5.16)$$

oran2 (rate2) ve oran3 (rate3) karakteristik kayma hızlarının tersleridir.

z_2 ve z_3 iç histeretik değişkenler olup, $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$ aralığında değerler alırlar ve $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ zarfı “akma yüzeyi” olarak tanımlanır. z_2 ve z_3 ’ün başlangıç değerleri sıfırdır ve aşağıdaki diferansiyel denklemlere göre değer alırlar.

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{k_2}{p\mu_2} d\dot{u}_2 \\ \frac{k_3}{p\mu_3} d\dot{u}_3 \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Burada k_2 ve k_3 kaymanın olmadığı durumlarda elastik kayma rijitlikleridir.

Ayrıca

$$a_2 = \begin{cases} 1, & d\dot{u}_2 z_2 > 0 \\ 0, & \text{aksi durum için} \end{cases} \quad (5.18)$$

$$a_3 = \begin{cases} 1, & d\dot{u}_3 z_3 > 0 \\ 0, & \text{aksi durum için} \end{cases}$$

Bu denklemler Park, Wen ve Ang tarafından belirlenen sürtünmeli sarkaç tipteki izolatörün analitik modellenmesinde $A = 1$, $\gamma = 0.5$, $\beta = 0.5$ olması durumuna karşılık gelmektedir. Sarkaç kuvveti – deformasyon ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$f_{u2p} = -P \frac{d_{u2}}{radius2} \quad (5.19)$$

$$f_{u3p} = -P \frac{d_{u3}}{radius3}$$

Eğer sadece bir yöndeki kayma serbestlik derecesi nonlinear ise, yukarıdaki denklemler aşağıdaki forma dönüşür.

$$\mu = \text{hızlı} - (\text{hızlı} - \text{yavaş}) \exp(-\text{oran } \dot{d})$$

$$f_r = -P \mu z$$

$$\dot{z} = \frac{k}{P\mu} \begin{cases} \dot{d}(1-z^2), & \dot{dz} > 0 \\ \dot{d}, & \text{aksi durum} \end{cases} \quad (5.20)$$

Sarkaç denklemleri nonlinear serbestlik derecesi için aynı olur. Moment deformasyonları ve nonlinear karakterde olmayan kayma deformasyonları için lineer yay ilişkileri kullanılır. Tüm lineer serbestlik dereceleri için kendisine karşılık gelen ve önceden belirtilmiş rijitlik değerleri kullanılır.

6. UYGULAMA

6.1 Giriş

Bu bölümde rijit kolon, perde ve kirişlerden meydana gelen, 6 katlı, 3 boyutlu bir betonarme bina modeli, önce ankastre mesnetli daha sonra da taban izolasyonlu olarak ETABS bilgisayar programı kullanılarak çözülmüştür. Taban izolasyonu olarak sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılmıştır. Dinamik analizde yer hareketi olarak 17 Ağustos 1999 tarihli Düzce depreminin doğu-batı ile kuzey-güney bileşenlerine ait yatay ivme kayıtları kullanılmıştır. Deprem kaydı 0,005 s aralıkları ile 5437 adet ivme değerinden oluşmakta ve maksimum ivme değeri $373,760 \text{ cm/s}^2$ 'dir.

İvme kayıtları ETABS bilgisayar programına önce zaman tanım alanında nonlineer analiz yapılarak kullanılmıştır. Dinamik analizde ilk 7 mod alınmıştır.

Sistem önce ankastre mesnetli olarak ve daha sonra da taban yalıtımlı olarak çözülmüştür.

6.2 Ankastre Mesnetli Çözüm

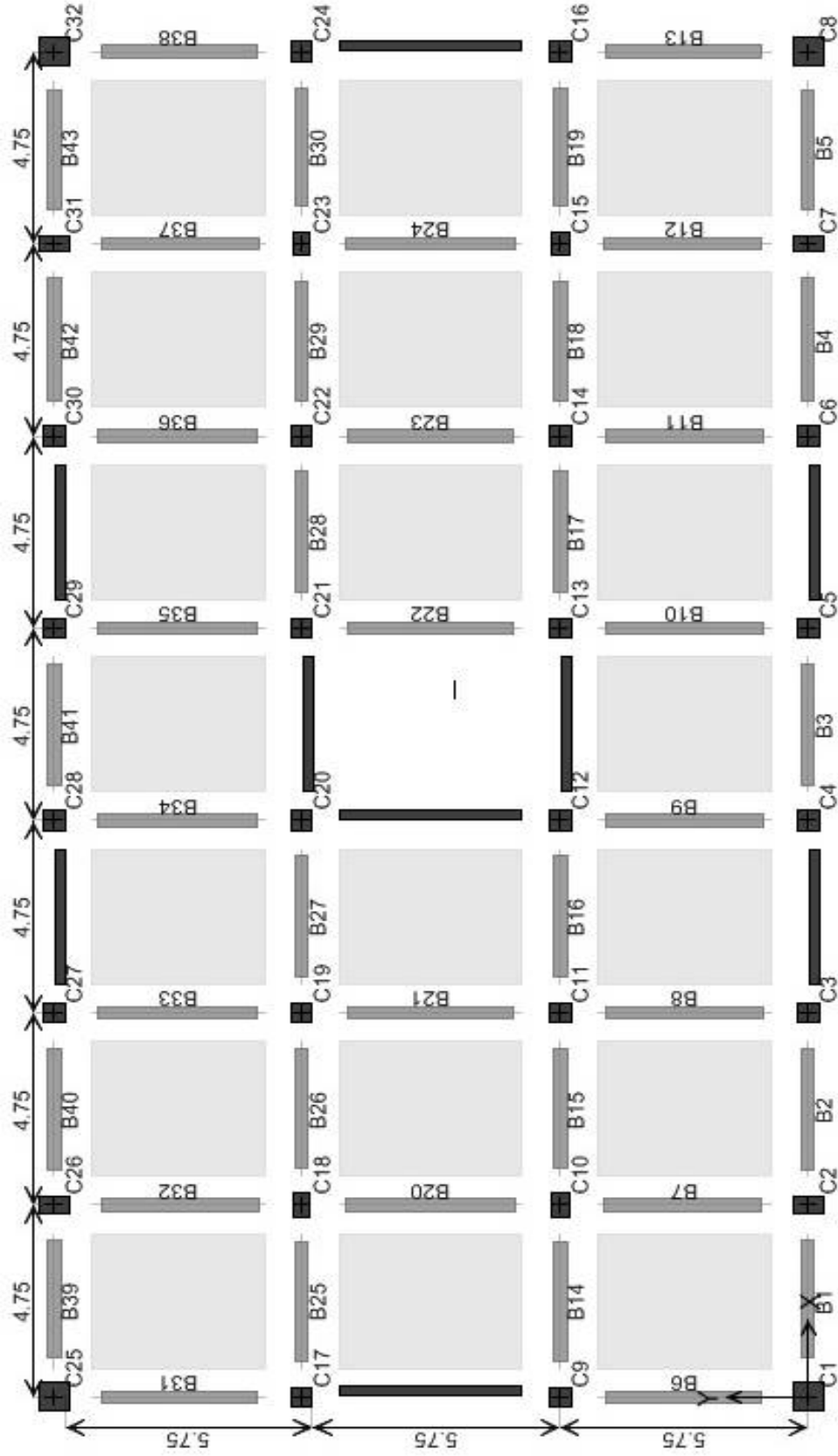
6.2.1 Yapı Genel Bilgisi

Yapı özellikleri,

- ❖ Kat adedi : 6 Kat
- ❖ Kat yüksekliği : $h_1=3,2 \text{ m}$; diğer katlar $h= 3,0 \text{ m}$
- ❖ Toplam yapı yüksekliği : $H = 18,2 \text{ m}$
- ❖ Kirişler : 30/50 cm
- ❖ X-yönü perdeler : 475/30 cm, 6 adet/kat
- ❖ Y-yönü perdeler : 575/30 cm, 3 adet/kat

- ❖ Kolonlar : 70/70 cm, 4 adet
50/50 cm, 20 adet
60/40 cm, 4 adet
40/70 cm, 4 adet
- ❖ Ankastre sistem için kolon kesitleri her katta aynıdır.
- ❖ Taban yalıtımlı sistemde kesitler üst katlarda küçülmektedir. Kolon kesitleri Ek-A' da verilmiştir.
- ❖ Dış duvar kalınlığı : 19 cm
- ❖ Dış duvar malzemesi : Delikli tuğla (20/20/19) cm
- ❖ İç duvar kalınlığı : 9 cm
- ❖ İç duvar malzemesi : Delikli tuğla (20/20/9) cm
- ❖ Döşeme kalınlığı : 16 cm
- ❖ Döşeme Tipi : Kirişli plak döşeme
- ❖ Deprem bölgesi : 1. Bölge
- ❖ Etkin yer ivmesi katsayısı : $A_0 = 0.40$
- ❖ Taşıyıcı sistem davranış katsayısı : 7 (perde-çerçeve sistem için)
- ❖ Yerel zemin sınıfı : Z_3
- ❖ Zeminin spektrum karakteristik periyotları : $T_A = 0.15$ s ve $T_B = 0.60$ s
- ❖ Bina önem katsayısı : 1.5 (Hastane)
- ❖ Beton sınıfı : BS 30
- ❖ C30 için ; $f_{ck} = 30$ N/mm² , $f_{cd} = 20$ N/mm²
- ❖ $E_c = 32 \cdot 10^6$ kN/m²
- ❖ Çelik sınıfı : S 420
- ❖ S 420 için; $f_{yk} = 420$ N/mm², $f_{yk} = 365$ N/mm²

Yapının kat kalıp planı şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Ankastre yapının kat kalıp planı

6.2.2 Deprem Kuvvetlerinin Hesaplanması

Türkiye’de yürürlükte bulunan 1998 ABYYHY ‘te açıklandığı üzere binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, [1];

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \quad (6.1)$$

denklemleri ile tanımlanır. Buradaki $A(T_1)$, spektral ivme katsayısı olup Denklem (6.2) ile belirlenir.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (6.2)$$

Bu denklemde yer alan etkin yer ivme katsayısı A_0 , deprem bölgesine bağlıdır. İncelenen yapı birinci derece deprem bölgesinde bulunduğundan bu katsayı 0,40 değerine karşılık gelir. Bina önem katsayısı, I ; 1,5 olarak alınmıştır. Spektrum katsayısı, $S(T)$ ise yerel zemin koşullarına ve bina doğal titreşim periyodu T ’ye bağlı olarak Denklem (6.3a), (6.3b) ve (6.3c) yardımı ile hesaplanır.

$$S(T) = 1 + 1,5 \cdot T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (6.3a)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (6.3b)$$

$$S(T) = 2,5 \cdot (T_B / T)^{0,8} \quad (T > T_B) \quad (6.3c)$$

Formüllerdeki T_A ve T_B , yerel zemin sınıflarına bağlı olup binanın bulunduğu zemin sınıfı Z_3 için sırasıyla 0,15 ve 0,60 değerlerini almaktadır. Yapının doğal periyodu olan T ise bina toplam yüksekliği $H_N < 25$ m olduğundan Denklem (6.4) ‘teki bağıntıyla hesaplanacaktır.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4} \quad (6.4)$$

Formüldeki C_t değeri, 0,05 değerini almaktadır.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4} = 0,05 \cdot (18,2)^{3/4} = 0,441 \text{ s.}$$

Yapının doğal periyodu, T_A ve T_B değerleri arasında bulunduğu için Denklem (6.3b)’ye göre $S(T) = 2,5$ değerini alır.

$$A(T_1) = A_0 \cdot I \cdot S(T) = 0,40 \cdot 1,5 \cdot 2,5 = 1,5$$

$R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem tipine göre tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı R 'ye ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem (6.5a) ve (6.5b)' ye göre belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1,5 + (R - 1,5) T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (6.5a)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (6.5b)$$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R deprem yüklerinin süreklilik düzeyi yüksek sistemlerde, çerçeveler ile boşluksuz perdeler tarafından taşındığı binalar için 7 olarak ve yapının doğal periyodu T , T_A dan büyük olduğundan direk alınmıştır. Böylelikle toplam eşdeğer deprem yükü Denklem (6.1) yardımıyla;

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \Rightarrow \frac{47010,33 \cdot 1,5}{7} \geq 0,10 \cdot 0,40 \cdot 1,5 \cdot 47010,33$$

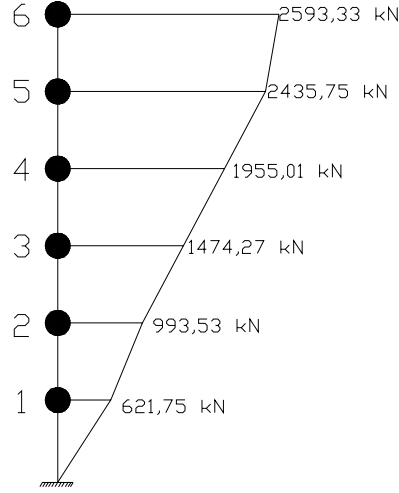
$$V_t = 10073,64 \text{ kN} \geq 2820,62 \text{ kN}$$

olarak hesaplanmıştır.

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması Tablo 6.1 'de, katlara göre dağılımı ise şekil 6.2' de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması :

i. kat	i. katın yerden yüksekliği (m)	i. katın toplam ağırlığı (kN)	$w_i \cdot H_i$	$F_i = V_t \left[\frac{(w_i \cdot H_i)}{\sum (w_i \cdot H_i)} \right]$ (kN)
6.Kat	18,2	6850,80	124684,56	2593,33
5. Kat	15,2	7704,48	117108,10	2435,75
4. Kat	12,2	7704,48	93994,66	1955,01
3. Kat	9,2	7704,48	70881,22	1474,27
2. Kat	6,2	7704,48	47767,78	993,53
1. Kat	3,2	9341,61	29893,15	621,75
		$\sum w_i \cdot H_i$	484329,47	



Şekil 6.2 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

6.2.3 Ankastre Mesnetli Yapının ETABS Analiz Programında Modellenmesi

Yapının bilgisayar programında malzeme özellikleri girildikten sonra betonarme taşıyıcı elemanları tanıtlanmıştır. Kiriş, kolon, döşeme ve perde yerleşimleri geometrik olarak girildikten sonra taban mesnetlerinin her yöndeki hareket serbestlikleri tutularak sistem tabanda ankastre mesnetli olarak tanıtlanmıştır. Kiriş ve döşeme yükleri verilmiştir. Bölüm 6.2.2 de elde edilen deprem kuvvetleri sistemin rijitlik merkezinden $\pm 5\%$ mesafesinde dış merkez noktalarına her kata etkitilmiştir. Her kat kendi içinde rijit diyafram olarak tanıtlanmıştır. Yapılan analiz için kullanılan ölü yük (DL), hareketli yük (LL), her iki doğrultuda deprem kuvvetleri (EQX ve EQY) için çeşitli yükleme kombinasyonları aşağıda belirtilen şekilde programa girilerek analiz gerçekleştirilmiştir.

- COMB 1 : 1,4 DL
- COMB 2 : 1,4 DL + 1,6 LL
- COMB 3 : 1,0 DL + 1,0 LL + 1.0 EQX
- COMB 4 : 1,0 DL + 1,0 LL - 1.0 EQX
- COMB 5 : 1,0 DL + 1,0 LL + 1.0 EQY
- COMB 6 : 1,0 DL + 1,0 LL - 1.0 EQY
- COMB 7 : 0,9 DL + 1,0 EQX
- COMB 8 : 0,9 DL - 1,0 EQX

- COMB 9 : 0,9 DL + 1,0 EQY
- COMB 10 : 0,9 DL - 1,0 EQY
- ENVE : Tüm kombinasyonların toplamı
- W : 1,0 DL + 0,3 LL

Döşemelerin kaplama yükü 2 kN/m^2 , hareketli yükü $3,5 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Kirişler için, dış duvarlar 12 kN/m , iç duvarlar 6 kN/m olarak alınmıştır [9].

Yapı bu şartlar altında eşdeğer deprem yükü yöntemine göre çözülerek sonuçlar elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir.

6.2.4 Ankastre Mesnetli Yapı Analiz Sonuçları

Ankastre mesnetli yapıda deprem kuvvetleri çerçeveler ve her iki yönde yerleştirilen rijit betonarme perdeler ile karşılanmaktadır. Yapının ilk 7 moduna karşılık gelen serbest titreşim periyotları Tablo 6.2 'de verilmiştir. Maksimum kat ötelenmeleri Tablo 6.3' de gösterilmiştir. Analiz sonuçları Ek-B' de verilmiştir.

Ankastre yapı, bölüm 6.2.2' de hesaplanan eşdeğer deprem yükleri altında, zaman tanım alanında ve spektrum analizi altında çözülmüştür. Spektrum analizi için Türkiye deprem yönetmeliğinde tanımlanan ivme spektrumu kullanılmıştır. Sönüm oranı %5 alınmıştır. Mod katkılarının birleştirilmesi için '*Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS)*' kuralı uygulanmıştır. İvme spektrumu Şekil 6.3' de gösterilmiştir.

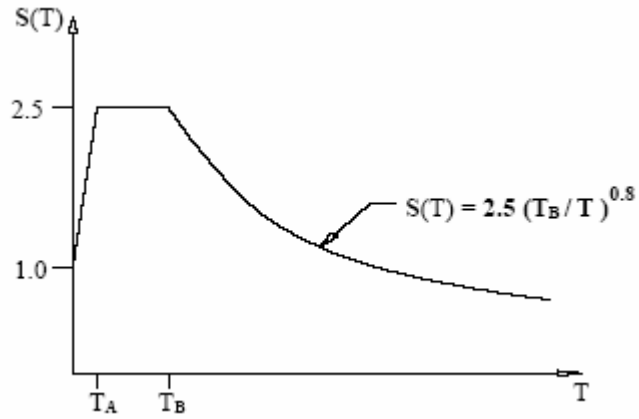
Tablo 6.2 Ankastre mesnetli yapının titreşim periyotları

Mod	Periyot (s)
1	0,284
2	0,205
3	0,048
4	0,023
5	0,016
6	0,010
7	0,006

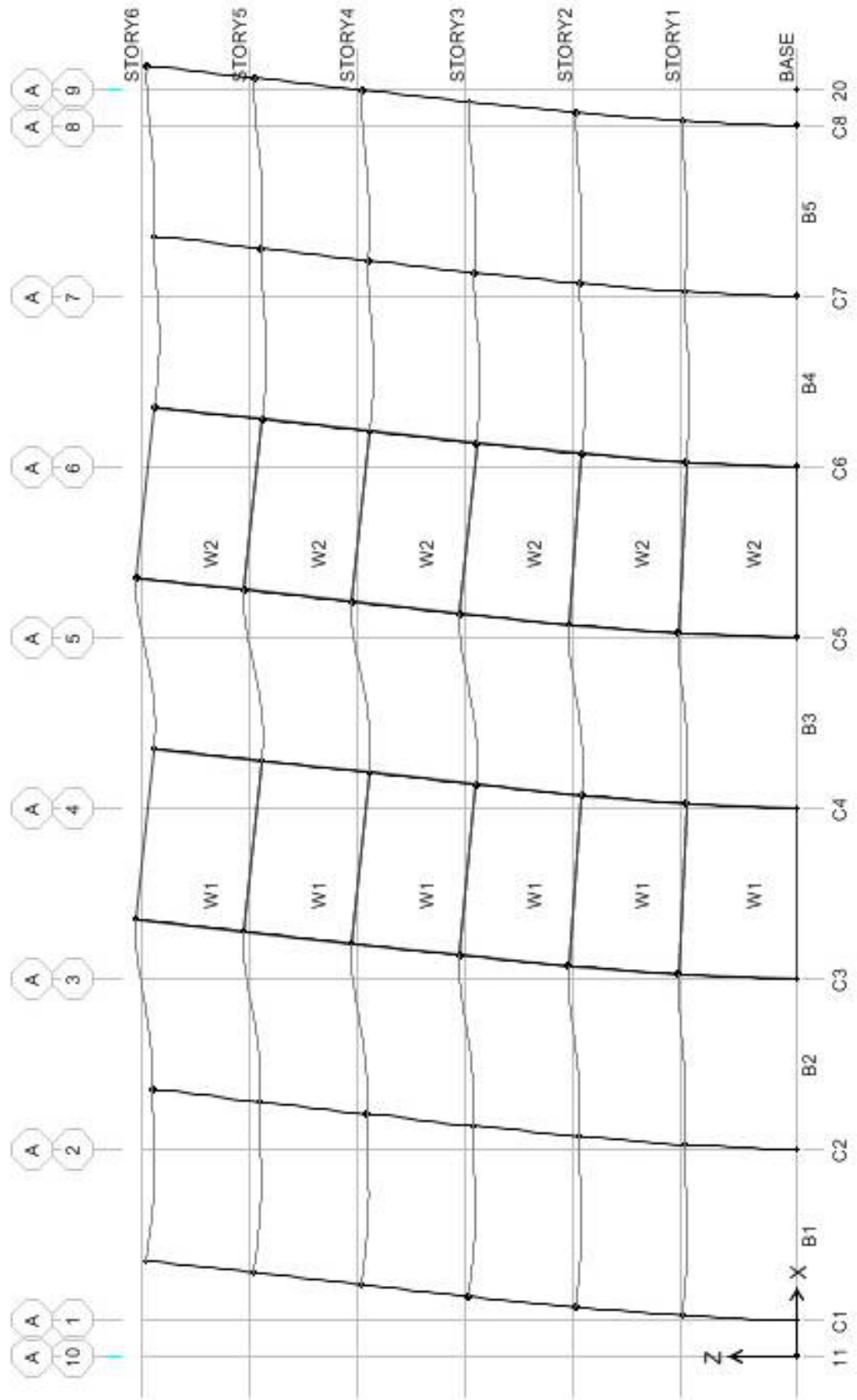
Tablo 6.3 Ankastre mesnetli sistemin maksimum kat ötelenmeleri

Kat	Kat Ötelenmesi (mm)
6. Kat	8
5. Kat	6,5
4. Kat	4,8
3. Kat	3,2
2. Kat	1,7
1. Kat	0,6

Kat ötelenmeleri sonuçlarından da görüleceği gibi, yapı her iki yönde yerleştirilen perdeler ile çok rijittir. Yer değiştirmeler mm seviyesinde olup periyotları da oldukça küçük çıkmıştır. Yük kombinasyonu COMB 3' e göre yapının deforme olmuş şekli, Şekil 6.4' de gösterilmiştir.



Şekil 6.3 İvme spektrumu



Şekil 6.4 Ankastre mesnetli yapının deformasyon şekli

6.3 Taban Yalıtımlı Çözüm

Yürürlükteki yönetmelikler sismik kriterlerini, iki seviyeli sismik tehlike yaklaşımı içerecek şekilde benimsemiştir. Bunlar;

1. Design Basis Earthquake (DBE) (BSE-1) : 50 yıl içinde %10 olasılıkla gerçekleşecek deprem sarsıntısı (475 yıl geri oluşum periyotlu deprem).
2. Maximum Capable Earthquake (MCE) (BSE-2) : 100 yıl içinde %10 olasılıkla gerçekleşecek deprem sarsıntısı. (1000 yıl geri oluşum periyotlu deprem) Binalarda beklenen maksimum düzeyde yer sarsıntısı.

Aşağıdaki hesaplar bu iki seviye için ayrı ayrı yapılmıştır.

6.3.1 BSE-1 Seviyesinde Deplasman ve Taban Kesme Kuvveti Hesapları

Bölüm 5.1’de açıklanan FEMA 356 teknik analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

$$S_{x1} = 0,28$$

$$\text{Yarıçap (R)} = 223,52 \text{ cm} ; \text{Sürtünme } (\mu) = 0,03$$

$$\text{Tahmini Deplasman (D)} = 10 \text{ cm}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Yalıtılmış yapının periyodu, Denklem (5.4)’ den ;

$$T_m = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad \Rightarrow \quad T_m = 2\pi \sqrt{\frac{2,2352}{9,81}} = 3,00 \text{ s}$$

Geri dönüşüm kuvveti, Denklem (5.3)’ den ;

$$F_m = \left(\mu + \frac{D}{R} \right) W \quad \Rightarrow \quad F_m = \left(0,03 + \frac{10}{223,52} \right) W = 0,075W \text{ kN} = 172,5 \text{ kN}$$

Rijitlik parametreleri, Denklem (5.1), (5.2) ve (5.5)’ den ;

$$K_{\text{eff}} = \frac{F}{D} \quad \Rightarrow \quad K_{\text{eff}} = \frac{0,075W}{0,10} = 0,75 W \text{ kN/m} = 1725 \text{ kN/m}$$

$$K_i = \frac{\mu.W}{D_y} \text{ kN/m} \quad \Rightarrow K_i = \frac{0,03 \times 2300}{0,0025} = 27600 \text{ kN/m}$$

$$K_{FPS} = \frac{W}{R} \quad \Rightarrow K_{FPS} = \frac{2300}{2,2352} = 1029 \text{ kN/m}$$

Efektif periyot, Denklem (5.6)' dan ;

$$T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{\text{eff}} g}} \quad \Rightarrow T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{0,75W * 9,81}} = 2,316 \text{ s}$$

Efektif sönüm oranı, Denklem (5.7)' den ;

$$B_m = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu}{\mu + D/R} \right] \quad \Rightarrow B_m = \frac{2}{\pi} \left[\frac{0,03}{0,03 + 10/223,52} \right] = 0,254 = \%25,4$$

İzolatörün %25,4 efektif sönüm oranı için Tablo 6.4'den $B_m = 1,6$ bulunur.

Yalıtımlı sistemin maksimum deplasmanı, Denklem (5.8) 'den ;

$$D_m = \left[\frac{g}{4\pi^2} \right] \frac{S_{X_1} * T_{\text{effm}}}{B_m} \quad \Rightarrow D_m = \left[\frac{9,81}{4\pi^2} \right] \frac{0,28 * 2,316}{1,6} = 0,101 \text{ m}$$

Toplam maksimum deplasman,

$$D_{TM} = 1,10 * D_m \quad \Rightarrow D_{TM} = 0,11 \text{ m} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Buna göre;

Tasarım deplasmanı = 11cm

Tasarım taban kesme kuvveti = $0,075W \text{ kN} = 172,5 \text{ kN}$

Tablo 6.4 Sönüm katsayısı B_m

Sönüm %	B_m
< 2	0.8
5	1.0
10	1.3
20	1.8
30	2.3
40	2.7
> 50	3.0

6.3.2 BSE-2 Seviyesinde Deplasman ve Taban Kesme Kuvveti Hesapları

Bölüm 5.1’de açıklanan FEMA 356 teknik analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

$$S_{x1} = 0,42$$

$$\text{Yarıçap (R)} = 223,52 \text{ cm}$$

$$\text{Sürtünme } (\mu) = 0,03$$

$$\text{Tahmini Deplasman (D)} = 18 \text{ cm}$$

$$g = 9,81 \text{ m/sn}^2$$

Yalıtılmış yapının periyodu, Denklem (5.4)’ den ;

$$T_m = 2\pi \sqrt{\frac{2,2352}{9,81}} = 3,00 \text{ s}$$

Geri dönüşüm kuvveti, Denklem (5.3)’ den ;

$$F_m = \left(0,03 + \frac{18}{223,52} \right) W = 0,11 W \text{ kN} = 253 \text{ kN}$$

Rijitlik parametreleri , Denklem (5.1), (5.2) ve (5.5)’ den ;

$$K_{\text{eff}} = \frac{0,11W}{0,18} = 0,619 W \text{ kN/m} = 1423,7 \text{ kN/m}$$

$$K_i = \frac{\mu W}{D_y} \text{ kN/m} \quad \Rightarrow \quad K_i = \frac{0,03 \times 2300}{0,0025} = 27600 \text{ kN/m}$$

$$K_{FPS} = \frac{W}{R} \quad \Rightarrow \quad K_{FPS} = \frac{2300}{2,2352} = 1029 \text{ kN/m}$$

Efektif periyot, Denklem (5.6) ‘dan ;

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{0,619W * 9,81}} = 2,550 \text{ s}$$

Efektif sönüm oranı, Denklem (5.7)’ den ;

$$B_m = \frac{2}{\pi} \left[\frac{0,03}{0,03 + 18 / 223,52} \right] = 0,174 = \%17,4$$

İzolatörün %17,4 efektif sönüm oranı için Tablo 6.4’den $B_m = 1,425$ bulunur.

Yalıtımlı sistemin maksimum deplasmanı, Denklem (5.8) ‘den ;

$$D_m = \left[\frac{9,81}{4\pi^2} \right] \frac{0,42 * 2,550}{1,425} = 0,187 \text{ m}$$

Toplam maksimum deplasman,

$$D_{TM} = 1,10 * 0,187 = 0,206 \text{ m} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Buna göre;

$$\text{Tasarım deplasmanı} = 20,6 \text{ cm}$$

$$\text{Tasarım taban kesme kuvveti} = 0,11 W \text{ kN} = 253 \text{ kN}$$

W, her bir izolatör tarafından taşınan düşey yükü ifade etmektedir. Bu yapıda en büyük düşey yük 2300 kN olarak alınmıştır.

BSE-1 ve BSE-2 seviyesinde depremler için en düşük dinamik sürtünme oranı 0,03 kullanılarak tasarım deplasmanları ve toplam deplasmanlar hesaplanmıştır.

BSE-2 seviyesi deprem için sonuç deplasman 20,6 cm’dir. Bu yapıda kullanılan izolatörlerin kapasitesi ise 31,75 cm’dir. Yaklaşık olarak elde edilen sonucun %54 fazlasıdır.

Zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlere göre kullanılan izolatörlerin bu kapasiteleri yeterli bulunmuştur.

Yapıda kullanılan FPS sismik izolatörlerinin teknik özellikleri Ek C' de gösterilmiştir.

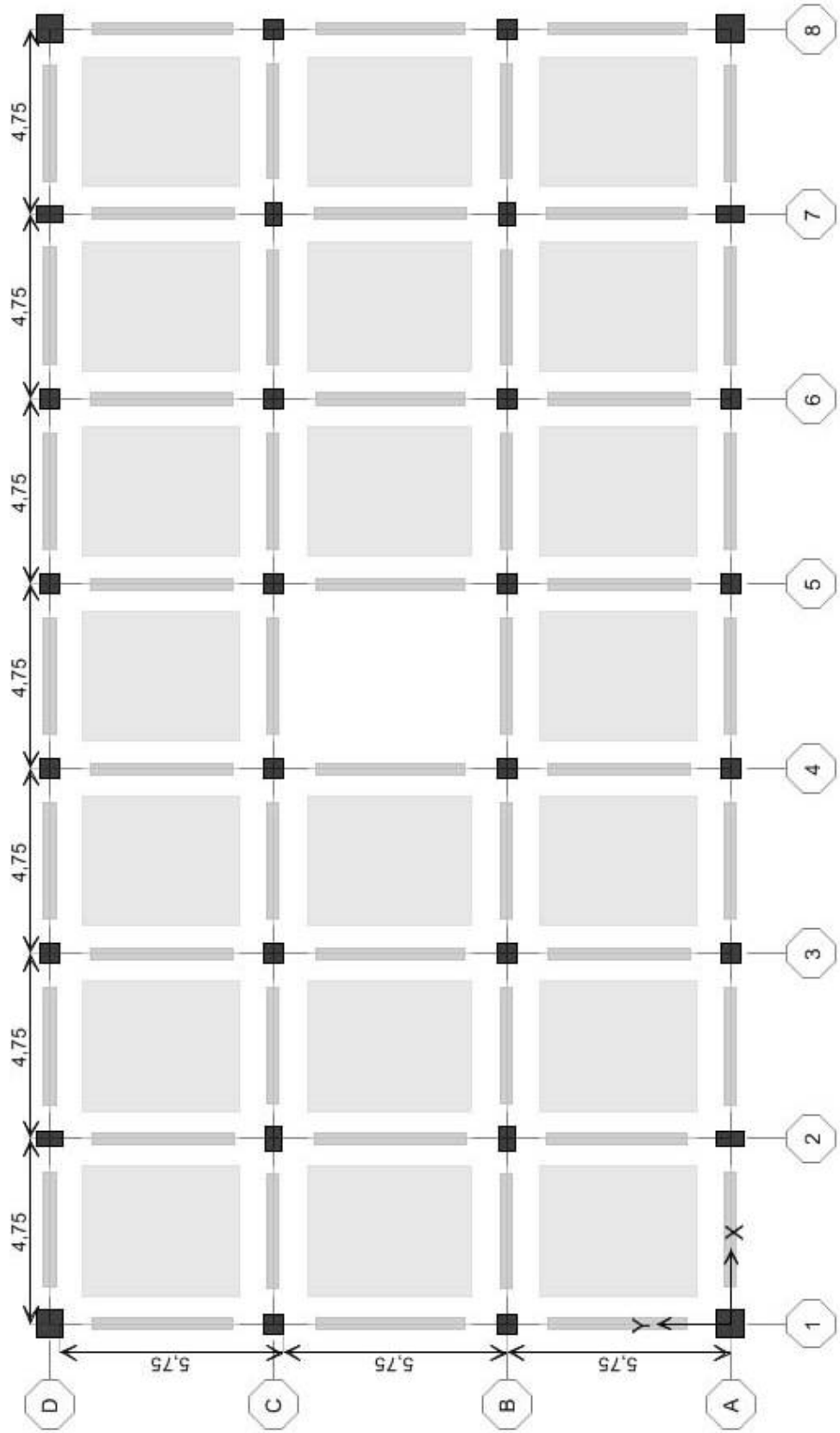
6.3.3 Taban Yalıtımlı Yapının ETABS Analiz Programında Modellenmesi

Taban yalıtımlı yapıda, ankastre mesnetli yapıda her iki yönde bulunan perdeler kaldırılarak kolon kesitleri küçültülmüştür. Her iki yapı modeline ait kolon kesitleri Ek A' da verilmiştir. İzolatörler analiz programına Nlink elemanı olarak tanıtılmıştır. ETABS programının 'Link Özellikleri' menüsünde bölüm 'izolatör 2' seçeneği seçilerek 6.3.2' de bulunan BSE-2 seviyesi rijitlik ve malzeme özellikleri girilmiştir. İzolatörün kütlesi, atalet momenti ve FEMA 356' da belirtildiği gibi dönme etkileri ihmal edilmiştir. U2 (global X eksen) ve U3 (global Y eksen) yönlerinde nonlinear olarak hareket serbestliği tanımlanmıştır. U1 (global Z eksen) yönünde ise çok yüksek rijitlik tanımlanarak hareketi kısıtlanmıştır.

Yapının taban seviyesindeki her bir kolon altındaki düğüm noktalarına tanıtılan izolatörler 40/30 cm/cm kirişler ile birbirlerine bağlanarak yapıya etkiyen deprem kuvvetinin tüm taban seviyesine dağıtılarak yekpare hareket etmesi sağlanmıştır. Ayrıca taban seviyesi düğüm noktaları da rijit diyafram olarak programa tanıtılmıştır.

Bu yapı modelinde kullanılan sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerinin ETABS programında kullanılan mekanik karakteristik değerleri Tablo 6.5' de gösterilmiştir.

Taban yalıtımlı sistemin kat kalıp planı Şekil 6.5' de verilmiştir.



Şekil 6.5 Taban yalıtımlı sistemin kat kalıp planı

Tablo 6.5 Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	U1 Yönü	U2 ve U3 Yönleri
Efektif Rijitlik (Lineer)	1 E+10 kN/m	1423,7 kN/m
Efektif Rijitlik (NonLineer)	1 E+10 kN/m	27600 kN/m
Sürtünme Katsayısı (Yavaş)	-	0,03
Sürtünme Katsayısı (Hızlı)	-	0,04
Oran Parametresi	-	35
Konkav Yüzey Yarıçapı	-	2,2352 m

Taban yalıtım sisteminin elemanları olan izolatörler, deprem hareketi sırasında doğrusal olmayan hareket yaptıklarından dolayı zaman tanım alanında nonlinear analiz yapılmıştır. Eşdeğer deprem yükleri lineer analiz yaptığından dolayı sadece ivme kaydı programa fonksiyon olarak tanıtilarak zaman tanım alanında analiz yapılmıştır.

6.3.4 Taban Yalıtımı Yapı Analiz Sonuçları

Taban yalıtımlı sistemde deprem kuvvetleri her bir kolon altına yerleştirilen sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler ile karşılanmaktadır. Yapıya etkitilen deprem kaydının maksimum ivme değeri 0,40g değerindedir. Böylece yapıya yaklaşık olarak bina ağırlığının yarısı kadar deprem kuvveti etkimektedir. Bu sistemde nonlinear elemanlar kullanıldığı için sadece zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Eşdeğer deprem analizi ve spektrum analizi lineer analiz sonuçları verdiği için bu sistemin çözümünde kullanılmamıştır.

Taban yalıtımlı yapı, deprem ivme kaydının zaman tanım alanında analizi sonucu doğrusal olmayan davranış göstererek taban seviyesinde 21 cm deplasman yapmıştır.

Taban yalıtımlı sistemin maksimum kat ötelemeleri Tablo 6.6’ da gösterilmiştir. Ayrıca yapının titreşim periyotları Tablo 6.7’ de gösterilmiştir. Analiz sonuçları Ek-C’ de verilmiştir.

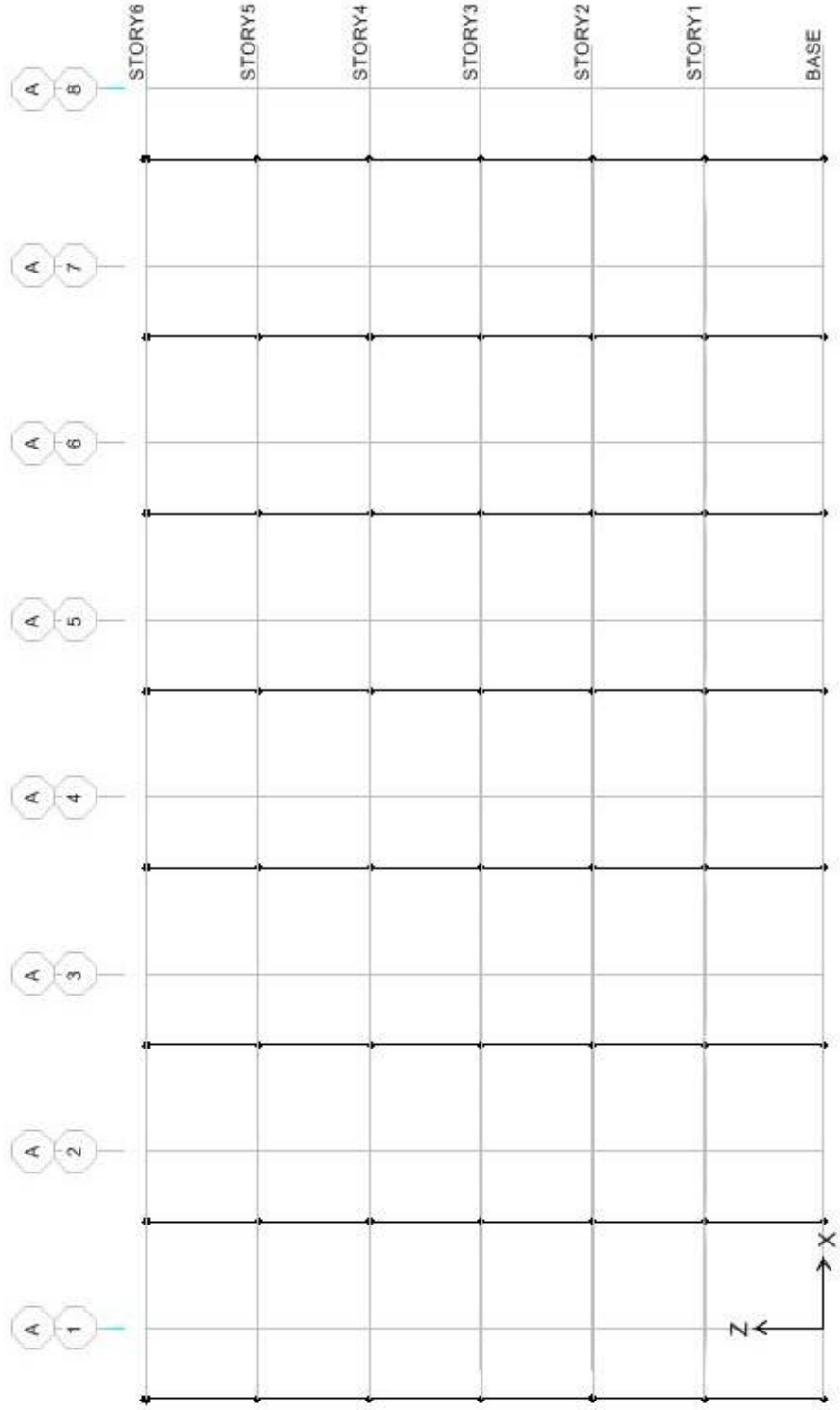
Tablo 6.6 Taban yalıtımlı sistemin X-yönünde maksimum kat ötelenmeleri

Kat	Kat Ötelenmesi (cm)
6. Kat	21,03
5. Kat	21,04
4. Kat	21,02
3. Kat	21,04
2. Kat	21,02
1. Kat	21,03
Taban	21,03

Tablo 6.7 Taban yalıtımlı sistemin titreşim periyotları

Mod	Periyot (s)
1	1,5717
2	1,5335
3	1,5364
4	0,3381
5	0,1711
6	0,1095
7	0,0748

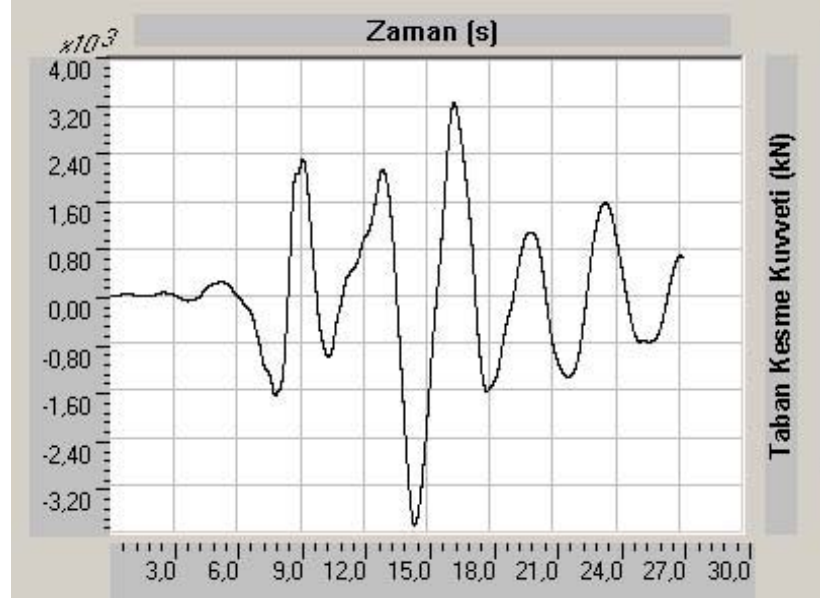
Yapı, etkiyen deprem kuvveti etkisi altında taban seviyesinde 21 cm deplasman yapmıştır, bu değer tasarım sırasında öngördüğümüz değere çok yakındır. Ayrıca deplasman miktarı izolatörün deplasman kapasitesinin de altındadır. Bu sonuçlara göre kullanılan izolatörler yapı için hem normal kuvvet etkisi hem de yatay deplasman sınırları açısından yeterlidir. Ayrıca diğer katların yatay deplasmanları da taban seviyesi yatay deplasmanı ile aynı miktarda kalmıştır.



Şekil 6.6 Taban yalıtımlı yapının şekil değiştirmiş şekli

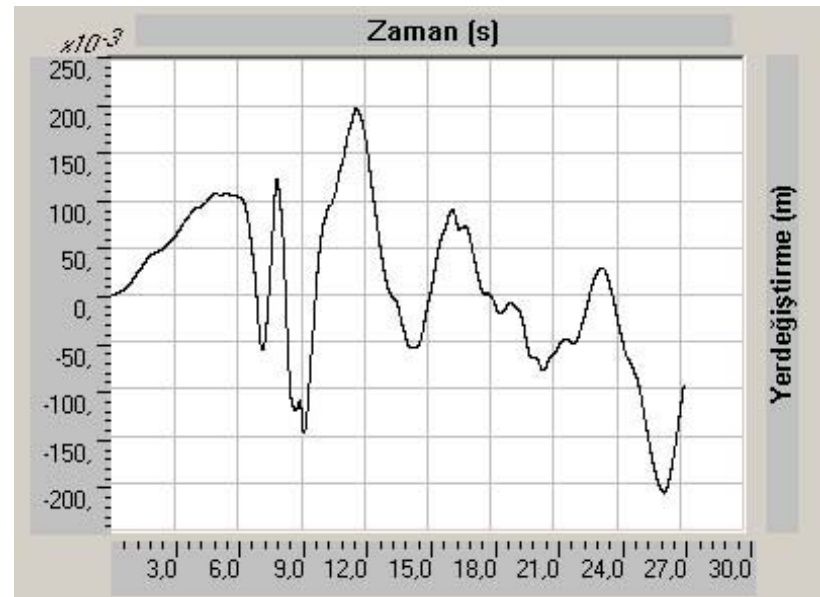
Yük kombinasyonu COMB 3' e göre yapının şekil değiştirmiş şekli, Şekil 6.6' da gösterilmiştir.

Taban yalıtımlı sistemde oluşan taban kesme kuvvetinin zaman tanım alanında analiz sonucuna göre değişimi Şekil 6.7' de gösterilmiştir.



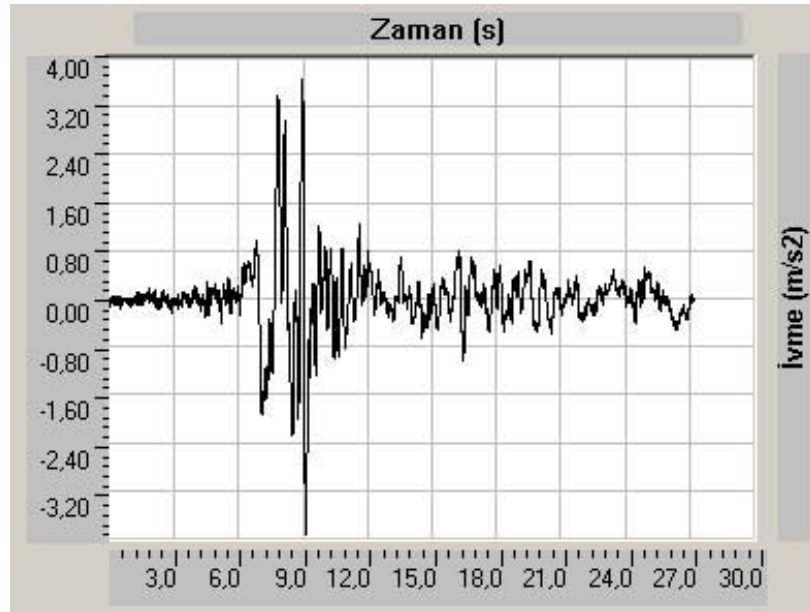
Şekil 6.7 Taban kesme kuvveti (kN)– Zaman grafiği (s)

Taban yalıtımının zaman tanım alanında analizi sonucu meydana gelen deplasman değerleri Şekil 6.8' de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Taban seviyesi deplasmanı UX (m) – Zaman (s) grafiği

Taban yalıtımlı yapıya etkiyen deprem kuvvetinin ivme grafiği Şekil 6.9’ da görülmektedir.

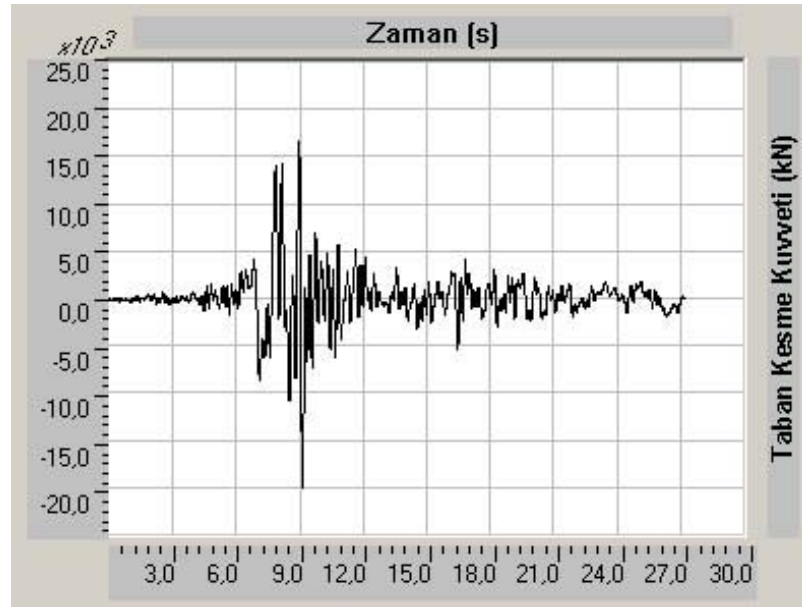


Şekil 6.9 Yapıya etkiyen deprem kuvvetinin ivme (m/s^2) – zaman grafiği (s)

6.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

- Ankastre mesnetli yapıda deprem kuvvetleri iki yönde rijit perdeler tarafından karşılanmaktadır. Zaman tanım alanında analiz sonucu taban kesme kuvveti değeri 16560 kN değerindedir. Ankastre mesnetli yapıda taban kesme kuvveti değişimi Şekil 6.10’ da gösterilmiştir.
- Taban yalıtımlı sistem etkiyen kesme kuvvetlerini, izolatörler sürtünme kuvveti aşıncaya kadar karşılamakta, sürtünme kuvveti aşıldıktan sonra harekete geçerek kesme kuvvetinin büyük bölümünü sönmülemekte ve taban kesme kuvveti değeri 3268 kN olmaktadır.
- Taban yalıtımlı sistemde perdeler kaldırılarak kolon kesitlerinde üst katlara çıkıldıkça boyutlar küçülmüştür, bu halde bile minimum donatı oranı ile düşey ve yatay yük taşıma kapasitesi sağlanmıştır. Böylece daha ekonomik boyutlandırma sağlanmıştır.
- Ankastre mesnetli yapıda, yapıya aktarılan ivmeler tabandan üst katlara doğru artmaktadır. Buna karşın, taban yalıtımlı yapıda, kat ivmeleri üst

katlara doğru çıkıldıkça yüksek bir artış göstermemekte ve yer hareketi ivmesinden daha düşük seviyelerde kalmaktadır.



Şekil 6.10 Ankastre mesnetli yapıda Taban kesme kuvveti (kN) – Zaman grafiği (s)

Uygulanan analiz metotlarına göre sonuçların karşılaştırılması aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir.

Tablo 6.8 Zaman Tanım Alanında çözüm sonucu analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları	Kat No	Ankastre Mesnetli Yapı	Taban Yalıtımlı Yapı
Kat Ağırlık Merkezinin Maksimum Yerdeğiştirmesi (mm)	6	8,0	210,3
	5	6,5	210,4
	4	4,8	210,2
	3	3,2	210,4
	2	1,7	210,2
	1	0,6	210,3
	Taban	-	210,3
En Yüksek Kat İvmesi (m/s²)	6	9,083	4,375
	5	6,661	4,297
	4	5,548	4,186
	3	5,079	3,998
	2	5,540	3,840
	1	4,528	3,801
Taban Kesme Kuvveti (kN)		16560	3268

Tablo 6.9 Eşdeğer Deprem Kuvveti çözümü sonucu analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Eşdeğer Deprem Kuvveti Analizi	Kat No	Ankastre Mesnetli Yapı	Taban Yalıtımlı Yapı
Kat Ağırlık Merkezinin Maksimum Yerdeğiştirmesi (mm)	6	8,00	-
	5	6,40	-
	4	4,80	-
	3	3,20	-
	2	1,70	-
	1	0,60	-
	Taban	-	-
Taban Kesme Kuvveti (kN)		10073,64	-

Tablo 6.10 Spektral çözüm sonucu analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Spektral Analiz Sonuçları	Kat No	Ankastre Mesnetli Yapı	Taban Yalıtımlı Yapı
Kat Ağırlık Merkezinin Maksimum Yerdeğiştirmesi (mm)	6	3,83	-
	5	3,07	-
	4	2,28	-
	3	1,51	-
	2	0,83	-
	1	0,29	-
	Taban	-	-
Taban Kesme Kuvveti (kN)		4775,17	-

- Taban yalıtımının genel prensibi gereği deprem hareketi sırasında üst yapı alt yapıdan bağımsız olarak bütün halde rijit olarak hareket ederek depremin etkisi %50-75 seviyesinde azaltılmaktadır.

6.5 Maliyet Karşılaştırılması

Bu projede kullanılan bina bir hastane yapısıdır. Binanın deprem sırasında en az hasar ile göçme olmadan çıkması, içinde mali değeri yüksek, sarsıntıya duyarlı ekipmanın korunması ve hastanenin depremden hemen sonra faaliyet göstermesi düşünülmüş, bu nedenle binaya taban yalıtımı uygulanması kararlaştırılmıştır.

Projede, EPS (Earthquake Protection Systems) Inc. firmasının ürettiği FPB (Friction Pendulum Bearings) sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılmıştır.

Bina, 581,88 m² oturum alanına sahiptir. Toplam yapı alanı 3491,28 m²’ dir.

İki sistem arasında karşılaştırmaya esas olarak; kolon kesitlerindeki farklar, perdelerin farkları ve yalıtımlı sistemde taban seviyesinde kullanılan kirişler alınmıştır. Diğer kirişler ve döşemelerin kesitlerinde değişme olmamıştır.

Taban yalıtımlı sistem ile ankastre mesnetli sistem arasındaki maliyet karşılaştırması aşağıda özetlenmiştir:

- Beton metrajında taban yalıtımlı sistemde ankastre sisteme göre %63,
- Demir metrajında taban yalıtımlı sistemde ankastre sisteme göre %51,
- Kalıp metrajında taban yalıtımlı sistemde ankastre sisteme göre %15 tasarruf sağlanmıştır.
- Buna göre; karşılaştırmaya esas, yukarda belirtilen metrajlara göre toplam maliyet taban yalıtımlı sistem için 25947 USD, ankastre sistem için 54500 USD olmaktadır.
- Kullanılacak sürtünmeli sarkaç tipi izolatörün her biri 3500 USD ‘dir. 32 kolonun her birinin altına yerleştirilecek izolatörlerin toplam maliyeti 112000 USD olmaktadır.

Toplam alan: 3491,28 m²

Yalıtımlı sistem için birim maliyet: $25947 / 3491,28 = 7,43 \text{ \$/ m}^2$

İzolatör birim maliyeti : $112000 / 3491,28 = 32,08 \text{ \$/ m}^2$

Toplam : $7,43 + 32,08 = 39,51 \text{ \$/ m}^2$

Ankastre sistem için birim maliyet: $54500 / 3491,28 = 15,61 \text{ \$/ m}^2$

$$\text{Fark : } \frac{(39,51 - 15,61) \times 100}{39,51} = 60,49$$

Analiz sonuçlarına göre, maliyet farkı burada ele alınan bina ve izolatör özellikleri için %60,49 elde edilmiştir.

6.6 Sonuç

Bu uygulamada ele alınan yapıda, oturma alanı ile yapının toplam alanının küçük olması, ankastre sistem ile taban yalıtımlı sistem arasında analizler sonucu ortaya çıkan metraj farklarının izolator maliyeti yanında küçük kalmasına sebep olmaktadır.

Yapı oturma alanı ve toplam alanının artması ile yapı maliyet farklarının izolator maliyetine yaklaşması beklenmektedir. Böylece iki sistem arasındaki maliyet farkı bu uygulamada çıkan değerdan daha küçük olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1997. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [2] **Naeim, F. and Kelly, J.M.**, 1999. Design of Seismic Isolated Structures, California.
- [3] **Tezcan S.S. and Cimilli S.**, 2002. Seismic Base Isolation, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı, İstanbul.
- [4] **Tezcan S.S. , Erkal A.**, 2002. Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı, İstanbul.
- [5] **Celep Z. , Kumbasar N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- [6] **FEMA 356**, 2000. Prestandart and Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings, *American Society of Civil Engineers*, Virginia
- [7] **Uçkan E., Mourtaja W., Önem G., Erdik M.**, 2004. Earthquake Response of a 1:4 Scaled Three Story Steel Structure Seismically Isolated by FPS Type Sliding Isolation Systems, Boğaziçi University Kandilli Observatory Earthquake Engineering Department, İstanbul.
- [8] **UBC**, 1997. Uniform Building Code, *International Conference of Building Officials*, California.
- [9] **TS-498**, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

EKLER

EK A

- Tablo A.1 Ankastre mesnetli yapı kolon boyutları
- Tablo A.2 Taban yalıtımlı yapı kolon boyutları

EK B

- Tablo B.1 Ankastre çözüm kolon kesit tesirleri
- Tablo B.2 Ankastre çözüm düğüm noktası deplasmanları
- Tablo B.3 Ankastre çözüm perde kesit tesirleri

EK C

- İzolatör detayı
- Tablo C.1 Sismik kolon kesit tesirleri
- Tablo C.2 Sismik çözüm düğüm noktası deplasmanları

ÖZGEÇMİŞ

M. Tarık Keskin, 04.06.1978 tarihinde Kayseri’de doğdu. 1996 yılında Nuh Mehmet Baldöktü Anadolu Lisesi’nden, 2000 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2000-2001 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’na bağlı Yapı (Deprem) Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimi sırasında çeşitli şantiyelerde inşaat mühendisi olarak çalıştı.