

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yer hareketinin yapıda meydana getireceği etkilerden, yapı sisteminin korunması amacıyla geliştirilen, taban izolasyonu kavramı açıklanmış ve taban izolasyonlu binaların lineer olmayan deprem analizleri yapılmıştır. Tezin tamamlanmasında emeği geçen Prof. Dr. Antonio Trupia' ya , aileme ve eşime teşekkür ederim.

İstanbul, 2002

Meryem Camgöz Çağlar
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Taban İzolasyon Sistemlerinin Yapısı ve Özellikleri	2
1.3. Kauçuk Esaslı Sistemler	5
1.3.1. Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler	5
1.3.2. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler	6
1.3.3. Kurşun Saplama Doğal Kauçuk Mesnetler	7
1.4. Kayıcı Sistemler	9
1.4.1. Sürtünmeli Pandül Sistemler	9
1.4.2. Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyonu	11
1.4.3. Electricité-de-France Sistem	13
1.4.4. EERC Bileşik Sistemi	13
1.5. Çelik Yaylar	13
2. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLİKLERİ	16
2.1. Giriş	16
2.2. Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	16
2.3. Kurşun Saplama Tabakalı Kauçuk Mesnet Mekanik Özellikleri	18
2.4. Sürtünmeli Sarkaç Sistemin Mekanik Özellikleri	19
3. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MATEMATİK MODELLEMESİ	21
3.1. Kauçuk Mesnetlerin Matematik Modellemesi	21
3.2. Kayıcı Mesnetlerin Matematik Modellemesi	22
3.3. SAP 2000 Bilgisayar Programında Nonlineer Nlink Eleman Modellemesi	23
4. TABAN İZOLASYONLU YAPI HAREKET DENKLEMLERİ	32
4.1. Tek Serbestlik Dereceli Hareket Denklemleri	32
4.2. Çok Serbestlik Taban İzolasyonlu Sistemlerin Hareket Denklemleri	38
5. TABAN İZOLASYONUNDA YÖNETMELİK ŞARTLARI	42
5.1. Giriş	42
5.2. UBC-97 Yönetmeliğindeki Taban İzolasyonlu Yapılara Ait Koşullar	43
5.2.1. Sismik Risk Düzeyi	43
5.2.2. Tasarım Metodları	43
5.2.3. Statik Analiz	44
5.2.3.1. Efektif Titreşim Periyodları	46
5.2.3.2. Toplam Tasarım Yerdeğiştirmeleri	47

5.2.3.3. Tasarım Kuvvetleri	48
5.2.3.4. Yatay Deprem Yüklerinin Katlara Dağılımı	49
5.2.4. Dinamik Analiz	49
5.2.5. UBC-97 Yönetmeliği Statik Analiz Şartları Kullanılarak Taban İzolasyonu Tasarımında İzlenecek Yol	50
6. UYGULAMA I	54
6.1. Giriş	54
6.2. UBC-97 Yönetmeliği Minimum Şartlarının Belirlenmesi	55
6.3. EPS Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Taban İzolasyonlu Sistemin Bilineer Matematik Modelinin Oluşturulması	56
6.4. Scougal Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetli Taban İzolasyonlu Sistemin Bilineer Matematik Modelinin Oluşturulması	58
6.5. DIS Kurşun Saplamaı Kauçuk Mesnetli Taban İzolasyonlu Sistemin Bilineer Matematik Modelinin Oluşturulması	60
6.6. Taban İzolasyonlu Örnek Yapının Duhamel İntegrali ile Çözümü	62
6.7. Taban İzolasyonlu Örnek Yapının SAP 2000 Bilgisayar Programında Nonlinear Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması	63
6.7.1. SAP 2000 Taban İzolasyonlu ve Ankastre Mesnetli Yapı Modellemesi Girdi Dosyasının Oluşturulması	63
6.7.2. SAP 2000 Nonlinear Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	65
7. UYGULAMA II	67
7.1. Giriş	67
7.2. Çok Katlı Betonarme Yapıda EPS Sürtünmeli Sarkaç Tban İzolasyonu Uygulaması	67
7.3. Çok Katlı Betonarme Yapıda DIS Kurşun Saplamaı Kauçuk Taban İzolasyonu Uygulaması	69
7.4. Alternatif Mesnet Oluşturulması	71
7.5. Analiz Sonuçları	76
7.6. Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi	77
8. UYGULAMA III	78
8.1. Giriş	78
8.2. Alternatif Kayıcı Mesnet	78
8.3. Çelik Bilye Çapı ve Adedinin Belirlenmesi	79
8.4. Analiz Sonuçları	79
KAYNAKLAR	84
EKLER	86
ÖZGEÇMİŞ	

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. Ankastre mesnetli yapı ve yaban izolasyonlu yapı UBC-97 sünekliğe bağlı azaltma faktörleri.....	48
Tablo 5.2. UBC-97 Yönetmeliği taban izolasyonlu yapılar için minimum değerler.....	50
Tablo 6.1. EPS B tipi sürtünmeli sarkaç mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak tanımlanması.....	64
Tablo 6.2. Scougal B tipi yüksek kauçuk mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak tanımlanması	65
Tablo 6.3. DIS B tipi kurşun saplamalı mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak tanımlanması	65
Tablo 6.4. SAP 2000 sonuçlarının karşılaştırılması	66
Tablo 7.1. Uygulama II' de alınacak EPS Nllink elemanın mekanik özellikleri.....	68
Tablo 7.2. DIS A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak alınması.....	71
Tablo 7.3. Alternatif A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak alınması.....	75
Tablo 7.4. Alternatif C tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak alınması.....	75
Tablo 7.5. Birinci mod doğal titreşim periyodları.....	76

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Tipik düşük sönümlü tabakalı kauçuk mesnet.....	6
Şekil 1.2 : Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet.....	7
Şekil 1.3 : Kurşun saplamalı kauçuk mesnet.....	8
Şekil 1.4 : Sürtünmeli pandül sistem kesiti ve elemanları	9
Şekil 1.5 : Pandül hareketi	10
Şekil 1.6 : Sürtünmeli pandül hareketi.....	10
Şekil 1.7 : Esnek sürtünmeli mesnet.....	12
Şekil 1.8 : Viskoz sönüm	14
Şekil 1.9 : Helezoni çelik yay	15
Şekil 2.1 : Kurşun saplamalı kauçuk kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi	18
Şekil 3.1 : Yay tipleri olarak modellenen Nlink elemanları.....	25
Şekil 3.2 : Nlink eleman iç kuvvet ve momentleri.....	26
Şekil 3.3 : Isolator 1 Propety elemanı.....	31
Şekil 3.4 : Isolator 2 Propety elemanı.....	31
Şekil 4.1 : Taban izolasyonlu yapı matematik modeli ve mod şekilleri.....	32
Şekil 5.1 : UBC-97 yönetmeliği toplam yerdeğiştirme hesabı.....	47
Şekil 6.1 : Uygulama I düzlem çerçeve yapı.....	54
Şekil 6.2 : EPS B tipi mesnet kuvvet-deformasyon eğri değerleri.....	57
Şekil 6.3 : Scougal B tipi mesnet kuvvet-deformasyon eğri değerleri.....	59
Şekil 6.4 : DIS B tipi mesnet kuvvet – yerdeğiştirme eğri değerleri.....	61
Şekil 7.1 : Uygulama II dört katlı betonarme yapı.....	68
Şekil 7.2 : DIS A tipi mesnet kuvvet-deformasyon eğri değerleri.....	70
Şekil 7.3 : Alternatif A tipi mesnet kuvvet-deformasyon eğri değerleri.....	74
Şekil 7.4 : Alternatif B tipi mesnet kuvvet-deformasyon eğri değerleri.....	74
Şekil 7.5 : Alternatif C tipi mesnet kuvvet-deformasyon eğri değerleri.....	74
Şekil 8.1 : Alternatif Kayıcı mesnet iç görünüşü.....	79
Şekil 8.2 : Alternatif kayıcı mesnet yerleşim kesiti.....	79

SEMBOL LİSTESİ

U_m	: Maksimum yatay yerdeğiştirme
t_r	: Toplam kauçuk kalınlığı
A	: Kauçuk kesit alanı
G	: Kayma modülü
γ_m	: Maksimum kayma şekil değiştirmesi
K_H	: Yatay rijitlik
K_V	: Düşey rijitlik
EI	: Eğilme rijitliği
E_C	: Düşey yük altında kauçuk basınç elastisite modülü
Δ	: Düşey yerdeğiştirme
γ_c	: Basınç kuvveti altında oluşan, kayma şekildeğiştirmesi
ε_c	: Basınç şekil değiştirmesi yani kısalma
γ_{ort}	: Ortalama kayma şekil değiştirmesi
S	: İzolatörün geometrisine bağlı, şekil faktörü
M	: Eğilme momenti
α	: Alt ve üst sınır arasındaki dönme açısı
t	: Tek kauçuk tabaka kalınlığı
EI_{eff}	: Eğilmenin nonlineerliğini belirten efektif eğilme rijitliği
γ_b	: Eğilmeden dolayı oluşan kayma şekil değiştirmesi
ε_b	: Eğilmeden dolayı oluşan kısalma
γ_b^{ort}	: Eğilmeden dolayı oluşan ortalama kayma şekil değiştirmesi
R	: Kauçuk izolatör çapı
F_y	: Akma kuvveti
U_y	: Akma yerdeğiştirmesi
K_e, K_p, K_{eff}	: Elastik rijitlik, akmadan önceki, akmadan sonraki, efektif rijitlik
Q	: Karakteristik gerilme
ω	: Doğal Frekans
ξ_{eff}	: Akma sonrası efektif sönüm oranı
μ	: Sürtünme katsayısı
F_s	: Sürtünme kuvveti
$U\&$	: Yerdeğiştirmenin zamana göre türevi, hız.
R	: Sürtünmeli pandül sistem eğrilik yarıçapı
K_H	: Yatay rijitlik
δ_v	: Düşey yerdeğiştirme
F_x	: Kauçuk izolatör hareketi halinde enine oluşacak kuvvet
F_y	: Kauçuk izolatör hareketi halinde boyuna oluşacak kuvvet
α	: Akma sonrası rijitliğin, akma öncesi rijitliğe oranı
Z_x	: Histetik kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük
Z_y	: Histetik kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük
A, γ, β	: Histetik döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitlerdir

$\dot{u}_x, \dot{u}_y$	: Yerdeğiştirmenin zamana göre türevi, x ve y doğrultusundaki hız
μ_s	: θ açısına ve mesnet basıncına bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı
$\ddot{u}_g$	: Düşey doğrultudaki deprem ivmesi
m_s	: Üst yapı kütlesi
m_b	: İzolasyon sistemi üzerindeki kütle
k_s, c_s	: Üst yapı rijitliği ve sönümü
k_b, c_b	: İzolasyon sistemi rijitliği ve sönümü
u_b, u_s	: İzolasyon sistemi ve üst yapı yerdeğiştirmesi
v_b, v_s	: İzolasyon sistemi ve üst yapı göreceli yerdeğiştirmesi
$\ddot{u}_g$	: Yer hareketinin ivmesi
r	: Deprem hareket yönünü belirleyen matris
ε	: Taban izolasyonu doğal frekansının, üst yapı doğal frekansına oranı
γ	: Taban izolasyon kütlelerinin, tüm kütleye oranı
ω_b	: İzolasyon sistemi doğal frekansı
ω_s	: Üst yapı doğal frekansı
ξ_s, ξ_b	: Üst yapı ve izolasyon sistemi boyutsuz sönüm oranları
Φ_b	: İzolasyon sistemi mod şekli
Φ_s	: Üst yapı mod şekli
ω_1	: İzolasyonlu yapı 1. doğal frekansı
ω_2	: İzolasyonlu yapı 2. doğal frekansı
$y_{1,2}$	: Modal koordinatlar
$\Gamma_{1,2}$	: 1 ve 2. mod katılım faktörü
C_s	: Taban kesme kuvveti katsayısı
S_A	: Spektral ivme
S_D	: Spektral yerdeğiştirme

ÖZET

Yapının, yatay yönde oldukça esnek ve düşey yükler altında yeterli rijitliğe sahip elemanlar üzerine mesnetlenmesiyle depremin oluşturacağı zorlamaların azaltılmasına sismik izolasyon yada taban izolasyonu adı verilir. Taban izolasyonu, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında oldukça yeni bir kavramdır. Bununla birlikte taban izolasyonlu yapıların deprem hareketi esnasında göstermiş oldukları performans, depreme dayanıklı yapı tasarımında ve yapıların güçlendirilmesinde uygulanabilir bir yaklaşım olmasını sağlamıştır.

Taban izolasyonlu yapılarla, katlararası yerdeğiştirme ve kat ivme değerleri azalmaktadır; böylece taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan elemanlar, depremin zararlı etkilerinden korunabilir. Taban izolasyonlu yapı ana frekansı, ankastre mesnetli yapı frekansına ve yer hareketinin hakim frekansına göre oldukça düşüktür. Yapının birinci mod deformasyonu, yalnızca taban seviyesinde oluşur ve üst yapı hemen hemen rijit bir davranış sergiler. Diğer modların yapı davranışına katkısı hemen hemen yok gibidir.

Bu çalışmada, taban izolasyon sistemleri genel olarak, kauçuk sistemler ve kayıcı sistemler olarak ikiye ayrılmış ve herbir sisteme ait mekanik ve matematik modelleme açıklanmış hareket denklemlerinin çıkarılması sunulmuştur.

Taban izolasyon sisteminin hareket denklemi, tek serbestlik dereceli bir sistem için Uygulama I' de çıkarılmış ve Duhamel integrali ile çözümlenmiş, sonuçlar da SAP 2000 bilgisayar programında çeşitli mesnet tipleri için elde edilmiş sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Uygulama II' de dört katlı betonarme bir yapı için taban izolasyon tipleri incelenmiştir. Yapı, çeşitli mesnet tipleri altında çözümlenmiş, mekanik özellikleri belirlenmiş ve SAP 2000 bilgisayar ortamında Nlink eleman olarak tanımlanan izolasyon sistemleri için üç boyutlu nonlineer zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Ayrıca sunulan mesnet tiplerine alternatif olarak, kurşun saplamalı kauçuk mesnetin ön tasarımının nasıl yapılacağı verilmiştir.

Uygulama III' de alternatif kayıcı mesnet ön tasarımı yapılmış ve analiz sonuçları önceki uygulamalarla karşılaştırılmıştır.

Yapılan uygulamalarda, analiz sonuçları taban izolasyonunun depreme karşı yapı tasarımında geçerli bir metot olduğunu kanıtlamıştır.

Analiz sonuçlarıyla ilgili bilgisayar çıktıları Ek C, Ek D, Ek E' de verilmiştir.

SUMMARY

To protect the structure from the damaging components of earthquake ground motion by supporting it on the flexible horizontal direction and giving enough vertical rigidity under the vertical loads is called base isolation or seismic isolation.

Base isolation is a very new concept for designing a seismic-resistant structure.

However, the performance which the buildings with base isolation showed under large earthquake ground motion made them now be a well accepted approach for seismic design and retrofitting existing buildings.

The dynamics of the base-isolated structure allows to simultaneously reduce both interstory drift and floor acceleration so that structural and nonstructural components are prevented to severe earthquake damage.

Base-isolated structure fundamental frequency is much lower than both fixed-base frequency and dominant frequency of the ground motion.

The first mode isolated structure deformation generates only in the isolation systems, the structure above remains almost rigid.

The other higher modes have nearly no effect on the structure behavior.

In this study, base isolation systems are in general classified into two categories, elastometric and sliding systems and mechanical characteristic and mathematical models of the each one is explained and theoretical basis of seismic isolation is presented in the following chapter.

Equation of the seismic isolation motion will be given for a single degree of freedom model in the Uygulama I and base displacement is obtained by solving Duhamel integration and this result is compared to SAP 2000 analysis result of such systems subjected to variety of support.

Afterwards, how to apply seismic isolation on multi-story structures is given on a simple four story shear wall concrete moment-resisting frame in Uygulama II.

The mechanical properties verified isolation systems and these isolation systems the structure is analysed three dimensional, nonlinear on the SAP2000 program.

how to perform the front design of an plug elastometer system is given as an alternative to the presented isolator type.

As an add on to these in Uygulama III alternative sliding bearing pre design is given and these analysis results are compared with the previous applications.

The base isolation structure analysis results has proved that base isolation is good method to protect the buildings in case of earthquakes.

The printouts relating the analysis results are given on the following parts: EKC, EKD, EKE

BÖLÜM 1

TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ

1.1 GİRİŞ

Taban izolasyonu genel olarak yapıyı ve içindekileri depremin hasar etkisinden koruma amacına yöneliktir. Prensip olarak üst yapı ve temel, tabana yerleştirilen kayıcı ve esnek sistemlerle ayrılmasıdır. Deprem hareketi taşıyıcı sisteme olduğu kadarıyla içindekilere de zarar verebilmektedir. Katlararası rölatif yerdeğiştirme, sınır değerini aşıyorsa taşıyıcı olmayan sistemde de hasar meydana gelebilir. Yapının içinde bulunan eşyalar aşırı yer değiştirme sonucu devrilerek ölümlere sebep olabilir veya hasar görebilirler. Buda konfor açısından istenmeyen bir durumdur. Yüksek kat ivmeleri de makinelere ve araç gerece zarar verebilir. Katlararası rölatif yerdeğiştirme perde duvar kullanımıyla azaltılabilir. Fakat bu binanın rijitliğini artıracak ve bunun bir sonucu olarak da kat kuvvetleri artacaktır. Kat kuvvetleri daha esnek sistemler kullanılarak azaltılabilir. Fakat bu katlararası rölatif yerdeğiştirmeyi artıracaktır. Buradan da anlaşılacağı gibi ankastre mesnetli yapılarda hem katlararası rölatif yerdeğiştirmeyi azaltmak hem de kat kuvvetlerini düşürmek aynı anda mümkün değildir. Taban izolasyonlu yapıların dinamik hareketi, kat kuvvetlerinin ve yerdeğiştirmenin istenilen sınırlar içinde kalmasına olanak sağlar.

Taban izolasyonlu yapı tasarımında, sistemin ana frekansının yani birinci frekansın, ankastre mesnetli yapı ana frekansından ve zeminin hakim frekansından küçük olması istenmektedir. İzolasyonlu yapıda birinci mod süresince yalnızca izolasyon sisteminde yerdeğiştirme olur, üst yapı hemen hemen rijit davranış göstermektedir. Daha yüksek modlar, yapıda birinci moda ve zemine göre orthogonal deformasyon üretir. Yüksek mod süresince katılım faktörünün değeri düşüktür. Böylece yüksek mod frekanslarında zemin hareketinden dolayı oluşan yüksek enerji yapıya geçmez. İzolasyon sisteminin etkileri sönümden bağımsızken bazı sönüm sistemleri uzun periyotlu hareketlerde rezonansın oluşmaması için kullanılır.

İzolasyon sistemleri bu özelliğinden dolayı hassas aletler içeren veya stratejik değeri olan yapılarda kullanılmaktadır.

Taban izolasyon sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir :

a. Kauçuk Esaslı Sistemler

- * Tabakalı Kauçuk Mesnetler (LDRB-HDRB)
- * Kurşun Saplamaalı Kauçuk Mesnet (LRB)

b. Kayıcı Sistemler

- * Sürtünmeli-Pandül Sistemler (FPS)
- * Esnek - Sürtünmeli Taban İzolasyonu (RFBI)
- * Electricite - de France Sistemleri
- * EERC Bileşik Sistemleri

c. Helezoni Yaylardan Oluşan Ayırıcı Sistemler

- * GERB Helezoni Yay Sistemleri

1.2. TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Taban izolasyon sisteminde kullanılan izolatör tipleri, şekilleri, büyüklükleri ve yapıldıkları malzeme bakımından farklılık teşkil ederler. İzolatörlerin büyük çoğunluğu elastomer malzemeden yani doğal yada sentetik kauçuktan üretilmektedir.

Elastomer malzeme kalıba kolayca dökülebildiği için istenilen şeklin verilebilmesi bakımından avantajlıdır. Ayrıca metalle aderansı güçlüdür. Böylece izolatörün makine yada temele montajında kolaylık sağlar. İzolatörler uygulamada kesme yada basınç altındaysa dolu silindir yada blok biçimi alabilirler. Uygulamada kesme kuvveti altındaki izolatörlere içi boş silindirik biçim vermekte mümkündür. İzolatör statik ağırlığı taşıyabilmeli ve statik rijitliği, statik yer değiştirmeyi sınırlandırabilecek düzeyde olmalıdır. Dinamik rijitlik, rijit kütle ve izolasyon sisteminin rezonans frekansının aşağısında bir değer olmalıdır. İzolatör sönümü, rijit kütle rezonansında aşırı yer değiştirmeyi engelleyecek ve yüksek frekansta dalga etkilerinden koruyacak düzeyde seçilmelidir.

İzolatör, düşey doğrultuda çok rijit ve yatay doğrultuda çok esnektir. Deprem hareketinin düşey bileşenine karşı koruyuculuğu yoktur ve düşey bileşeni yapıya nakleder. Taban izolasyonlu yapılarda, yanal yükler rijit mesnetli yapılardan daha küçük olduğu için devrilme momentleri de küçüktür. Taban izolasyonu, yapının periyodunu artırır. Bu bakımdan kısa periyodlu yapılarda kullanımı daha uygundur.

Sönüm gibi kauçuk malzeme özellikleri frekans ve sıcaklığa bağlıdır. Bu sebeple izolatör uygulama koşulları altında test edilmeli ve en optimum sönüm ve rijitlik seçilmelidir. Bu ve diğer özellikler zamanla değişebilir ve izolatör kullanıldığı çevrenin etkileriyle yaşlanabilir. Bu nedenle izolatör kullanımında uzun süreli basıncın yüksek ve düşük sıcaklıktaki etkileri düşünülmeli ayrıca güneş, ozon hidrolik yağların etkileri de gözönünde bulundurulmalıdır.

İzolatörün yalnızca yatay yönde gerekli rijitliğe sahip olması yeterli değildir aynı zamanda buna düşey yönde de istenilen rijitlik sağlanmalıdır. İzolatörler statik basınç yükü etkisi altındayken tüm sistemin yanal statik stabilitesinin de sağlanması istenmektedir. Eğer düşey yöndeki rijitlik çok düşükse, diğer elastik zorlamalar statik stabilizeyi arttırmak amacıyla eklenebilir.

En çok kullanılan elastomer esaslı taban izolasyon sistemleri, tabakalı kauçuk içerenlerdir. Basınç etkisi altındaki izolatöre gerekli olan rijitlik, kauçuk tabakalarla sağlanır. Tabakalaşma, izolatörün basınç etkisine dayanımını artırır. Kauçuk tabakalar, basıncın etkimesi durumunda diğer yönlerde genişlemeye olanak sağlar. Metal plakalar, tabakalı kauçuk mesnetlerde genellikle birbirini izleyen tabakaların arasına, yükün diğer yüzeyler üzerinde üniform olarak yayılmasını sağlamak amacıyla konur.

Tabakalı kauçuk izolatörlerin düşey rijitliğinin belirlenmesinde, izolatör şeklinin önemi vardır. Şeklin etkisi genellikle ‘Şekil Faktöründe’ alınmaktadır. Şekil faktörü, izolatörde yükün etkilediği alanın, serbest genişleme alanına oranı şeklinde tanımlanabilir. İzolatörün yatay rijitliğinde, izolatör şeklinin önemi yoktur.

Şişe mantarı, keçe yada kauçuk köpük, fiber glas içeren malzemelerde taban izolasyonunda kullanılabilir. Fakat bu malzemelerin mekanik özellikleri, elastomer malzemeler gibi iyi bilinmezler bunların izolasyon performansları tahminidir.

Helezoni yaylardan oluşan taban izolasyon sistemleri, kuvvet santrallerindeki büyük aletlerin titreşimini önlemek için kullanılır.

Bu tip sistemlerde, yaylar düşey harekette yatay harekete göre çok fazla rijit değillerdir. Buna karşılık kabakalı kauçuk mesnetlerin düşey rijitliği, yatay rijitliğin birkaç yüz katı olabilmektedir. Helezoni yaylardan oluşan sistem, üzerindeki binayı yer hareketinin düşey bileşeninden de bir dereceye kadar ayırır. Fakat bunun, standart binalarda kullanışlı olmadığı belirtilmektedir.

1.3 KAÜÇUK ESASLI SİSTEMLER

Tabakalı kauçuk sistemler, taban izolasyonunda en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu sistem tabakalar halinde kullanılmakta olan çelik ve kauçuk plakalardan oluşur. Sönümün ve rijitliğin paralel etkileri bu sistemlerin en önemli özelliğidir. Sistemin iki karakteristik özelliği doğal frekansı ve sönümüdür.

Kauçuk, depreme karşı koruma amaçlı olarak ilk kez 1969 yılında Yugoslavya’ da , Üsküp kentinde bir ilkokulda kullanılmıştır.

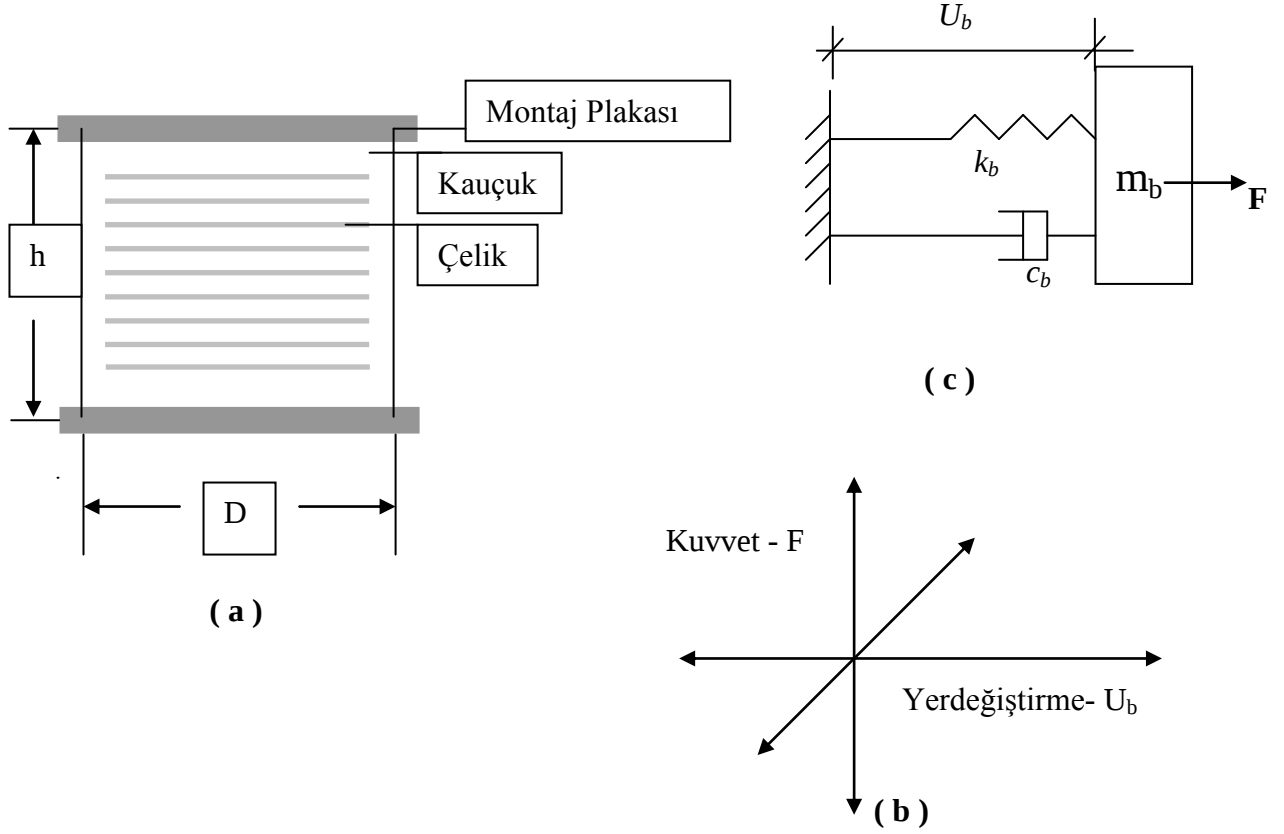
1.3.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler (LDRB)

Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk mesnetler, Şekil1.1’ de görüldüğü gibi kauçuk ve çelik plakalardan oluşmaktadır. Çelik plaka düşey yükler altında kauçuğun yanal deformasyonuna engel olur ve yükün üniform olarak dağılmasını sağlar. Bunun bir sonucu olarak da düşey rijitlik yatay rijitlikten daha büyüktür. Yanal rijitlik kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik, tabaka kalınlığı sabit tutularak kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesiyle sağlanır. Yüksekliğin artması mekanizmada burkulmaya sebep olduğundan yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmıştır. Kauçuk plastik şekil değişikliği oluşturmada %300 şekil değiştirebilmektedir. Yatak çapının 1m’den fazla ve taşıma kapasitesinin 500 ton civarlarında alınması uygundur.

Düşük sönümlü kauçuk sistemlerde yerdeğiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak lineer değişmektedir. Aşağıda Şekil 1.1c’da şematik modeli ve Şekil 1.1b’de de lineer kuvvet- yerdeğiştirme davranışı gösterilmiştir.

Düşük sönümlü kauçuk mesnetler yerine genellikle yüksek sönümlü kauçuk mesnet yada kurşun saplamalı kauçuk mesnet tercih edilmektedir. Düşük sönümlü kauçuk mesnet yerine kullanılan bu mesnet tiplerinde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi lineer davranış göstermez. Bu mesnetlerle ilgili açıklamalar diğer bölümlerde ayrıntılı

olarak verilmiştir. Bu tez çalışmasında düşük sönümlü kauçuk mesnetle ilgili analitik uygulama yapılmamıştır. Analitik uygulamalarda kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi bilineer olan elemanlar seçilmiştir.



ŞEKİL 1.1: Tipik düşük sönümlü tabakalı kauçuk mesnet.

(a) Kesiti , (b) Kuvvet - yerdeğiştirme davranışı, (c) Şematik Model

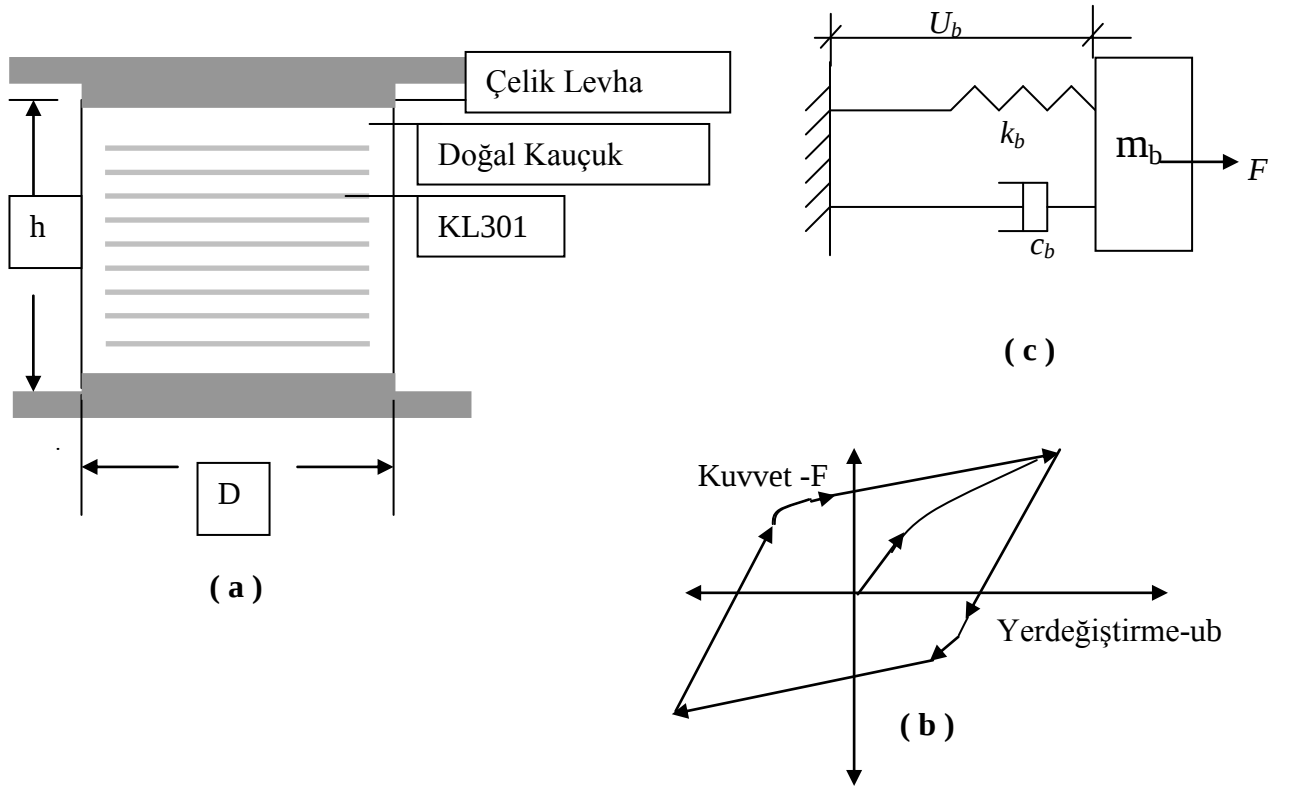
1.3.2 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (HDNR)

Bu sistemlerde, mesnetler doğal kauçuktan yapılmıştır. Yüksek sönümlü elastik KL301 malzeme karışımıyla Japonya'da üretilmektedir. Bu malzemenin çok küçük şekil değiştirmelerde kesme modülü 4300 kPa, %50 şekil değiştirmede 650 kPa'dır. Mesnetler, 2 mm kalınlığında 20 adet kauçuk ve alta üstte 2 mm kalınlığında çelik levhadan oluşmaktadır. Ayrıca montajda kolaylık sağlamak amacıyla yanlarında kulakçıklar oluşturulmuştur.

Bu tez çalışmasının, uygulamalarında kullanılan Scougal yüksek sönümlü kauçuk mesnet, 1982 yılında Malaysian Rubber Producer Research Association kurumu tarafından geliştirilmiştir. Düşük rijitliklerde düşük seviyelerde sönüm ve 0.34 Mpa

kayma modülü, yüksek rijitliklerde yüksek sönüm ve 1.40 Mpa kayma modülüne sahip kauçuk %100 kayma şekil değiştirmesinde kritik sönümün %10-20'si değerine kadar yükselen sönüm oluşturur. Bununla ilgili ayrıntılar uygulamalar sırasında verilecektir.

KL301 yüksek sönümlü madde ile oluşturulmuş yüksek sönümlü kauçuk mesnetin elemanları Şekil 1.2a' da ve lineer olmayan kuvvet – yerdeğiştirme davranışı Şekil 1.2b' de ve şematik modeli de Şekil 1.2c ' de verilmiştir.



ŞEKİL 1.2 : Tipik yüksek sönümlü doğal kauçuk

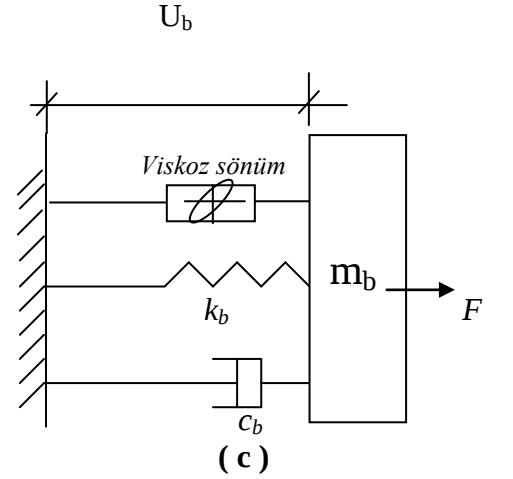
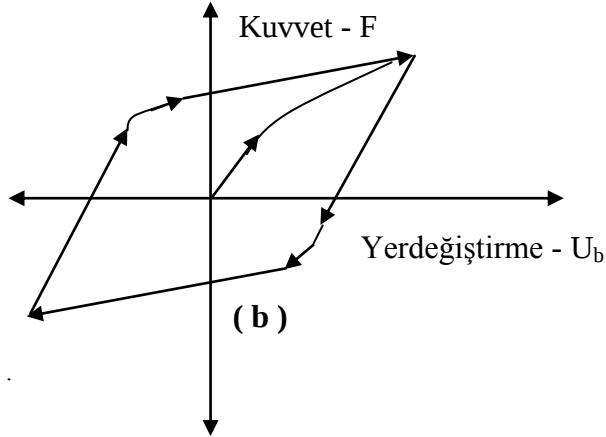
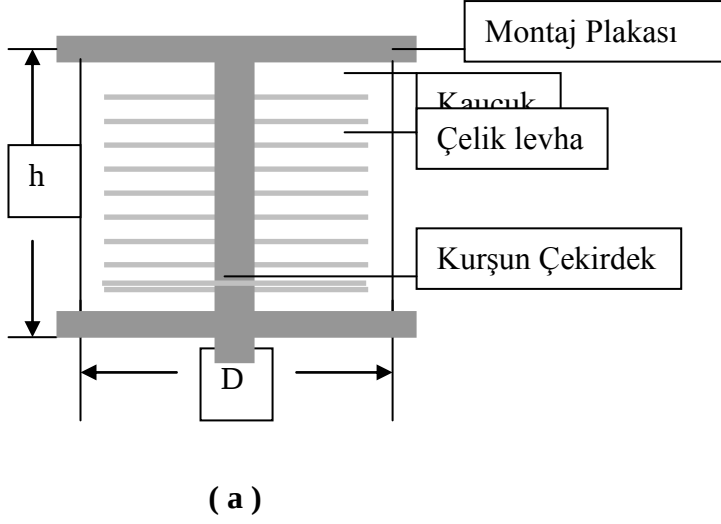
(a) Kesiti, (b) Kuvvet-yerdeğiştirme davranışı, (c) Şematik model

1.3.3 Kurşun Saplmalı Doğal Kauçuk Mesnetler (LRB)

Kurşun saplamalı kauçuk mesnetler, tabakalı kauçuk sisteminin benzeridir. Fakat burada ek rijitlik sağlamak amacıyla kurşun saplamalı çekirdek kullanılmıştır.

Şekil 1.3' de tipik kurşun saplamalı kauçuk mesnet gösterilmiştir. Kurşun saplamanın boyutları başlangıç rijitliğine, yükün büyüklüğüne göre sistemin ihtiyaç duyduğu şekilde belirlenir. Kurşun çekirdek enerji absorbe edebilme özelliğiyle

izolatörün yatay yerdeğiştirmesini azaltmaktadır. Bu sistem prensip olarak histetik söndürücü aletler gibi davranmaktadır. Bu da kuvvet yerdeğiştirme davranışının lineer olmamasına neden olur. Aşağıda Şekil 1.3a' da şematik diyagramı ve Şekil 1.3c' de kuvvet – yerdeğiştirme davranış verilmekmiştir.



ŞEKİL 1.3 : Kurşun saplamalı kauçuk mesnet

(a) Kesiti, (b) Kuvvet-yerdeğiştirme davranış, (c) Şematik modeli

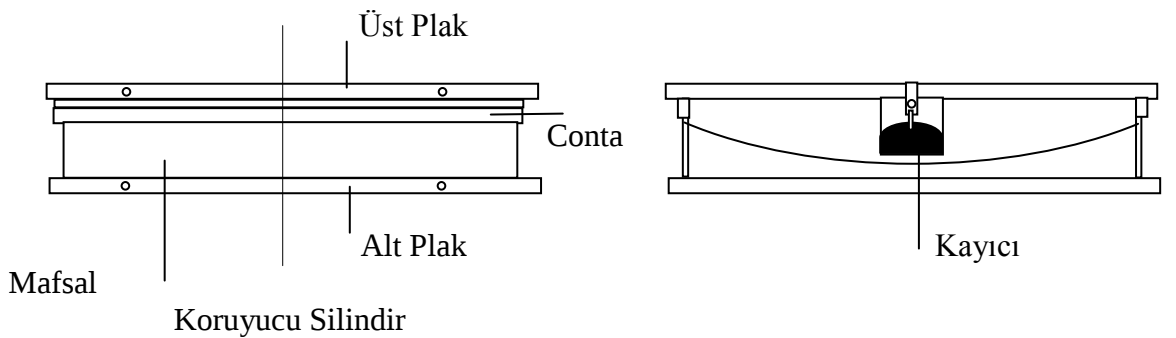
1.4 KAYICI SİSTEMLER

Bu sistemlerin çalışma şekli izolasyon ara yüzünde kesme kuvveti geçişinin sınırlandırılması şeklinde özetlenebilir. Esnek sürtünmeli taban izolasyonunda, sürtünmeli pandül sistemler gibi kayıcı sistemler geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Kayıcı ara yüzünde kum bulunan özel sistemlerin kullanıldığı kayıcı sistemli en az üç izolasyonlu yapı Çin’de kullanılmıştır.

1.4.1 Sürtünmeli Pandül Sistemler (FPS)

Sürtünmeli pandül sistemler çelik mesnetlerdir. Düşük sürtünmeli, büyük yüklem kapasiteli paslanmaz çelik mafsallı, içbükey yatak üzerinde kayıcılığı sağlamaktadır. Şekil 1.4’ de sürtünmeli pandül sistemin kesiti ve elemanları gösterilmiştir. Sürtünme ve pandül hareketi sistemin çalışmasını sağlayan iki mekanizmadır. Sürtünmeli pandül sistemler, istenilen sismik izolasyon sonuçlarını elde etmede ağırlık ve geometrisinden yararlanmaktadır. Şekil 1.5 ve 1.6’ da sürtünmeli pandül sistemlerinin hareket mekanizmaları gösterilmiştir.

Deprem hareketi sırasında mafsallı, kayıcı içbükey yüzey üzerinde kayarak kütlenin yükselmesine neden olacaktır. Üst yapının yavaşça yükselmesi kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürür. Dinamik hareket ortadan kalktıktan sonra pandül, ilk sabit denge durumuna ulaşmaya kadar hareketini yeniler. İzolatör, üst yapı kütlesinden dolayı deprem hareketinden oluşacak enerjiyi gerekli oranda yutar.



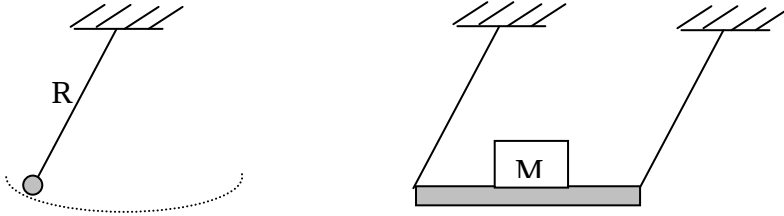
ŞEKİL 1.4 : Sürtünmeli pandül sistemin kesiti ve elemanları

Mesnetin kinematiği ve uygulaması içbükey yüzeyin üstte yada altta olmasından etkilenmez. İzolatör periyodu, içbükey yüzeyin çapına bağlı olarak kontrol edilir ve

mesnetlenen yapının kütesinden bağımsızdır. İstenilen periyod değeri, çap değiştirilerek elde edilir. Kayıcı mafsal çapı, yükleme durumuna göre boyutlandırılır. Depremde oluşacak maksimum yerdeğiştirmesiye bağlı olarak, bağlantı halkasının çapı boyutlandırılır.

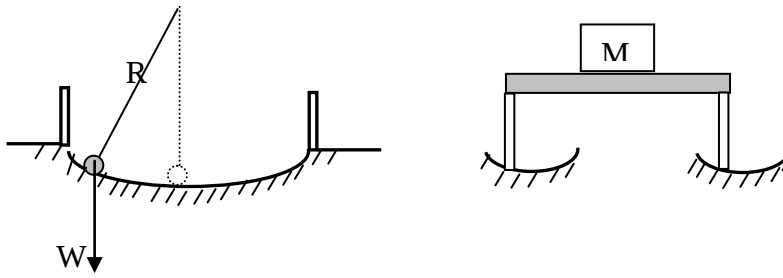
Sürtünmeli pandül sistemin önemli ikinci mekanizması, sürtünmeyle deprem enerjisinin yutumudur.

Deprem hareketi sırasında, yanal rijitlik ve herbir yatakta oluşan sürtünme kuvveti, yatak üzerine mesnetlenen ağırlıkla direkt olarak ilgilidir. Bu nedenle yapı ağırlık merkeziyle, yatakların rijitlik merkezi çakışmalıdır. Bu mesnetlenen yapının burulma hareketini ortadan kaldırır.



ŞEKİL 1.5 : Pandül Hareketi

$$\text{Periyot : } T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}, \quad \text{Rijitlik : } K = \frac{W}{R}$$



ŞEKİL 1.6 : Sürtünmeli Pandül Hareketi

Bu çalışmada, sürtünmeli pandül sistem olarak EPS sistemi seçilmiştir.

EPS sürtünmeli pandül mesnetinin fiziksel özellikleri ve elemanları Ek A' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

1.4.2 Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyonu (RFBI)

esnek sürtünmeli taban izolasyonu, son yıllarda Mostaghel ve Khodavardian tarafından önerilmiştir. Bu taban izolatörleri, birbirleriyle sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi bir kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnet yerdeğiştirmesi ve hızı mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Kauçuktaki kesme gerilmesini sınırlandırmak ve daha büyük yerdeğiştirme yeteneği kazandırmak amacıyla elik levhalı tabakalı kauçuk mesnetlere, sürtünmeli plaka eklenerek esnek-sürtünmeli taban izolasyon sistemleri düzenlenmiştir.

Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi, merkezi ve çevresel kauçuk çekirdekle birlikte birbirleri üzerinde kayabilen yassı halkalardan oluştuğu için kayıcı tipli izolasyon sistemleri grubuna girmektedir ve bir çok deneyle deprem etkisi altında davranışı denenmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

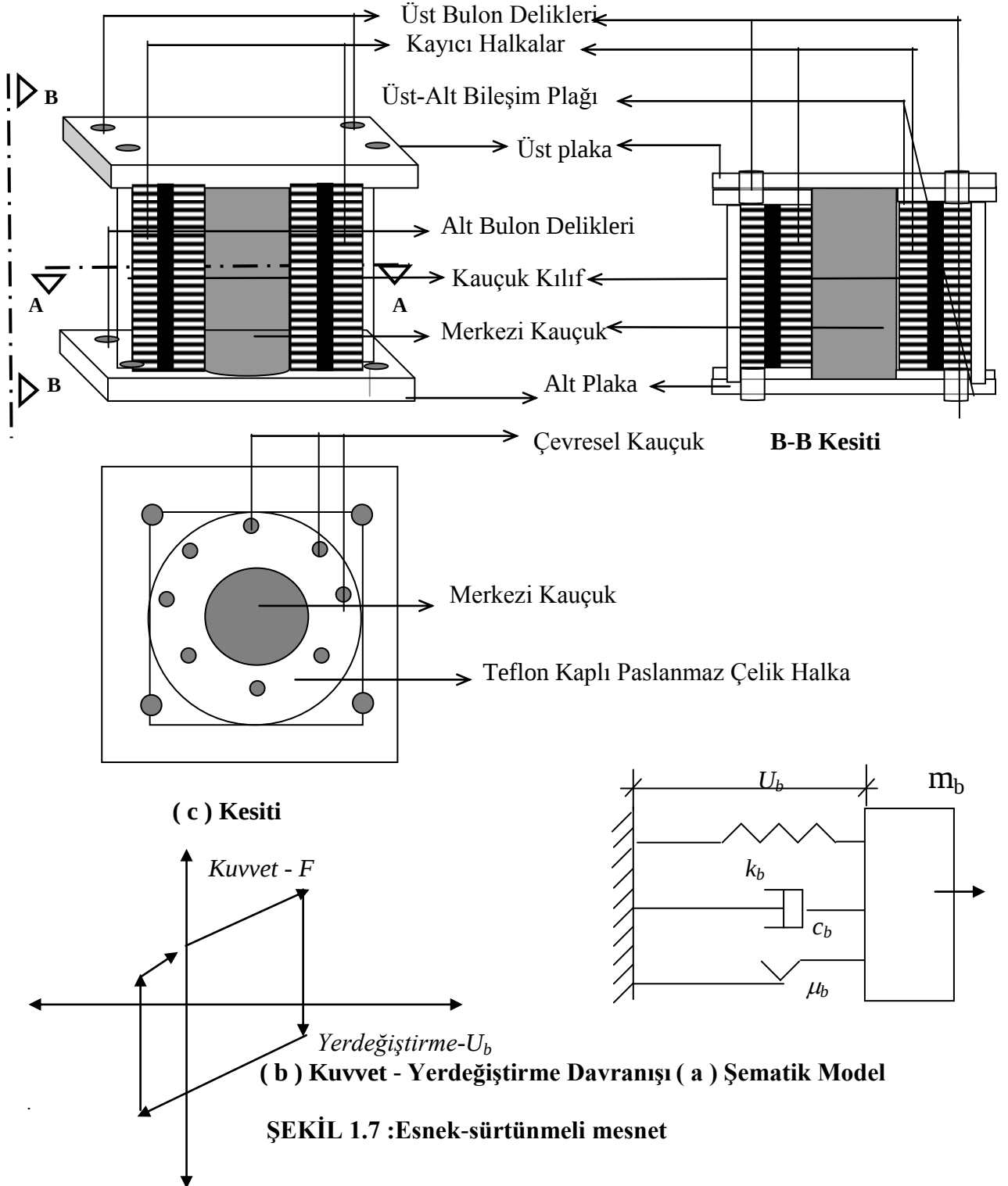
Kauçuk kılıf, mesnedi toz paslanma gibi dış etkilerden korumakla birlikte halkaların aşınmasına engel olur. Kauçuğun sönüm yeteneği azdır bu nedenle enerji dağıtımında sürtünme kullanılmaktadır. Ayrıca mesnet elemanları kauçuk çekirdeğin toplam yanal rijitliği ve sürtünme katsayısına göre karakterize edilmektedir. Yer hareketinin düşey bileşenine karşı etkinliği çok azdır.

Esnek sürtünmeli sistemlerin düzenlenmesindeki en önemli neden kayıcı sistemlerin, sistemin ilk sabit dengeli durumuna geri döndürecek kuvvette sahip olmamasıdır. Kayıcı sisteme esnek çekirdeğin eklenmesiyle bu sağlanmış olur. Ayrıca esnek kayıcı sistemler temel yerdeğiştirmesini kontrol altında tutmaktadır.

Hareket, sürtünme kuvvetini yenene kadar mesnetlerde kayma oluşmaz. Mesnetler kaymaya başladığında kauçuk deforme olur ve sistemi eski denge haline döndürecek elastik kuvvet oluşur. Kauçuk çekirdek, yanal yerdeğiştirmeyi ayırıcının yüksekliğine çaprazlamasına dağıtır ve ağırlık yükü taşımaz. Kayma hızı kullanılan kayıcı levha sayısına göre istenilen düzeyde tutulabilmektedir. Sürtünme kuvveti enerji yutma görevini üstlenmiştir.

Esnek sürtünmeli sistem rijitlik merkezi ve kütle merkezini izolasyon seviyesinde akıştırdığından, simetrik olmayan yapıların düzenlenmesinde de kolaylıkla

kullanılır. Sistemdeki sürtünme, rüzgar gibi düşük genlikli yanal hareketlerden tabanı korumaktadır. Sistemdeki elastik elemanlar sadece yer hareketinden doğan yanal yüklere maruz kalırlar. Ağırlık yükleri genellikle daha rijit olan kayıcı bölümlerce taşınmaktadır. Buda ağırlık yükleri altında sünme ile ilgili problemleri azaltır böylece sistemin yer değiştirme kapasitesini ve stabilitesini de artırır.



1.4.3 Electricite-de-France Sistem

Bu sistem, 1970' lerin başlarında nükleer enerji santrali uygulaması için geliştirilmiştir. Kayıcı yüzeyin sürtünme katsayısı 0,20 olarak öngörülmüştür. Kauçuk tamponun yerdeğiştirme kapasitesi ± 50 cm'dir. Bu değer oldukça düşüktür. Bu değeri aşan yerdeğışmeler oluştuğunda kayıcı elemanlar gerekli hareketi sağlamaktadırlar. Fransız elektrik kurumunun desteğiyle geliştirilmiş olan sistem, neopren tabakalar ile paslanmaz çelikle temas halinde olan kurşun – bronz alaşımı ve kauçuk mesnet üzerine oturtulmuş kayma yüzeyinden oluşur.

1.4.4 EERC Bileşik Sistemi

Kauçuk esaslı ve kayıcı sistemin kombinasyonuyla oluşturulmuş bir sistemdir. Yapının iç kolonları paslanmaz çelikten kayıcı elemanların üzerindeki teflon tarafından taşınır. Dış kolonlar düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler üzerindedir. Kauçuk mesnetler yapının burulma davranışını kontrol ederler. Kayıcı elemanlar ise sönüm yaratır. HDNR elastomer mesnetler “Mackay School of Mines at the University of Nevada” binasının güçlendirilmesinde ve “Country of Los Angeles, the M.L King Jr.” Hastane binasında kullanılmış, kayıcı elemanlar üniversite binasında teflon-paslanmaz kayıcı eleman olarak kullanılmış, hastane binasında da paslanmaz çelik üzerine kurşun –bronz alaşımı plakalar kullanılmıştır.

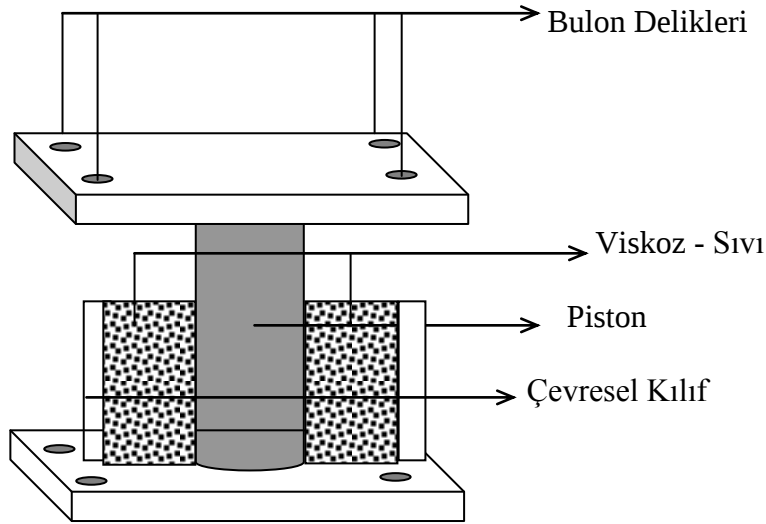
1.5 HELEZONİ YAYLARDAN OLUŞAN AYIRICI SİSTEMLER

Kauçuk esaslı ve kayıcı izolasyon sistemleri, genellikle yatay yönde izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılırlar. Eğer düşey yönde de izolasyon sağlanmak isteniyorsa kullanılması tercih edilen izolasyon sistemleri , helezoni yaylardan oluşan ayırıcı sistemlerdir.

Titreşim izolasyonunda kullanılan tipik çelik yay sistemlerine örnek olarak helezoni yaylar verilebilir. Tüm serbestlik derecelerinde, sistemde yaklaşık olarak 1-5 Hz arasında doğal frekans oluştururlar. Helezoni yay kullanımıyla izole edilmiş bina eğer deprem bölgesinde bulunmuyorsa bu herhangi bir sakınca oluşturmaz bununla birlikte izolasyonlu yapı depremselliği yüksek bir bölgede bulunuyorsa bu önemli bir problem oluşturur. Bu problemin genel çözümü, taban izolasyon sisteminin tüm serbestlik derecelerinde, sönümünün artırılmasıdır.

Diğer bir problemde çekme gerilmesi taşıyamayan çelik yaylarda salınma hareketinin neden olacağı çekme gerilmesidir.

Bu nedenle de hem çekme hemde basınç kuvvetini taşıyabilecek viskosönümlü yaylar üretilmiştir. Bu yaylar standart titreşim problemlerinde deprem rezonans amplifikasyonunu sınırlandırmaktadır

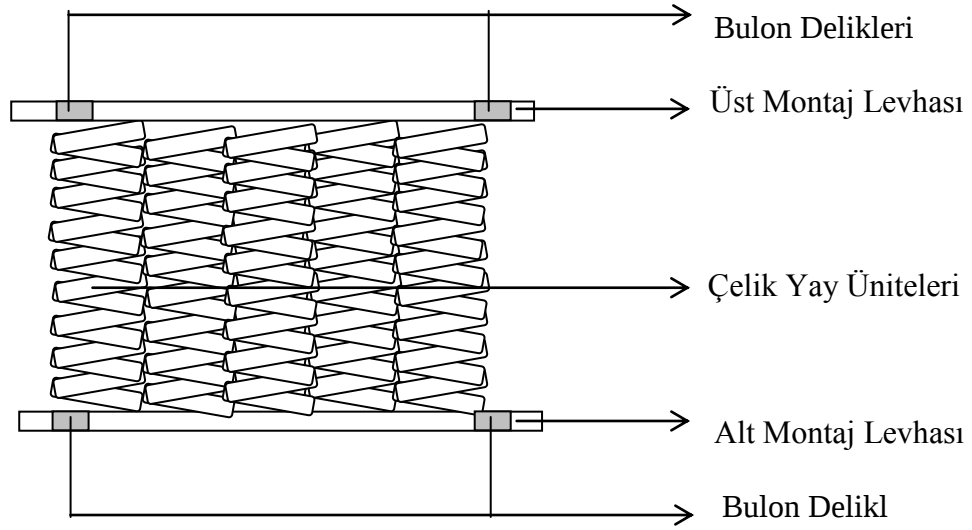


ŞEKİL 1.8 : Viskoz Sönüm

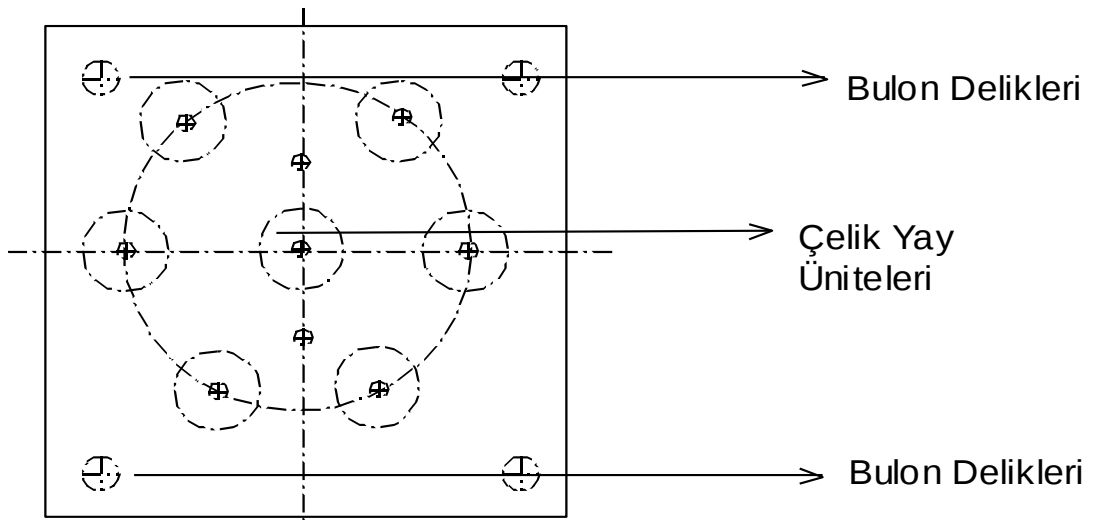
Vizkosönüm, iki ayrı parçadan oluşmaktadır. Yüksek viskoz sıvıyla doldurulmuş yuva temele montajlanır. Sönümün diğer bir parçasıda yayla mesnetlenmiş yapıya civatalanmış pistondur. Piston, viskoz sıvı nedeniyle, kesmeye göre tüm serbestlik derecelerinde hareket edebilmektedir. Bu yolla mekanik enerjiyi, ısı enerjisine dönüştürebilmektedir. Bu matematik modelleme bakımından oldukça karmaşıktır. Yukarıda Şekil 1.8’ de vizkosönümün kesiti verilmiştir.

Viskoz sönümle birlikte sistemde, %20-30 civarlarında düşey doğrultuda kritik sönüm sağlanabilmektedir.

Basınca çalışan çelik yayaların üst ve altlarından çelik plakalara vidalanmasıyla çekmeye karşı çalışması da sağlanmış olur. Şekil 1.9’ da helezoni yay plan ve kesiti verilmiştir.



(a) Kesiti



(b) Planı

ŞEKİL 1.9 : Helezoni Çelik Yay

BÖLÜM 2

İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLİKLERİ

2.1 GİRİŞ

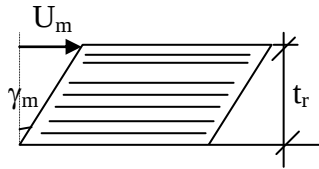
İzolasyon sistemlerinin tasarımında maksimum yerdeğiştirme, kayma şekil değiştirmesi, taban kesmesi, izolatör stabilitesi, oluşabilecek çekme kontrolleri ön tasarımda yapılmaktadır. Ön tasarımdan sonra hazırlanan prototip izolatörün yönetmelik şartları gerçekleştirilir. Böylece, tasarımdaki iterasyon sayısı azaltılmış olur. Ön tasarımın yapılabilmesi içinde izolatörün mekanik karakteristiklerinin bilinmesi gerekmektedir.

2.2 KAÜÇUK MESNETLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Nonlinear analizin güçlüğü, elastomer yataklar için basit lineer yaklaşım teorilerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Buna göre tabakalı kauçuk yatak mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

U_m , maksimum yatay yerdeğiştirme; K_V , düşey rijitlik; t_r , toplam kauçuk kalınlığı; K_H , yatay rijitlik; A , kauçuk kesit alanı; EI , eğilme rijitliği; G , kayma modülü;

γ_m , maksimum kayma şekil değiştirmesi; E_C , düşey yük altında kauçuk basınç elastisite modülü olmak üzere ilgili ifadeler aşağıda verilmiştir.



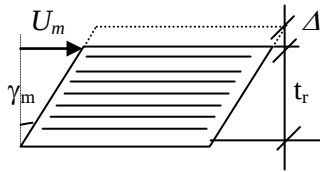
$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad K_V = \frac{E_C A}{t_r} \quad \gamma_m = \frac{U_m}{t_r} \quad (2.1)$$

En önemli tasarım kriterlerinden, izolasyonlu sistem düşey frekansı, düşey rijitlikle kontrol edilmektedir. Düşey frekansın ilk değeri için ölü yük altında önce düşey rijitliğin hesabı gerekmektedir.

Tasarım analizi için gerekli diğer bir özellikte, izolatörün burkulma davranışdır. Bunun belirlenmesi içinde eğilme momentine ihtiyaç vardır buda düşey rijitliğin belirlenmesini gerektirir.

E_C ' in tek kauçuk tabaka için değeri, yüklenmiş alanın, serbest alana oranı olarak belirtilen, S şekil faktörüne bağlı olarak ifadesi çeşitli kaynaklarda verilmiştir. Dolu daire tek kauçuk tabaka için bu değer, $E_C=6*G*S^2$ 'dır. Yönetmeliklerde genellikle şekil faktörü 10'un üzerinde alınmaktadır.

Basınç yüklerinin altında , tabakalı kauçukta kayma şekil değişirmesi oluşmaktadır. Buna göre;



$$\varepsilon_C = \frac{\Delta}{t_r}, \quad \gamma_C = 6S\varepsilon_C, \quad \gamma_{ort} = \sqrt{6S}\varepsilon_C \quad (2.2)$$

Δ düşey yerdeğiştirme, γ_C basınç kuvveti altında oluşan kayma şekildeğiştirme, ε_C basınç şekil değışirmesi yani kısalma, γ_{ort} ortalama kayma şekil değışirmesi,

S izolatörün geometrisine bağlı şekil faktörüdür.

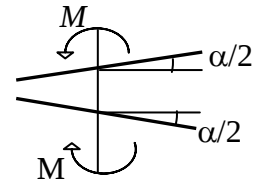
Kauçuk şekil değışirmeye hassas bir malzemedir. Basınç kayma şekil değışirmesi, tabakanın hacmine bağlıdır. Enerji hesabına göre hesaplanan, ortalama kayma şekil değışirmesi yukarıda verilmiştir.

Tabakanın sadece M eğilme momentiyile yüklü olduğu, üst ve alt sınır levhalarında dönme oluştuğu düşünülürse moment ve eğriliğe bağlı ifadeler aşağıda verilmiştir.

M : Eğilme momenti

α : Alt ve üst sınır arasındaki dönme açısı

t : Tek kauçuk tabaka kalınlığı



$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha}{t}, \quad M = \frac{EI}{\rho} \quad M = EI_{eff} \frac{\alpha}{t} \quad (2.3)$$

Eğilme tam anlamıyla, lineer olmadığı için, $(EI)=E_c(0.392I)$ olacak şekilde bir efektif eğilme rijitliği belirlenmiştir.

EI_{eff} : Eğilmenin nonlinearliğini belirten efektif eğilme rijitliği,

γ_b : Eğilmeden dolayı oluşan kayma şekil değiştirmesi,

ε_b : Eğilmeden dolayı oluşan kısalma,

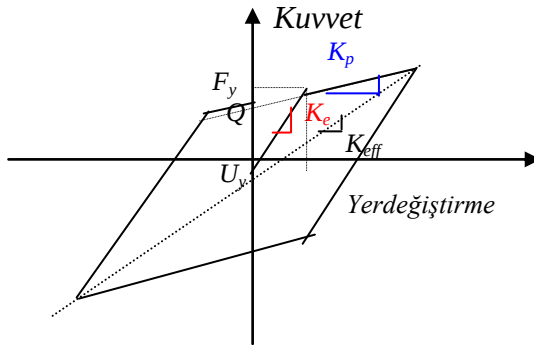
γ_b^{ort} :Eğilmeden dolayı oluşan ortalama kayma şekil değiştirmesi,

R : Kauçuk boyu olmak üzere;

$$\gamma_b^{ort} = \frac{\sqrt{2}}{4} S \varepsilon_b, \quad \varepsilon_b = R \frac{\alpha}{t} \text{ 'dir.} \quad (2.4)$$

2.3 KURŞUN SAPLAMALI TABAKALI KAÜÇUK MESNET MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Kurşun saplamalı tabakalı kauçuk mesnet daima K_e , K_p , Q parametrelerine bağlı, bilineer olarak modellenir. Aşağıda bu parametreler tanımlanmıştır.



ŞEKİL 2.1 : Kurşun saplamalı kauçuk

kuvvet - yerdeğiştirme davranışı

F_y akma kuvveti, U_y akma yerdeğiştirmesi, K_e elastik rijitlik , K_p akmadan sonraki rijitlik, K_{eff} lineerliğe bağlı efektif rijitlik, Q karakteristik gerilme

U yerdeğiştirme, ω doğal Frekans, T periyot, g yerçekimi ivmesi, ξ_{eff} akma sonrası efektif sönüm, W ağırlık olarak verilmiştir.

Q karakteristik gerilme, histetik eğrinin kuvvet eksenini kesme noktasıdır ve kurşunun akma gerilmesi ve alanıyla belirlenir.

Saplama kurşunun efektif gerilmesi, yerdeğiştirme, akma yerdeğiştirmesinden büyük olmamak koşuluyla aşağıda verildiği gibidir.

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{U}, \quad \omega = \sqrt{\frac{K_{eff} g}{W}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.5)$$

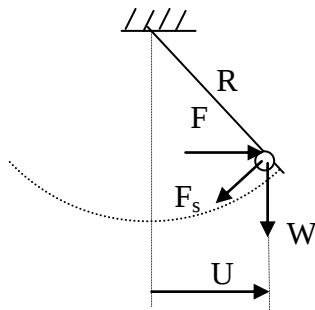
$$U_y = \frac{F_y}{K_e}, \quad F_y = Q + K_p U_y, \quad U_y = \frac{Q}{K_e - K_p} \quad (2.6)$$

Bununla birlikte; kurşun saplamalı kauçuk yatak akma sonrası efektif sönüm oranı, histetik eğri alanının, $2\pi K_{eff} U^2$ ’ e oranı şekilde alınmaktadır. Genel olarak $K_e = 10K_p$ olmasından dolayı akma sonrası efektif sönüm oranı aşağıda verildiği şekli alır.

$$\xi_{eff} = \frac{4Q(U - Q/9K_p)}{2\pi(K_p U + Q)U} \quad (2.7)$$

2.4 SÜRTÜNMELİ SARKAÇ SİSTEMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Eğer sürtünmeli sarkaç sistem, W ağırlık düşey yükü altında ve U yerdeğiştirmesine maruz ise oluşacak tepki kuvveti F aşağıda verildiği gibidir.



F : Sarkaç sisteminde hareket tepki kuvveti,
U : Yerdeğiştirme,
 F_s : Sürtünme kuvveti,
 μ : Sürtünme katsayısı,
W : İzolasyon sisteminin üzerindeki ağırlık,
 $U\dot{}$: Yerdeğiştirmenin zamana göre türevi,
R : İçbükey yüzey eğrilik yarıçapı,
 K_H : Yatay rijitlik,
 ξ_{eff} : Efektif sönüm oranı,
T : Periyot,
 δ_v : Düşey yerdeğiştirme’ dir.

$$F : \frac{W}{R} U + \mu W \sin g(U\dot{}) \quad (2.8)$$

Pandül hareket yardımıyla, izolasyon sisteminin karakteristikleri aşağıda verildiği gibi belirlenmiştir.

$$K_H = \frac{W}{R}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}, \quad K_{eff} = \frac{W}{R} + \mu\frac{W}{U}, \quad \xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{U}{R} + \mu} \quad (2.9)$$

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{U}{R} \right) \right] \quad (2.10)$$

Sürtünmeli pandül sistemlerde, diğer önemli bir hususta, yerdeğiştirme yarıçaptan daha düşük olduğunda geri dönüş kuvveti, sürtünme kuvvetinden daha küçük olacaktır. Bu da sistemin tekrar merkez konumuna dönüşüne engel olur. Bu durum, $U/R \leq \mu$ ifadesiyle özetlenmiştir ve uzun periyotlarda ortaya çıkar.

Sürtünmeli pandül sistemlerin tasarımı, periyoduna ve periyotta yarıçapa bağlıdır. Periyot izolatör ağırlığından bağımsızdır.

BÖLÜM 3

İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MATEMATİK MODELLEMESİ

3.1 KAÜÇUK MESNETLERİN MATEMATİK MODELLEMESİ

Düşük sönümlü tabakalı kauçuk yatak daha önceki bölümlerde verilen yerdeğiştirme ve kuvvet grafiğinden anlaşılacağı gibi lineer elastik olarak çözümlenebilmektedir.

Bununla birlikte histetik davranış üreten kurşun saplamalı kauçuk yatağın iki eksenli matematik modelinde F_x ve F_y kuvvetleri aşağıda verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} F_x &= \alpha \frac{F_y}{U_y} U_x + (1 - \alpha) F_y Z_x \\ F_y &= \alpha \frac{F_y}{U_y} U_y + (1 - \alpha) F_y Z_y \end{aligned} \quad (3.1)$$

F_x :Kauçuk mesnedin hareketi halinde x yönünde oluşacak kuvvet,

F_y : Kauçuk mesnedin hareketi halinde y yönünde oluşacak kuvvet,

α : Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı,

Z_x : Histetik kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük,

Z_y : Histetik kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük,

U_y : Akma yerdeğiştirmesi,

θ : x eksenine göre kaymanın yönünü ifade eder.

x ve y doğrultusunda, düzlem hareketine sahip mesnette meydana gelen yatay kuvvetler, iki eksenli etkileşimi ifade eder. x ve y doğrultusunda kuvvetlerle birlikte burulma momentide oluşur fakat burulma momentlerinin toplam burulma momentine etkisi ihmal edilir.

İki yönde bileşeni olan hareketin doğrultusu aşağıda verilmiştir. Buda x eksenine göre kaymanın yönünü ifade etmektedir.

$$\theta = \arctan\left(\frac{\dot{U}_Y}{\dot{U}_X}\right) \quad (3.2)$$

Histetik kuvvetlerin hareketleriyle ilgili boyutsuz büyüklükler, Z_x ve Z_y Park, Wen ve Ang tarafından verilen diferansiyel denklemden belirlenir. İki eksenli izolatör modeli aşağıda verilmiştir.

$$\begin{Bmatrix} \ddot{Z}_X \\ \ddot{Z}_Y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A\dot{U}_X \\ A\dot{U}_Y \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2(\gamma \text{sign}(\dot{U}_X Z_x) + \beta) & Z_x Z_y(\gamma \text{sign}(\dot{U}_Y Z_y) + \beta) \\ Z_x Z_y(\gamma \text{sign}(\dot{U}_Y Z_y) + \beta) & Z_y^2(\gamma \text{sign}(\dot{U}_Y Z_y) + \beta) \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

A, γ, β : Histerik döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitlerdir.

$\dot{U}_X, \dot{U}_Y$: Yerdeğiştirmenin zamana göre türevi, x ve y doğrultusundaki hızdır.

$A=1$ ve $\gamma=0.9$, $\beta=0.1$ olarak tavsiye edilmiştir. Akma başladığında;

$\frac{A}{B+\gamma} = 1$ ise $Z_x = \cos \theta$ ve $Z_y = \sin \theta$ olur. Buradan anlaşılacağı gibi histetik

eğri dairesel ve sürekli. İki eksenli izolatör matematik modelinde diagonal dışı elemanlar yerine sıfır yazılırsa tek eksenli izolatör modeli elde edilmiş olur.

3.2 KAYICI MESNETLERİN MATEMATİK MODELLEMESİ

x ve y yönünde kayabilen mesnetler için engelleyici kuvvet aşağıda verildiği gibidir.

F_x : Kayıcı mesnedin hareketi halinde x yönünde oluşacak kuvvet,

F_y : Kayıcı mesnedin hareketi halinde y yönünde oluşacak kuvvet,

μ_s : Mesnet basıncına ve θ kayma açısına bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı,

Z_x : Histetik kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük,

Z_y : Histetik kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük,

U_Y : Y doğrultusundaki yerdeğiştirme,

U_X : X doğrultusundaki yerdeğiştirme,

N : İzolatör üzerindeki düşey yük,

R : Kayıcı yüzey yarıçapı,

$\ddot{v}_g$: Düşey doğrultudaki deprem ivmesi,

P_S : Deprem kuvvetidir.

$$\begin{aligned} F_X &= \frac{N}{R} U_X + \mu_S N Z_X \\ F_Y &= \frac{N}{R} U_Y + \mu_S * N Z_Y \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$N = W \left(1 + \frac{\ddot{v}_g}{g} + \frac{P_S}{W} \right) \quad (3.6)$$

$$\mu_S = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min}) e^{(a/\ddot{v}_g)}$$

$f_{\max}$, sürtünme katsayısının maksimum değerini, $f_{\min}$ ise sürtünme katsayısının minimum değerini göstermektedir. a sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasındaki geçişi kontrol eden bir katsayıdır.

$$\text{Kayma hızı } \dot{U} = \sqrt{\dot{U}_X^2 + \dot{U}_Y^2} \text{ , dir.} \quad (3.7)$$

3.3 SAP2000 BİLGİSAYAR PROGRAMINDA İZOLATÖR ELEMANLARININ NONLİNEER NLLİNK ELEMAN OLARAK MATEMATİK MODELLEMESİ

Computers and Structures, inc. Firmasının geliştirmiş olduğu, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapıların üç boyutlu statik ve dinamik tasarım ve analizlerini yapabilen SAP2000 bilgisayar programı, nonlinear versiyonunda, nonlinear elemanları Damper, Gap, Hook, Plastic1, Isolator1, Isolator2 olarak tanımlama olanağı sağlamıştır. Buda taban izolasyonu tasarımında büyük kolaylık sağlar. Taban izolasyonu alanında kullanılan diğer programlarda, N-PAD (Base İsolation Consultants, San Francisco, CA) , ETABS (Computers and Structures, İnc.) nonlinear eleman tanımlaması zaman alıcı kotların tanımlamasını gerektirmektedir.

Burada, kauçuk ve kayıcı mesnet matematik modellemesinden sonra, çalışmamızın analitik uygulamalarında SAP 2000 bilgisayar programı kullanıldığından, matematik modellemesinin nasıl yapıldığına değinilecektir.

Nllink elemanı için altı serbestlik derecesi tanımlanabilir. Bunlar, eksenel, kesme burulma ve eğilme deformasyonlarıdır. Yani eleman birbirinden ayrılmış altı yayın birleşmesi olarak tanımlanabilir. Herbir yay da, tüm lineer analizlerde kullanılan lineer efektif rijitlik ve efektif sönüm, nonlinear zaman tanım alanı analizinde kullanılan lineer olmayan kuvvet-deformasyon ilişkisi belirlenerek tanımlanabilir.

Nllink elemanı nonlinear zaman tanım alanı analizi dışında diğer tüm analizlerde, lineer davranışı düşünülerek çözümlenir. Eğer serbestlik derecelerinde lineer olmayan özellikler belirtilmemişse lineer rijitlik nonlinear analizde kullanılır. Efektif sönüm özelliği de sadece zaman tanım alanı lineer analizinde ve davranış spektrumu çözümlemesinde kullanılır.

Yayların lineer olmayan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, modellemenin davranışına bağlı olarak ayrık yada bileşiktir. Nonlinear davranış tipleri programda, viskoelastik sönüm, sadece basınçta Gap eleman, sadece çekmede Hook eleman, tek eksenli plastisite, iki eksenli plastisiteli taban izolatörü, sürtünmeli pandül taban izolatörü olarak gruplandırılabilir. Herbir eleman için lokal koordinat sisteminde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisinin belirtilmesi gerekmektedir.

Nllink elemanlar, iki düğüm noktalı ve yere sabitlenmiş olarak tek düğüm noktalıdır. Bu çalışmada tek düğüm noktalı nllink elemanları kullanılacaktır. Nllink eleman tek düğüm noktalı ise, uzunluğu sıfır olarak alınır ve 1 lokal koordinati eksenel koordinattır. Z global eksen olarak alınır pozitif yön yukarıdır. İki eksenli izolatör modelinde uzunluk sonsuz alınırken, 1 lokal eksen i düğüm noktasını, j düğüm noktasına bağlayan koordinat olarak alınmaktadır. Lokal 2 ve 3 eksen 1 lokal eksen ve Z global eksenine göre belirlenir. 1-2 lokal düzlemi, Z global eksenine paralel ve düşey olarak alınırken; 3 lokal eksen x-y düzlemine yatık ve daima yataydır. 2 lokal eksen, eleman global Z eksenine göre düşeyken; global x eksen boyunca yatay olarak alınır.

İki düğüm noktalı izolatörlerde deformasyonlar aşağıda verilmiştir. Yere mesnetlenen tek düğüm noktalı izolatörlerde, i düğüm noktasındaki deformasyonlar sıfırdır.

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

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

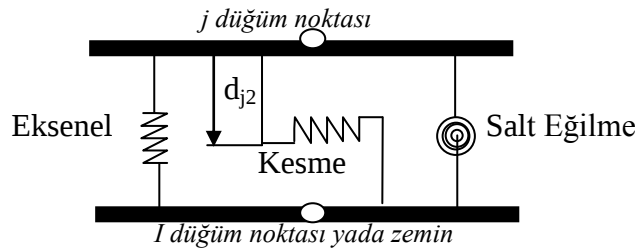
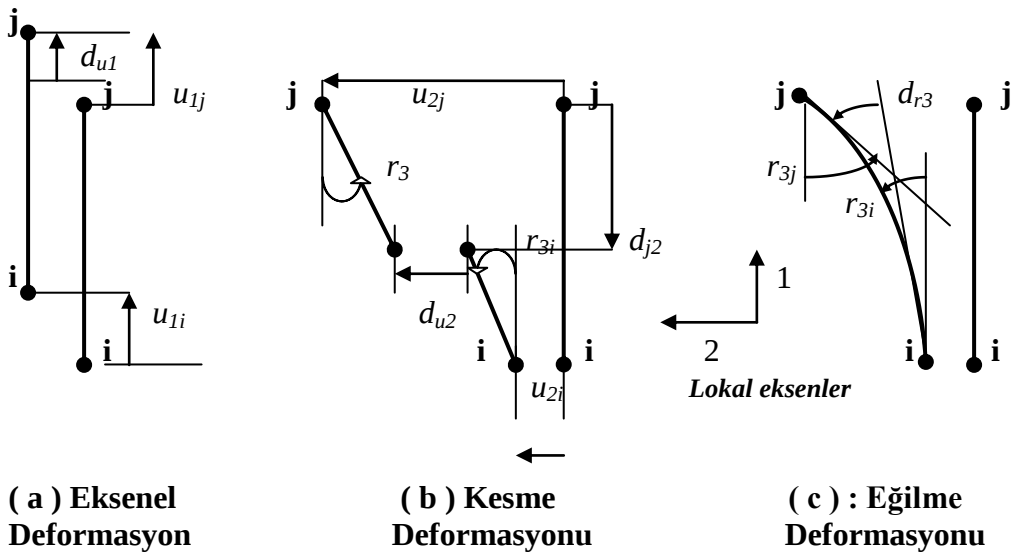
$$1-3 \text{ Düzleminde kayma} \quad : d_{u3} = u_{3j} - u_{3i} - d_{j3}r_{2j} - (L - d_{j3}) r_{2i}$$

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

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

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

u_{1i} , u_{2i} , u_{3i} i düğümündeki yerdeğiştirmelerken, r_{1i} , r_{2i} , r_{3i} i düğümündeki dönmelerdir. u_{1j} , u_{2j} , u_{3j} j düğümündeki yerdeğiştirmelerken, r_{1j} , r_{2j} , r_{3j} j düğümündeki dönmelerdir. d_{j2} , d_{u2} deformasyonunun olduğu yerin j düğümüne uzaklığıdır ve default olarak sıfır alınır. d_{j3} , d_{u3} deformasyonunun olduğu yerin j düğümüne uzaklığıdır ve default olarak sıfır alınır. L eleman uzunluğudur. Elemanın rijit hareketinde tüm deformasyonlar sıfırdır ve kesme deformasyonu yerdeğiştirmeye ve dönmeye neden olur. Aşağıdaki Şekil 3.1' de tanımlamalar gösterilmiştir. D_{j2} ve d_{j3} farklı değerler alabilir. Fakat genellikle sürtünmeli pandülde olduğu gibi birbirine eşit değerdedir.



ŞEKİL 3.1: Altı serbestlik dereceli yay tipileri olarak modellenen Nlink elemanı.

Bu deformasyonlara karşılık gelen yay kuvvetleri, elemanın davranışını belirler.

Eksenel : d_{u1} için f_{u1}

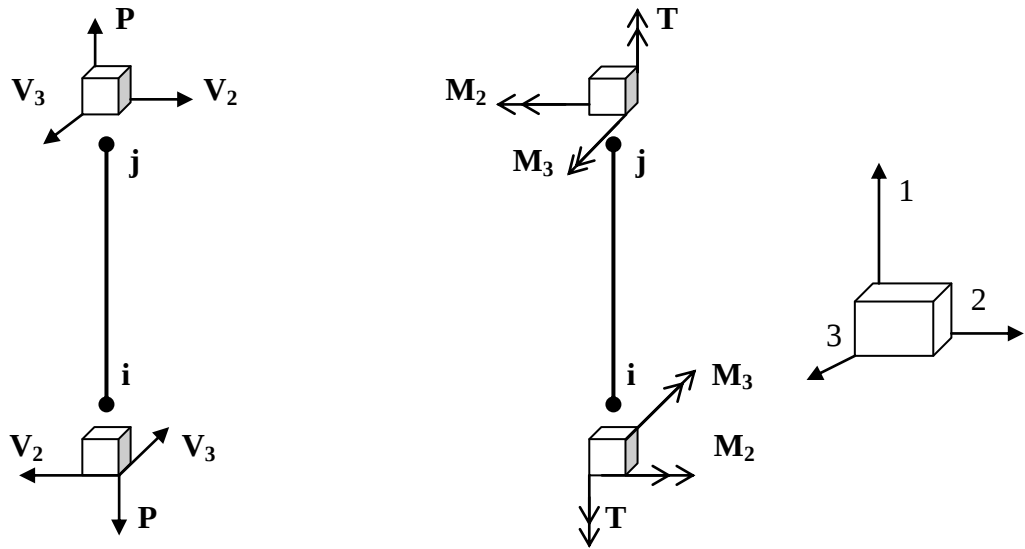
Kayma : d_{u2} için f_{u2} ve d_{u3} için f_{u3}

Burulma : d_{r1} için f_{r1}

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

F_{u1} , f_{u2} , f_{u3} iç yay kuvvetleri; f_{r1} , f_{r2} , f_{r3} ise yay momentleridir. Bu kuvvetler sıfır, lineer yada nonlinear olabilir. Bağımsız yada birbirleriyle etkileşimli olabilirler.

Eleman iç kuvvetleri, P , V_2 , V_3 , ve iç momentleri T , M_2 , M_3 çubuk elemanlardaki gibidir ve Şekil 3.3' de gösterilmiştir.



ŞEKİL 3.2 : Nlink Eleman iç kuvvet ve momentleri

Eksenel : $P = f_{u1}$

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

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

Burulma : $T = f_{r1}$

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

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

Kesme ve sadece eğilme etkileri beraber düşünüldüğünde $M_{2,3} = M_{2,3s} + M_{2,3b}$ olacaktır.

Tüm iç yayların, lineer davranış gösterdiği düşünülürse yay kuvveti ve deformasyon ilişkisi aşağıda matris formunda verildiği gibidir.

$$\begin{bmatrix} f_{u1} \\ f_{u2} \\ f_{u3} \\ f_{r1} \\ f_{r2} \\ f_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{u1} \\ d_{u2} \\ d_{u3} \\ d_{r1} \\ d_{r2} \\ d_{r3} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Yere sabitlenmiş elemanda j noktası için iç kuvvetler ve yerdeğiştirme ifadesinin matris formu aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} P \\ V_2 \\ V_3 \\ T \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & -dj_2 k_{u2} \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & -dj_3 k_{u3} & 0 \\ 0 & -dj_3 k_{u3} & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ -dj_2 k_{u2} & 0 & 0 & 0 & k_{r2} + dj_3^2 k_{u3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r3} + dj_2^2 k_{u2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ r_1 \\ -r_2 \\ r_3 \end{bmatrix}_j \quad (3.9)$$

Benzer şekilde, rijitlik yerine sönüm katsayıları, yerdeğiştirme yerine de hız alınırsa lineer sönüm ilişkisi elde edilmiş olur.

Her bir yayın tüm serbestlik derecelerine ait lineer efektif rijitlik katsayısı, Nlink elemanın toplam elastik rijitliğini ifade eder ve tüm lineer analizlerde kullanılır. Lineer analizlerde eleman plastik özelliklerinin belirtilmesine gerek yoktur. Ayrıca efektif rijitlik nonlinear zaman tanım alanı analizlerinde de lineer serbestlik derecelerinin tamamı için ve titreşim modlarının elde edilmesinde kullanılır.

Nonlinear zaman tanım alanı analizlerinde tüm serbestlik dereceleri için nonlinear kuvvet - yerdeğiştirme ilişkisi kullanıldığı için Nlink elemanın nonlinear özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Nonlinear özellikleri belirtilmemiş serbestlik derecelerinde lineer efektif rijitlik kullanılır.

Isolator 1 Property, iki doğrultuda ortogonal ve etkileşimli kayma deformasyonları için plastik davranış gösteren ve diğer dört deformasyon için lineer efektif rijitlik gösteren, çift eksenli histetik bir izolatördür. Bu tanımdaki histetik kavramı, dış

yüklemeye sonucunda elemanda oluşan iç kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisinin ortaya çıkardığı döngüsel tepki davranışdır. Bu eleman için oluşturulmuş plastik model yukarıda, kauçuk mesnet için verilmiş, Wen Park, ve Ang tarafından öngörülen histetik davranışı esas alınır ve $A=1$ ve $\gamma=0.5$, $\beta=0.5$ ’ e karşı gelir.

Herbir kayma deformasyonu serbestlik derecesi için lineer veya nonlinear davranış tanımlanabilir.

Eğer heriki kayma deformasyonu serbestlik derecesi de nonlinear ise, etkileşimli kuvvet-deformasyon ilişkisi;

$$f_{u2} = \text{ratio2 } k_2 d_{u2} + (1 - \text{ratio2}) \text{ yield2 } z_2 \quad (3.10a)$$

$$f_{u3} = \text{ratio3 } k_3 d_{u3} + (1 - \text{ratio3}) \text{ yield3 } z_3 \quad (3.10b)$$

k_2 , k_3 elastik rijitlik, yield2 , yield3 akma kuvvetleri ve ratio2 , ratio3 akma sonrası rijitliğin akma öncesi elastik rijitliğe oranıdır. Z_2 ve z_3 ise iç histetik değişkenlerdir.

$\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$ aralığında değişkenler değer alır ve $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ zarfı akma yüzeyi olarak adlandırılır. Z_2 ev z_3 ‘ün başlangıç değerleri sıfırdır ve aşağıdaki diferansiyel denkleme göre değer alırlar.

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{k_2}{\text{yield } 2} du_2 \\ \frac{k_3}{\text{yield } 3} du_3 \end{bmatrix}$$

$$a_2 = \begin{cases} 1, & du_2 z_2 > 0 \\ 0, & \text{aksi durum} \end{cases} \quad (3.11)$$

$$a_3 = \begin{cases} 1, & du_3 z_3 > 0 \\ 0, & \text{aksi durum} \end{cases}$$

Aşağıda Şekil 3.3’ de isolator1 Propety elemanın çift eksenli kayma davranışı idelizasyonu verilmiştir

Isolator 2 Property, iki doğrultudaki ortogonal ve etkileşimli kayma deformasyonları için sürtünmeli davranış gösteren, kayma doğrultularında kayıcı yüzeyin sarkaç yarıçapına bağlı olarak kayma sonrası rijitlik oluşturan, eksenel doğrultuda boşluk – sadece basınç elemanı gibi davranan ve moment deformasyonları için lineer efektif rijitlik özellikleri tanımlanan çift eksenli sürtünmeli sarkaç izolatörleridir.

Sürtünmeli model Wen, Park ve Ang tarafından öngörülen histetik davranışı esas alır. Sürtünme kuvvetleri ve sarkaç kuvvetleri, elemandaki eksenel kuvvetle doğrudan orantılıdır. Eleman çekme almaz. Eğer sürtünmeli pandül kullanılarak izole edilmiş bir yapıda devrilme momentleri etkili ise özellikle dar plan boyutuna sahip yapılarda ve bazı kolonlarda çekme kuvveti oluşturuyorsa modellemede isolator2 yanında Hook sadece-çekme elemanında aynı mesnette birlikte kullanılmalıdır.

Eksenel kuvvet P her zaman nonlineerdir.

$$P \equiv f_{u1} = \begin{cases} k_1 d_{u1}, & d_{u1} < 0 \\ 0, & \text{aksi durum} \end{cases} \quad (3.12)$$

k_1 rijitliği elemanda nonliner kayma oluşturması için pozitif olmalıdır. Herbir kayma deformasyonu sebestlik derecesi için lineer yada nonlineer davranış tanımlanabilir.

Heriki yönde kayma deformasyonu nonlineer ise sürtünme ve sarkaç etkileri birlikte düşünülmelidir.

$$\begin{aligned} f_{u2} &= f_{u2f} + f_{u2p} & f_{u2f} &= -P\mu_2 z_2 & \mu_2 &= fast2 - (fast2 - slow2) e^{-rv} \\ f_{u3} &= f_{u3f} + f_{u3p} & f_{u3} &= -P\mu_3 z_3 & \mu_3 &= fast3 - (fast3 - slow3) e^{-rv} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$f_{u2,3f}$ sürtünme kuvvetidir ve sürtünme kuvveti-deformasyon ifadesi verilmiştir. $\mu_{2,3}$ sürtünme katsayıları, $z_{2,3}$ iç histetik değişkenlerdir. Sürtünme katsayılarının hıza bağlı ifadeleri verilmiştir. Slow 2, 3 hızın sıfır olduğu andaki ve fast 2, 3 hızın maksimum olduğu andaki sürtünme katsayılarıdır ve bileşke kayma hızı v ve r , efektif ters hızın ifadesi aşağıda verildiği gibidir.

$$v = \sqrt{du_2^2 + du_3^2} \quad r = \frac{rate2 \, du_2^2 + rate3 \, du_3^2}{v^2} \quad (3.14)$$

Z_2 ve z_3 ise iç histetik değişkenlerdir.

$\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$ aralığında değişkenler değer alır ve $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ zarfı akma yüzeyi olarak adlandırılır. Z_2 ev z_3 'ün başlangıç değerleri sıfırdır ve aşağıdaki diferansiyel denkleme göre değer alırlar.

$$\begin{bmatrix} \ddot{z}_2 \\ \ddot{z}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{k_2}{P\mu_2} d\dot{z}_2 \\ \frac{k_3}{P\mu_3} d\dot{z}_3 \end{bmatrix}$$

$$a_2 = \begin{cases} 1, & d\dot{z}_2 z_2 > 0 \\ 0, & \text{aksi durum} \end{cases} \quad (3.15)$$

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

Bu denklem yukarıda verilmiş olan sürtünmeli pandül sistem matematik modelinde $A=1$ ve $\gamma=0.5$, $\beta=0.5$ olması durumuna karşı gelmektedir. Sarkaç kuvveti deformasyon ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$f_{u2p} = -P \frac{d_{u2}}{\text{radius2}}$$

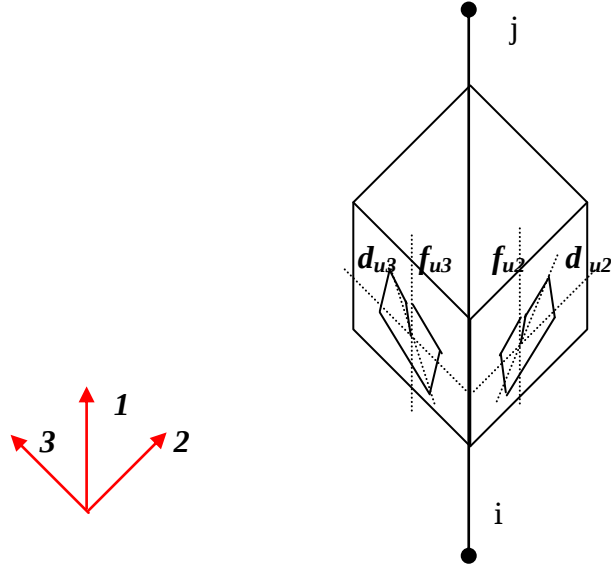
$$f_{u3p} = -P \frac{d_{u3}}{\text{radius3}} \quad (3.16)$$

Eğer sadece bir yöndeki kayma serbestlik derecesi nonlinear ise yukarıdaki ifadeler aşağıdaki şeklini alır.

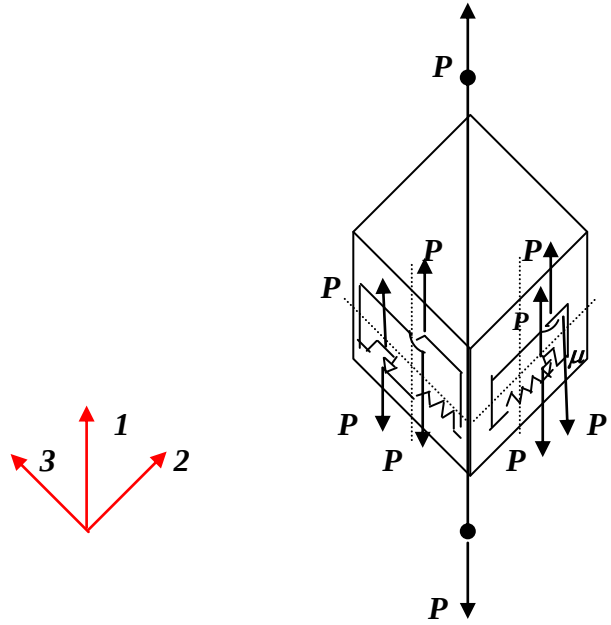
$$\mu = \text{fast} - (\text{fast} - \text{slow}) e^{-rate \dot{z}},$$

$$f_r = -P\mu z, \quad \ddot{z} = \frac{k}{P\mu} \begin{cases} d(1 - z^2) & d\dot{z} > 0 \\ d & \text{aksi durum} \end{cases} \quad (3.17)$$

Sarkaç denklemleri nonlinear serbestlik derecesi için aynı alınır. Moment deformasyonları ve nonlinear olmayan kayma deformasyonları için lineer yay ilişkileri uygulanır. Bunun içinde belirtilmiş olan efektif rijitlikler kullanılır.



ŞEKİL 3.3 : İzolator 1 Property Elemanının Çift Eksenli Kayma Davranışı İdealizasyonu

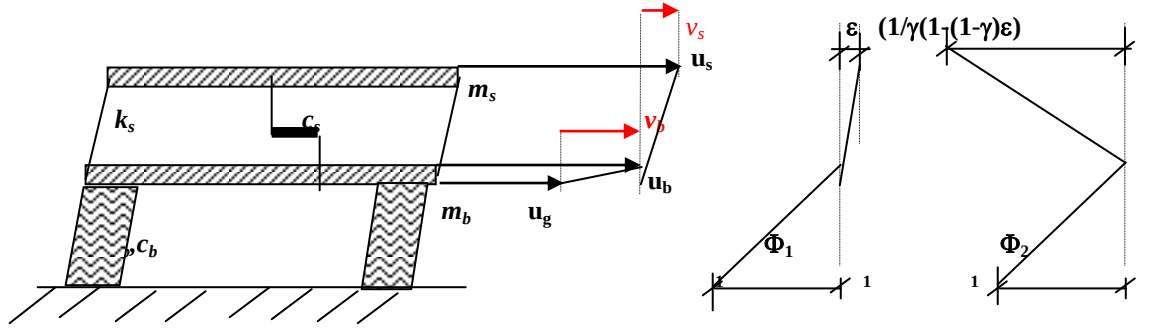


ŞEKİL 3.4 : Isolator 2 Property Elemanının Sürtünlü Sarkaç Kayma Davranışı İdealizasyonu

BÖLÜM 4

TABAN İZOLASYONLU YAPI HAREKET DENKLEMLERİ

4.1 TEK SERBESTLİK DERECELİ HAREKET DENKLEMLERİ



ŞEKİL 4.1: Taban İzolasyonlu Yapı Matematik Modeli ve Mod Şekilleri

m_s : Üst yapı kütlesi,

m_b : İzolasyon sistemi üzerindeki kütle,

k_s, c_s : Üst yapı rijitliği ve sönümü,

k_b, c_b : İzolasyon sistemi rijitliği ve sönümü,

u_b, u_s : İzolasyon sistemi ve üst yapı yerdeğiştirmesi,

v_b, v_s : İzolasyon sistemi ve üst yapı göreceli yerdeğiştirmesi,

$\ddot{u}_g$: Yer hareketinin ivmesidir.

İzolasyonlu yapı hareket denkleminin deprem hareketi etkisi altında çözümünün elde edilmesinde, lineer yaylı ve visko sönümlü, iki serbestlik dereceli basit lineer sistem gözönüne alınmaktadır. İfadelerin çıkarılmasında, göreceli yerdeğiştirmeler kolaylık olması açısından tercih edilmiştir.

$$(m_s + m_b)\ddot{u}_g + m_s\ddot{u}_s + c_b\dot{u}_b + k_b v_b = -(m_s + m_b)\ddot{u}_g \quad (4.1a)$$

$$m_s\ddot{u}_b + m_s\ddot{u}_s + c_s\dot{u}_s + k_s v_s = -m_s\ddot{u}_g \quad (4.1b)$$

Hareketin matris formundaki ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\}\ddot{u}_g(t) \quad (4.2)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_s + m_b & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix}, \quad r = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

r : Deprem hareket yönünü belirleyen matris,

ε : Taban izolasyonu doğal frekansının üst yapı doğal frekansına oranı,

γ : Taban izolasyon kütlelerinin tüm kütleye oranı,

ω_b : İzolasyon sistemi doğal frekansı,

ω_s : Üst yapı doğal frekansı,

ξ_s, ξ_b : Üst yapı ve izolasyon sistemi boyutsuz sönüm oranlarıdır.

$$\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}, \quad \gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b}, \quad \xi_s = \frac{c_s}{2m_s\omega_s}, \quad \xi_b = \frac{c_b}{2(m_s + m_b)\omega_b} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki ifadelere bağlı olarak hareket denklemleri aşağıdaki halini alır.

$$\gamma\ddot{u}_s + \ddot{u}_b + 2\xi_b\omega_b^2\dot{u}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g$$

$$\ddot{u}_s + \ddot{u}_b + 2\xi_s\omega_s^2\dot{u}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (4.4)$$

$v_b = \phi_b \sin \omega t$ olarak alınır ise yukarıdaki denklem takımının, sönümsüz serbest titreşim ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} (\omega_b^2 - \omega^2) & -\gamma\omega^2 \\ -\omega^2 & (\omega_s^2 - \omega^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_b \\ \phi_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Φ_b : İzolasyon sistemi mod şekli

Φ_s : Üst yapı mod şekli

ω_1 : İzolasyonlu yapı 1. doğal frekansı,

ω_2 : İzolasyonlu yapı 2. doğal frekansı,

$y_{1,2}$: Modal koordinatlar,

$\Gamma_{1,2}$: 1 ve 2. mod katılım faktörleri,

C_s : taban kesme kuvveti katsayısı,

S_A : Spektral ivme,

S_D : Spektral yerdeğiştirmedir.

$$(1-\gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (4.6)$$

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 \left(1 - \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}\right) \quad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} \left(1 + \gamma \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}\right) \quad (4.7)$$

Buradan anlaşılacağı gibi, birinci frekans izolasyon sistemini, ikinci frekans üst yapıyı ifade etmektedir. Buna göre řu yaklaşım yapılabilir.

$\omega_1 \approx \omega_b$, $\omega_2 = \frac{\omega_s}{\sqrt{1-\gamma}}$ buna bağılı olarak hareketin denklemi çözülrse, mod şekilleri aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{bmatrix}, \quad \phi_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{\gamma}(1-(1-\gamma)\varepsilon) \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_b^1 & \phi_b^2 \\ \phi_s^1 & \phi_s^2 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

$v_b = y_1\phi_b^1 + y_2\phi_b^2$, $v_s = y_1\phi_s^1 + y_2\phi_s^2$ olmak üzere hareketin modal koordinatlarla ifadesi aşağıda verilmiştir.

Burada y_1 ve y_2 zaman bağılı modal koordinatlardır.

Modal büyüklükler M_i ve Γ_i aşağıdaki şekilde tanımlanır.

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

$$M_i \Gamma_i = \phi^{iT} M r$$

ε' de bu ifadeler tanımlanırsa , aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\begin{aligned} M_1 &= M(1 + 2\gamma\varepsilon) \\ M_2 &= M \frac{(1-\gamma)[1 - 2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \end{aligned} \quad (4.9)$$

$\Gamma = \begin{bmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \end{bmatrix}$, $\Gamma = \frac{\{\phi\}^T [M] \{r\}}{\{\phi\}^T [M] \{\phi\}}$ Buna bağlı olarakta, katılım faktörünün değeri aşağıdaki şekildedir.

$$\Gamma_1 = \left(1 - \gamma \left(\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \right) , \quad \Gamma_2 = \gamma \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}$$

İzolasyonlu yapının çalışma şekli, doğal frekans oranının büyüklüğüne bağlıdır.

$$\Gamma_1 = 1 - \gamma\varepsilon \quad \Gamma_2 = \gamma\varepsilon \quad (4.10)$$

Hareket denklemlerinin modal koordinatlarla ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \ddot{y}_1 + 2\xi_1\omega_1\dot{y}_1 + \lambda_1 y_1 + \omega_1^2 y_1 &= -\Gamma_1 \ddot{u}_g(t) \\ \ddot{y}_2 + \lambda_2 y_2 + 2\xi_2\omega_2\dot{y}_2 + \omega_2^2 y_2 &= -\Gamma_2 \ddot{u}_g(t) \end{aligned} \quad (4.11)$$

$2\xi_1\omega_1$ ve $2\xi_2\omega_2$ terimlerinin hesabı aşağıda verilmiştir.

$$M_i 2\xi_i \omega_i = \phi^{iT} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^i$$

ve ifade düzenlenirse,

$$\begin{aligned} 2\xi_1\omega_1 &= 2\xi_b\omega_b(1 - 2\gamma\varepsilon) \\ 2\xi_2\omega_2 &= \frac{1}{(1-\gamma)}(2\xi_s\omega_s + 2\gamma\xi_b\omega_b) \end{aligned}$$

Sönümün çözümü aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \xi_b \left(1 - \frac{3}{2} \gamma\varepsilon \right) \\ \xi_2 &= \frac{\xi_s + \gamma\xi_b\varepsilon^{1/2}}{(1-\gamma)^{1/2}} \left(1 - \frac{\gamma\varepsilon}{2} \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

Etkileşim katsayıları λ_1 ve λ_2 aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\begin{aligned} \lambda_1 M_1 &= \phi^{iT} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^2 \\ \lambda_2 M_2 &= \phi^{2T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^1 = \lambda_1 M_1 \end{aligned}$$

buradan, $\lambda_1 M_1 = (1, \varepsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -a \end{pmatrix} = c_b - \varepsilon a c_s$ elde edilir.

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

Daha önce tanımlanan M_1 ve M_2 kullanılarak,

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{2\xi_b \omega_b M - \varepsilon \left\{ \left(\frac{1}{\gamma} \right) [1 - (1 - \gamma)\varepsilon] \right\} 2\xi_s \omega_s m_s}{M(1 + 2\gamma\varepsilon)} \\ &= 2\xi_b \omega_b (1 - 2\gamma\varepsilon) - \varepsilon 2\xi_s \omega_s (1 - 2\gamma\varepsilon) \\ &= 2\omega_b [\xi_b (1 - 2\gamma\varepsilon) - \varepsilon^{1/2} \xi_s] \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{2\xi_b \omega_b M - \varepsilon \left\{ \left(\frac{1}{\gamma} \right) [1 - (1 - \gamma)\varepsilon] \right\} 2\xi_s \omega_s m_s}{[M(1 - \gamma)1/\gamma][1 - 2(1 - \gamma)\varepsilon]} \\ &= (2\xi_b \omega_b - \varepsilon 2\xi_s \omega_s) [1 + 2(1 - \gamma)\varepsilon] \frac{\gamma}{1 + \gamma} \text{ olarak bulunur.} \\ &= 2\omega_b \left\{ \xi_b [1 + 2(1 - \gamma)\varepsilon] - \varepsilon^{1/2} \xi_s \right\} \frac{\gamma}{1 + \gamma} \end{aligned}$$

Yapısal uygulamaların çoğunda sönüm yeterince küçük kabul edilir ve diyagonal olmayan bileşenlerin etkisi yani λ_1 ve λ_2 ihmal edilebilir.

$$\begin{aligned} \ddot{y}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{y}_1 + \omega_1^2 y_1 &= -\Gamma_1 \ddot{u}_g(t) \\ \ddot{y}_2 + 2\xi_2 \omega_2 \dot{y}_2 + \omega_2^2 y_2 &= -\Gamma_2 \ddot{u}_g(t) \end{aligned} \quad (4.14)$$

Denklem çözümünden, doğal koordinatlar aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{\Gamma_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\xi_1 \omega_1 \tau} \sin(\omega_1 \tau) d\tau \\ y_2 &= \frac{\Gamma_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\xi_2 \omega_2 \tau} \sin(\omega_2 \tau) d\tau \end{aligned} \quad (4.15)$$

y_1 ve y_2 'nin en büyük değerleri,

$$\begin{aligned} |y_1|_{\max} &= \Gamma_1 S_D(\omega_1, \xi_1) \\ |y_2|_{\max} &= \Gamma_2 S_D(\omega_2, \xi_2) \end{aligned} \quad \text{ile verilir.} \quad (4.16)$$

$S_D(\omega, \xi)$ yer hareketinin ω frekansında ve ξ sönüm faktörü için yerdeğiştirme tepki spektrumudur.

İzolasyon sisteminin ve yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri kareleri toplamının karekökü metoduyla bulunur.

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \left[(\phi_1^1 |y_1|_{\max})^2 + (\phi_2^2 |y_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \\ |v_b|_{\max} &= \left[(\phi_1^1 |y_1|_{\max})^2 + (\phi_1^2 |y_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Daha önceki (5.1.9), (5.1.10) ve (5.1.17) denklem sonuçları kullanılarak,

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \left\{ [\Gamma_1 S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + [\Gamma_2 S_D(\omega_2, \xi_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ (1 - \gamma \varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 [S_D(\omega_2, \xi_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ |v_s|_{\max} &= \left\{ \varepsilon^2 (1 - \gamma \varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma) \varepsilon]^2 [S_D(\omega_2, \xi_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \varepsilon \left\{ (1 - 2\gamma \varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma) \varepsilon]^2 [S_D(\omega_2, \xi_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Genel olarak, yüksek frekanslardaki (ω_2) yerdeğiştirmeler, düşük frekanslardaki (ω_1) yerdeğiştirmelerden çok küçük kaldığı için aşağıdaki şekli alır.

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma \varepsilon) S_D(\omega_1, \xi_1) \quad (4.19)$$

Üst yapıda en büyük yerdeğiştirmeler, küçük ifadeler ihmal edilirse,

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon [S_D(\omega_1, \xi_1)^2 + S_D(\omega_2, \xi_2)^2]^{1/2} \text{ olur.} \quad (4.20)$$

Tasarım taban kesme kuvveti katsayısı;

$$\begin{aligned} C_s &= \left| \frac{k_s v_s}{m_s} \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max} \\ &= \omega_s^2 \varepsilon [S_D(\omega_1, \xi_1)^2 + S_D(\omega_2, \xi_2)^2]^{1/2} \\ &= [\omega_b^4 S_D(\omega_1, \xi_1)^2 + \varepsilon^2 \omega_s^4 S_D(\omega_2, \xi_2)^2]^{1/2} \\ &= [S_A(\omega_1, \xi_1)^2 + \varepsilon^2 S_A(\omega_2, \xi_2)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (4.21)$$

ifadesi bulunur. Sadece ilk terimler alınarak,

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \frac{\varepsilon S_V}{\omega_b} = \varepsilon S_D(\omega_b, \xi_b) \\ |v_b|_{\max} &= \frac{S_V}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \xi_b) \end{aligned} \quad (4.22)$$

$$C_s = \frac{k_s v_s}{m_s} = \omega_s^2 v_s \quad (4.23)$$

$$= \omega_b S_v \left[1 + \varepsilon^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \right]^{1/2} = S_A(\omega_b, \xi_b) \left(1 + \frac{\varepsilon}{1 - \gamma} \right)^{1/2} \approx S_A(\omega_b, \xi_b)$$

yazılır. Buradan anlaşılacağı gibi küçük ε değeri ve tipik bir tasarım spektrumu için izolasyon sisteminin tasarımı ilk adım olarak göreceli taban yerdeğiştirme $S_D(\omega_b, \xi_b)$ alınarak ve üst yapı tasarımı ise taban kesme kuvveti katsayısının $S_A(\omega_b, \xi_b)$ alınmasıyla yapılabilir. $C_s = S_A(\omega_s, \xi_s)$ olan ankastre tabanlı bir yapı ile karşılaştırıldığında, taban kesme kuvvetindeki azalma $S_A(\omega_b, \xi_b)/S_A(\omega_s, \xi_s)$ oranı ile belirlenebilir. Sabit hız spektrumu için bu oran ω_b/ω_s veya $\varepsilon^{1/2}$ ile verilir. Taban kesme kuvvetindeki azalma, ξ_b, ξ_s ' den büyük olduğu için olması gerekenin altında olur.

4.2 ÇOK SERBESTLİK DERECELİ TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN HAREKET DENKLEMLERİ

Yukarıda verilen, tek serbestlik dereceli hareket denklemleri, bina yapılarına uygulanabilmesi açısından, çok serbestlik dereceli hareket denklemlerine dönüştürülebilir. Taban izolasyonlu sistemin her bir serbestlik derecesine ait yerdeğiştirme ifadesi, v taban döşemesine göre yerdeğiştirme, v_b taban döşemesinin yere göre yerdeğiştirmesi, M kütle, C sönüm, K rijitlik matrisi olmak üzere aşağıda verildiği gibidir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\}(\ddot{u}_g + \ddot{u}_b) \quad (4.24)$$

Bina ve taban izolasyon sisteminin oluşturduğu bileşik sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$r^T M (\ddot{u}_b + r \ddot{u}_b + r \ddot{u}_g) + m_b (\ddot{u}_b + \ddot{u}_g) + c_b \dot{u}_b + k_b v_b = 0 \quad (4.25)$$

Başka bir formda yazacak olursak,

$$r^T M \ddot{u}_b + (m_s + m_b) \ddot{u}_b + c_b \dot{u}_b + k_b v_b = -(m_s + m_b) \ddot{u}_g \quad (4.26)$$

Denklem (4.26)' da verilen $r^T M r$ üst yapının toplam kütlesi $m_s + m_b$ taban izolasyon sisteminin taşıdığı toplam kütledir.

Yukarıdaki tanımlamalara bağlı olarak matris formunda hareketin denklemi aşağıdaki şeklini alır.

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (4.27)$$

$$M^* = \begin{bmatrix} m_s + m_b & r^T M \\ Mr & M \end{bmatrix} \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \quad K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

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

Bu tanımlamaları yaptıktan sonra, çok serbestlik dereceli sistemlerin modal analizlerinden bahsedebiliriz. Ankastre mesnetli yapılarda mod şekilleri biliniyorsa, mod şekillerinin terimleri kullanılarak, yapının her bir serbestlik derecesinde yerdeğiştirmesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$v = \sum_{i=1}^N y_i \phi^i \quad (4.29)$$

Ve doğal frekanslar $\phi^i C \phi^j = 0 \ [i \neq j]$ varsayımı yapılarak $M \phi^i \omega_i^2 = K \phi^i$ denklemiyle verilmiştir. Ve hareketin matris formu, yerdeğiştirmenin modal mod şekillerinin terimi olarak yazılmasıyla aşağıdaki denklem takımlarına dönüştürülebilir.

$$\sum_{i=1}^N r^T M \phi^i \ddot{y}_i + (m_s + m_b) \ddot{u}_g + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m_s + m_b) \ddot{u}_g \quad (4.30a)$$

$$\ddot{y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\Gamma_i (\ddot{u}_g + \ddot{u}_g) \ [i = 1 \dots N] \quad (4.30b)$$

Γ_i ankastre mesnetli yapı modların katılma faktörü olup, $\Gamma_i = \frac{\phi^{iT} M r}{\phi^{iT} M \phi^i}$ 'dir.

Ankastre mesnet durumunda da modal kütleler, $M_i = \phi^{iT} M \phi^i$ olarak verildiğine göre denklemler aşağıdaki şekle dönüştürülebilir.

$$\sum_{i=1}^N \frac{\Gamma_i M_i}{m_s + m_b} \ddot{y}_i + \ddot{u}_g + 2\xi_b \omega_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (4.31a)$$

$$\Gamma_i \ddot{y}_i + \ddot{y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\Gamma_i \ddot{u}_g \ [i = 0 \dots N] \quad (4.31b)$$

Genel olarak taban izolasyonlu yapılarda, birinci modun üsttündeki modların üst yapı ve taban izolasyonlu yapıya etkileri oldukça azdır. Bu nedenle analizde birinci

mod dikkate alınacaktır. Bu sebeble çok serbestlik dereceli sistemin hareket denklemleri tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemlerine kolayca dönüştürülebilir. Denklem (4.4)' deki v_b , yerine $\Gamma_1 v_b$ ve y_1 yerine $\Gamma_1 y_1$ ve

$\gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b}$ yerinede $\gamma_1 = \frac{\Gamma_1^2 M_1}{m_s + m_b}$ yer değiştirirse aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\begin{aligned} \frac{\Gamma_1^2 M_1}{m_s + m_b} y_1 + (\Gamma_1 y_b) + 2\xi_b \omega_b (\Gamma_1 y_b) + \omega_b^2 (\Gamma_1 v_b) &= -\Gamma_1 y_g \\ (\Gamma_1 y_b) + y_1 + 2\xi_1 \omega_1 y_1 &= -\Gamma_1 y_g \end{aligned} \quad (4.32)$$

Denklemde y_1 'in çözümü tek serbestlik dereceli sistemde v_s karşı gelmektedir.

Tek serbestlik dereceli sistemde yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \frac{1}{\omega_b^2} S_A(\omega_b, \xi_b) \\ C_s &= \left[S_A(\omega_b^*, \xi_b^*) + \varepsilon^2 (1 - \gamma)^2 S_A^2(\omega_b^*, \xi_b^*) \right]^{1/2} \end{aligned}$$

Çok serbestlik dereceli sistemde yukarıdaki ifadeler, aşağıdakilerle yerdeğiştirir ve maksimum görelî taban yerdeğiştirmesi aşağıdaki şekile dönüşür. Γ_1 terimi denklemin heriki tarafında da yer aldığı için sonuç öncekiyle aynıdır.

$$|\Gamma_1 v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} \Gamma_1 S_A(\omega_b, \xi_b) \quad (4.33)$$

Taban kesme kuvvetini elde etmek için kullanılan maksimum modal koordinat aşağıda verilmiştir.

$$|y_1|_{\max} = \left[\frac{\varepsilon^2 \Gamma_1^2 S_A^2(\omega_b^*, \xi_b^*)}{\omega_b^{*4}} + \frac{\varepsilon^2 \Gamma_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \xi_s^*)}{\omega_s^{*4}} \right]^{1/2} \quad (4.34)$$

ω_s^* ve ξ_s^* daha önce hesaplanmış olanla aynıdır. ε , $\varepsilon_1 = \omega_b^2 / \omega_1^2$ ile yerdeğiştirir. Görelî yerdeğiştirme vektörü $v = y_1 \Phi^1$ 'dir. Sönüm katılımları ihmal edilerek, her bir elemandaki atalet kuvvetleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F = Kv = y_1 K \phi^1 = y_1 M \phi^1 \omega_1^2 \quad (4.35)$$

Üst yapı için toplam yatay kuvvet aşağıdaki gibidir.

$$r^T F = y_1 \omega_1^2 \Gamma_1 M_1 \quad (4.36)$$

Taban kesme kuvveti C_s ile ifade edilirse, $C_s m_s = r^T F$ olur. Böylece taban kesme kuvveti katsayısı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{\Gamma_1 M_1}{m_s} \left[\Gamma_1^2 S_A^2(\omega_b, \xi_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 \Gamma_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \xi_s^*) \right]^{1/2} \\
 &= \frac{\Gamma_1^2 M_1}{m_s} \left[S_A^2(\omega_b, \xi_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 S_A^2(\omega_s^*, \xi_s^*) \right]^{1/2}
 \end{aligned}
 \tag{4.37}$$

BÖLÜM 5

TABAN İZOLASYONUNDA YÖNETMELİK ŞARTLARI

5.1 GİRİŞ

Taban izolasyonlu yapılarla ilgili herhangi bir yönetmeliğin yürürlükte olmaması, depreme dayanıklı yapı tasarımında taban izolasyonu kavramının yaygın olarak kullanılmamasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1985 yılında Amerika Bileşik Devletleri'nde, Structural Engineers Association of California tarafından mavi kitap olarak bilinen, "Recommended Lateral Design Requirement and Commentary" yayınlanmıştır. 1986 yılında da SEAONC 'un alt komiteleri tarafından sarı kitap olarak bilinen, "Tentative Seismic Isolation Design Requirements" mavi kitabın 4. baskısının eki olarak yayınlanmıştır.

Sarı kitaptaki genel yaklaşımlar mavi kitaptakiyle aynı alınmış, deprem yükleri 50 yıllık periyotta aşma olasılığı %10 olan maksimum değer olarak alınmıştır.

Diğer yönetmelikler, taban izolasyonlu hastane tasarımında, OSHPD tarafında geliştirilen, "An Acceptable Method for Design and Review of Hospital Building Utilizing Base Isolation 1989" dur. Genel olarak UBC ve SEAONC yönetmeliğindeki şartların aynısını içerir.

1994 yılında UBC tarafından düzenlenen yönetmelik, statik analizi sınırlandırmış, ankastre mesnetli yapılar için kullanılan düşey yük yayılımını düzgün yükten üçgen yüke dönüştürmüştür.

1997 yılında terar gözden geçirilen yönetmelik son haline getirilmiştir.

Ülkemizde taban izolasyon alanında yürürlükte olan herhangi bir yönetmeliğin bulunmaması nedeniyle, Amerika Bileşik Devletlerinde yürürlükte bulunan 1997 UBC yönetmeliği tez çalışmamızda baz alınacaktır.

Amerika Bileşik Devletlerinde yürürlükte olan yönetmelikler, “International Conference of Building Officials” tarafından yayınlanmış olan “Uniform Building Code 1997 Edition(UBC 97)” ve “Title 24, Part 2 of The California Code of Regulations, Division III (OSHPD-96)” ‘tür.

5.2 UBC 97 YÖNETMELİĞİNDEKİ TABAN İZOLASYONLU YAPILARA AİT KOŞULLAR

5.2.1 Sismik Risk Düzeyi

Sismik risk düzeyini belirlemek amacıyla yönetmelikte iki risk düzeyi tanımlanmıştır.

- Tasarım esaslı deprem DBE “ Desing Basis Eartquake”

475 yıllık periyotlarda, 50 yıllık zaman diliminde, aşılma ihtimalinin %10 olduğu yer hareketi.

- Olabilecek Maksimum Deprem MCE “Maksimum Capable Eathquake”

1000 yıllık periyotlarda, 100 yıllık zaman diliminde, aşılma ihtimalinin %10 olduğu yer hareketi.

5.2.2 Tasarım Metodları

Yönetmelik genel olarak, yerdeğiştirmenin taban izolasyon seviyesinde kaldığı ve üst yapının rijit olarak davrandığı varsayımının üzerine kurulmuştur.Bu nedenle de ilk titreşim modu önem kazanır.

Yönetmeliğin belirlediğı minimum koşullar statik analizle elde edilen, yerdeğiştirme ve kuvvetlerdir. Bu bakımdan statik analiz ön boyutlama ve tasarım öngörüsü için gereklidir.

Yönetmelik yerel zemin koşullarına bağılı olarak eğer izole edilecek yapı yumuşak zemindeyse, aktif fay hattına 10 km uzaklıkta bulunuyorsa, yapının maksimum olabilecek deprem yükü altında periyodu 3 sn’ den büyükse, spektral analizi şart koşar. Aynı zamanda tepki spektrumu analizi, üst yapı yatayda ve düşeyde düzensiz ise, dört kattan yada 19.8 m’ den yüksekse zorunludur.

Zaman tanım alanında analizi de, davranış spektrumu analiziyle aynı koşullarda zorunludur.

5.2.3 Statik Analiz

Statik analiz förmülleri, $Z=0.40$ zemin faktörü $S=1$ %5 sönümlü ve sabit hızı 0.60 m/sn olan “Applied Technology Council ATC “ koşulundan belirlenmiş 1-3 sn periyot aralığında hız spektrasına göre hesaplanan yerdeğiştirme ve kuvvetleri kapsar. $S_D=S_V/\omega=T/2\pi*Z/4*0,60=0,25ZT$ m olarak alınır.

Spektrum, zemin faktörü ve sönüm etkileri ile diğer sismik bölgeler için de düzenlenerek tasarım yerdeğiştirmesine ulaşılır.

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

Tasarım yerdeğiştirmesi D, tüm tasarım sürecinin başlangıcıdır ve dinamik analiz gereksin yada gerekmesin hesaplanmalıdır.

Z, sismik bölge faktörü; N, aktif fay yakınlık faktörü; S_I , zemin faktörü; T_I , saniye cinsinden efektif periyot; B, sönüm katsayısı olmak üzere, tasarım yerdeğiştirme ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$D = \frac{0.25ZNS_I T_I}{B} \quad (m) \quad (5.1)$$

Ayrıca yönetmeliğe göre hesaplanması gereken iki temel yerdeğiştirme vardır. Bunlar, DBE düzeyindeki yerdeğiştirme, D_D ve MCE düzeyindeki yerdeğiştirme D_M 'dir. Ve aşağıda yönetmeliğin hesaplanması için belirlediği ifadeler verilmiştir.

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad mm \quad (5.1a)$$
$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \quad mm$$

Sismik bölge faktörü bölge 1 için 0.75'ten, bölge 4 için 0.40 arasında değerler alır.

Zemin faktörü de, zeminin üst 30.5 m 'sinde kayma dalgasının hızına göre belirlenir. S_A ' dan S_E 'e kadar zemin profil tipi olarak adlandırılır. S_A sert kaya zeminler için kayma hızı 1500m/sn' den büyük ve S_E yumuşak zeminler için kayma hızı 180 m/sn' den küçüktür. S_F sıvılaşma tehlikesi bulunan zayıf zeminleri temsil eder ve kayma hızına bağlı olarak değerlendirilemez.

Sismik fay hatları, taşıdıkları riske göre üç gruba ayrılmıştır. A tipi faylar, yüksek aktiviteli ve büyük deprem üretme riskine sahipken, orta magnetütlü depremler oluşturabilecek düşük aktiviteli faylar C tipidir. A ve C tipi fay hatları dışındaki tüm hatlar B tipi olarak adlandırılır.

Aktif fay yakınlık faktörü de, iki kategoriye ayrılmıştır, kısa periyotlu sabit ivmeli tepki spektrumu için N_a ve orta periyot aralığında tepki spektrasının sabit hızlı bölümü için uygulanan N_v 'dir. 10 km' den daha derinde olan kırılmalar için fay yakınlık faktörü ihmal edilebilir.

Yönetmelikte hesaplanması gereken altı farklı yerdeğiştirme vardır. Zemin profili tipleri altıya yükselmiş ve dört adet sismik katsayısının hesabı gerekmektedir. Ayrıca bölge 4' te sismik kaynak tipi ve sismik kaynak uzaklığına bağlı olarak N_a ve N_v , ZN_v ' ye bağlı olarak değişen M_M ayrıca M_M , N_a ve N_v ' ye bağlı olarak değişen C_{AM} ve C_{VM} ' nin de hesaplanması gerekmektedir.

M_M , MCE tepki katsayısı olarak adlandırılır. DBE karakteristiklerinde MCE tepkisini dikkate almak için kullanılır. M_M , ZN_v çarpımının bir fonksiyonu olarak $ZN_v=0,075$ için 2,67 'den $ZN_v \geq 0,50$ için 1,20'e kadar değer alır. Daha ufak DBE etkilerinde M_M değerinin büyük olmasının nedeni, deprenselliği az olan bölgelerden, deprenselliği yüksek bölgelere göre DBE ve MCE etkileri arasındaki farkın daha büyük olmasıdır.

Tasarımda kullanılacak minimum spektral ordinatları tanımlamak için C_{VD} , C_{VM} ve C_{AD} , C_{AM} spektral sismik katsayıları kullanılmaktadır. C_{VD} , C_{AD} , DBE spektrumunun sabit hız ve sabit ivmesine karşı gelirken; C_{VM} , C_{AM} MCE spektrumunun sabit hız ve ivmesine karşı gelmektedir. C_{VD} , C_{AD} sismik bölge faktörü ve zemin profilinin fonksiyonudur ve bu C_{VM} , C_{AM} içinde geçerlidir. Fakat MCE tepki katsayısı C_{VM} , C_{AM} katsayılarında işin içine girer ve $M_M ZN_v$ veya $M_M ZN_a$ değerlerinden birinin 0.40 büyük olması durumunda ilgili grafikteki değerlerle çarpılır.

Sistemdeki efektif sönüm DBE düzeyinde β_D ve MCE düzeyinde β_M ’ dir ve aşağıda verildiği şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned}\beta_D &= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{Kuvvet} - \text{yer deg istirme alanı}}{K_{D,\max} D_D^2} \right) \\ \beta_M &= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{Kuvvet} - \text{yer deg istirme alanı}}{K_{M,\max} D_M^2} \right)\end{aligned}\quad (5.2)$$

$K_{D,\max}$ ve $K_{M,\max}$ biraz sonra bahsedilecek olan efektif rijitliklerdir. Sönüm azaltma faktörü B (DBE için B_D , MCE için B_M) ara değerlerin doğrusal enterpolasyonu ile bulunacağı, β ’nın bir fonksiyonu olarak verilmiştir.

5.2.3.1 Efektif Sistem Titreşim Periyotları

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

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D,\min} g}} \quad T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M,\min} g}} \quad (5.3)$$

W yapının ağırlığı, g yerçekimi ivmesidir.

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

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

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

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

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

$K_{M,\max}$ = Test sonucu hesaplanan D_M yerdeğiştirmesindeki , $K_{M,\text{eff}}$ değerinin maksimumudur.

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

K_{eff} için test ve malzeme özellikleri kullanılarak bir değer atanarak ön tasarıma başlanır. Ön boyutlama tamamlandıktan sonra prototipler üretilir ve test edilir. Prototiplere uygulanan bu testlerin sonucu olarak $K_{D,\min}$, $K_{D,\max}$, $K_{M,\min}$, $K_{M,\max}$ değerleri bulunur. F_D^+ , F_D^- , D_D^+ , D_D^- , F_M^+ , F_M^- , D_M^+ , D_M^- terimleri, sistemin

mekanik karakteristiklerini belirleyen, prototip mesnetlerdeki DBE ve MCE tepki düzeylerine karşılık gelen maksimum kuvvet ve yerdeğıştirmelerdir. Test sonuçları ön boyutlama sonuçlarıyla karşılaştırılır. Dinamik analiz için statik analizin bu sonuçları minimum değeri oluşturmaktadır.

5.2.3.2 Toplam Tasarım Yerdeğıştirmeleri

Burulma etkilerini de içeren toplam tasarım yerdeğıştirme ifadeleri aşağıda verilmiştir.

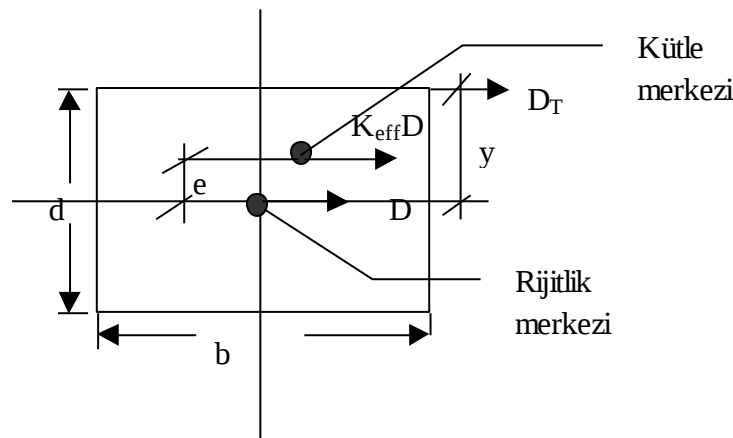
$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (5.4)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (5.5)$$

Burada e dış merkezlikle, %5 ek dış merkezliğin toplamı, y deprem doğrultusuna dik kenar uzaklığıdır. Deprem yükü $K_{eff}D$ 'nin rijitlik merkezinden e mesafedeki kütle merkezine etkilediği düşünülmüştür. Boyutları bxd olan ve izolatörlerin düzgün yayılı olduğu planda burulma rijitliği $K_{eff} (b^2+d^2)/12$ 'dir ve dönme aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\theta = \frac{K_{eff} De}{K_{eff} \left[\frac{(b^2 + d^2)}{12} \right]} = \frac{12De}{b^2 + d^2}$$

Dönmeden dolayı oluşan ek yerdeğıştirme $\frac{12De}{b^2 + d^2} y$ olarak verilmiştir.



ŞEKİL 5.1 : UBC 97 Yönetmeliğine göre dış merkezliği hesaba katan toplam yerdeğıştirme hesabı için plan boyutları ve tanımlar.

Sistemin gerçek burulma rijitliği hesaplanırsa ve ek yerdeğiştirme yukarıda verilen değerden küçük kalırsa, hesaplanan değer kullanılır. Bu değer 1.1 D_D ve 1.1 D_M değerinden küçük olamaz. İzolasyon sisteminin stabilitesinin belirlenmesi için D_{TM} yerdeğiştirmesinin bilinmesi gerekmektedir.

5.2.3.3 Tasarım Kuvvetleri

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

$$V_b = K_{D,max} D_D \quad (5.6)$$

İzolasyon sistemini üstünde bulunan elemanların tasarımında kullanılacak, tasarım kuvvetleri de aşağıda verildiği gibidir.

$$V_s = \frac{K_{D,max} D_D}{R_I} \quad (5.7)$$

Buradaki R_I süneklik faktörüdür ve aşağıdaki tabloda ankastre mesnetli yapıları ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Taşıyıcı Sistem	R_I	R
Moment aktaran çerçeve	2	8,5
Perde Duvar	2	5,5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1,6	5,6
Dış merkez çaprazlı çerçeve	2	7

Tablo 5.1: Ankastre mesnetli yapı ve izolasyonlu yapı UBC 97 sünekliğe bağlı azaltma faktörleri.

Yukarıdaki tabloda dikkati çeken en önemli unsur, izolasyonlu yapıların azaltma katsayılarının, ankastre mesnetli yapıya oranla oldukça küçük olmasıdır. Bunun nedenlerine aşağıda değinilmiştir.

İzolasyon, yapı periyotlarını artırır. Yapı elastik sınırın ötesine geçtikçe, periyot büyür ve yapıya gelecek deprem kuvveti azalır. Aynı zamanda, yapıdaki sönüm, elastik olmayan şekil değiştirmelerin artmasıyla yani histetik davranış sebebiyle artar. Yeniden dağılım etkisiyle, kapasite üstü etkiler taşıyıcı sistemin tüm elemanları tarafından karşılanır. Taban izolasyonlu yapıda bu bahsedilen özelliklerden sadece yeniden dağılım ilkesi vardır.

Periyodun artması, izolasyon sisteminin etkinliğini öne çıkarır. Ankastre mesnetli yapı periyodu ile taban izolasyonlu yapı periyodu arasındaki ayırım azalır ve yapıya daha büyük kuvvetler etkir.Yüksek modların katkısı artar. Bu nedenle izolasyonlu yapının daha geç akmaya ulaşması istenir. Buna ek olarak, izolasyonlu yapının sönümü, ankastre mesnetli yapının sönümünden fazla olmaz. Büyük süneklik, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilir anlamını taşır bu nedenle izolasyonlu yapılarda R_I değerinin küçük alınması, hasar kontrolü anlamına da gelir.

Hesaplanan V_s kuvveti aynı zamanda, UBC yönetmeliğinin ankastreli mesnetler için öngördüğü deprem yüklerinde, tasarım rüzgar yükünden, kurşun saplamalı kauçuk mesnetler için akma yükü, kayıcı mesnetler için akma sınırı olarak tanımlanan sistemi harekete geçiren yatay yükün 1,5 katından daha az olamaz.

5.2.3.4 Yatay Deprem Yükünün Katlara Dağılımı

Deprem yüklerinin katlara dağılımı aşağıdaki gibidir.

$$F_x = V_s \frac{h_x w_x}{\sum w_i h_i} \quad (5.8)$$

Bu ifadede F_x x katındaki yatay kuvvet, V_s izolasyon sistemi üstündeki elemanların tasarımında kullanılacak taban kesme kuvveti, w_x ve w_i x. ve i. Katın ağırlıkları, h_x ve h_i izolasyon seviyesinden itibaren ölçülen kat yükseklikleridir.

Bu formülasyon, kurşun saplamalı kauçuk mesnetin ve kayıcı mesnetlerin doğrusal olmayan hareketlerinin oluşturacağı yüksek mod katkılarını da dikkate alacak şekilde, düşeyde üçgensel bir dağılım gösterir.

Üst yapıda katlar arası görelî kat ötelemesi $0,01/R_I$ değerini aşmamalıdır.

5.2.4 Dinamik Analiz

Yönetmelikte, MCE deprem ivmesi altında, periyot değerinin 3 saniyeden büyük veya eşit olduğu yada zemin cinsi S_E veya S_F olduğu yada yapı aktif fay hattına 10 km mesafeden daha yakın olduğu durumlarda dinamik analiz yapılması zorunludur. Ayrıca yönetmelik, izole edilmiş yapı periyodu, T_D ' nin , izolasyon sistemi üstündeki yapının, ankastre mesnetli yapı periyodunun üç katından büyük olduğu durumlarda da dinamik analizi zorunlu kılmıştır. Eğer zemin koşullarına bağlı bir spektrum

kullanılıyorsa, bu spektrum yönetmelik tepki spektrumunun %80'inin altına düşemez.

Dinamik analiz sonucunda, statik analiz sonucunda bulunan tasarım kuvvetlerinden daha küçük kuvvetler yada yerdeğiştirme değerleri bulunabilir. Yönetmelik bu değerleri aşağıdaki şekilde sınırlandırmıştır.

Parametre	Statik Analiz	Davranış Spektrumu Analizi	Zaman Tanım alanı Analizi
D _{1D}	D _{1D} > 1,10 D _D	0,90 D _{1D}	0,90 D _{1D}
D _{1M}	D _{1M} > 1,10 D _M	0,80 D _{1M}	0,80 D _{1M}
V _b	V _b =k _{d,max} D _D	> 0,90V _s	> 0,90V _s
V _s (Düzenli yapı)	V _s =k _{d,max} /R _I	>0,80V _s	>0,60V _s
V _s (Düzensiz yapı)	V _s =k _{d,max} /R _I	>1,0V _s	>0,80V _s
Görelî yerdeğiştirme	0,010/R _I	0,015/R _I	0,020/R _I

Tablo 5.2 : UBC 97 Yönetmeliği taban izolasyonlu yapılar için minimum değerler.

5.2.5 UBC - 97 Yönetmeliği Statik Analiz Şartları Kullanılarak Taban İzolasyonu Tasarımında İzlenecek Yol.

Ön Tasarım

- Sismik Bölge Faktörü (Z) :** Sismik bölge UBC- 97 Fig 16-2 ‘ den belirlenir ve buna karşı gelen sismik bölge faktörü Tablo 16-I ‘dan alınır.
- Zemin Profil Kategorisi :** UBC-97 tablo 16-J’den seçilir.
- Sismik Kaynak Tipi :** Sismik fay hattına bağlı olarak UBC-97 tablo 16-U’den alınır.
- Kaynak Yakınlık Faktörü (N_a ve N_v) :** Sismik kaynak tiplerine göre UBC-97 Tablo 16-S ve 16-T’den belirlenir.
- Olabilecek En Büyük Deprem Tepki Katsayısı (M_M) :** Z ve N_v değerleri çarpılarak elde edilen ZN_v değerine göre UBC-97 Tablo A 16-D’ den okunur.
- Sismik Katsayılar (C_{VD} ve C_{AD}) :** Sismik bölge ve zemin profiline bağlı olarak UBC-97 Tablo 16-R ve 16-Q’ dan elde edilir.
- Sismik Katsayılar (C_{VM} ve C_{AM}) :** M_MZN_v kullanılarak C_{VM} UBC-97 Tablo A-16-G ve M_MZN_A kullanılarak C_{AM} UBC-97 Tablo A-16-F ‘ dan hesaplanır.

8. **Yapısal Sistem Azaltma Faktörü (R_I)** : UBC-97 Tablo A-16-E bakılarak, izolasyon sisteminin üzerindeki taşıyıcı sistem tipine göre seçilir.
9. **Sönüm Katsayısının Belirlenmesi (B_D , B_M)** : İzolasyon tipine bağlı olarak UBC-97 Tablo A-16-C' den belirlenir.Bu değer, yüksek sönümlü kauçuk mesnet için %10-12'dır.
10. **İzolasyon Sisteminin Periyodu (T_D)** : Tasarım yerdeğiştirmesinin belirlenmesinde, ön bir değer atanır. Genelde taban izolasyonlu sistemlerde bu değer 2 –3 sn arasında alınmaktadır.Sürtünmeli pandül sistemlerinde eğrilik yarıçapıyla belirlenir.
11. **İzolasyon Sistemi Efektif Rijitliği (K_{eff})** : (5.3)' de verilen basit ifadeyle hesaplanan periyoda bağlı olarak rijitlik hesaplanır.
12. **Minimum Tasarım Yerdeğiştirmesi (D_D)** : Minimum tasarım yerdeğiştirmesinin ilk değeri (5.1a)' da verilen ifadeyle hesaplanır.Eğer bu değer, projemiz için kabul edilen değerden büyükse, sistemimizi daha rijit hale getirmemiz gerekmektedir.Bunun içinde 9. adıma geri dönülerek periyot değeri daha küçük seçilir ve diğer adımlar tekrarlanır.
13. **Minimum Tasarım Yatay Kuvvetleri (V_b , V_s)** : (5.6) ve (5.7) denklemleri kullanılarak, izolasyon sisteminin üstündeki yapı elemanlarının tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti ve izolasyon sisteminin altındaki yapı elemanlarının tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti belirlenir. V_s değeri için UBC-97 bölüm 1658.4.3 sınır değerleri de dikkate alınmalıdır.Eğer hesaplanan değerler, projemiz için kabul edilen değerın üstündeyse, sistemimizin daha esnek seçilmesi gerekmektedir.Bu nedenle sistem periyodu daha önceki basamakta büyük alınmalı ve diğer aşamalar tekrarlanmalıdır.
14. **Üst Yapı Elemanları İçin Ön Tasarım** : V_s değeri hesaplandıktan sonra, (5.8)' de verilen denklemle herbir katta dağıtılır.Dağıtılan bu yatay yüke göre herbir kat elemanlarında gerilme tahkiki yapılır.Yatay yerdeğiştirme değerleri $0,010/R_I$ değeriyle karşılaştırılmalıdır.Davranış spektrumu analizi için katlararası yerdeğiştirme sınır değeri $0,015/R_I$ ve zaman tanım alanına göre analizde de $0,020/R_I$ ' dir.

15. **İzolasyon Sisteminin Tasarımı ve Plan Üzerindeki Yerleşimlerinin Belirlenmesi:** Ön tasarım yerdeğiştirmesi, rijitlik ve sönüm özellikleri kullanılarak, düşey yükleri, yatay yükleri ve yerdeğiştirmeyi karşılayabilecek izolatörler tasarlanır. Herbir izolatöre bağlı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi kurulmalı ve izolatör tasarımlarında bu eğrilerden yararlanılmalıdır. Kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri izolatör üreticilerinden sağlanabilir. Bu eğriler üretici firmaların uyguladıkları testler sonucunda elde edilmiştir.

Kesin Tasarım :

16. **İzole Edilmiş Yapının Matematik Modelinin Oluşturulması :** Ankastre mesnetli yapının ve izolasyonlu yapının matematik modelinin oluşturulması, UBC-97 yönetmeliğinin, Bölüm 1659.5'inde şart koşulmuştur. Üreticiden sağlanacak kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisine bağlı olarak modelleme SAP2000 ve ETABS bilgisayar programlarında yapılabilir.

17. **Tasarım Spektrumu Yaklaşımı :** UBC-97 1657. bölümde belirlilen şartlar altında ilgili parametreler kullanılarak deprem etkisi belirlenir.

18. **Tasarım Yerdeğiştirmesi ve İzolasyon Periyodunun Kesinleşmesi :** Uygun bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilen üç boyutlu analizler sonucunda yerdeğiştirme ve sistem periyodu belirlenir. Dikkat edilecek husus, hesaplanan yerdeğiştirmenin ön tasarım değerleriyle aynı olmamasıdır. Ön tasarımda alınan yerdeğiştirme değerlerinin minimum değer olduğu unutulmamalıdır.

19. **Efektif rijitliğin Kesinleşmesi:** Bigisayar analizlerinden sonra çok farklı pozitif ve negatif tepki değerleri veren durumlar dışında aşağıda verilen ifadeler kullanılarak hesaplanabilir.

$$K_{D,max} = K_{D,min} = \frac{DBE \text{ Taban Kesme Kuvveti}}{D_D}$$

$$K_{M,max} = K_{M,min} = \frac{MCE \text{ Taban Kesme Kuvveti}}{D_M}$$

20. **Modelleme Sonucu Elde Edilen Periyodun Değerlendirilmesi:** Matematik modelleme sonucu elde edilen periyot değeri minimum değerler kullanılarak elde edilen periyodla karşılaştırılır.

21. **Modelleme Sonucu Elde Edilen Sönüm Seviyesinin Değerlendirilmesi**
Modelleme sonucu elde edilen sönüm değeriyle, ön tasarım sırasında alınan sönüm değeri karşılaştırılır.

22. **Tasarım Yerdeğiştirmeleri ve Tasarım Kuvvetlerinin Yönetmelik Minimum Değerleriyle Karşılaştırılması** : Eğer hesaplanan yerdeğiştirme değeri yönetmelik minimum koşuluna uymuyorsa, eleman kuvvet ve deformasyonlar dahil olmak üzere tüm tepki kuvvetleri yönetmelik minimum değerlerine çıkartılmalıdır.

23. **Prototip Mesnetlerin Test Sonuçlarına Göre Performansının Belirlenmesi** : Prototipin test sonuçlarına bağlı olarak elde edilen, minimum ve maksimum sınır değerlerine göre matematik model tekrar oluşturulacak ve $K_{D,min}$, $K_{D,max}$, $K_{M,min}$, $K_{M,max}$ tekrar hesaplanıp 20. 21. ve 22. kesin tasarım aşamaları yeniden oluşturulan matematik model sonuçlarına göre tekrarlanacaktır.

24. **İmalat Mesnetlerinin Test Sonuçlarına Göre Performansının Belirlenmesi** : İmalat mesnetlerinin test sonuçlarına bağlı olarak elde edilen, minimum ve maksimum sınır değerlerine göre matematik model tekrar oluşturulacak ve $K_{D,min}$, $K_{D,max}$, $K_{M,min}$, $K_{M,max}$ aşağıdaki ifadelere göre tekrar hesaplanıp 20. 21. ve 22. kesin tasarım aşamaları yeniden oluşturulan matematik model sonuçlarına göre tekrarlanacaktır.

$$K_{D,max} = \frac{\sum F_{D,max}^+ - F_{D,max}^-}{D_D^+ - D_D^-}$$
$$K_{D,min} = \frac{\sum F_{D,min}^+ - F_{D,min}^-}{D_D^+ - D_D^-}$$
$$K_{M,max} = \frac{\sum F_{M,max}^+ - F_{M,max}^-}{D_M^+ - D_M^-}$$
$$K_{M,min} = \frac{\sum F_{M,min}^+ - F_{M,min}^-}{D_M^+ - D_M^-}$$

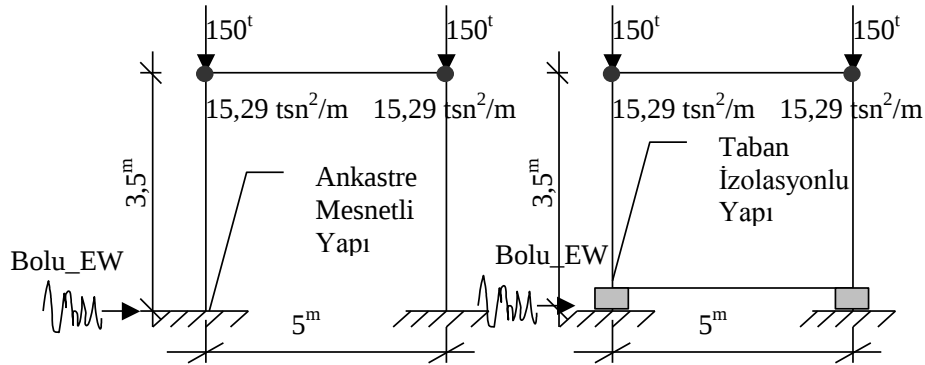
BÖLÜM 6

UYGULAMA 1

6.1 GİRİŞ

Şekil 6.1’ de verilen rijit kolon ve kirişlerden oluşan tek serbestlik dereceli sistem ilk olarak, UBC-97 yönetmeliğine göre statik olarak çözümlenecek ve yönetmeliğe ait minimum değerler elde edilecektir. Daha sonra 1998 yılında American Civil Engineering Research Foundation kurumu tarafından test edilen sürtünmeli pandül mesnet, yüksek sönümlü kauçuk mesnet ve kurşun saplamalı kauçuk mesnet test sonuçlarına göre matematik bilineer modeli oluşturulacaktır. Oluşturulan model, tek serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapıların taban yerdeğiştirmesinin maksimum değerini veren Duhamel integrali çözümü ile çözülecektir.

Oluşturulan matematik modeller SAP 2000 bilgisayar programında 55,89 sn kayıt uzunluğuna sahip, ivme değerleri cm/sn^2 biriminden verilmiş, herbir satırında ivme değeri olan ve 0,01 sn aralıklı, maksimum ivme değeri 805,878 gal olan Bolu_EW deprem kaydına göre zaman tanım alanında nonlineer olarak analiz edilecektir. Elde edilen sonuçlar, ankastre mesnetli yapı ve diğer mesnet tiplerine göre duhamel integral sonucuyla karşılaştırmalı olarak verilecektir.



ŞEKİL 6.1 : Mesnet türlerine bağlı olarak taban izolasyonu uygulanacak düzlem çerçeve ve ankastre mesnetli düzlem çerçeve.

Düzlem çerçevemizde, rijit kolonlar 40x40 ve rijit kirişler 25x60 olarak boyutlandırılmıştır. Malzeme olarak BS 25 seçilmiş ve E: 3025000 t/m² olarak alınmıştır. Çerçeve taban izolasyon seviyelerinde birbirine bağlanmış ve her bir düğüm noktası için rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Düğüm noktalarında 150^{ts} luk statik yükleme ve x , z yönlerinde 15,29^{tsn²/m³} lik kütle tanımlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen grafik çıktıları Ek-C ' de yer almaktadır.

6.2 UBC-97 YÖNETMELİĞİ MİNİMUM ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

Yönetmeliğin ilgili tablolarından, statik hesaplama için gerekli olan katsayılar belirlenmiştir. Deprem bölgesi 4 alınmış ve Z=0.4 , zemin profili S_B , zemin kaynak tipi A, bunlara bağlı olarak yakınlık faktörü N_v = 1.2 ve N_a =1.2 olarak belirlenmiştir. Olabilecek en büyük deprem tepkisi katsayısı M_m = 1.2 , sismik bölge faktörü ve zemin profili ile C_{VD} = C_{AD} =0.48 ve C_{VM} = C_{AM} =0.58 alınmıştır. Üst yapı moment aktaran çerçeve olduğu için, yapısal sistem azaltma faktörü R_I = 2 olarak alınır. Sürtünmeli pandül sistemlerde sönüm değeri %20'e kadar çıkabilmektedir. Buna bağlı olarak, B_D = B_M =1.5 olur. Periyot sürtünmeli pandül mesnet yarıçapı R=2.23 m olarak alındığından, T_D =3 sn ve T_M = 3.2 sn olarak alınır. Yukarıda verilen katsayılar ve gerekli bilgiler ışığında yönetmelik minimum değerleri aşağıda verildiği gibidir.

Efektif rijitlikler :

$$\begin{aligned}
 3 &= 2\pi \sqrt{\frac{300}{K_{D,\min} g}} & K_{D,\min} &= 134.168 \text{ t / m} \\
 3.2 &= 2\pi \sqrt{\frac{300}{K_{M,\min} g}} & K_{M,\min} &= 117.878 \text{ t / m} \\
 \frac{1.10(134.168)}{0.90} && K_{D,\max} &= 164 \text{ t / m} \\
 \frac{1.10(117.878)}{0.90} && K_{M,\max} &= 144 \text{ t / m}
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Minimum yerdeğİstİrmeler :

$$D_D = \frac{(g/4\pi^2)C_{VD}T_D}{B_D} = \frac{(9.81/4\pi^2)(0.48)3}{1.5} = 0.239 \text{ m}$$
$$D_M = \frac{(g/4\pi^2)C_{VM}T_M}{B_M} = \frac{(9.81/4\pi^2)(0.58)3.2}{1.5} = 0.307 \text{ m}$$
(6.2)

İzolasyon sisteminin altındaki taşıyıcı elemanların tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti :

$$V_b = K_{D,\max} \times D_D = 164 \times 0.239 = 39.196 \text{ t} = 0.13W$$
(6.3)

İzolasyon sisteminin üstündeki taşıyıcı elemanların tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti :

$$V_s = \frac{K_{D,\max} \times D_D}{R_I} = \frac{39.196}{2} = 19.598 \text{ t}$$
(6.4)

6.3 EPS SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNETLİ TABAN İZOLASYONLU SİSTEMİN BİLİNEER MATEMATİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Sürtünmeli pandül mesnetin fiziksel özellikleri ve elemanları Ek-A' de ayrıntılı olarak verilmiştir. “Earthquake Projection Systems Inc.” firmasının ürettiğı mesnetler üç tiptir. Kolonlarımızdan her biri 150 t'luk bir basınç yüküyle yüklendiğinden mesnet tiplerinden B tipi uygun görülmüştür.

EPS B tipi mesnetin tasarım basınç yükü ve tasarım yerdeğİstİrmesi aşağıda verilmiştir.

Tasarım basınç yükü : 226.50 t (DCL)

Tasarım yerdeğİstİrmesi : 22.86 cm (D_D)

Matematik modellemede gerekli olan ifadelerin hesaplanması aşağıdaki gibidir. 0,05 sürtünme katsayısı olarak alınmıştır. Sürtünmeli pandül taban izolasyonlu yapıda , sürtünme kuvvetinden daha az bir kuvvet etkilediğinde sistem sabit mesnetli yapı gibi davranır. Bu nedenle sürtünmeli sarkaç mekanik karakteristiklerinden akma öncesi izolatör rijitliğinin hesabında yapı sabit ve ankastre mesnetli olarak düşünülecektir ve sürtünme kuvveti yatay yüklemesi altında çözülecektir.İzolasyon katı yerdeğİstİrmesi ortalaması akma yerdeğİstİrmesine ve sistemin rijitliği de, akma

öncesi izolatör rijitliğine karşı gelir. Bu düşünceyle hesaplanan karakterislikler aşağıdaki gibidir.

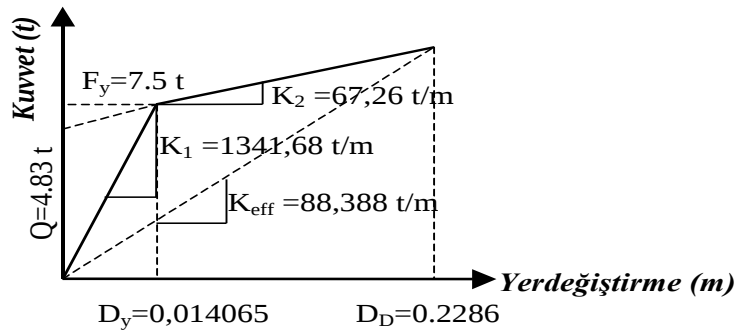
1. $K_2 = \frac{W}{R} = \frac{150}{2,23} = 67,26 \text{ t/m}$
2. $D_y = 0,014065 \text{ m}$
3. $K_1 = \frac{\mu W}{D_y} = \frac{(0,05 \cdot 150)}{0,014065} = 533,24 \text{ t/m}$
4. $K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} = 67,26 + \frac{4,83}{0,2286} = 88,388 \text{ t/m}$

Yukarıdaki matematik ifadelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir. μ sürtünme katsayısı 0.05 olarak alınmıştır.

Sonuçlar:

1. $K_{eff} = 88,388 \text{ t/m}$
2. $K_1 = 533,24 \text{ t/m}$
3. $K_2 = 67,26 \text{ t/m}$
4. $F_y = \mu \alpha W = 7,5 \text{ t}$

Matematik modellememiz için gerekli olan ifadeler Şekil 6.2' de, EPS izolasyon sisteminin bilineer kuvvet- yerdeğiştirme eğrisinde gösterilmiştir.



ŞEKİL 6.2 : EPS Sürtünmeli pandül mesnetin % 66 tasarım basınç yükü altında matematik modellemede kullanılacak kuvvet-yerdeğiştirme eğri değerleri.

6.4 SCOUGAL YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAÜÇUK MESNETLİ TABAN İZOLASYONLU SİSTEMİN BİLİNEER MATEMATİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Yüksek sönümlü kauçuk mesnet olarak alınacak izolatörün fiziksel özellikleri, boyut ve elemanları Ek-A' de ayrıntılı olarak verilmiştir. “Scougal Rubber Corporation” Firmasının ürettiği mesnetler üç tiptir. Kolonlarımızdan her biri 150 t’luk bir basınç yüküyle yüklendiği için bu mesnet tiplerinden B tipi uygun görülmüştür.

Scougal B tipi mesnetin, hesaplamalar için gerekli olan fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tasarım basınç yükü : 226.50 t (DCL)

Tasarım yerdeğiştirmesi : 22.86 cm (D_D)

Tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı (t) : 7.9 mm

Toplam kauçuk tabaka kalınlığı (0.79 x 24 adet) (t_r) : 0.1896 cm

Merkezdeki boşluk çapı (a) : 6.35 cm

Kauçuğun plan boyutu (b) : 66.04 cm

Kayma modülü (G) : 40 t/m²

Matematik modellemede gerekli olan ifadelerin hesaplanması aşağıdaki gibidir. W her bir kolona gelen düşey ağırlık olarak alınacaktır. Yüksek sönümlü kauçukta

K₁=6 K₂ kabulü yapılmıştır.

$$1. \quad K_2 = \frac{GA}{t_r} = \frac{40\pi(0.6604)^2}{4(0.1896)} = 72.26 t / m$$

$$2. \quad K_v = \frac{E_c A}{t_r}, \quad E_c = 6\lambda GS^2, \quad S = \frac{\Phi}{4t}, \quad \lambda = \frac{(b^2 + a^2) - [(b^2 - a^2)/\ln(b/a)]}{(b - a)^2}$$

$$\lambda = \frac{(66.04^2 + 6.35^2) - [(66.04^2 - 6.35^2)/\ln(66.04/6.35)]}{(66.04 - 6.35)^2} = 0.477$$

$$S = \frac{66.04}{4(0.79)} = 20.89, \quad E_c = 6(0.477)40(20.89)^2 = 49958 t / m^2$$

$$K_v = \frac{49958(0.3425)}{0.1896} = 90245 t / m$$

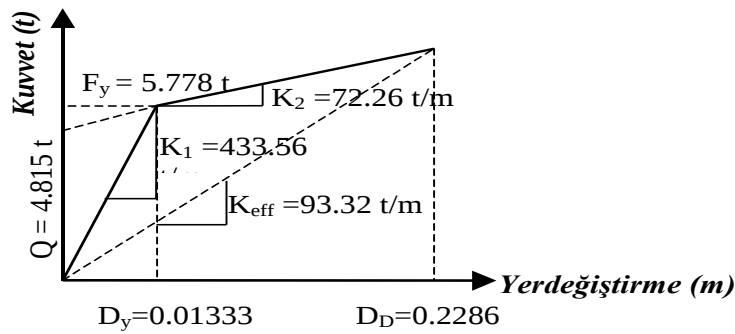
3. $Q = 0.0321W = 4.815 \text{ t}$
4. $D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{4.815}{5(72.26)} = 0.01333 \text{ m}$
5. $K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} = 72.26 + \frac{4.815}{0.2286} = 93.32 \text{ t/m}$
6. $F_Y = Q + K_2 D_y = 4.815 + 72.26(0.01333) = 5.778 \text{ t}$

Yukarıdaki matematik ifadelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Sonuçlar:

1. $K_{eff} = 93.32 \text{ t/m}$
2. $K_1 = 6(72.26) = 433.56 \text{ t/m}$
3. $K_2 = 72.26 \text{ t/m}$
4. $F_y = K_1 \times D_y = 5.778 \text{ t}$
5. $K_v = 90245 \text{ t/m}$

Elde edilen ifadeler Şekil 6.3' de, Scougal izolasyon sisteminin bilineer kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinde gösterilmiştir.



ŞEKİL 6.3 : Scougal yüksek sönümlü kauçuk mesnetin % 66 tasarım basınç yükü altında matematik modellemeye kullanılacak kuvvet-yerdeğiştirme eğri değerleri.

6.5 DIS KURŞUN SAPLAMALI KAÜÇUK MESNETLİ TABAN İZOLASYON SİSTEMİNİN BİLİNEER MATEMATİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Kurşun saplamalı kauçuk mesnet olarak alınacak izolatörün fiziksel özellikleri , boyut ve elemanları Ek-A' de ayrıntılı olarak verilmiştir. “Dynamic Isolation Systems, Inc.” Firmasının ürettiği mesnetler üç tiptir. Kolonlarımızdan herbiri 150t'luk bir basınç yüküyle yüklendiği için bu mesnet tiplerinden B tipi uygun görülmüştür.

DIS B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin hesaplamalar için gerekli olan fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tasarım basınç yükü : 226.50 t (DCL)

Tasarım yerdeğiştirmesi : 22.86 cm (D_D)

Tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı (t) : 7.62 mm

Toplam kauçuk tabaka kalınlığı (0.762 x 34 adet) (t_r) : 0.25908 m

Kurşun çekirdek çapı : 12.07 cm

Kurşun akma dayanımı : 1000 t/m²

Kauçuğun plan boyutu : 74.90 cm

Kayma modülü (G) : 40 t/m²

Matematik modellemede gerekli olan ifadelerin hesaplanması aşağıdaki gibidir. W her bir kolona gelen düşey ağırlık olarak alınacaktır. Kurşun saplamalı kauçukta

K₁=10 K₂ kabulü yapılmıştır.

$$1. \quad K_2 = \frac{GA}{t_r} = \frac{40\pi(0.749)^2}{4(0.25908)} = 68.026 t / m$$

$$2. \quad K_v = \frac{E_c A}{t_r}, \quad E_c = 6GS^2, \quad S = \frac{\Phi}{4t} = \frac{74.9}{4(0.762)} = 24.57$$
$$E_c = 6(40)(24.57)^2 = 144884 t / m^2 \quad K_v = \frac{144884(0.441)}{0.25908} = 246618 t / m$$

$$3. \quad Q = f_y \times \text{Kursun Alan} \quad Q = \frac{1000(0.1207)^2 \pi}{4} = 11.44 t$$

$$4. \quad D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{11.44}{9(68.26)} = 0.01862 \text{ m}$$

$$5. \quad K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} = 68.026 + \frac{11.44}{0.2286} = 118.069 \text{ t/m}$$

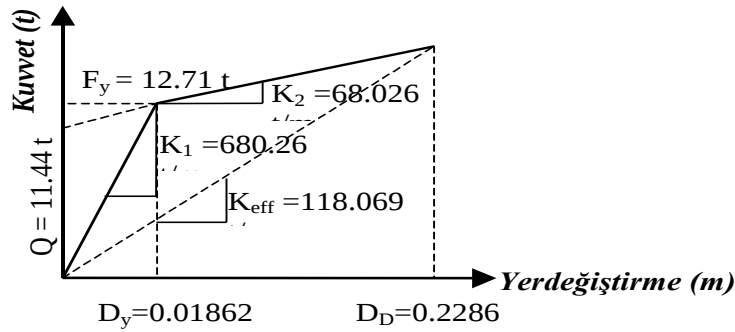
$$6. \quad F_y = Q + K_2 D_y = 11.44 + 68.026(0.01862) = 12.7066 \text{ t}$$

DIS kurşun saplamalı kauçuk B tipi mesnetin matematik modellemesinde kullanılacak değerler aşağıda verildiği gibidir.

Sonuçlar:

1. $K_{eff} = 118.009 \text{ t/m}$
2. $K_1 = 10(68.026) = 680.26 \text{ t/m}$
3. $K_2 = 68.026 \text{ t/m}$
4. $F_y = K_1 \times D_y = 12.7066 \text{ t}$
5. $K_v = 246618 \text{ t/m}$

Matematik modellememiz için gerekli olan ifadeler Şekil 6.4' de, DIS kurşun saplamalı kauçuk mesnetin bilineer kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinde gösterilmiştir.



ŞEKİL 6.4 : DIS kurşun saplamalı kauçuk mesnetin % 66 tasarım basınç yükü altında matematik modellemeye kullanılacak kuvvet-yerdeğiştirme eğri değerleri.

6.6 TABAN İZOLASYONLU ÖRNEK YAPININ DUHAMEL İNTEGRALI İLE ÇÖZÜMÜ

Bölüm 4’ de taban izolasyonlu yapıların hareket denklemlerinin çıkarılması ve çözümü ayrıntılı olarak verilmiştir. Örnek yapının taban izolasyonundaki yerdeğiştirmesi aşağıda verilen Duhamel integralinin çözümüyle bulunur.

$$y_1 = \frac{\Gamma_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\xi_1 \omega_1 \tau} \sin(\omega_1 \tau) d\tau$$

$$y_2 = \frac{\Gamma_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\xi_2 \omega_2 \tau} \sin(\omega_2 \tau) d\tau$$

Duhamel integralinin sayısal integrasyonunda kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir.

İzolatörün ağırlığı üst yapı ağırlığı ve ağılıklar oranı aşağıdaki gibidir.

$$m_b = 2,0838 / g \quad t / g \quad m_s = 300 / g \quad t / g \quad \text{ve} \quad \gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b} = 0,9931$$

Sistem rijitlikleri ve frekans oranı verilmiştir.

$$k_b = \frac{W}{R} = 134,529 \quad k_s = 533,24 \times 2 = 1066,477 t / m$$

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{(m_s + m_b)} = 4,368 \text{ } 1 / sn^2 \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m_s} = 34,874 \text{ } 1 / sn^2$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = 0,1253$$

Bunlara bağlı olarak sistemin frekansları, sönüm değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1 - \gamma \varepsilon) = 3,824$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2 (1 + \gamma \varepsilon)}{(1 - \gamma)} = 48,88$$

$$\Gamma_1 = 1 - \gamma \varepsilon = 0,8755, \quad \xi_1 = \xi_b \left(1 - \frac{3}{2} \gamma \varepsilon \right) = 0,163$$

Duhamel integrali sinüs açılımı yapılarak düzenlenirse aşağıdaki şekli alır.

$$y_1 = -\frac{\Gamma_1}{\omega_1} e^{-\xi_1 \omega_1 t} \left[\sin \omega_1 t \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{\xi_1 \omega_1 \tau} \cos \omega_1 \tau d\tau - \cos \omega_1 t \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{\xi_1 \omega_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau \right]$$

Diferansiyel denklemin çözümü Ek B' de verilmiştir. En büyük yerdeğiştirme 0,1237 metre olarak bulunmuştur.

Ayrıca 4.16 ve 4.22 denklemleri dikkate alınır, sönüm oranı %5 alınarak oluşturulmuş Bolu_EW Yerdeğiştirme Spektrumunda $T=3$ sn' ye karşı gelen değer 0,2131 m olarak okunmuştur. Sönüm oranı %20 olan sistemimizde $B_D=1,5$ 'tür. %20 sönüm ve $\Gamma_1=0,875$ olarak alınır, yerdeğiştirme, $0,875 \times 21,31 / 1,5 = 12,44$ cm olarak bulunur.

Üst yapı çok rijit tanımlandığından görelî en büyük yerdeğiştirme,

$$|v_s|_{maks} = \varepsilon S_D(\omega_1, \xi_1) = 0,1253(0,1421) = 0,017805 m \text{ olarak bulunur.}$$

$$C_s = 0,017805(34,874) = 0,6209 \text{ olarak elde edilir.}$$

$$V_t = 0,6209(300/9,81) = 18,98 t$$

6.7 TABAN İZOLASYONLU ÖRNEK YAPININ SAP2000 BİLGİSAYAR PROGRAMINDA NONLİNEER ANALİZİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

6.7.1 SAP 2000 Taban İzolasyonlu ve Ankastre Mesnetli Yapı Modellemesi Girdi Dosyasının Oluşturulması

1. Çerçeve düğüm noktalarının ve çubuk elemanlarının oluşturulması.
2. Üst yapıya ait tüm elemanların kesit özelliklerinin atanması.
3. Tüm elemanların malzeme özelliklerinin belirlenmesi.
4. Mesnet özelliklerinin atanması. İzolasyonlu sistemler için Nllink elemanlarının tek düğüm noktalı çizimi.
5. Tüm düğüm noktalarında rijit diyafram kabulünün yapılması.
6. Statik yüklemelerin atanması
7. Her bir düğüm noktasında 1, 3 yerdeğiştirme doğrultularında kütle tanımlanması.

8. Deprem yükü olarak zaman tanım alanı fonksiyonunun tanımlanması.
9. Deprem kaydına ait bileşen çiftleri için ilgili fonksiyonların belirlenmesi.

Zaman aralıkları ve süresi ile birlikte analiz tipi ve sönüm tanımlanır. Yük ataması sahasında, düşey yük RAMP fonksiyonuyla atanırken, deprem kaydı ACC DIR1 fonksiyonuyla tanımlanır ve ölçek faktörleriyle gerçek değerine yükseltilir.

10. Nllink eleman özelliklerinin atanır.

Program girdisi olarak verilecek özellikler, izolatör tiplerine göre aşağıdaki tabloda verilmiştir.

11. Analiz tipi ve mod sayısı belirlenir.

12. Analiz çalıştırılır.

Özellik Adı: EPS		Tipi: Isolator 2	
Toplam Ağırlığı:		2.0838 (t)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer 2000000	Nonlineer 2000000
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	67,26	533,24
	Y.H.S Katsayısı	-	0.03
	D.H.S Katsayısı	-	0.05
	a Parametresi	-	100
	R çap (m)	-	2,23

Tablo 6.1 : EPS B Tipi sürtünmeli sarkaç mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak tanımlanması

Yukarıdaki tabloda, Nllink eleman özelliklerinin SAP2000 bilgisayar programında, EPS B tipi mesnet olarak nasıl uygulanacağı verilmiştir. SAP 2000 bilgisayar programında mesnetlerin matematik modellemesi Bölüm 3’ de ayrıntılı olarak verilmiştir. U2 doğrultusunda yatay lineer rijitlik, K_{eff} değerine karşı gelmektedir. Nonlinear değer olarak alınan rijitlik değeri de, 0.05 sürtünme katsayısı sonucu oluşan sürtünme kuvvetini karşılayan yatay rijitlik değeridir buda izolasyon katındaki kolonların rijitliğidir. Sürtünme kuvveti akma kuvvetine, karşılayan rijitlikte mesnetin akma öncesi rijitliğine yani K_1 değerine karşı gelir.

Tabloda Y.H.S, yüksek hızlardaki sürtünme katsayısı ve D.H.S düşük hızlardaki sürtünme katsayısıdır. Ayrıca a parametresi denklem (3.6)’ da verilen kontrol parametresidir ve SAP 2000’ de (3.14)’ de verilen r ters efektif hızına karşı gelir.

Özellik Adı: SCOUGAL		Tipi: Isolator 1	
Toplam Ağırlığı:		0.6342 (t)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		90245	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	93,32	433,56
	Akma Dayanımı (t)	-	5,778
	K2/K1	-	0,1667

Tablo 6.2 : SCOUGAL B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak tanımlanması

Özellik Adı: DIS		Tipi: Isolator 1	
Toplam Ağırlığı:		0.84938 (t)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		246618	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	118,069	680,26
	Akma Dayanımı (t)	-	12,706
	K2/K1	-	0,1

Tablo 6.3 : DIS B Tipi Kurşun saplamalı kauçuk mesnetin, SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak tanımlanması

Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’ de tanımlanan kauçuk mesnetler Isolator 1 tipindedir ve SAP2000 matematik modellemesiyle ilgili ayrıntılar Bölüm 3’ de verilmiştir. Burada U2 yönündeki yatay lineer rijitlik, K_{eff} rijitliğine ve nonlinear rijitlikte kauçuğun akma öncesi rijitliği K_1 ’ e karşı gelir. Program akma sonrası rijitliği K_2 , akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranından alır.

6.7.2 SAP 2000 Nonlinear Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

SAP2000 program çıktıları Ek C’de verilmiştir. Bunlar sırasıyla; EPS, Scougal, DIS, ve ankastreli mesnetler için olmak üzere aşağıdaki gibidir.

1. Düğüm, çubuk ve Nllink eleman numaralarının gösterimi.
2. Bolu_EW deprem girdisinin gösterilmesi. (m/sn²)
3. 1 Nolu Nllink elemanın yerdeğiştirmesi. (m)
4. 1 Nolu Nllink elemanın kesme kuvveti. (t)
5. 1 Nolu Nllink elemanın kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin gösterilmesi. (t-m)

6. Taban kesme kuvvetinin gösterilmesi. (t)
7. 2 Düğüm noktasının yerdeğiştirmesi. (m)
8. 2 Düğüm noktasının ivmesi. (m/sn²)
9. 1 Düğüm noktasının ivmesi. (m/sn²)

Mesnet Tipi					Duhamel İntegrali
	EPS	Scougal	DIS	Ankastre	
İzolatör Yerdeğiştirmesi (m)	0,12653	0,12004	0,11708	-	0,1237
Ust yapıda max.					
Görelİ yerdeğiştirme (m)	0,01248	0,01326	0,01876	0,13813	0,017805
Taban Kesme Kuvveti (t)	26,03	26,98	38,8	370,38	18,98

Tablo 6.4 : SAP 2000 sonuçlarının karşılaştırılması.

BÖLÜM 7

UYGULAMA II

7.1 GİRİŞ

Rijit perde, kolon ve kirişlerden oluşan, dört katlı betonarme yapı ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu olarak SAP 2000 bilgisayar programında çözümlenmiştir. İzolatörler, SAP 2000 bilgisayar programında nonlinear Nlink eleman olarak tanımlanmış ve Bolu_EW 0,01 sn aralıklarla, 5590 datadan oluşan ve maksimum ivme değeri 805,878 gal olan deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında nonlinear olarak analiz edilmiştir. Çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapımızda S101 (475/25) , S102 (50/25) , S103 (575/25) , S104 (60/25) ve

S105 (60/25) ve tüm kirişlerde (50/25) olarak alınmıştır. Beton elastisite modulu 2850000 kN/m 'dir. Kat ağırlıkları kat ağırlık merkezinde her üç doğrultuda da tanımlanmıştır. Kat kütleleri sırasıyla $m_1 = 38,528^{tsn2/m}$, $m_2 = 38,386^{tsn2/m}$, $m_3 = 38,288^{tsn2/m}$, $m_4 = 24,191^{tsn2/m}$ dir. SAP 2000 programında girdi dosyasının oluşturulması daha önceki uygulamadaki gibidir.

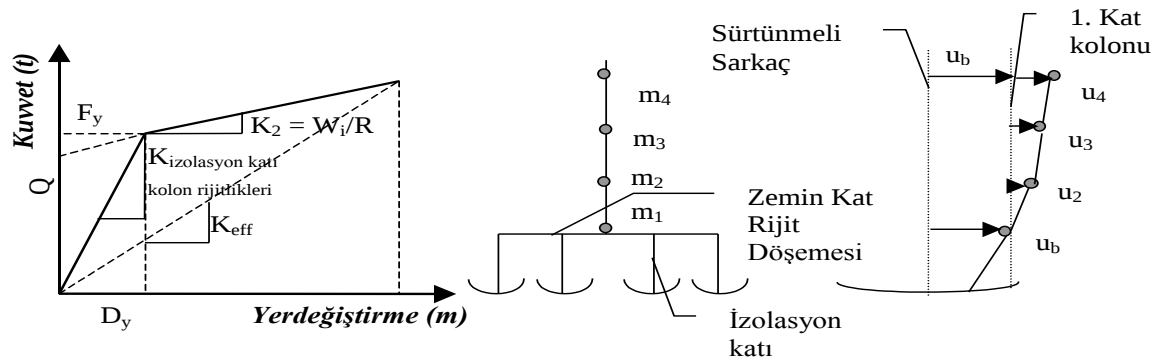
7.2 ÇOK KATLI BETONARME YAPIDA EPS SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TABAN İZOLASYONU UYGULAMASI

Çok katlı yapının sürtünmeli sarkaç matematik modellemesi aşağıda verildiği gibidir. İzolatörün akma öncesi rijitliği, taban izolasyon seviyesindeki yani izolatör üstündeki kolonların rijitliği olarak alınacaktır. Şekil 7.1' de basit olarak bu modelleme sunulmuştur. Perde kolonların altlarına iki adet A tipi EPS izolatör ve göbek kolonların altlarına da birer adet B tipi EPS izolatör ve kenar kolon altlarına bir adet olmak üzere 24 adet izolatör kullanılmıştır. Kullanılan izolatör fiziksel özellikleri ve elemanları Ek A' de verilmiştir. Buna bağlı olarak alınacak rijitlikler aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Sürtünmeli sarkaç taban izolasyonunda, dört katlı yapı, izolasyon katı rijit döşemesinin üzerinde yeralan üç katlı yapı olarak alınabilir. En önemli yerdeğiştirme izolasyon katında olacaktır. Bu nedenle bu yerdeğiştirme kolon rijitliklerine bağlıdır. EPS sistemlerinde sürtünme kuvvetine kadar olan yatay yüklemelerde yapı mesneti yatay ve düşeyde yerdeğiştirmemekle birlikte döner. Yani yapı sabit mesnetliymiş gibi düşünülebilir. Yatay deprem yükü, mesnette sürtünme kuvveti değerine eşit kesme mesnet reaksiyonu oluşturduğunda, izolasyon sistemi akmaya başlar. Ölçülen yerdeğiştirme izolatörün akma yerdeğiştirmesidir. Bu nedenle, sürtünme kuvvetine eşit mesnet reaksiyonu elde edeceğimiz deprem kuvvetini yapıya etkittiğimizde, kolon sürtünme kuvveti elde edilen zemin kat tavanı yerdeğiştirme değerine bölünürse, izolatör akma öncesi rijitliği elde edilir. Bu değer anlaşılacağı üzere, izolasyon katı kolon rijitliği değeri olarakta düşünülebilir. Aşağıda akma kuvveti, akma yerdeğiştirmesi ve izolatör rijitlik değerleri verilmiştir.

İzolator Tipi	Kolon Adı	Eksenel Yük (t)	Sürtünme Fy (t)	Dy (x) (m)	Dy (y) (m)	Efektif Rijitlik (t/m)	Elastik K2 Rijitlik (t/m)	Elastik K3 Rijitlik (t/m)
A / 2adet	SZ01	99,147	2,478	3,763E-02	5,1640E-05	22,230	65,850	47986,060
B / 1 adet	SZ02	55,640	2,782	5,410E-03	3,5620E-02	24,950	514,230	78,130
A / 2 adet	SZ03	121,388	3,035	3,761E-05	1,3750E-02	27,217	80696,620	220,650
B / 1 adet	SZ04	90,695	4,535	1,133E-02	2,6350E-02	40,670	400,260	172,110
B / 1 adet	SZ05	93,780	4,689	1,264E-02	2,6660E-02	42,054	371,040	175,880

Tablo 7.1 : Uygulama II' de alınacak EPS Nlink elemanın mekanik özellikleri



ŞEKİL 7.1 : Dört katlı betonarme perdeli sürtünmeli sarkaç taban izolasyonlu yapının idealize edilmiş modeli.

Modellemeden anlaşılacağı gibi sürtünmeli sarkaç sistemin mekanik özelliklerinin belirlenmesi Uygulama I' in benzeridir.

7.3 ÇOK KATLI BETONARME YAPIDA DIS KURŞUN SAPLAMALI KAÜÇUK TABAN İZOLASYONU UYGULAMASI

İlk uygulamada kurşun saplamalı DIS kauçuk mesnette mekanik özellikler yalnızca B tipi için çıkarılmıştır. Fakat yapımızda A tipi izolatör de kullanılacaktır. Aşağıda A tipi DIS mesnetin mekanik özelliklerinin nasıl belirlendiği anlatılacaktır.

DIS A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin hesaplamalar için gerekli olan fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tasarım basınç yükü : 67.95 t (DCL)

Tasarım yerdeğiştirmesi : 15.24 cm (D_D)

Tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı (t) : 7.62 mm

Toplam kauçuk tabaka kalınlığı (0.762 x 20 adet) (t_r) : 0.1514 m

Kurşun çekirdek çapı : 9.53 cm

Kurşun akma dayanımı : 1000 t/m²

Kauçuğun plan boyutu : 57.15 cm

Kayma modülü (G) : 40 t/m²

Matematik modellemede gerekli olan ifadelerin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

Kurşun saplamalı kauçukta K₁=10 K₂ kabulü yapılmıştır.

$$1. \quad K_2 = \frac{GA}{t_r} = \frac{40\pi(0.5715)^2}{4(0.1524)} = 67.328 t / m$$

$$2. \quad K_v = \frac{E_c A}{t_r}, \quad E_c = 6GS^2, \quad S = \frac{\Phi}{4t} = \frac{57.15}{4(0.762)} = 18.75$$
$$E_c = 6(40)(18.75)^2 = 84375 t / m^2 \quad K_v = \frac{84375.\pi(0.5715)^2}{4(0.1524)} = 142020.54 t / m$$

$$3. \quad Q = f_y \times \text{Kursun Alan} \quad Q = \frac{1000(0.953)^2 \pi}{4} = 7.13 t$$

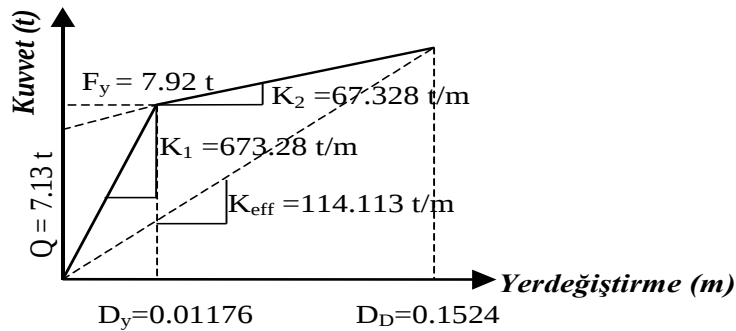
4. $D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{7.13}{9(67.328)} = 0.01176 \text{ m}$
5. $K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} = 67.328 + \frac{7.13}{0.1524} = 114.113 \text{ t/m}$
6. $F_y = Q + K_2 D_y = 7.13 + 67.328(0.01176) = 7.92 \text{ t}$

DIS kurşun saplamalı kauçuk A tipi mesnetin matematik modellemesinde kullanılacak değerler aşağıda verildiği gibidir.

Sonuçlar:

1. $K_{eff} = 114.113 \text{ t/m}$
2. $K_1 = 10(67.328) = 673.28 \text{ t/m}$
3. $K_2 = 67.328 \text{ t/m}$
4. $F_y = K_1 \times D_y = 7.92 \text{ t}$
5. $K_v = 142020.54 \text{ t/m}$

Matematik modellememiz için gerekli olan ifadeler Şekil 7.2' de, DIS kurşun saplamalı kauçuk A tipi mesnetin bilineer kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinde gösterilmiştir.



ŞEKİL 7.2 : DIS A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin matematik modellemesinde kullanılacak kuvvet-yerdeğiştirme eğri değerleri.

Özellik Adı: DIS		Tipi: Isolator 1	
Toplam Ağırlığı:		0.43488 (t)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		142020,5	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	114,113	673,28
	Akma Dayanımı (t)	-	7,92
	K2/K1	-	0,1
U3 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	114,113	673,28
	Akma Dayanımı (t)	-	7,92
	K2/K1	-	0,1

Tablo 7.2 : DIS A Tipi Kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nllink nonlinear eleman olarak tanımlanması

Kurşun saplamalı kauçuk mesnet taban izolasyonunda, periyodun küçük çıkmasından dolayı perde ve kolon altlarında birer adet kullanılmıştır. Perde altlarında ve göbek kolonların altlarında B tipi kenar kolon altlarında da A tipi izolatör kullanılmış. Bu çözümleme sonucunda birinci mod periyodu $T=1.71$ sn olarak bulunmuştur. Buda demektir ki, izolasyon sistemi oldukça rijit gelmektedir. Birinci mod periyodu 3 sn olacak alternatif bir kurşun saplamalı kauçuk mesnet tasarımının nasıl olacağı aşağıda verilmiştir.

7.4 ALTERNATİF MESNET OLUŞTURULMASI

DIS firmasının ürettiği kurşun saplamalı kauçuk mesnet tipleri altında çözümlenen taban izolasyonlu yapının periyodu istenen değerden küçük çıkmıştır. Bu nedenle daha esnek bir yapı oluşturmak için alternatif mesnet tipleri oluşturulmuştur. Tasarlanacak mesnetler, A tipi 100^t luk, B tipi 125^tluk ve C tipi 60^t tasarım basınç yükü olmak üzere üç tiptir. Her birinin tasarım yerdeğiştirmesi 26,5 cm ve sönümünde %15 olarak alınmıştır.Buna göre mesnet tiplerinin mekanik ve fiziksel özellikleri aşağıda belirlenmiş ve elemanları Ek A' de gösterilmiştir.

$$1. \quad D_D = \frac{9,81(0,48)(3)}{1,35} = 0,265 \text{ m}$$

$$K_{eff} = \frac{100}{9,81} \left(\frac{2\pi}{3} \right)^2 = 44,71 t / m \quad A \text{ tipi}$$

$$2. \quad K_{eff} = \frac{125}{9,81} \left(\frac{2\pi}{3} \right)^2 = 55,893 t / m \quad B \text{ tipi}$$

$$K_{eff} = \frac{60}{9,81} \left(\frac{2\pi}{3} \right)^2 = 26,829 t / m \quad C \text{ tipi}$$

$$W_D = 2\pi(44,71)(0,265)^2(0,15) = 2,95915 \text{ tm} \quad A \text{ tipi}$$

$$3. \quad W_D = 2\pi(55,893)(0,265)^2(0,15) = 3,6993 \text{ tm} \quad B \text{ tipi}$$

$$W_D = 2\pi(26,829)(0,265)^2(0,15) = 1,7757 \text{ tm} \quad C \text{ tipi}$$

$$Q = \frac{2,95915}{4(0,265)} = 2,79165 t \quad A \text{ tipi}$$

$$4. \quad Q = \frac{3,6993}{4(0,265)} = 3,4899 t \quad B \text{ tipi}$$

$$Q = \frac{1,7757}{4(0,265)} = 1,67519 t \quad C \text{ tipi}$$

$$K_2 = 44,71 - \frac{2,79165}{0,265} = 34,175 t / m \quad A \text{ tipi}$$

$$5. \quad K_2 = 55,893 - \frac{3,4899}{0,265} = 42,7235 t / m \quad B \text{ tipi}$$

$$K_2 = 26,829 - \frac{1,67519}{0,265} = 20,5075 t / m \quad C \text{ tipi}$$

$$D_y = \frac{2,79165}{9(34,175)} = 9,076322 \times 10^{-3} m \quad A \text{ tipi}$$

$$6. \quad D_y = \frac{3,4899}{9(42,7235)} = 9,0761914 \times 10^{-3} m \quad B \text{ tipi}$$

$$D_y = \frac{1,67519}{9(20,5075)} = 9,07629 \times 10^{-3} m \quad C \text{ tipi}$$

$$Q = \frac{2,95915}{4(0,265 - 9,076322 \times 10^{-3})} = 2,89065 t \quad A \text{ tipi}$$

$$7. \quad Q = \frac{3,6993}{4(0,265 - 9,0761914 \times 10^{-3})} = 3,6136 t \quad B \text{ tipi}$$

$$Q = \frac{1,7757}{4(0,265 - 9,07629 \times 10^{-3})} = 1,73459 t \quad C \text{ tipi}$$

$$Q = f_y \times \text{Kurşur Alan}$$

$$2,89065 = \frac{1000\pi(\Phi^2)}{4} \quad \Phi = 6,06 \text{ cm} \quad A \text{ tipi}$$

$$8. \quad 3,6136 = \frac{1000\pi(\Phi^2)}{4} \quad \Phi = 6,783 \text{ cm} \quad B \text{ tipi}$$

$$1,73459 = \frac{1000\pi(\Phi^2)}{4} \quad \Phi = 4,69 \text{ cm} \quad C \text{ tipi}$$

$$K_2 = 44,71 - \frac{2,89065}{0,265} = 33,80 \text{ t/m} \quad A \text{ tipi}$$

$$9. \quad K_2 = 55,893 - \frac{3,6136}{0,265} = 42,256 \text{ t/m} \quad B \text{ tipi}$$

$$K_2 = 26,829 - \frac{1,73459}{0,265} = 20,283 \text{ t/m} \quad C \text{ tipi}$$

$$K_2 = \frac{GA}{t_r}$$

$$33,80 = \frac{40\pi(0,6)^2}{4(t_r)} \quad t_r = 335 \text{ mm} \quad A \text{ tipi}$$

$$10. \quad 42,256 = \frac{40\pi(0,6)^2}{4(t_r)} \quad t_r = 268 \text{ mm} \quad B \text{ tipi}$$

$$20,283 = \frac{40\pi(0,5)^2}{4(t_r)} \quad t_r = 387 \text{ mm} \quad C \text{ tipi}$$

Buna bağılı olarak A tipi 20 adet 16,75 mm kalınlıklı, B tipi 16 adet 16,75 mm kalınlıklı ve C tipi de 23 adet 16,75 mm kalınlıklı kauçuk tabakadan oluşmaktadır. Kauçuk tabaka çapı A ve B tipi mesnette 60 cm ve C tipi mesnette de 50 cm olarak alınmıştır.

$$S = \frac{60}{4(1,675)} = 8,955 \quad A \text{ ve } B \text{ tipi} \quad E_c = 6(40)(8,955)^2 = 19246,08 \text{ t/m}^2 \quad A, B \text{ tipi}$$

$$S = \frac{50}{4(1,675)} = 7,463 \quad C \text{ tipi} \quad E_c = 6(40)(7,463)^2 = 13367,12 \text{ t/m}^2 \quad C \text{ tipi}$$

$$11. \quad K_v = \frac{19246,08(0,6)^2 \pi}{4(0,335)} = 16243,88 \text{ t/m} \quad A \text{ tipi}$$

$$K_v = \frac{19246,08(0,6)^2 \pi}{4(0,268)} = 20304,85 \text{ t/m} \quad B \text{ tipi}$$

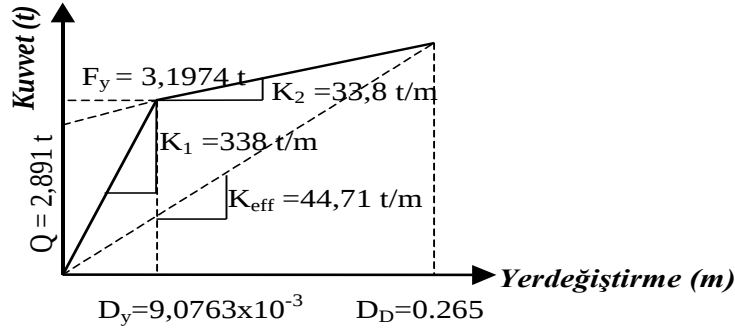
$$K_v = \frac{13367,12(0,5)^2 \pi}{4(0,387)} = 6812,79 \text{ t/m} \quad C \text{ tipi}$$

$$f_y = 2,89065 + 33,80(9,076322 \times 10^{-3}) = 3,1974 \text{ t} \quad A \text{ tipi}$$

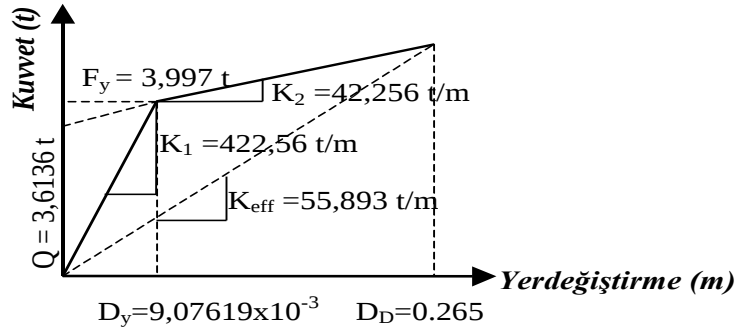
$$12. \quad f_y = 3,6136 + 42,256(9,0761914 \times 10^{-3}) = 3,997 \text{ t} \quad B \text{ tipi}$$

$$f_y = 1,73459 + 20,283(9,07629 \times 10^{-3}) = 1,9187 \text{ t} \quad C \text{ tipi}$$

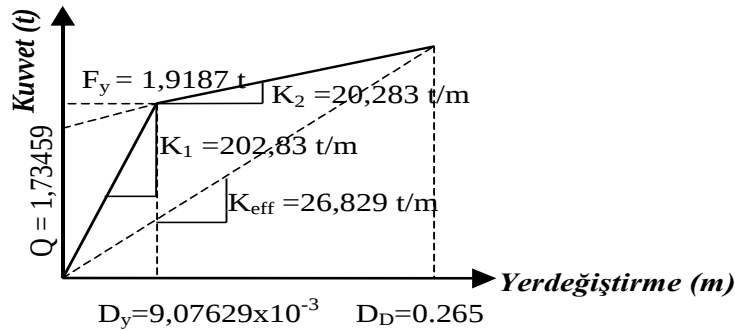
Yukarıda belirlenen fiziksel ve mekanik özelliklere bağlı olarak mesnet tiplerimizin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi aşağıda verilmiştir.



ŞEKİL 7.3 : Alternatif A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnet kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.



ŞEKİL 7.4 : Alternatif B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnet kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.



ŞEKİL 7.5 : Alternatif C tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnet kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.

Dört katlı betonarme yapımızda düşey yüklere bağlı olarak A ve C tipi mesnet, kullanılmıştır. Perde altlarına ikişer ve göbek kolonlarda birer adet C tipi mesnet kolon ve perde altlarına yerleştirilirken , kenar kolonlarda birer adet A tipi mesnet kullanılmıştır. Toplam kullanılan mesnet adedi 24'tür. Mesnet tiplerinin SAP 2000 bilgisayar ortamında nasıl nonlinear Nlink eleman olarak tanımlanacağı aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Özellik Adı: DIS		Tipi: Isolator 1	
Toplam Kütlesi:		0.0365 (tsn2/m)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		16243,88	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	44,71	338
	Akma Dayanımı (t)	-	3,1974
	K2/K1	-	0,1
U3 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	44,71	338
	Akma Dayanımı (t)	-	3,1974
	K2/K1	-	0,1

Tablo 7.3 : Alternatif A Tipi Kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP 2000 bilgisayar programında Nlink nonlinear eleman olarak tanımlanması

Özellik Adı: DIS		Tipi: Isolator 1	
Toplam Kütlesi:		0.0365 (tsn2/m)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		6812,79	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	26,829	202,83
	Akma Dayanımı (t)	-	1,9187
	K2/K1	-	0,1
U3 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	26,829	202,83
	Akma Dayanımı (t)	-	1,9187
	K2/K1	-	0,1

Tablo 7.4 : Alternatif C Tipi Kurşun saplamalı kauçuk mesnetin, SAP 2000 bilgisayar programında Nlink nonlinear eleman olarak tanımlanması

7.5 ANALİZ SONUÇLARI

Her bir sistem için elde edilen birinci titreşim periyodları Tablo 7.5’ de verilmiştir. DIS kauçuk mesnet birinci doğal periyodu istenilenden daha küçük olduğu için alternatif kurşun saplamalı kauçuk mesnet tipleri oluşturulmuştur. Analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak diğer sayfada Tablo 7.6’ da her mesnet tipi için verilmiştir. Bilgisayar çıktıları da Ek D’ de sunulacaktır.

Yapı Sistemleri	Birinci Mod Periyodları (sn)
Ankastre Mesnetli Yapı	0,2355
DIS Kurşun-Kauçuk Taban İzolasyonlu Yapı	1,7164
EPS Sürtünmeli Sarkaç Taban İzolasyonlu Yapı	2,8030
Alternatif Kurşun-Kauçuk Taban İzolasyonlu Yapı	2,7025

Tablo 7.5 : Birinci mod doğal titreşim periyodları

Ek D’ de verilecek analiz sonuçları sırasıyla şöyledir.

1. Herbir mesnet tipi için 1. Mod deformasyon şekli.
2. Herbir mesnet için 2. Mod deformasyon şekli.
3. Ankastre, DIS, EPS, Alternatif mesnet x yönü taban kesme kuvveti
4. Ankastre, DIS, EPS, Alternatif mesnet y yönü taban kesme kuvveti
5. Ankastre, DIS, EPS, Alternatif mesnet davranış spektrumunun çizilmesi
6. Ankastre, DIS, EPS, Alternatif mesnet zemin kat x yönü ivmesi
7. Ankastre, DIS, EPS, Alternatif mesnet zemin kat y yönü ivmesi
8. Ankastre, DIS, EPS, Alternatif mesnet zemin kat ağırlık merkezi maksimum yerdeğiştirme
9. S102 kolonu DIS, EPS, Alternatif mesnet kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi.
10. S101 perde kolonu DIS, EPS, Alternatif mesnet kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi.
11. S103 perde kolonu DIS, EPS, Alternatif mesnet yerdeğiştirme.
12. S104 kolonu DIS, EPS, Alternatif mesnet yerdeğiştirme eğrisi.

7.6 SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Ankastre mesnetli yapıda, yapıya aktarılan ivmeler, yapı temelinden üst katlara doğru artmaktadır. Ayrıca bu ivmeler yer hareket ivmesini de aşar. Buna karşılık taban izolasyonlu yapıda kat ivmeleri, yapı temelinden üst katlara doğru fazla bir yükseliş göstermez ve aynı zamanda yerçekimi ivmesinden düşük değerler alır.

Taban izolasyonlu yapıda yerdeğiştirmeler, ankastre mesnetli yapıya göre oldukça azdır. En büyük yerdeğiştirme taban seviyesinde olur ve üst katlar hemen hemen rijit bir davranış gösterir. Katlararası yerdeğiştirmenin az oluşu, yapıda meydana gelecek olan kesit tesirlerini azaltır.

Taban kesme kuvveti de ankastre mesnetli yapıya oranla %70-%80 oranında azalmaktadır.

BÖLÜM 8

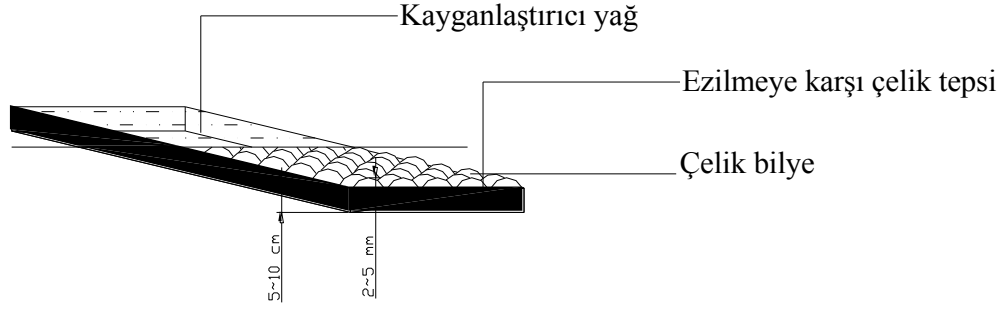
UYGULAMA III

8.1 GİRİŞ

Bu bölümde, Uygulama II’ de çözümlenen betonarme perdeli – çerçeve sistem, alternatif kayıcı mesnetli taban izolasyonu ile çözümlenecektir. Çok katlı betonarme yapıya ait bilgiler önceki uygulamada verilmiştir. Alternatif mesnetin uygulamasına ait çizim, yapı kalıp planıyla birlikte bu bölümün sonunda sunulmuştur.

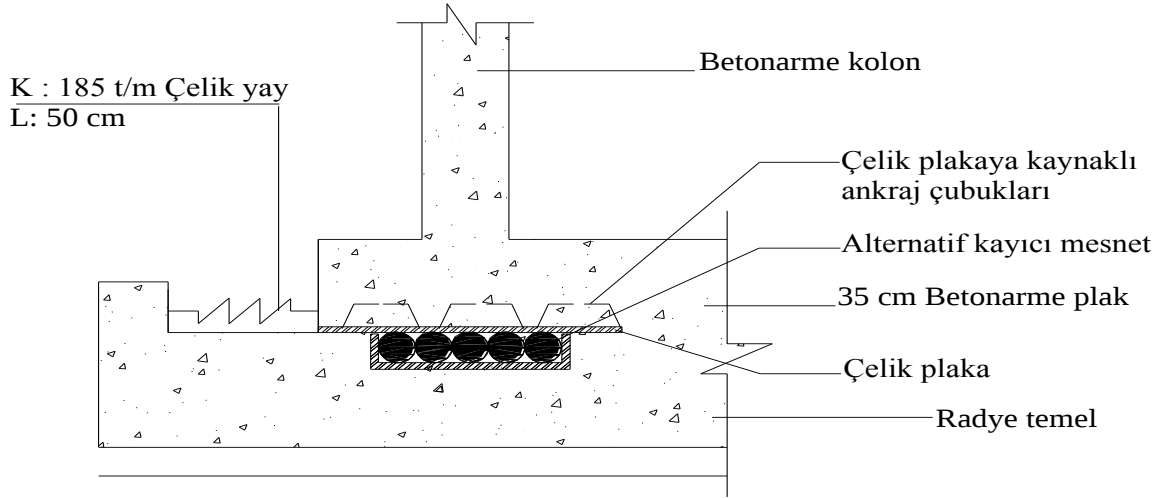
8.2 ALTERNATİF KAYICI MESNET

Alternatif kayıcı mesnetimizin yapılarda güvenli olarak kullanılabilmesi için, mekanik özelliklerinin test sonuçlarına bağlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yapılan hesaplamalar mesnetin ön tasarımında yardımcı ve ön görüş olarak kabul edilebilir. Şekil 8.1’ de mesnetimizin iç yapısı gösterilmiştir. Kayıcı mesnet, sürtünmeyi azaltacak kayganlaştırıcı yağ , düşey yükü ve kayıcılığı sağlayacak çelik bilyelerden ve bunları taşıyan çelik tepside oluşur. Çelik bilye yarıçapları, üzerine gelen düşey yüke göre belirlenir. Mesnette bulunan bilye adedi, düşey yüke göre ezilme tahkiki sonucunda hesaplanır. Çelik bilyeler, mesnedi çevreleyen çelik tepside 2~5 mm kadar taşar. Buna göre mesnet yüksekliği, çelik tepsi yüksekliği ile taşan bilye kısmının toplamı kadardır. Yani, mesnedimizin yüksekliği bilye çapına göre belirlenir. Toplar tepsi içine aralıksız ve kenarlarda boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Radye temel içine yerleştirilen mesnetin üstüne, boyutları heriki deprem doğrultusunda yerin maksimum yerdeğiştirmesine göre belirlenecek çelik plaka yerleştirilir. Sistemin sönümü, bilyelerin kendi aralarında ve tepsi tabanı ile yaptığı sürtünmeyle sağlanır.



ŞEKİL 8.1 : Alternatif kayıcı mesnet iç görünüş

Mesnet, geri dönüş kuvvetini sağlamak amacıyla, üzerlerinden betonarme plakayla birbirlerine bağlanmış ve her iki doğrultuda çelik yaylarla radye temel havuzuna bağlanmıştır. Çelik yayların rijitliği taban izolasyonlu yapıda akma sonrası rijitliği sağlamaktadır. Ayrıca temel seviyesinde mesnetlerin bağlanması aynı yerdeğiştirmeyi yapmalarını sağlar. Efektif rijitlik yada akma sonrası rijitlik , çelik yay rijitliği olan 185 t/m'dir. Rijitliği 185 t/m olan çelik yaylar yapıda x ve y yönünde üç adettir ve plandaki yerleşimi sunulmuştur. Mesnetin montajı Şekil 8.2' de verilmiştir.



ŞEKİL 8.2 : Alternatif kayıcı mesnet yerleşim kesiti.

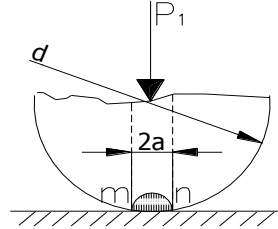
SAP 2000 bilgisayar programında, kayıcı mesnetimiz Nllink eleman olarak tanımlanırken, kayıcı yüzey düz olduğu için, çap değeri çok büyük bir değer olarak atanmıştır. Sürtünme kuvveti 0.15 olarak alınmıştır.

8.3 Çelik Bilye Çapı ve Adedinin Belirlenmesi

Kayıcı mesnette kullanılacak bilye sayısı, elastisite teorisini esas alan (8.1)' deki ifadeyle hesaplanır.

$$a = 0.88 \sqrt[3]{\frac{P_1 d}{E}}$$

$$p_{\max} = 1.5 \frac{P_1}{\pi a^2}$$



(8.1)

Fakat bu ifade bilyelerin elastik sınır içinde davrandığını varsaymaktadır ve bu nedenle bilye sayısı fazla çıkar. Çelik bilyelerin elastik ötesinde davranacağı varsayılarak aşağıda SZ01 kolonu ezilme tahkiki yapılmıştır. Diğer kolonlar altında yer alan mesnetlerde de çelik bilye ezilme tahkiki benzer şekilde yapılır. Ve plastikleşen bölge çapı belirlenir. Elde edilen sonuçlar Tablo 8.1' de sunulmuştur.

İfade de verilen, P_1 tek bir bilyeye gelen basınç kuvvetini göstermektedir. E çeliğin elastisite modülüdür. d , çelik bilye çapını ifade eder. Emniyet gerilmesi 4200 kg/cm^2 olarak alınmıştır.

SZ01 kolonumuz perde kolondur ve (475/25) boyutundadır. Üzerine gelen toplam basınç kuvveti 99,147 t'dur.

E : 2100000 kg/cm^2 , σ_{emn} : 4200 kg/cm^2 olarak alınmıştır. Çelik bilyeler St 52 olarak düşünülmüştür ve emniyet gerilmesi St 52 çeliğinin minimum akma gerilmesi olarak alınmıştır.

$$d = 6 \text{ cm} , \quad n = 486 \quad P_1 = \frac{99147}{486} = 204 \text{ kg}$$

$$p_{\max} = \frac{P_1}{\pi a^2} \quad a = 0.12 \text{ cm} \text{ uygundur.}$$

Kolon Adı	P (ton)	n (adet)	a (cm)	min Akma Gerilmesi (kg/cm ²)
SZ01	99,140	486	0,12	4200
SZ02	55,640	60	0,26	4200
SZ03	121,388	588	0,12	4200
SZ04	90,695	72	0,31	4200
SZ05	93,780	72	0,31	4200

Tablo 8.1 : Çelik Bilye Adedinin gösterilmesi

8.4 ANALİZ SONUÇLARI

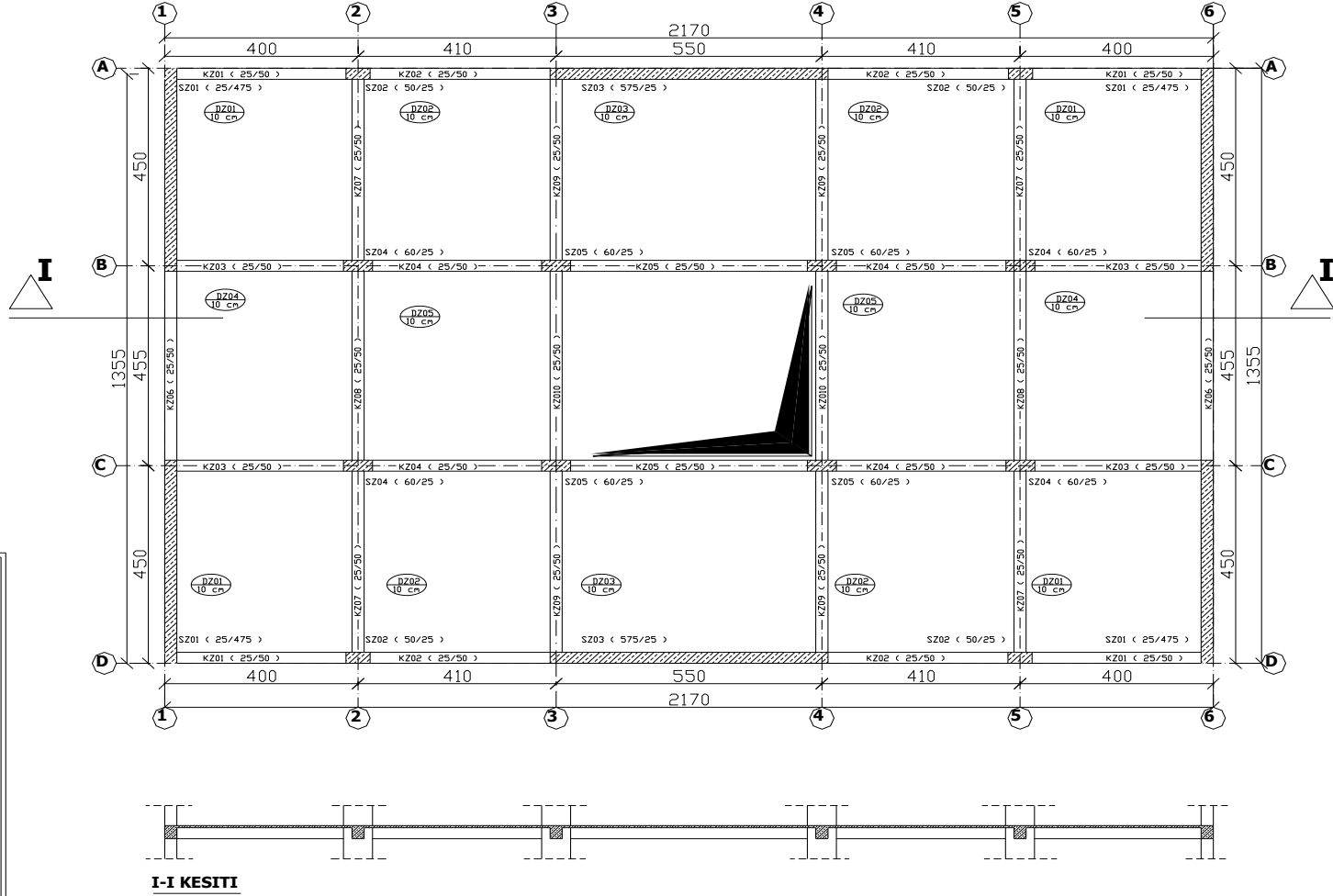
Alternatif kayıcı mesnetli yapımızın, mesnetleri SAP 2000 bilgisayar programında nonlinear Nlink eleman olarak tanımlanmış ve nonlinear üç boyutlu analizi zaman tanım alanında yapılmıştır. Yapının alternatif kayıcı mesnetli birinci mod periyodu 2,2559 sn ve 2. mod periyodu 2,2548 sn olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti x yönünde 324,1 t ve y yönünde 269,8 t olarak bulunur. Taban maksimum yerdeğiştirmesi x yönünde 16,55 cm ve y yönünde 15,27 cm' dir.Yapıya ait karşılaştırmalı sonuçlar Tablo 8.2' de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar EPS mesnet sonuçlarıyla benzerlik gösterir.

Açıklama	Kat No	Ankastre Mesnet		Taban İzolasyonlu Mesnet							
				DIS		EPS		Alternatif I		Alternatif II	
		X Yönü	Y Yönü	X yönü	Y yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Ağırlık Merkezi Maksimum Yerdeğiştirmesi (m)	4	0,01933	0,01753	0,16650	0,16810	0,13620	0,14160	0,13210	0,13440	0,1683	0,1546
	3	0,01388	0,01226	0,16180	0,16120	0,13580	0,14120	0,13060	0,13210	0,1673	0,1540
	2	0,00829	0,00704	0,15690	0,15410	0,13540	0,14080	0,12920	0,12980	0,1664	0,1533
	1	0,00325	0,00257	0,15180	0,14680	0,13500	0,14040	0,12760	0,12750	0,1655	0,1527
En Yüksek Kat İvmesi (m/sn2)	4	11,270	11,500	10,470	10,640	9,016	8,929	9,012	9,153	9,525	10,110
	3	8,257	7,456	10,130	10,250	8,990	8,904	8,929	8,980	9,521	9,890
	2	5,063	4,210	9,776	9,841	8,964	8,879	8,842	8,805	9,519	9,714
	1	3,177	1,865	9,410	9,425	8,939	8,857	8,750	8,620	9,517	9,712
Taban Kesme Kuvveti (ton)		1181	1153	296,9	302,6	133,4	128,6	110,6	109,6	324,1	269,8

Tablo 8.2: Uygulama II karşılaştırmalı analiz sonuçları

DÖRT KATLI PERDELİ BETONARME SİMETRİK YAPI

UYGULAMA II



EK B

UYGULAMA I

DUHAMEL İNTEGRALİ İLE ÇÖZÜMÜ

Uygulama I' de verilen sistemin Duhamel İntegrali ile çözümü tez çalışmasının arka kapağındaki diskette sunulmuştur. Duhamel İntegralinin sayısal integrasyonunda simpson metodu kullanılmıştır. Çözümle ilgili bilgiler Bölüm 6' da ayrıntılı olarak verilmiştir.

EK C

UYGULAMA I

SAP 2000 BİLGİSAYAR ÇIKTILARI

Uygulama I' de verilen sistemin, EPS, Scougal, DIS mesnet tiplerine göre yapılan, nonlineer zaman tanım alanı analiz çıktıları, Bölüm 6.7.2' de verilen sırayla sunulmuştur. Uygulamaya ait ayrıntılar Bölüm 6' da aktarıldığı gibidir.

EK D

UYGULAMA II

SAP 2000 BİLGİSAYAR ÇIKTILARI

Uygulama II' de verilen sistemin, EPS, Scougal, DIS, Alternatif kurşun saplamalı mesnet tiplerine göre yapılan nonlineer zaman tanım alanı analiz çıktıları, Bölüm 7.5' de verilen sırayla sunulmuştur. Uygulamaya ait bilgiler Bölüm 7' de aktarıldığı gibidir.

EK E

UYGULAMA III

SAP 2000 BİLGİSAYAR ÇIKTILARI

Uygulama II' de verilen sistemin, Alternatif kayıcı mesnet tipine göre yapılan nonlineer zaman tanım alanı analiz çıktıları, Bölüm 7.5' de verilen sırayla sunulmuştur. Uygulamaya ait ayrıntılar Bölüm 8' de aktarıldığı gibidir.