

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DEPREM ETKİSİNDE TABAN YALITIMLI BİNA TASARIMI
VE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARIYLA
DEPLASMAN DOĞRULUKLARININ TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet KARAKAYA

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2022

**DEPREM ETKİSİNDE TABAN YALITIMLI BİNA TASARIMI
VE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARIYLA
DEPLASMAN DOĞRULUKLARININ TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmet KARAKAYA
(802191203)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Beyza TAŞKIN

TEMMUZ 2022

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**BASE ISOLATED BUILDING DESIGN UNDER THE EFFECT
OF EARTHQUAKE, AND THE CALCULATION OF DISPLACEMENT
ACCURACY WITH MACHINE LEARNING ALGORITHMS**

M.Sc. THESIS

**Ahmet KARAKAYA
(802191203)**

Department of Earthquake Engineering

Earthquake Engineering Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Beyza TAŞKIN

JULY 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 802191203 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet KARAKAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DEPREM ETKİSİNDE TABAN YALITIMLI BİNA TASARIMI VE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARIYLA DEPLASMAN DOĞRULUKLARININ TESPİTİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Beyza TAŞKIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Oğuz GÜNEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **18 Temmuz 2022**
Savunma Tarihi : **20 Temmuz 2022**





Değerli Kardeşim Emir Ömer'in Anısına,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı sonucunda almış olduğum eğitim kapsamında yazılmıştır. Burada, ülkemizin en önemli problemi olan depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili birbirinden değerli akademik kadrosuyla harikulade bir eğitim verildiğini belirtmek isterim. Öncelikle, bana mühendisliğin temel taşı olan pratikliği kazandıran, değerli görüşlerini esirgemeyen ve her koşulda yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a teşekkür ederim. Günümüzün Mustafa İNAN'ı olduğuna inandığım ve bir gün onu bir Oğuz ATAY'ın yazacağından hiçbir şüphe duymadığım Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ'a hayatım konusunda farkında olmadığı katkıları sebebiyle şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca, bugüne kadar üzerimde emeği bulunan, eğitim aldığım değerli öğretmenlerime ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasındaki ana gaye, yenilikçi yöntemlerle bir binayı tasarlamak, geleneksel yöntemlerden bir nebze olsun uzaklaşmaktır. Bunu da deprem etkisinde taban yalıtımlı bir bina tasarımı yaparak ve yapay zeka'nın bir alt dalı olan makine öğrenmesi'ni deprem mühendisliği alanında uygulayarak yapmak heyecan vericiydi. Yepyeni bilgilerle donanmayı amaçlarken karşılaştıklarımın bana kattıkları için oldukça mutluyum.

Temmuz 2022

Ahmet KARAKAYA
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xviii
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Taban Yalıtımı ve Ortaya Çıkışı	2
1.2.1 Türkiye’de taban yalıtımı ile ilgili gelişmeler	3
1.2.2 Taban yalıtımı ile bina güçlendirilmesi	4
1.3 Makine Öğrenmesi ve Ortaya Çıkışı	5
1.3.1 İnşaat mühendisliği’nde makine öğrenmesi	5
2. DEPREM ETKİSİNDE TABAN YALITIMLI BİNALAR	7
2.1 Taban Yalıtımlı Sistemlerin Dinamik Davranışı	9
2.1.1 Serbest titreşim durumu	9
2.1.2 Sönüm değerinin elde edilmesi	11
2.1.3 Spektral yöntemle çözüm	12
2.2 Taban Yalıtım Sistemleri	16
2.2.1 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin çalışma mekanizması	17
2.2.2 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin davranışı	19
2.2.2.1 Hedef periyot seçim yöntemi	21
2.3 TBDY 2018’de Deprem Etkisinde Taban Yalıtımlı Binalar	21
2.3.1 KÇE deprem yalıtım birimlerinin özellikleri	22
2.3.2 Performans hedefleri, yük birleşimleri ve tasarım	23
2.3.3 Kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimleri	23
2.3.3.1 KÇE deprem yalıtım birimlerinin depremsiz şekil değiştirmesi	25
2.3.3.2 KÇE deprem yalıtım birimlerinin depremlı şekil değiştirmesi	27
2.3.3.3 KÇE deprem yalıtım birimlerinin şekil değiştirme sınırı	27
2.3.3.4 KÇE deprem yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı	28
2.3.3.5 KÇE deprem yalıtım birimlerinin bağlantıları	29
2.4 SAP2000 v20 ile Deprem Etkisinde Taban Yalıtımlı Bina Tasarımı	29
2.4.1 Yapı hakkında genel bilgiler	30
2.4.2 Spektrum eğrileri	31
2.4.3 Yapı ağırlığı’nın hesaplanması	33
2.4.4 Bina için ön tasarım hedefleri	35
2.4.5 Öngörülen hedefler ile uyumlu deprem yalıtım biriminin seçimi	37
2.4.6 Bina’nın modellenmesi	40
2.4.7 Hesap yönteminin seçimi	44
2.4.7.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi	45
2.4.7.2 Etkin deprem yükü yöntemi	45
2.4.7.3 Mod birleştirme yöntemi	47
2.4.7.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	48
2.4.8 Taban yalıtımlı binalarda görelî kat ötelemesi sınırları	50
3. MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE DEPLASMAN TESPİTİ	51
3.1 Makine Öğrenmesi ve Tarihi Gelişim Süreci	51
3.2 Gözetimli Öğrenme	53
3.2.1 Gözetimli öğrenmeye giriş	53

3.2.2 Sınıflama ve bağlanım modelleri	56
3.2.2.1 k en yakın komşuluk	56
3.2.2.2 Lojistik bağlanım	57
3.2.2.3 Destek vektör makineleri	58
3.2.2.4 Karar ağaçları	59
3.2.2.5 Rastgele orman	61
3.2.2.6 Gradyan artırma	62
3.3 Algoritmaların Uygulanması	64
3.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	64
3.4.1 Algoritmaların kendi içerisinde değerlendirilmesi	64
3.4.2 Algoritmaların birbirleriyle karşılaştırılması	69
4.SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	73
EKLER	75



KISALTMALAR

TBDY2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
SAP2000	: Structural Analysis Program 2000
VBA	: Visual Basic
ASCE	: American Society of Civil Engineers
EDY	: Eşdeğer Deprem Yüğü
MBY	: Mod Birleştirme Yöntemi
ZTAH	: Zaman Tanım Alanında Hesap
KÇE	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
kNN	: k En Yakın Komşular
DVM	: Destek Vektör Makineleri



SEMBOLLER

A	: Elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı
A_L	: Elastomer katmanı kenar yüzeyi alanı
A_p	: KÇE yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
A_r	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı
b	: Yapının en uzun plan boyu d'ye dik doğrultudaki en kısa plan boyu
B	: Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
d	: Yapının en uzun plan boyu
D	: Yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri
D_D	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_{TD}	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D_M	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_{TM}	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D_y	: Yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi
e	: Üstyapı ağırlık merkezi ile yalıtım sistemi rijitlik merkezi arasında ölçülen dış merkezlik ile deprem yüklemesine dik doğrultudaki plan boyutunun %5'i olarak hesaplanan ek dış merkezliğin toplamı
E_d	: Tasarıma esas toplam deprem etkisi
E_c	: Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü
E₀	: Esneklik modülü
E_v	: Düşey rijitlik modülü
F	: Yalıtım biriminde D yerdeğiştirmesine karşı gelen dayanım
F_s	: Üst yapıya etki eden deprem kuvveti
F_y	: Etkin akma dayanımı
F_Q	: Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı (kuvvet-yerdeğiştirme çevriminde sıfır yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvvet)
g	:Yer çekimi ivmesi

G	: Sabit yük
G_v	: Elastomer malzemenin kayma modülü
G_e	: Etkin kayma modülü
H	: Yalıtım birimi toplam yüksekliği
h_i	: i'nci kat ile (i-1)'nci kat arasındaki mesafe (kat yüksekliği)
h_x	: x katının yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
K	: Kauçuk malzemenin hacim modülü
K_D	: Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
K_M	: En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
k₁	: Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik)
k₂	: Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği
k_e	: D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
k_v	: Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği
P	: Düşey yük ve deprem yükünün ortak etkisi altında meydana gelen en büyük düşey yük
P_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
P'_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olduğu durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
P_{str}	: Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekilde değiştirmeye bağılı eksenel yük kapasitesi
R_c	: Yalıtım birimi kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı
R	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S	: Şekil katsayısı
S_{ae}^{DD-2}	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme [g]
S_{ae}^{DD-2}(T_d)	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde T _D periyodundaki spektral ivme [g]
S_{ae}^{DD-1}	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme [g]
S_{ae}^{DD-1}(T_M)	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde T _M periyodundaki spektral ivme [g]
t	: Elastomer katman kalınlığı

T_D	: Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
T_p	: Yalıtım uygulanmamış binanın brüt kesit rijitliği kullanılarak hesaplanmış hakim mod titreşim periyodu
T_M	: En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
T_t	: Toplam elastomer kalınlığı
T_v	: Elastomer yalıtım birimleri ile yalıtılmış yapının dūřey doğrultudaki titreşim periyodu
V_D	: Tasarım deprem yer hareketi dūzeyi DD-2 için hesaplanan ūstyapıya etkiyen kuvvet
V_M	: En büyük deprem yer hareketi dūzeyi DD-1 için hesaplanan ūstyapıya etkiyen kuvvet
$(V_s)_{30}$	: Ūst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
y	: Yalıtım sistemi rijitlik merkezi ile ilgili eleman arasındaki deprem yūklemesine dik doęrultudaki uzaklık
Q	: TS 498'e gūre azaltılmıř hareketli yūk
W	: Binanın deprem sırasındaki toplam kūtleye karşı gelen ağırlığı
w_x	: x katının toplam ağırlığı
β_e	: Etkin sūnūm oranı
τ_{yp}	: Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi
ϵ_b	: Elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeri
γ_c	: Dūřey yūklerden kaynaklanan açısal řekildeęiřtirme
$\gamma_{c,E}$	: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme
$\gamma_{c,st}$	: Basınçtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme
$\gamma_{r,st}$	: Yalıtım birimi ūst ve alt plakaları arasındaki gūreli dūnmeden meydana gelen birim řekildeęiřtirme
γ_s	: Toplam deprem tasarım yerdeğiştirmesinden kaynaklanan açısal şekildeğiştirme
$\gamma_{s,E}$	: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
$\gamma_{s,st}$	: Deprem dıřındaki dięer etkilerden dolayı (genleřme, rūzgar vb.) oluřacak yatay yerdeęiřtirmeden meydana gelen açısal řekildeęiřtirme
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan Burulma Dūzensizlięi Katsayısı
η_D	: Tasarım deprem yer hareketi dūzeyi için sūnūm ŧleklendirme katsayısı
η_M	: En būyūk deprem yer hareketi dūzeyi için sūnūm ŧleklendirme katsayısı

- Δ_s : Yatay yüklemeden meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı
- Θ_s : Tasarım dönme açısı
- ζ : DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi için hesaplanan etkin sönüm yüzdesi





ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Taban yalıtımlı sistemde ilk iki moda karşı gelen parametreler.	10
Çizelge 2.2 : KÇE’lerin dayanım ve rijitliği için alt ve üst sınır değerleri.	24
Çizelge 2.3 : Deprem kayıtları.	33
Çizelge 2.4 : Toplam yapı ağırlığı (kN).	34
Çizelge 2.5 : ZTAH sonucu elde edilen deprem yükleri (kN).	50
Çizelge 2.6 : ZTAH sonucu elde edilen deplasmanlar (m).	50
Çizelge 3.1 : Algoritmaların metrik sonuçları (%).	70
Çizelge D.1 : Deprem yalıtım birimleri veri seti.	88
Çizelge G.1 :Zemine ankastre mesnetli ve taban yalıtımlı binaların kıyaslanması.	109



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : (a) Geleneksel bina. (b) Taban yalıtımlı bina.	3
Şekil 1.2 : Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi (adanasehir.saglik.gov.tr).	3
Şekil 1.3 : Büyük Tarabya Oteli (thegrandtarabya.com).....	4
Şekil 1.4 : Makine öğrenmesi illüstrasyonu.	5
Şekil 2.1 : (a) Zemine mesnetlenmiş sistem. (b) Tabandan yalıtılmış sistem.....	8
Şekil 2.2 : Taban yalıtımlı tek serbestlik dereceli sistem.	9
Şekil 2.3 : DD-1 spektrum eğrisi.	12
Şekil 2.4 : Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet.....	18
Şekil 2.5 : Taban yalıtımında kuvvet-yerdeğiştirme değişimi ve omurga eğrisi. ...	20
Şekil 2.6 : Kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimi.	24
Şekil 2.7 : KÇE birim şekil değiştirme şekilleri.	26
Şekil 2.8 : KÇE'nin şekil değiştirmiş durumları.	28
Şekil 2.9 : KÇE'nin bağlantıları.	29
Şekil 2.10 : Zemin kat planı.	31
Şekil 2.11 : DD-1 spektrumu ve ölçeklendirilmiş 11 deprem spektrumu.	33
Şekil 2.12 : Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (BÖK).....	35
Şekil 2.13 : Deprem tasarım sınıfları (DTS).	36
Şekil 2.14 : Bina yükseklik sınıfları ve DTS'ye göre bina yükseklik aralıkları.	36
Şekil 2.15 : DTS'ye göre performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları.	36
Şekil 2.16 : Deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları.....	37
Şekil 2.17 : Taban yalıtım biriminin seçimi için akış diyagramı.....	38
Şekil 2.18 : KÇE yalıtım birimi.	38
Şekil 2.19 : Bina'nın SAP2000 ile 3 boyutlu modeli.....	40
Şekil 2.20 : Hareketli yük kütle katılım katsayısı.	40
Şekil 2.21 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.	41
Şekil 2.22 : Malzemelerin özelliklerinin girilmesi.	41
Şekil 2.23 : Kesitlerin özelliklerinin girilmesi.....	42
Şekil 2.24 : Normal kat ve taban döşemelerinin oluşturulması.	42
Şekil 2.25 : Yüklerin girilmesi.	43
Şekil 2.26 : KÇE verilerinin girilmesi.	43
Şekil 2.27 : Eşdeğer deprem yükü verilerinin girilmesi.....	45
Şekil 2.28 : Mod birleştirme yöntemi.	47
Şekil 2.29 : DD-1 spektrumu ve deprem kayıtlarının ortalaması.	48
Şekil 2.30 : ZTAH verileri.	49
Şekil 3.1 : Tahmin türü ve tahmin modelleri.	53
Şekil 3.2 : Model türleri - farklı modeller.	54
Şekil 3.3 : Yaygın kayıp fonksiyonları.	54
Şekil 3.4 : Gradyan inişi modeli.	55

Şekil 3.5 : kNN örneklemeşi.	56
Şekil 3.6 : Lojistik bağlanım örneklemeşi.	57
Şekil 3.7 : Destek vektör makineleri.	58
Şekil 3.8 : Kernel (çekirdek) örneklemeşi.	59
Şekil 3.9 : Karar ağaçları örneklemeşi.	61
Şekil 3.10 : Rastgele orman örneklemeşi.	62
Şekil 3.11 : Gradyan artırma örneklemeşi.	63
Şekil 3.12 : kNN hata matrisi.	65
Şekil 3.13 : Lojistik bağlanım hata matrisi.	66
Şekil 3.14 : Destek vektör makineleri hata matrisi.	67
Şekil 3.15 : Karar ağaçları hata matrisi.	67
Şekil 3.16 : Rastgele orman hata matrisi.	68
Şekil 3.17 : Gradyan artırma hata matrisi.	69
Şekil 3.18 : Metrik sonuçların karşılaştırılması (%).	70
Şekil A.1 : Spektrumların çizdirilmesi.	77
Şekil A.2 : Eşdeğer deprem yükü hesabı.	77
Şekil C.1 : Kayıt no.: 139.	83
Şekil C.2 : Kayıt no.: 832.	83
Şekil C.3 : Kayıt no.: 1111.	84
Şekil C.4 : Kayıt no.: 1165.	84
Şekil C.5 : Kayıt no.: 1166.	84
Şekil C.6 : Kayıt no.: 1633.	85
Şekil C.7 : Kayıt no.: 1787.	85
Şekil C.8 : Kayıt no.: 2734.	85
Şekil C.9 : Kayıt no.: 2897.	86
Şekil C.10 : Kayıt no.: 3943.	86
Şekil C.11 : Kayıt no.: 4097.	86
Şekil F.1 : Yapı düzensizlikleri.	107
Şekil G.1 : Zeminde ankastre mesnetli bina modeli.	109
Şekil G.2 : Zeminde ankastre mesnetli bina - kat kesme kuvvetleri.	110
Şekil G.3 : Taban yalıtımlı bina - kat kesme kuvvetleri.	110



DEPREM ETKİSİNDE TABAN YALITIMLI BİNA TASARIMI VE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARIYLA DEPLASMAN DOĞRULUKLARININ TESPİTİ

ÖZET

İnsanoğlu, yüzyıllar boyunca yüksek sayıda can ve mal kaybına neden olan depremin meydana getirdiği dinamik etkilerden korunmanın yollarını aramıştır. Bu etkilerden korumayı düşündükleri ilk alanlar ise içerisinde yaşadıkları konutları olmuştur. Çoğunluğu aktif fay bölgeleri içerisinde bulunan ülkemizde ise can ve mal kaybının önlenmesi adına depreme dayanıklı ve sürekli kullanımı hedefleyen tasarım yöntemlerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle, merkez üssü Gölçük olan 17 Ağustos 1999 depreminden sonra, bu konu ile ilgili standartların ve yönetmeliklerin güçlendirilmesi ve uygulamada alınan önlemlerin artması, ülkemiz adına bu konuda atılmış en önemli adımlardan birkaçı olmuştur.

Bu çalışma, dört katlı bir binanın, tabanına yerleştirilen on altı adet kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimiyle birlikte, deprem etkisi altında taban yalıtımlı olarak tasarlanmasını içermektedir. Ayrıca, aynı binaya beş yüz yetmiş beş farklı özelliğe sahip olan kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım biriminin uygulanmasıyla birlikte, TBDY 2018'e göre en büyük deprem yer hareketi seviyesi altında, alt ve üst limitlerinin ortalaması ile elde edilen deplasman değerlerinin sonucu olarak oluşturulan veri tabanıyla, altı farklı makine öğrenmesi algoritması çalıştırılmış, başarı oranları tespit edilmiş ve algoritmalar da kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, farklı özelliklere sahip bir yalıtım birimi türünün, aynı özellikteki bir binaya uygulandığında, oluşabilecek deplasman değerinin hızlı bir şekilde tespiti ve yaklaşık bir fikir vermesidir.

Bu tez çalışması, dört bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, deprem etkisinde taban yalıtımlı bina tasarımı ve makine öğrenmesi kavramlarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde, deprem etkisinde taban yalıtımlı bina tasarımının dinamik teorisi ve mekanizmasından detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde, SAP2000 v20 yazılımı ile deprem yalıtım birimiyle birlikte binanın modellenmesini, deprem etkisi altında tasarımını, farklı hesap yöntemlerine göre elde edilen deprem yüklerinin ve bu yüklerin elverişsiz olarak uygulanması ile oluşan deplasman değerlerinin TBDY 2018'e göre değerlendirilmesini içermektedir. Üçüncü bölümde, makine öğrenmesi'nin ortaya çıkış süreci ve çalışmada uygulanan altı makine öğrenmesi algoritmasının çalışma mekanizması aktarılmış, python yazılım dili ile edilen sonuçlar gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde ise hem deprem etkisi altında tasarlanan binadan hem de makine öğrenmesi algoritmalarından elde edilen sonuçlar, genel anlamıyla değerlendirilmiştir.



BASE ISOLATED BUILDING DESIGN UNDER THE EFFECT OF EARTHQUAKE, AND THE CALCULATION OF DISPLACEMENT ACCURACY WITH MACHINE LEARNING ALGORITHMS

SUMMARY

Mankind has always tried to find ways to protect itself from the devastating effects of earthquakes causing great loss of life and damage to property since the beginning of time. Our first thought has always been to protect our homes. In our country, which is located in the middle of active fault zones, the importance of earthquake-safe and sustainable structural design to prevent loss of life and property is increasing every day. Particularly, after the earthquake of 17th August 1999, the epicenter of which was Gölcük, the strengthening of the structural standards and regulations governing the matter, and their consequent applications have been the most important steps taken in this regard.

This study includes the design of a four story building with sixteen lead rubber bearing units placed on its base, with base isolation, under the effect of an earthquake. In accordance with Building Seismic Code of Turkey (TBDY) 2018, five hundred and seventy five different lead rubber bearing units taken from the Bridgestone lead rubber bearing catalog were added to the building, which was designed with base isolation under the influence of earthquake, together with sixteen lead rubber bearing units placed on its base. The dataset was created using the result of the displacement values obtained by the average of the lower and upper limits below the level and these average displacement values. Simultaneously, six different, supervised machine learning algorithms were run, their accuracies were determined and the algorithms were compared among themselves. The aim of this study is to speedily determine the displacement value that may occur when a certain type of isolation unit with varied characteristics is applied to a building with the same characteristics and to give an approximate idea. From here, it is proven in detail, with the control mechanisms, that the purpose of the study is achieved.

This thesis consists of four parts: In the introduction, the concepts of base isolated building design and machine learning under the effect of earthquakes are studied. In the second part, the dynamic theory and mechanism of the base isolated building design under the effect of earthquakes are discussed in detail. Also in this section, we take a detailed look at SAP2000 v20, a software that computes modeling of the building in tandem with the lead rubber bearing units, its design under the influence of earthquakes, the evaluation of seismic loads obtained according to different calculation methods, and the displacement values created by the unfavorable application of these loads according to TBDY 2018. In the third chapter, the inception of machine learning and the working mechanism of six machine learning algorithms applied in the study are explained, and the results with python software language are shown and evaluated.

In the fourth chapter, the results obtained from both the building designed under the effect of earthquake and machine learning algorithms are assessed in general terms.

This work includes the design of a four story building, whose structural system consists of reinforced concrete frames with high ductility, with sixteen lead rubber bearing units, in accordance with TBDY 2018. The most important standards used creating this design are "Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures" (TS-500) and "Account Values of Loads to be Taken in Sizing of Building Elements" (TS-498).

By providing the necessary flexibility of the building, which is designed with base isolation, its natural period increased and its damping ratio under the effect of earthquakes remained at a sufficient level. In addition, the earthquake isolation units used covered all vertical and horizontal loads both under the effect of the earthquake and in use. Concortedly, after the application of the base isolation system, which reduces the earthquake effect on the superstructure of the building, the relative floor drifts and floor shear forces decreased.

As a result of the calculations made in accordance with TBDY 2018, no structural irregularity in the building was observed. Four different calculation methods were applied under the effect of earthquakes simultaneously. These are equivalent seismic load, effective seismic load, mode combination method, and nonlinear time history analysis. These methods were examined in detail in accordance with the relevant regulations and the efficacy of the results was demonstrated.

For the equivalent seismic load method, a comparative calculation was made both with the program I coded in visual basic based on Excel, and using SAP2000 v20. The calculation with the effective seismic load method was based on the code (TBDY 2018). The mode combination method was calculated using SAP2000 v20 and the displacement and seismic load values obtained as a result of the effective seismic load method, due to the absence of structural irregularity in the building, meet the necessary conditions.

As a result of eleven earthquake records that meet the necessary conditions in accordance with TBDY 2018 and their application to the building with the SAP2000 v20, rotated ninety degrees, a nonlinear time history analysis was made. The average of the twenty two displacement values obtained according to the unfavorable seismic load and the average of the seismic loads were compared with the displacement and seismic load values obtained as a result of the effective seismic load method due to the absence of structural irregularity in the building and it was observed that it met the necessary criteria.

The results obtained from six different supervised machine learning algorithms The programming was done using python and the machine learning libraries in the program. These six algorithms are as follows; k nearest neighbor, logistic regression, support vector machines, decision trees, random forest, and gradient boosting. Step by step results were also obtained using python based jupyter notebook. These algorithms whose theory and the working mechanism mentioned are explained one by one and their success rates are presented in detail.

The r square score, the best measure of how well the experimental data fits a linear curve, is the determination quotient calculated in the regression analysis process. The more data points there are, the higher the reliability of r squared, and it can be stated that the algorithms with values close to one (1) perform better. It is ascertained that the algorithm with the highest r square score supports vector machines with 98.83%. It is observed that the algorithm with the lowest r square score is the k nearest neighbor with 94.14%. The resulting values are reasonably close to one (1) and expected ratios are obtained.

The mean square error calculates how close a correlation curve is to a set of points. This metric measures the performance of the machine learning algorithm, it is always positive, and it should be stated that algorithms with a value close to zero (0) perform better. It was observed that the algorithm with the highest mean square error is the k nearest neighbor with 8.70%. It was observed that the algorithm with the lowest mean square error is support vector machines with 1.74%. It is thus deduced that the values are rationally close to zero and the desired ratios are obtained.

The results obtained from these algorithms were first compared within themselves and then with each other. It was observed that the algorithm with the highest success rate is the support vector machine with 98.26% accuracy. Furthermore, it was observed that the algorithm with the lowest success rate is the k nearest neighbor with 91.30% accuracy. This result leads us to the deduction that the implementations of all of these six algorithms have created satisfactory outcomes.



1. GİRİŞ

Ülkemizin yaklaşık yüzde doksani depremsellik içinde bulunmaktadır. Depreme dayanıklı bina tasarımında, geleneksel yöntemlerde kabul edilen hedefler genellikle daha rijit taşıyıcı sistemlerin çıkmasına sebep olur. Bunun sonucu olarak, depremde etkili olan serbest titreşim periyotları azalır ve karşılanması gereken deprem kuvvetleri de artar. Buna karşılık deprem etkisinin azaltılması daha akılcı bir yöntemdir. Deprem yalıtımındaki amaç, binanın doğal titreşim periyodunun uzatılması veya enerji tüketme kapasitesinin artırılmasıdır.

Depremi hasar yaratabilecek etkilerinden binayı korumak amacıyla onu zemin hareketlerinden yalıtılabilecek bir tür mesnet kullanmak ilgi çekici bir fikir olmuş ve bu alanda çeşitli düzenekler önerilmiştir. Yüz yıl kadar öncesine dayanan ilk öneriler, günümüzde teknolojinin gelişimiyle yaygınlaşmış ve uygulanabilir olmuştur. Deprem etkisinde taban yalıtımı ile inşa edilmiş olan bina, hastane gibi yapılar deprem esnasında ve sonrasında dahi sürekli kullanım sağlayabilmektedir. Bu tezde, deprem etkisinde taban yalıtımı üzerine oturtulmuş binaların dinamiği ve mekanizması ele alınacak, taban yalıtımının binalarda neden ve hangi koşullarda deprem nedeniyle oluşan iç kuvvetleri azalttığı üzerinde yoğunlaşılacaktır. Deprem etkisinde taban yalıtımı günümüzde üzerinde çalışılan ve halen genişleyen bir konu olmakla birlikte, yalıtım sistemlerindeki donanımların mekaniği ve deneysel incelemeleri, doğrusal dışı dinamik çözümleme, sarsma masası deneyleri, tasarım projeleri, saha uygulamaları ve saha performansı gibi çeşitli yönleri hakkında önemli sayıda kaynak mevcuttur.

Bu tezin en önemli yapı taşlarından biri olan makine öğrenmesi, insanların öğrenme şekillerini taklit ederek veri ve algoritmaları kullanıp makineye öğreten ve elde ettiği doğrulukları kademeli olarak artırmayı hedefleyen bir yapay zeka bilimi dalıdır. Dünya’da birçok disiplinde yararlanılan makine öğrenmesi, deprem mühendisliği alanında da gün geçtikçe kullanımını artırmaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, dört katlı bir binanın, tabanına yerleştirilen on altı adet kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimiyle birlikte, deprem etkisi altında taban yalıtımlı olarak tasarlanmasını içermektedir. Ayrıca, aynı binaya beş yüz yetmiş beş farklı özelliğe sahip olan kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım biriminin uygulanmasıyla birlikte, TBDY 2018'e göre en büyük deprem yer hareketi seviyesi altında, alt ve üst limitlerinin ortalaması ile elde edilen deplasman değerlerinin sonucu olarak oluşturulan veri tabanıyla, altı farklı makine öğrenmesi algoritması çalıştırılmış, başarı oranları tespit edilmiş ve algoritmalar da kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, farklı özelliklere sahip bir yalıtım birimi türünün, aynı özellikteki bir binaya uygulandığında, oluşabilecek deplasman değerinin hızlı bir şekilde tespiti ve yaklaşık bir fikir vermesidir.

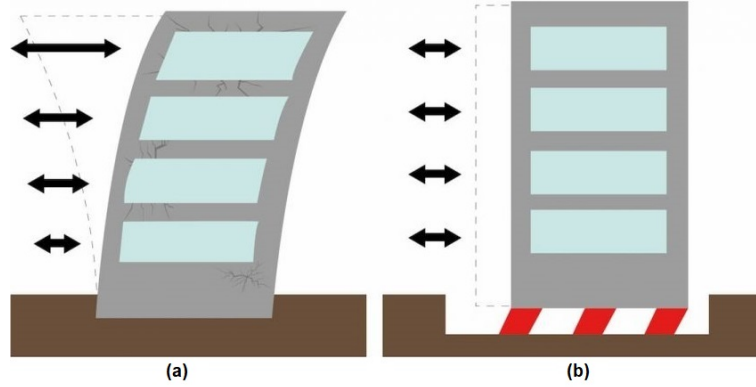
1.2 Taban Yalıtımı ve Ortaya Çıkışı

Binaların depremin oluşturduğu etkilerden korunmasındaki birincil hedef, oluşan etkileri karşılayabilecek taşıyıcı sistem elemanları ile birlikte taşıyıcı sistemin oluşturulmasıdır. Bu kabul ile daha rijit taşıyıcı sistemler meydana gelir. Bu etki ile de deprem kuvvetleri artarken serbest titreşim periyotları azalmaktadır. Burada, geleneksel yöntemlerden uzaklaşarak depremin meydana getirdiği etkileri minimuma indirmek için deprem etkisine karşı taban yalıtım sistemi kullanıp binanın doğal titreşim periyodunu uzatmak veya enerji tüketim kapasitesini artırmayı hedeflemekteyiz.

Deprem etkisine karşı taban yalıtımı, gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Örneğin, ülkemizde belirli bir yatak kapasitesinin üzerindeki hastanelerde kullanımı zorunlu olan yenilikçi bir tasarım sistemidir. Uygulamadaki teknolojinin artmasıyla birlikte hem binanın temelden itibaren inşasında hem de bu yöntemle güçlendirilmesi yaygınlaşmaya başlamıştır. Burada, deprem etkisine karşı taban yalıtımlı bina tasarımı detaylı bir şekilde incelenecektir.

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca yüksek sayıda can ve mal kaybına neden olan kasırga, rüzgar, deprem gibi dinamik etkilerden korunmanın yollarını aramıştır. Korunması

gereken en önemli yapılar ise barınma alanları olmuştur. Teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte rijit yapı tasarımı gibi geleneksel yöntemlerden uzaklaşmaya başlanmış ve yenilikçi yöntemler olan deprem yalıtımlı yapı tasarımına geçilmeye başlanmıştır.



Şekil 1.1 : (a) Geleneksel bina. (b) Taban yalıtımlı bina.

1.2.1 Türkiye’de taban yalıtımı ile ilgili gelişmeler

Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir. Son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.003 vatandaşımız ölmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır. (AFAD, 2019)



Şekil 1.2 : Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi (adanasehir.saglik.gov.tr).

Ülkemizde deprem yalıtımı kavramı özellikle merkez üssü Gölcük olan 17 Ağustos 1999 depremi sonrasında önem kazanmıştır. Bu konudaki teknolojinin zamanla gelişmesi, gerekli ekipman, donanımın eksiklerini azaltmış ve yetişmiş insan gücünün de artmasıyla istenilen düzeylere gelinmiştir. Bu konu üzerine birçok tez ve makale yazılmaya başlanmış ve yönetmeliğimizde yerini almıştır. Üyeleri, çeşitli firmalardan ve üniversitelerden oluşan Deprem İzolasyon Derneği'nin de 2006 yılında kurulması ile bu konudaki çalışmaları artırmıştır.

1.2.2 Taban yalıtımı ile bina güçlendirilmesi

Güçlendirme, bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini veya bunlardan bazılarını hasar öncesi veya mevcut durumun üzerine çıkarmak amacıyla yapılan değişiklik olarak tarif edilmiştir. Güçlendirme için yapının hasar görmüş olması gerekmez. Yapıda güçlendirme gereksinimi; yapının kullanım amacının değişmesiyle, yönetmelik değişmesi nedeniyle, yapı malzemelerinin kullanım ömrünü doldurması nedeniyle, deprem, darbe ve patlama gibi etkenler nedeniyle ortaya çıkabilir.



Şekil 1.3 : Büyük Tarabya Otel (thegrandtarabya.com).

17 Ağustos 1999'da yaşanan depremde büyük hasarlar almış olan Büyük Tarabya Otel'i'nin, yerine yeni imar yapılamayacak kadar kesin öneme sahip bir bölgede bulunması nedeniyle, deprem yalıtımlı olarak güçlendirilmesi düşünülmüştür. Deprem yalıtımı için 139 adet sürtünmeli sarkaç tipinde mesnet kullanılmıştır.

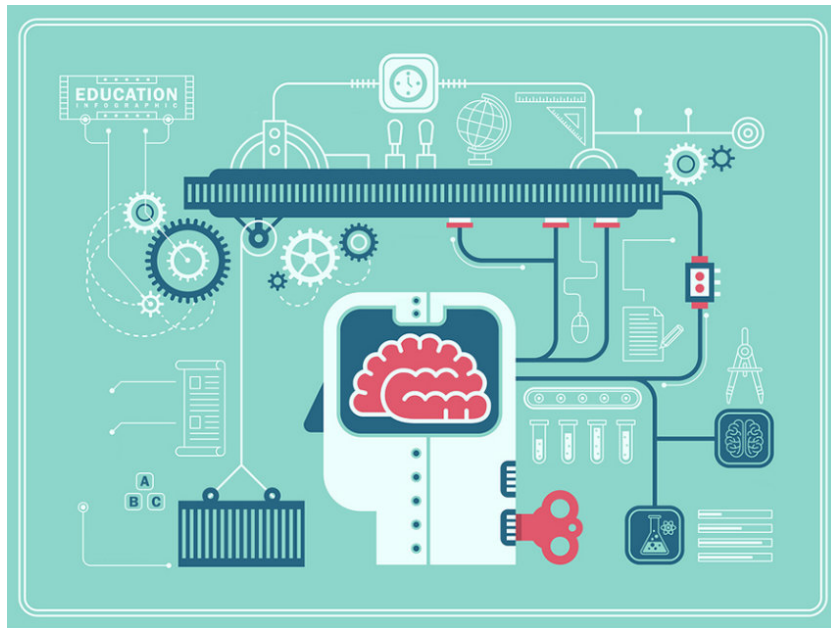
1.3 Makine Öğrenmesi ve Ortaya Çıkışı

İnsanların öğrenme şekillerini taklit etmek için veri ve algoritmaların kullanımına odaklanıp doğruluğunu kademeli olarak artıran bir yapay zeka ve bilgisayar bilimi dalı olan makine öğrenmesi tabiri, 1952 yılında Arthur Samuel tarafından adlandırıldı. İlk makine öğrenmesi programlarını, IBM'deki laboratuvarında yazdı. Dama oyununda her oynayıştaki hataları düzeltebilmek adına, her oynayıştan elde edilen verilerle kazanma olasılığını iyileştirmeye yarayan programı, makine öğrenmesinin ilk örneklerinden biri olmuştur.

1.3.1 İnşaat mühendisliği'nde makine öğrenmesi

Makine öğrenmesi alanında inşaat mühendisliği disiplinindeki çalışmalar da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bunlardan bazıları şöyledir:

Deprem sonrası betonarme yapı güvenliğini değerlendirebilmek adına bir makine öğrenmesi algoritması yazan Zhang, 2018 yılındaki bu çalışmasını, depremselliği yüksek olan bir bölgedeki dört katlı betonarme çerçeveli bir binaya uygulamıştır. Bu yöntem ile sonuçların, %86 - %90 arasında doğruluk oranı ile hasar görmüş bir binanın herhangi bir depremde sonra yeniden kullanılmasının güvenli olup olmadığının hızlı bir biçimde değerlendirilmesi uygun olduğunu göstermiştir.



Şekil 1.4 : Makine öğrenmesi illüstrasyonu.

Betonarme kolonların deprem sonrası hasar seviyelerini akıllı sistem tabanlı bir metodla oluşturan Doğan, 2018’de yazdığı bu çalışması için kolon yüzeylerinden almış olduğu 390 adet hasar görüntüsüyle veri setleri oluşturmuştur. Hasar görüntülerinden çatlakların özellikleri çıkarılmış ve bu verilere göre makine öğrenmesi sınıflandırıcı algoritmaları kullanılarak kolonların hasar seviyesi sınıflandırmıştır. Tahminlerden elde edilen doğruluk oranları %64 - %80 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.



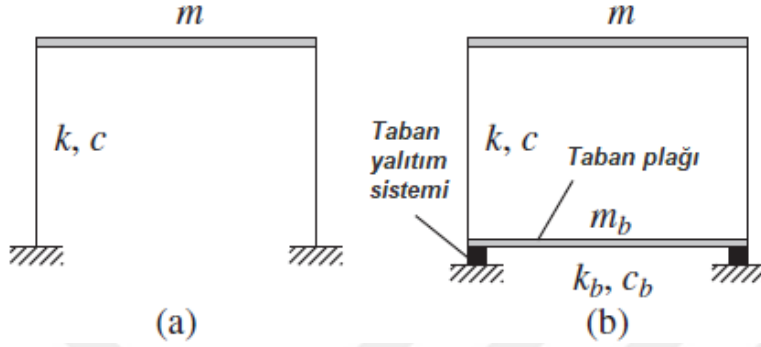
2. DEPREM ETKİSİNDE TABAN YALITIMLI BİNALAR

Binaların depremin oluşturduğu etkilerden korunmasındaki birincil hedef, oluşan etkileri karşılayabilecek taşıyıcı sistem elemanları ile birlikte taşıyıcı sistemin oluşturulmasıdır. Bu kabul ile daha rijit taşıyıcı sistemler meydana gelir. Bu etki ile de deprem kuvvetleri artarken serbest titreşim periyotları azalmaktadır. Burada, geleneksel yöntemlerden uzaklaşarak depremin meydana getirdiği etkileri minimuma indirmek için deprem etkisine karşı taban yalıtım sistemi kullanıp binanın doğal titreşim periyodunu uzatmak veya enerji tüketim kapasitesini artırmayı hedeflemekteyiz.

Deprem etkisine karşı taban yalıtımı, gün geçtikçe yaygınlaşan ve ülkemizde ise belirli bir yatak kapasitesinin üzerindeki hastanelerde kullanımı zorunlu olan yenilikçi bir tasarım sistemidir. Uygulamadaki teknolojinin artmasıyla birlikte hem binanın temelden itibaren inşasında hem de bu yöntemle güçlendirilmesi yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu bölümde, deprem etkisine karşı taban yalıtımlı bina tasarımını detaylı bir şekilde inceleyeceğiz.

Deprem, yer kabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayıdır. Bu etki yapıya tesir ettiğinde temellerde büyük salınımlar oluşturur. Temeller de kendisine bağlı olan üst yapı taşıyıcı sisteminde salınımına yol açar ve taşıyıcı sistem elemanlarının tüm kesitlerinde atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etkiler meydana gelir. Deprem etkisinde taban yalıtımının gayesiyse bina temelının üst yapı taşıyıcı sisteminden ayrılmasıdır. Bununla birlikte oluşacak serbest titreşimim yapıya olan erişiminin azaltılmasıdır. Bu felsefe, temel ile üst yapı arasına konulan özel düzenekler veya özel yapı elemanlarının yerleştirilmesi ile sağlanır. Zemine ankastre bağlı olan binalarda deprem titreşimleri temel aracılığıyla üst yapıya etkir. Üst yapıda meydana gelen titreşimler sistemde bulunan kütlelerde atalet kuvvetleri meydana getirir ve yapı elemanlarında ve birleşim bölgelerinde zorlanmalara neden olur. Deprem etkisinde taban yalıtımlı bir sistemde, üst yapı oluşacak olan düşey yükleri temele iletirken,

yatay salınımların küçük bir bölümü göreceli olarak elastik olan yalıtım elemanları yoluyla, üst yapıya geçer. Bunun sonucu olarak üst yapıdaki deprem etkileri azalmış olur. Bununla birlikte, bina temeli deprem etkisinde hareket ederken üst yapının farklı hareket etmesi sonucu, bina temeli ile üst yapı arasında kayda değer bir göreceli hareket oluşmaktadır.



Şekil 2.1 : (a) Zemine mesnetlenmiş sistem. (b) Tabandan yalıtılmış sistem.

Ülkemizde genellikle içinde çelik plakaların da bulunduğu doğal kauçuk veya neopren malzemeden yapılan Elastomer Yalıtım Birimleri kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve düşey rijitliği çok büyük ve yatay rijitliği düşük olan bu malzeme ile yapının yatay deprem hareketinden etkilenmesi azaltılır. Kullanılan bu malzeme ile tüm yapı daha esnek duruma geçerken, yapının birinci serbest titreşim periyodu büyür. Böylece, yapının deprem hareketinin büyük etkiler oluşmasına sebep olan etkili periyotlardan uzakta kalması sağlanır.

Yalıtımla oluşturulan yeni sistemde ilk titreşim modunda, üst yapıda rijit cisim hareketi etkin olur. Bunun sonucunda, şekil değiştirmelerin önemli bölümü yalıtımı yapan sistemde veya malzemede meydana gelir.

Yalıtılmış sistemin diğer modları taşıyıcı sistemde elastik şekil değiştirmeler oluşturacak türden olmalarına rağmen, bunların etkileri küçük olduğu için, depremde yalıtılmış sistemin titreşiminde rijit cisim hareketi belirgin olur ve yalıtılmış sistemde büyük rijit yerdeğiştirmeler meydana gelirken, önemli deprem enerjisi tüketilmez. Bu açıklama yalıtılan yapının tamamen doğrusal elastik davranmasına ve üst yapıda sönüm bulunmaması durumuna karşı gelir. Ancak, yalıtımın doğrusal olmayan davranışı ile hem yalıtımda, hem de üst yapıda oluşan sönümler davranışın daha da olumlu biçimde ortaya çıkması sağlanır.

2.1 Taban Yalıtımlı Sistemlerin Dinamik Davranışı

Deprem etkisinde taban yalıtımlı sistemin etkisini gösterebilmek için Şekil 2.1’de verilen tek serbestlik dereceli sistem göz önüne alınabilir. Sistemin kütlesi m , kat rijitliği k ve sönümü c ’dir. Temel üstü kütlesi m_b , yalıtımın rijitliği k_b ve sönümü c_b ile gösterilmiştir. Burada temelde yalıtımın bulunması, sistemin serbestlik derecesini ikiye çıkarmıştır. Sistemin hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir ve sönümsüz sistemin serbest titreşim frekansları bulunabilir:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m1\ddot{u}_g(t) \quad (2.1)$$

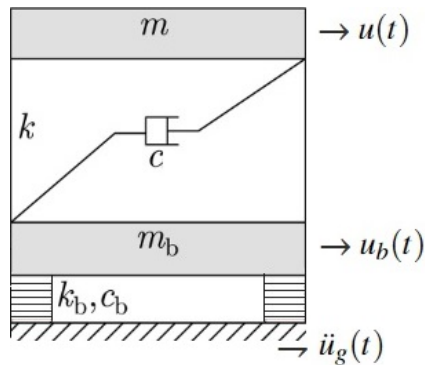
$$m = \begin{bmatrix} m_b & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix} \quad c = \begin{bmatrix} c + c_b & -c \\ -c & c \end{bmatrix} \quad k = \begin{bmatrix} k + k_b & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \quad 1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad u(t) = \begin{bmatrix} u_b(t) \\ u(t) \end{bmatrix}$$

2.1.1 Serbest titreşim durumu

$$\begin{aligned} |k - w^2 m| &= 0 & \beta m^2 w^4 - km(1 + \beta + \alpha)w^2 + k^2 \alpha &= 0 \\ \alpha &= k_b/k & \beta &= m_b/m & w_0^2 &= k/m & T_0 &= 2\pi\sqrt{m/k} \\ \frac{w^2}{w_0^2} &= \frac{1}{2\beta} [1 + \beta + \alpha \mp \sqrt{(1 + \beta + \alpha)^2 - 4\beta\alpha}] \end{aligned} \quad (2.2)$$

Deprem etkisinden kaynaklı harekette hem üst yapıda hem de taban yalıtımında oluşan elastik enerji aşağıdaki denklemlerdeki gibi ifade edilebilir:

$$E_{ss} = \frac{1}{2}k(u - u_b)^2 \quad E_{sb} = \frac{1}{2}k_b u_b^2 \quad (2.3)$$



Şekil 2.2 : Taban yalıtımlı tek serbestlik dereceli sistem.

İfadeleri basitleştirmek adına plak kütlelerini kat kütlelerine eşit kabul edelim, burada $m_b = m$ ve $\beta=1$:

$$\frac{w_1^2}{w_0^2} = \frac{1}{2} \left[2 + \alpha - \sqrt{\alpha^2 + 4} \right] \quad \frac{w_2^2}{w_0^2} = \frac{1}{2} \left[2 + \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4} \right] \quad T_i = 2\pi/w_i \quad (2.4)$$

Taban yalıtımlı ve sönümsüz bu sistemde, $\alpha = k_b/k$ oranı genellikle 1'den küçük olmaktadır. Bu durumda davranışta etkisi önemli olan birinci titreşim periyodu (T_1) artarken, etkisi az olan ikinci titreşim periyodu (T_2) yaklaşık olarak sabit kalır. İki serbestlik dereceli bu sistemin α oranı 1.0, 0.5 ve 0.05 değerlerinde olduğu kabul edilerek mod şekillerinin hesabına geçilebilir:

$$\begin{aligned} (k - w^2 m)\phi_i &= 0 & M_i &= \phi_i^T m \phi_i & L_i &= \phi \\ \Gamma_i &= L_i/M_i & M_i^* &= (L_i)^2/M_i & \phi_i^T &= [r_i, 1] \\ r_1 &= 0.5(\sqrt{\alpha^2 + 4} - \alpha) & r_2 &= -0.5(\sqrt{\alpha^2 + 4} + \alpha) \end{aligned} \quad (2.5)$$

İlk iki moda karşılık gelen parametrelerin hesabı sonucunda elde edilmiş olan sayısal değerler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Burada, taban yalıtım rijitliği k_b küçüldükçe bu değere bağlı α oranı da küçülmektedir. Küçülen α oranıyla birinci moda ait etkili olduğu ve ikinci modun da oldukça azaldığı gözlemlenmektedir. Bu modlardan birincil titreşim modunda etkili olan durum taban yalıtımı şekil değiştirmesi olduğundan, bu moda yalıtım modu ve üst yapının şekil değiştirmesinin etkili olduğu ikinci moda ise yapısal mod denilmektedir.

Çizelge 2.1 : Taban yalıtımlı sistemde ilk iki moda karşı gelen parametreler.

α	i	T_i/T_0	r_i	L_i	M_i	Γ_i	M_i^*
1.00	1	1.618	0.618	1.618m	1.382m	1.171	1.894m
	2	0.618	-1.618	-0.618m	3.618m	-0.171	0.106m
0.50	1	2.137	0.781	1.781m	1.610m	1.106	1.970m
	2	0.662	-1.281	-0.281m	2.640m	-0.106	0.030m
0.05	1	6.364	0.975	1.975m	1.951m	1.012	1.999m
	2	0.703	-1.025	-0.025m	2.051m	-0.012	0.001m

$\phi_1^T = [1, 1]$ değeri, rijit cisim yer değiştirmesinde etkin olan yalıtım modu için kabul edilmiştir. Kabul edilen bu değer ile birlikte Çizelge 2.1'de sonuçlarını görebileceğimiz, $M_1^* \simeq m_b + m$, $L_1 \simeq m_b + m$ ve $\Gamma_1 \simeq 1$ parametre değerleri elde edilir. $0 < \alpha < 1.0$ olması, yalıtımın yatay rijitliğinin üst yapının rijitliğinden

küçük olduğunu göstermektedir. 2.2’de, 2.3’de, 2.4’de ve 2.5’deki ifadeleri daha da basitleştirebilmek adına aşağıdaki kabulleri yapabiliriz.

$$\begin{aligned} \frac{w_1^2}{w_0^2} &\simeq 0.5\alpha & \frac{w_2^2}{w_0^2} &\simeq 2 + 0.5\alpha & r_1 &\simeq 1 - 0.5\alpha & r_2 &\simeq -1 - 0.5\alpha \\ L_1 &\simeq m(2 - 0.5\alpha) & L_2 &\simeq -0.5m\alpha & M_1 &\simeq m(2 - \alpha) & M_2 &\simeq m(2 + \alpha) \\ \Gamma_1 &\simeq 1 + 0.25\alpha & \Gamma_2 &\simeq -0.25\alpha & M_1^* &\simeq 2m & M_2^* &\simeq 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.1.2 Sönüm değerinin elde edilmesi

Sönüm oranı ζ_0 olan üst yapının, rijit hareket yapması durumunda taban yalıtımının sönüm oranı ise ζ_b ’dir. Bununla, aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\zeta_0 = \frac{c}{2mw_0} \quad \zeta_b = \frac{c_b}{2(m+m_b)w_b} \quad w_b = \sqrt{\frac{k_b}{m+m_b}} \quad w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.7)$$

Yukarıda yapıldığı gibi $m_b = m$ kabul edilir ve $\alpha = k_b/k$ tanımlanırsa,

$$\zeta_b = \zeta_0 \frac{c_b}{c} \frac{1}{\sqrt{2\alpha}} \quad w_b = w_0 \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \quad (2.8)$$

ifadeleri elde edilir. Modal sönüm hesabı için örnek olarak $\zeta_b = 5\zeta_0$ kabul edildiğinde ise,

$$c_b = 5c\sqrt{2\alpha} \quad c = \begin{bmatrix} 1 + 5\sqrt{2\alpha} & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} c \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisinde ortogonalliğin bulunmamaktadır. Bu nedenle buradaki yaklaşık değerler hesaplanabilir ve modal sönüm tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} C_i &= \phi_i^T c \phi_i & \zeta_i &= \frac{C_i}{2M_i w_i} \\ C_i &= \begin{bmatrix} r_i \\ 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 + 5\sqrt{2\alpha} & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_i \\ 1 \end{bmatrix} c = c[(1 + 5\sqrt{2\alpha})r_i^2 - 2r_i + 1] \end{aligned} \quad (2.10)$$

Üst yapı sönümü $\zeta_0 = c / \sqrt{2mw_0} = 0.02$ kabul edilip α ’nın farklı değerleri için ise $\zeta_b = 5\zeta_0$ olarak kabul edilirse, aşağıdaki modal sönüm değerleri bulunabilir:

$$\alpha = 1.0 \quad r_1 = 0.618 \quad M_1 = 1.382m \quad C_1 = 2.847c \quad w_1 = 0.618w_0 \quad \zeta_1 = 3.33\zeta = \%6.67$$

$$r_2 = -1.618 \quad M_2 = 3.618m \quad C_2 = 25.365c \quad w_2 = 1.618w_0 \quad \zeta_2 = 4.34\zeta = \%8.67$$

$$\alpha = 0.5 \quad r_1 = 0.781 \quad M_1 = 1.610m \quad C_1 = 3.098c \quad w_1 = 0.468w_0 \quad \zeta_1 = 4.11\zeta = \%8.22$$

$$r_2 = -1.281 \quad M_2 = 2.640m \quad C_2 = 13.407c \quad w_2 = 1.510w_0 \quad \zeta_2 = 3.36\zeta = \%6.73$$

$$\alpha = 0.05 \quad r_1 = 0.975 \quad M_1 = 1.951m \quad C_1 = 1.504c \quad w_1 = 0.157w_0 \quad \zeta_1 = 4.91\zeta = \%9.82$$

$$r_2 = -1.025 \quad M_2 = 2.051m \quad C_2 = 5.762c \quad w_2 = 1.423w_0 \quad \zeta_2 = 1.97\zeta = \%3.95 \quad (2.11)$$

Buradan, sistem taban yalıtımlı iken yani $\alpha = 0.05$ olduğu durumda, üst yapı için sönümün %2'den, sistem davranışına etkili olan ilk modda %9.82 değerine çıktığı görülmektedir.

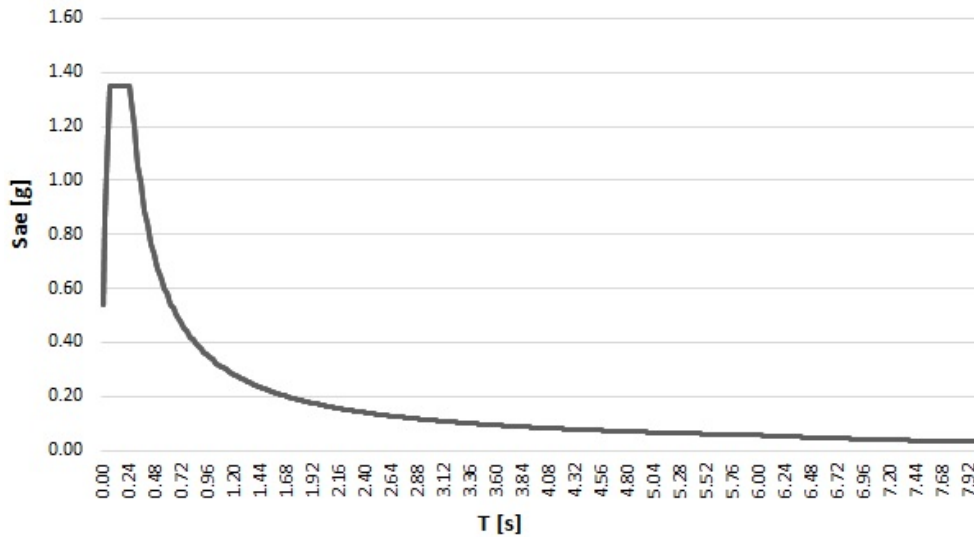
2.1.3 Spektral yöntemle çözüm

Aşağıdaki ifadeler kullanılarak spektral yöntemle çözüm yapılabilir.

$$\begin{aligned} u(t) &= \sum_{i=1}^N u_i(t) = \sum_{i=1}^N \phi_i Y_i(t) \\ Y_i(t) &= \frac{1}{w_i^2} \Gamma_i A_i(t) \quad \max[Y_i] = \frac{1}{w_i^2} \Gamma_i \max[A_i(t)] = 1 \left(\frac{T_i^2}{2\pi} \right) \Gamma_i S_a(T_i, \zeta_i) = \Gamma_i S_d(T_i, \zeta_i) \\ \max[u_i(t)] &= \phi_i \max[Y_i(t)] \\ V_{bi}(t) &= M_i^* A_i(t) \quad \max[V_{bi}(t)] = M_i^* \max[A_i(t)] = M_i^* S_a(T_i, \zeta_i) \\ \max f_{ni} &= \max[V_{bi}(t)] \frac{m_n \phi_{ni}}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{ji}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Aşağıdaki TBDY 2018'e göre en büyük deprem yer hareketi seviyesinde ve ZB yerel zemin sınıfındaki, spektrum eğrisi parametrelerinin kabulüyle,

$$DD - 1, \quad ZB, \quad S_S = 1.501, \quad S_1 = 0.420, \quad T_L = 6s \quad (2.13)$$



Şekil 2.3 : DD-1 spektrum eğrisi.

spektral çözüme gidilecektir. Spektrum eğrisi parametreleri ile sönüm katsayısı da

$$\begin{aligned}
S_{DS} &= S_S F_S = (1.501)x(0.9) = 1.351 \\
S_{D1} &= S_1 F_1 = (0.420)x(0.8) = 0.336 \\
T_B &= S_{D1}/S_{DS} = 0.336/1.351 = 0.249s \\
T_A &= 0.2T_B = (0.2)x(0.249) = 0.050s \\
\eta &= \sqrt{0.10/(0.05 + \zeta)} \quad (2.14)
\end{aligned}$$

kullanılarak spektrum eğrileri elde edilebilir.

T_0 'ı yani taban yalıtımsız sistem periyodunu 0.40s kabul ederek spektrum eğrisini kullanabiliriz. α 'nın 1.00 değeri için periyotlar, ona karşı gelen spektral ivme değerleri, ilk iki modun da katkılarıyla meydana gelebilecek en büyük yerdeğştirmeler ve taban kesme kuvvetleri aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\begin{aligned}
T_1 &= 1.618xT_0 = 1.618x0.4 = 0.647s \\
\zeta_1 &= 0.0667 \\
S_{ae}/g &= S_{D1}/T_1 = 0.336/0.647 = 0.519 \quad T_B \leq T_1 \leq T_L \\
\eta &= \sqrt{0.10/(0.05 + 0.0667)} = 0.926 \\
\eta S_{ae}/g &= 0.926x0.519 = 0.480 \\
maxu_1 &= \begin{bmatrix} 0.618 \\ 1.000 \end{bmatrix} (1.171) \left(\frac{0.647}{2\pi} \right)^2 (0.480x9.81) = \begin{bmatrix} 0.0361 \\ 0.0585 \end{bmatrix} metre \\
maxV_{b1} &= 1.894mx0.480g = 0.909mg \quad f_1^T = [0.347mg \ 0.562mg] \\
T_2 &= 0.618xT_0 = 0.618x0.4 = 0.247s \\
\zeta_2 &= 0.0867 \\
S_{ae}/g &= S_{D1}/T_B = 0.336/0.249 = 1.349 \quad T_A \leq T_2 \leq T_B \\
\eta &= \sqrt{0.10/(0.05 + 0.0867)} = 0.855 \\
\eta S_{ae}/g &= 0.855x1.349 = 1.154 \\
maxu_2 &= \begin{bmatrix} -1.618 \\ 1.000 \end{bmatrix} (-0.171) \left(\frac{0.247}{2\pi} \right)^2 (1.154x9.81) = \begin{bmatrix} 0.0048 \\ -0.0030 \end{bmatrix} metre \\
maxV_{b2} &= 0.106mx1.154g = 0.122mg \quad f_2^T = [0.320mg \ -0.198mg] \quad (2.15)
\end{aligned}$$

$\alpha = 0.5$ için yapılan benzeri işlemlerle aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$\begin{aligned}
T_1 &= 2.137xT_0 = 2.137x0.4 = 0.855s \quad \zeta_1 = 0.0822 \\
S_{ae}/g &= S_{D1}/T_1 = 0.336/0.855 = 0.393 \quad T_B \leq T_1 \leq T_L \\
\eta &= \sqrt{0.10/(0.05 + 0.0822)} = 0.870 \\
\eta S_{ae}/g &= 0.870x0.393 = 0.342 \\
maxu_1 &= \begin{bmatrix} 0.781 \\ 1.000 \end{bmatrix} (1.106) \left(\frac{0.855}{2\pi} \right)^2 (0.342x9.81) = \begin{bmatrix} 0.0537 \\ 0.0687 \end{bmatrix} metre \\
maxV_{b1} &= 1.970mx0.342g = 0.674mg \quad f_1^T = [0.295mg \ 0.378mg] \\
T_2 &= 0.662xT_0 = 0.662x0.4 = 0.265s \quad \zeta_2 = 0.0673 \\
S_{ae}/g &= S_{D1}/T_B = 0.336/0.265 = 1.268 \quad T_B \leq T_2 \leq T_L \\
\eta &= \sqrt{0.10/(0.05 + 0.0673)} = 0.923 \\
\eta S_{ae}/g &= 0.923x1.268 = 1.170 \\
maxu_2 &= \begin{bmatrix} -1.281 \\ 1.000 \end{bmatrix} (-0.106) \left(\frac{0.265}{2\pi} \right)^2 (1.170x9.81) = \begin{bmatrix} 0.0028 \\ -0.0022 \end{bmatrix} metre \\
maxV_{b2} &= 0.030mx1.170g = 0.035mg \quad f_2^T = [0.160mg \ -0.125mg] \quad (2.16)
\end{aligned}$$

Son olarak $\alpha = 0.05$ için, aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$\begin{aligned}
T_1 &= 6.364xT_0 = 6.364x0.4 = 2.546s \quad \zeta_1 = 0.0982 \\
S_{ae}/g &= S_{D1}/T_1 = 0.336/2.546 = 0.132 \quad T_B \leq T_1 \leq T_L \\
\eta &= \sqrt{0.10/(0.05 + 0.0982)} = 0.821 \\
\eta S_{ae}/g &= 0.821x0.132 = 0.108 \\
maxu_1 &= \begin{bmatrix} 0.975 \\ 1.000 \end{bmatrix} (1.012) \left(\frac{2.546}{2\pi} \right)^2 (0.108x9.81) = \begin{bmatrix} 0.1716 \\ 0.1760 \end{bmatrix} metre \\
maxV_{b1} &= 1.999mx0.108g = 0.216mg \quad f_1^T = [0.107mg \ 0.109mg] \\
T_2 &= 0.703xT_0 = 0.703x0.4 = 0.281s \quad \zeta_2 = 0.0395 \\
S_{ae}/g &= S_{D1}/T_B = 0.336/0.281 = 1.196 \quad T_B \leq T_1 \leq T_L \\
\eta &= \sqrt{0.10/(0.05 + 0.0395)} = 1.057 \\
\eta S_{ae}/g &= 1.057x1.196 = 1.264 \\
maxu_2 &= \begin{bmatrix} -1.025 \\ 1.000 \end{bmatrix} (-0.012) \left(\frac{0.281}{2\pi} \right)^2 (1.264x9.81) = \begin{bmatrix} 0.0003 \\ -0.0003 \end{bmatrix} metre \\
maxV_{b2} &= 0.001mx1.264g = 0.001mg \quad f_2^T = [0.052mg \ -0.051mg] \quad (2.17)
\end{aligned}$$

Elde edilen verilere baktığımızda, taban yalıtımı rijitliğinin azalmasıyla birinci mod periyodunun ve bu modun spektral yer değiştirmesinin arttığı, mod şekli ise rijit cisim hareketine yaklaşmaktadır. Bununla birlikte, taban kesme kuvvetinin de azaldığı saptanmıştır. Ayrıca, $\alpha = 0.05$ olduğunda yani sistemin taban yalıtımlı olduğu durumda, birinci modda sistem rijit cisim gibi davranmaktadır. Bu sebepten yalıtımın üstündeki kütle tek serbestlik dereceli bir sistem olarak kabul edilebilir. Bu durumda periyot ve ilgili spektral taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi hesap edilebilir:

$$\begin{aligned}
 T_b &= 2\pi \sqrt{\frac{2m}{\alpha k}} = 2\pi \sqrt{\frac{2m}{0.05k}} = 6.325 \\
 T_0 &= 6.325 \times 0.40 = 2.530s \\
 \zeta_b &= 5\zeta_0 \quad \eta = \sqrt{0.10/(0.05 + 0.10)} = 0.816 \\
 S_{ae}/g &= S_{D1}/T_b = 0.336/2.530 = 0.133 \quad \eta S_{ae}/g = 0.816 \times 1.133 = 0.108 \\
 \max V_b &= 2mS_a = 0.216mg \\
 \max[u(t)] &= \left(\frac{T_b}{2\pi}\right)^2 S_a = \left(\frac{2.530}{2\pi}\right)^2 0.108 \times 9.81 = 0.172 \text{ metre} \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

Bulunan bu değerler, iki serbestlik dereceli sistemde $\alpha = 0.05$ alınarak bulunan 2.17'deki ifadelerde bulunan değerler ile kıyaslandığında, sonuçların oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuç, $\alpha = 0.05$ durumunda yalıtımlı sistemin sadece yalıtım rijitliği ile davranan tek serbestlik dereceli sistem gibi kabul edilmesinin uygun bir yaklaşım olduğunu gösterir.

Bu sistem, $T_0 = 0.4s$ periyotla yani taban yalıtımsız olarak incelenirse, $S_{ae}/g = 0.336/0.40 = 0.84$ ve $\max V_b = 0.84mg$ olarak elde edilir. Bununla birlikte, $\alpha = 0.05$ ile taban yalıtımlı sistem modelinde hesaba gidilirse, üst yapıya etkiyen deprem kuvveti $\sqrt{0.1092 + 0.0522} \text{ mg} = 0.121mg$ olarak karşımıza çıkar.

Sonuçlar incelendiğinde, taban yalıtımının bulunması taşıyıcı sistemin deprem davranışının iyileşmesinde iki bakımdan faydalı olmaktadır. Bunlardan birincisinde, üst yapının rijit yapı gibi davranması sonucu, etkili serbest titreşim periyodu artarken, spektral ivme değeri azaldığından taban kesme kuvveti azalmaktadır. İkincisinde ise yalıtımın sönümü üst yapınınkinden büyükse sistemin etkili olan sönümü arttığı için sönüme bağlı olan spektral ivme değeri ve dolayısıyla taban kesme kuvveti azalmaktadır.

2.2 Taban Yalıtım Sistemleri

Deprem etkisiyle oluşabilecek taban kesme kuvvetlerini azaltabilmek adına, yapı'nın temel zeminine göre 0.10m ile 1m arasında yatay hareket yapması beklenmektedir. Bu imkanı taban yalıtım sistemleri ile sağlayabiliriz. Bunu, taşıyıcı sistemde yalıtım elemanlarının hemen üstüne kurulan bir ayırma düzlemi ile uygulayabiliriz. Yalıtım elemanları ise temel üzerine kurulur. Deprem yükü, yalıtım elemanlarına yatay rijitlikleriyle orantılı olacak şekilde dağılır. Bodrum katı olmayan binalarda, yalıtım elemanları hemen temel üzerine yerleştirilir ve üst yapı bunların üstüne bulunur. Seçilen konumun daha sonra yapılacak denetime müsait olması gerekir. Eğer binanın bodrum katı varsa, yalıtım elemanları bodrum kat kolon ve perdelerinin alt, orta veya üst kesitlerine yerleştirilebilir. Bu kesitlerde meydana gelen kesme kuvvetinin karşılanması için, büyük kolon kesitleri gerekli olabilir. Kolon orta kesiti, eğilme momentinin alt ve üst kesite dağıtılabilmesi bakımından tercih edilebilir. Kolonlarda yatay yerdeğiştirmeden oluşan ikinci mertebe momentlerinin taşınması gerektiği de unutulmamalıdır.

Yalıtım elemanlarının mevcut yapılara güçlendirme amacıyla konulmasında daha büyük güçlüklerle karşılaşılır. Mevcut kolon veya perdeler ayırma düzleminden kesilerek, geçici bir mesnetlenme oluşturulur. Bu sırada düşey yüklerin uygun şekilde karşılanmaları gerekir. Bu amaçla ayrılma kesitlerinde basıncı hassas biçimde kontrol edilebilen krikolar kullanılması gerekir. Ayrılma düzleminde bulunan ve kesilen kolon veya perdelerin yükünü yalıtım elemanına iletebilmesi için üst ve alt başlık plakaları ve bunların betonarme kesite bağlanması ve bu kolon veya perdelerin güçlendirilmesi gerekir. Bu şekilde oluşturulan taşıyıcı sistemin yalıtım türüne bağlı olarak, genellikle 0.15m ila 0.50m civarında bir yatay yerdeğiştirmeyi serbestçe yapabilmesi için tedbir alınmalıdır.

Yalıtımın bulunduğu ayrılma düzlemi; merdiven ve asansör gibi hacimleri ve temiz ve kullanılmış su, haberleşme ve elektrik hatlarını kesmesi durumunda, ilgili tedbirlerin alınarak, hareketi engelleyen durumların oluşmaması sağlanmalıdır. Uygulamada esas olarak, büyük şekil değiştirme kapasitesine sahip olan, elastomer mesnetler ve öteleme

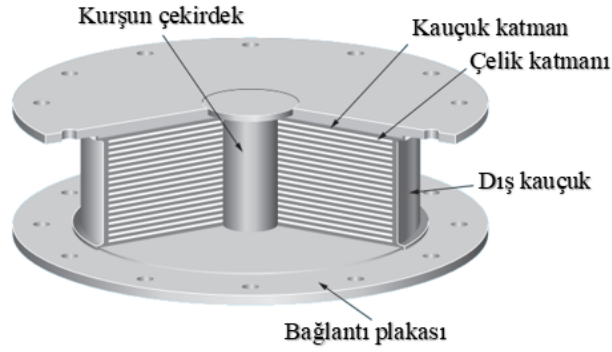
mesnetleri diye adlandırılan iki taban yalıtım sistemi bulunmaktadır. Elastomer mesnetler; yalnız başlarına kullanılabildiği gibi, ortasında kurşun bir silindir ile yüksek sönümlü olarak da ortaya çıkar.

2.2.1 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin çalışma mekanizması

Birçok yapı türünde en yaygın kullanılan yalıtım sistemi elastomer mesnetlerdir. Elli yıl ve üzerinde servis ömrü olduğu, uygulama örneklerinden bilinmektedir.

Elastomer mesnetler, kalınlığı 8 mm ile 20 mm arasındaki doğal veya yapay kauçuk levhalar ile kalınlığı 2 mm ile 3 mm arasındaki ince çelik levhaların üst üste getirilmesiyle oluşur. Bu iki tür levha, basınç ve ısı kullanılarak birbirlerine yapıştırılır. En üst ve en altta, mesneden temel ve üst yapı ile birleşmesini sağlayacak geniş ve kalın çelik levhalar bulunur. Çelik levhalar, mesneden düşey yük kapasitesini ve rijitliğini sağlarken aralardaki kauçuk levhaların düşey yük altında şişerek yanall şekil değiştirmesini önler. Yatay rijitlik ise kauçuğun kayma şekil değiştirmesi ile sağlanır. Kauçuğun düşük kayma rijitliğinden dolayı %100-250 oranındaki kayma şekil değiştirmesine kadar doğrusal davranış devam eder. Kauçuğun bu doğrusal davranış özelliği sıcaklık, yaş ve yüklemekten bağımsız olarak ortaya çıkar. Mesneden korozyondan etkilenmemesi ve hareket eden parçalarının bulunmaması bakımının asgari düzeyde olmasını sağlar.

Ayrıca bu mesnetler yapısal olarak ancak %2 ila %3 viskoz sönüme sahiptir. Enerji tüketiminin istenilen etkide ortaya çıkabilmesi için viskoz ve çevrimsel sönümün birlikte oluşması gerekir. Tüketilen enerji, viskoz sönümde hızla orantılıdır. Bundan dolayı en küçük titreşimlerde de büyük depremlerde de enerji tüketimi deprem yükündeki çevrimsel davranıştan dolayı ortaya çıkar. Tasarım yaparken elips şeklinde olan sönümlü çevrim, eşdeğer sönüme dönüştürülür. Elastomer mesnetlerin düşey rijitlikleri, yatay rijitliklerinden oldukça büyüktür. Düşey doğrultuda rijit olan bu mesnetlerde düşey yük altında 1mm ila 3mm bir düşey kısalma oluşabilmektedir. Yatay bir yerdeğiştirme durumunda ise meydana gelen büyük şekil değiştirmelerden dolayı karşılayabileceği düşey yük azalmaktadır. Bu durum, deprem etkisinin büyük olduğu durumlarda elastomer yalıtımların kullanımını oldukça zorlaştırır.



Şekil 2.4 : Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet.

Kauçuk elastomer mesnedin ortasına silindirik hacme sahip kurşun yerleştirilmesi ile kurşun çekirdekli kauçuk elastomer mesnet (KÇE) meydana getirilir. Kauçuk düşük kayma rijitliğine sahip olduğundan doğrusal davranışı büyük şekil değiştirmelerle devam eder. Bununla birlikte kurşun çekirdek, düşük bir gerilmede akma durumuna gelir ve plastik olarak şekil değiştirmeye başlar. Sistemin enerji tüketim mekanizması, diğer bileşenlere nazaran kurşunun sönümü ile oluşur. Kurşunda plastik davranış etkili olmasından kaynaklı çevrimsel davranış sonucunda sönüm ortaya çıkar. Yerdeğiştirmeye bağlı eşdeğer sönüm oranı %15 ila %35 bulunur. Kurşunun çevrimsel davranışında rijitliğin sürekli olarak değişmesi, üst yapının yüksek modlarının kışkırtılmasına sebep olurken yalıtımdan beklenen verimi ise önleyebilir.

Burada kauçuk ile kurşun malzemelerinin birlikte etkileşmesi, başlangıçta küçük bir bölgede elastik, sonrasında ise pekleşen bir plastik davranış gösteren bir şekil değiştirme meydana getirmektedir. Pekleşme rijitliği, ilk rijitliğin onda biri seviyesindedir. Deprem sırasında ilk elastik rijitliğin aşılmasından sonra, yalıtımın sisteme olan etkisi daha belirgin olarak ortaya çıkar. Özellikle büyük deprem etkilerinde şekil değiştirmelerin sınırlı kalması için pekleşme rijitliğinin bulunması ek bir güvence oluşturmaktadır. Kayma şekil değiştirmesinin %500 gibi büyük bir değerinde, yalıtımın güç tükenmesine erişimi gerçekleşmektedir. Bu değer, kurşun çekirdekten, çekme gerilmesinden veya basınç normal gerilmelerden oldukça az etkilenmektedir. Deprem sırasında yükleme yönünün değişmesiyle çevrimsel sönüm ortaya çıkar. Genel olarak mesnedin bu özelliği, ilk yaklaşım olarak bir etkili elastik rijitlik ve viskoz sönüm oranı ile temsil edilmektedir. Bu tür mesnetlerde ilk elastik rijitliğin bulunması, kullarımdaki küçük titreşimlerde sönüm etkisinin ortaya

çıkmasına sebep olur. Bu ise, hassas aletlerin bulunduğu binalarda rahatsız edici düzeyde olabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için, ek sönümleyicilerin kullanılması gerekli olabilir.

2.2.2 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin davranışı

Taban yalıtımındaki tipik bir yatay kuvvet ve yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.5’de görülmektedir. Bu tür sistemler, doğrusal sistem olarak bilinmektedir, esas olarak iki parametresi söz konusu olmaktadır. Bunlar, ortalama rijitlik ve eşdeğer viskoz sönüm kavramlarıdır:

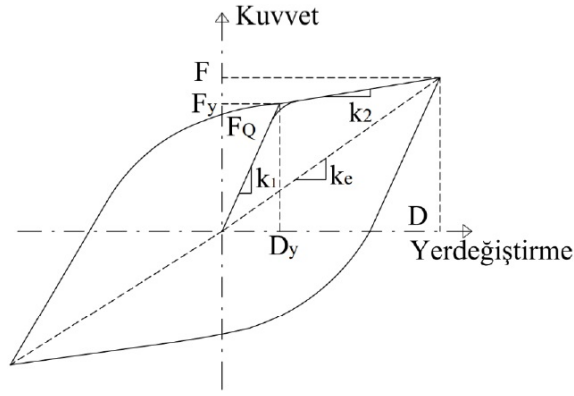
$$k_e = \frac{F^+ - F^-}{D^+ - D^-} \quad \zeta = \frac{1}{\pi} \left[\frac{\text{Çevrim Alanı}}{F^+ D^+ + F^- D^-} \right] \quad (2.19)$$

Eğer sistemde sönüm küçük ise, kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi düz bir çizgiye yaklaşır. Ancak, çevrim türünden sönüm durumunda, yük arttıkça çevrimlerin alanı da büyür. Bunların uçlarının birleştirilmesinden ortaya çıkan eğri sistemin omurga eğrisi olarak bilinmektedir.

Bu eğri, tamamen doğrusal da olabilir. Ancak, taban yalıtım sistemlerinin omurga eğrisi genel olarak doğrusal olmayan türden ortaya çıkmaktadır. Yalıtımdaki kuvvetin, akma sınırına erişmemesi durumunda ise eğer sönüm yoksa davranış tamamen omurga eğrisi üzerinde ileri ve geri şeklinde belirlemektedir. Eğer önemli bir sönüm varsa davranış omurga eğrisini ortada bırakan bir çevrimsel eğri üzerinde ortaya çıkmaktadır.

Böyle bir sistem, elastik yay ve viskoz sönüm olarak modellenebilir. Eğer omurga eğrisinin, elastik ve pekleşen kısımları mevcut ise akma durumundan sonra pekleşme rijitliğinin gözönüne alınması gerekmektedir. Bu durumda etkili rijitlik tanımı yapılabilir. Yönetmeliklerde yalıtım sistemi üzerinde deney yapılarak özelliklerinin tespit edilmesi öngörülmektedir.

Üst yapının tasarımına esas olan spektrum eğrisinin belirlenmesi ile taban yalıtım sisteminin seçimine başlanır. Spektrum eğrisinde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi olabildiği gibi 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem de gözönüne alınabilir. Ancak, bu depremlerde konulacak sınırların farklı olabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 2.5 : Taban yalıtımında kuvvet-yerdeğiştirme değişimi ve omurga eğrisi.

Şekil 2.3’de verilen, en büyük deprem yer hareketi düzeyindeki (DD-1) spektrum eğrisi, örnek olarak kabul edilecektir. İlgili bağlantılar kullanılarak $S_{ae}(T)$ ivme ve $S_{de}(T)$ yerdeğiştirme spektrum eğrileri çizilebilir.

$$S_{de} = (T/2\pi)^2 S_{ae} \quad (2.20)$$

2.20 ifadesi kullanılarak bu iki spektrum eğrisinin birleştirilmesi ile $S_a(S_d)$ spektrumu elde edilebilir. Bu son spektrum eğrilerinde 2.20 ifadesinden de görüleceği gibi başlangıçtan geçen doğrular periyodun sabit bir değerine karşı gelir. Depreme karşı taban yalıtımının seçimi için, aşağıda hedef periyot yöntemi açıklanmıştır. Bu uygulamadaki yaklaşım, üst yapının taban yalıtımı üzerinde rijit cisim gibi davrandığı kabulüdür.

Yukarıda yapılan sayısal örneklerden bu yaklaşımın oldukça gerçekçi olduğu anlaşılır. Ancak, bir ileri yaklaşım olarak üst yapının birinci titreşim modunun da hesaba katılması için, yapı tek serbestlik dereceli sistem olarak kabul edilerek çözüm yapılabilir ve yalıtım sistemi seçilebilir.

Örnek olarak, taban yalıtımsız birinci titreşim periyodu $T_0 = 0.40s$ olan bir sistem ele alınacaktır. Şekil 2.2’de verilen tek serbestlik dereceli yapının zemin kat kütlesi ile üst kat kütlesinin eşit kabul edilerek ($m_b = m$) aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad T_b = 2\pi\sqrt{\frac{m_b + m}{k_b}} = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{\alpha k}} \quad \alpha = \frac{k_b}{k} \quad \alpha = 2\left(\frac{T_0}{T_b}\right)^2 \quad (2.21)$$

2.2.2.1 Hedef periyot seçim yöntemi

Taban yalıtımsız birinci titreşim periyodu $T_0 = 0.40s$ olan sistemin yalıtımlı hedef periyodunun $T_b = 2.50s$ olması esas alınacaktır. Bu durumda, taban yalıtımının yanal rijitlik oranı,

$$\alpha = 2 \left(\frac{T_0}{T_b} \right)^2 = 2 \left(\frac{0.40}{2.50} \right)^2 \simeq 0.05 \quad (2.22)$$

olarak hesap edilebilir. Bu durumda yanal öteleme rijitliği $k_b = 0.05k$ ve sönüm oranı $\zeta_b = 0.20$ olan bir yalıtım seçilecektir. Yalıtımsız ve yalıtımlı sistemlere karşı gelen spektral değerler aşağıdaki gibi belirlenebilir:

- Yalıtımsız sistem:

$$T_0 = 0.40s \quad \zeta_0 = 0.05 \quad \eta = 1.000$$

$$S_{ae,1}/g = \eta S_{D1}/T_1 = 1.000 \times 0.336 / 0.400 = 0.840$$

$$S_{de} = \eta g S_{D1} T / (4\pi^2) = 1.000 \times 9.81 \times 0.336 \times 0.400 / (4\pi^2) = 0.033m \quad (2.23)$$

- Yalıtımlı sistem:

$$T_0 = 2.50s \quad \zeta_0 = 0.05 \quad \eta = 1.000 \quad S_{ae} = 0.134g \quad S_{de} = 0.209m$$

$$T_0 = 2.50s \quad \zeta_0 = 0.20 \quad \eta = 0.632 \quad S_{ae} = 0.085g \quad S_{de} = 0.132m \quad (2.24)$$

Bu sonuçlarla birlikte taban yalıtımı teknolojisinin, spektral ivmeyi azalttığı, buna karşılık spektral yer değiştirmeyi artırdığı görülmektedir. Bununla birlikte, taban yalıtımının sönümünün yüksek olmasının etkisi açık biçimde görülmektedir. Ayrıca, yeni hedef periyotları belirlenerek ve iterasyon yapılarak, bulunan değerler tekrar gözden geçirilebilir.

2.3 TBDY 2018’de Deprem Etkisinde Taban Yalıtımlı Binalar

TBDY 2018, binalarda elastomer yalıtım birimlerinin kullanımını detaylı bir şekilde kapsamaktadır. Yapılacak tasarımda bina önem katsayısı (I) 1 olarak kabul edilmektedir. Ancak, bina kullanım sınıfı ve deprem düzeyi ile ilişkili olarak

belirlenen deprem tasarım sınıfı'na bağılı olarak sağılanması gerekli performans düzeyleri öngörölmüşür. Şekil 2.15'de göröldüğü gibi, yalıtımlı binalarda üst yapının elastik kalması beklendiğı için üst yapının tasarımında DD-2 depremi esas alınarak, dayanıma göre tasarım kullanılarak deprem tasarım sınıfı'na bağılı olarak sınırlı hasar ve kesintisiz kullanım sağılanmaktadır. Buna karşılık, yalıtım sistemi ve alt yapı için de DD-1 depremi göz önüne alınmaktadır. Yalıtım sistemi için şekil değıştirmeye dayalı tasarım ve alt yapı için dayanıma göre tasarım öngörölmektedir.

Yalıtım sistemin en büyük yerdeğıştirme hesabı DD-1 depreminde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değıerleri ile, üst yapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin hesabı ise DD-2 depreminde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değıerleri ile yapılmaktadır. Bu durumlarda yapı, bir bütün olarak modellenmesinde, üst ve alt yapıların ise doğrusal elastik olarak modellenirken sadece yalıtım birimlerinin doğrusal olmayan davranış ile modellenmesi yeterli olmaktadır. Binanın modellenmesinde Şekil 2.21'de verilen etkin kesit rijitlğı çarpanları kullanılır. Binadaki kat ivmelerinin belirlenmesinde ve donanım tahkiklerinde yalıtım sisteminin ilgili parametrelerinin nominal değıerleri kullanılır.

2.3.1 KÇE deprem yalıtım birimlerinin özellikleri

Yalıtım birimlerinde, artan yatay yerdeğıştirmelerle karşılanacak kuvvetin artması, yani yerdeğıştirmelerle rijitliğin azalmaması beklenir. Uzun süre yalıtımın özelliğinin devam etmesi için, yalıtım sisteminin tasarımında deprem yanında, rüzgar, sıcaklık, yaşlanma, sünme, yorulma ve nem gibi etkilerin de gözönünde alınması gerekir. Bunun gibi, yalıtım birimlerinin mekanik özelliklerinde zamanla meydana gelebilecek değıişimler tasarım aşamasında gözönüne alınır. Yalıtım sisteminin tasarımında, tüm sistemin stabilitesinin sağılanması için, herhangi bir deprem düzeyinde yalıtım birimlerinde çekme kuvveti oluşmaması esastır. Yalıtım sisteminin, özellikle en büyük yerdeğıştirmede eksenel kuvvetinin altında, kararlılığın sağılandığının gösterilmesinde, en büyük deprem yer hareketi düzeyindeki (DD-1) depremi ve yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değıerleri kullanılır. Binanın yalıtım sisteminin DD-1 depreminde devrilmeye karşı güvenlik katsayısının en az 1.0 olması gerekir.

Rüzgarın, depreme göre çok daha sık meydana gelmesi sebebiyle, rüzgar yükü altında yalıtım arayüzünde oluşacak maksimum görelî ötelemenin, DD-2 depreminde bina için izin verilen görelî kat ötelemesi değerini aşmaması gerekir.

2.3.2 Performans hedefleri, yük birleşimleri ve tasarım

Yalıtımlı binaların Deprem Tasarım Sınıfı'na göre performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları Şekil 2.15'de verilmiştir. Bu tasarımda uygulanan DD-2 depremi altında hedeflenen performans düzeylerine ait Deprem Yükü Azaltma Katsayısı R_d ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı D , Şekil 2.16'da verilmiştir.

Yalıtım sistemi ve alt yapı tasarımında,

$$1.4G + 1.6Q \quad 1.2G + Q \mp E_d \quad 0.9G \mp E_d \quad (2.25)$$

ve üst yapı tasarımında,

$$G + Q + 0.2S + E_d^H + 0.3E_d^Z \quad 0.9G + H + E_d^H - 0.3E_d^Z \quad (2.26)$$

yük birleşimleri esas alınır. Burada, S kar yükünü, H yatay zemin itkisini, E_d^H yatay deprem etkisini ve E_d^Z düşey deprem etkisini gösterir.

Yalıtım birimi deneylerinde ise aşağıdaki yük birleşimleri kullanılır:

$$\begin{aligned} 1.4G + 1.6Q \quad G + 0.5Q \quad 1.2G + 0.5Q \mp E_d \\ 1.2G + Q \mp E_d \quad 0.9G + E_d \end{aligned} \quad (2.27)$$

Yalıtım birimleri, DD-1 depremi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışla oluşan yerdeğiştirmeleri ve eksenel yükleri karşılayacak şekilde tasarlanır.

2.3.3 Kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimleri

Şekil 2.6'da gösterildiği üzere elastomer yalıtım birimleri, çelik ve doğal kauçuk plakaların üst üste getirilmesiyle üretilir. Bu tür yalıtım birimlerinin yük-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 2.5'de gösterildiği gibi çevrimsel bir davranış gösterir.

Tasarımda kullanılacak alt ve üst sınır değerleri:

Tasarımda yalıtım birimleri parametrelerinin üst sınır ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametreleri nominal değerlerinin aşağıda verilen $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılması ile elde edilir:

$$\begin{aligned} (F_Q \text{ için:}) \lambda_{üst} &= [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst} \lambda_{spek,üst} = 1.61 \\ \lambda_{alt} &= [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt} = 0.60 \end{aligned} \quad (2.28)$$

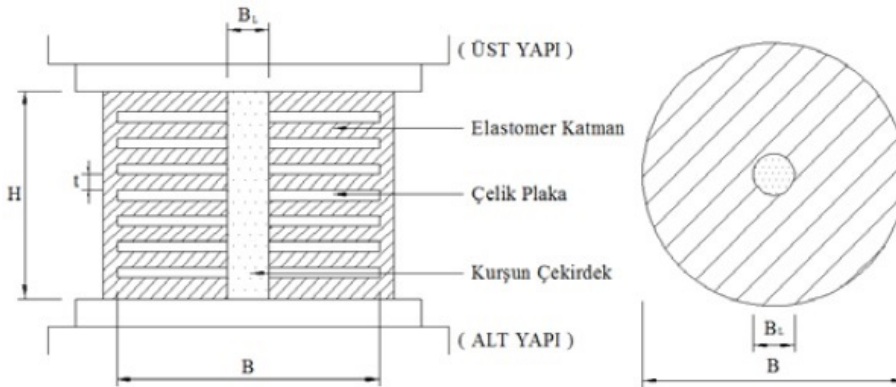
$$\begin{aligned} (k_2 \text{ için:}) \lambda_{üst} &= [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst} \lambda_{spek,üst} = 1.83 \\ \lambda_{alt} &= [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt} = 0.77 \end{aligned} \quad (2.29)$$

Tasarımda kullanılacak $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayılarının deneysel belirlenmemesi durumunda, tasarımda Çizelge 2.2’de verilen alt ve üst sınır değerler kullanılır.

Çizelge 2.2’de; KÇE kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimini, F_Q kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi karakteristik dayanımını, k_2 kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi ikincil (elastik ötesi) rijitliğini, λ_{ae} yaşlanma ve çevresel etkileri sebebiyle, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkileri sebebiyle, λ_{spek} ise üretimdeki değişkenlikler sebebiyle kullanılacak olan çarpanları göstermektedir.

Çizelge 2.2 : KÇE’lerin dayanım ve rijitliği için alt ve üst sınır değerleri.

	Tip	F_Q		k_2	
		Alt	Üst	Alt	Üst
λ_{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
λ_{deney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.30
λ_{spek}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15



Şekil 2.6 : Kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimi.

2.3.3.1 KÇE deprem yalıtım birimlerinin depremsiz şekil değıştirmesi

a. Basıncıtan oluşın açısıal şekil değıştirme (Şekil 2.7.a.):

$$\gamma_{c,st} = 6SP_{K1}/(A_r E_c) = 6(14.50)(1074.07)/((273.102)(1319.45)) = 0.26$$

$$S = A_r/A_L = 14.50 \quad (2.30)$$

Burada P_{K1} düşey yük, S şekil katsayısı olup, elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış (yüke maruz) A_r yüzey alanının, A_L elastomer katmanı kenar yüzey alanına oranıdır (Şekil 2.8):

Not: $P_{K1} = 1074.07\text{kN}$ 'dir ve 1.4 G + 1.6 Q yük kombinasyonu ile elde edilmiştir.

• 600 mm dış çaplı (B) ve 110 mm kurşun çekirdek çapı (B_L) olan LH060G4-1 kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi'nin nominal tasarım parametreleri:

$$A_r = (\pi/4)(B^2 - B_L^2) = (\pi/4)(600^2 - 110^2) = 273240.02\text{mm}^2 \quad (\text{Dairesel Kesit})$$

$$S = (B^2 - B_L^2)/(4Bt) = (600^2 - 110^2)/(4(600)(10)) = 14.50 \quad (2.31)$$

Şekil faktörü S dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için verilmiştir. Elastomer yalıtım birimlerinin τ_{yp} kurşun kayma akma gerilmesi, G_v kauçuk kayma modülü, N deprem yalıtım birimi sayısı, t bir kauçuk yüksekliği, T_r toplam kauçuk yüksekliği, A mesnet kesit alanı, A_p kurşun çekirdek kesit alanı, A_r kauçuk kesit alanı, $F_Q \simeq F_Y$ yaklaşık etkin akma kuvveti, D_y yaklaşık etkin akma yerdeğıştirmesi, k_v düşey rijitliği ve E_v düşey rijitlik modülü:

$$\tau_{yp} = 8\text{MPa} \quad G_v = 0.385\text{MPa} \quad N = 16$$

$$t = 10\text{mm} \quad T_r = 200\text{mm}$$

$$A = \pi B^2/4 = \pi 600^2/4 = 282743.34\text{mm}^2$$

$$A_p = \pi B_L^2/4 = \pi 110^2/4 = 9503.32\text{mm}^2$$

$$A_r = A - A_p = 273240.02\text{mm}^2$$

$$F_Q \simeq F_Y = A_p \tau_{yp} = 76.03\text{kN}$$

$$D_y = F_y/(5.5k_2) = 26.28\text{mm}$$

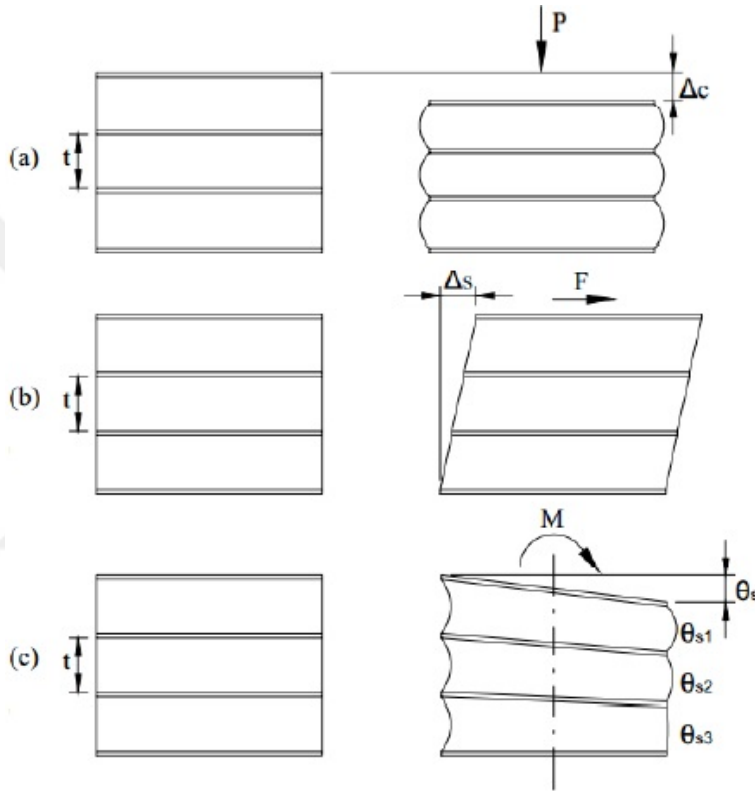
$$E_v = (1/E_c + 1/K)^{-1} = (1/1319.45 + 1/2000)^{-1} = 472.03\text{MPa}$$

$$k_v = E_v A_r / T_r = 644337.76 \text{ kN/m} \quad (2.32)$$

Burada $K = 1176 \text{ MPa}$ kauçuk malzemenin hacimsel elastik modülü, $E_0 = 2.2 \text{ MPa}$ elastiklik modülü, $k = 0.85$ sertlik katsayısı ve E_c elastomer yalıtım biriminin basınç elastiklik modülüdür. Kurşun çekirdekli yalıtım biriminin k_2 elastik ötesi rijitliğinde, kurşun çekirdeğin elastik rijitliği etkili olur:

$$E_c = E_0(1 + 2kS^2) = 2.2(1 + 2(0.85)(14.50)^2) = 788.08 \text{ MPa}$$

$$k_2 = G_v A_r / T_r = (0.385)(273240.02)/200 = 525.99 \text{ kN/m} \quad (2.33)$$



Şekil 2.7 : KÇE birim şekil değiştirme şekilleri.

b. Deprem dışındaki genleşme, rüzgar gibi diğer etkilerden oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekil değiştirme (Şekil 2.7.b):

$$\gamma_{s,st} = \Delta_s / T_r \simeq 0 \quad (2.34)$$

Burada, Δ_s yatay yüklemeden oluşan yatay yerdeğiştirme ve T_r elastomer katmanlarının toplam kalınlığıdır.

c. Yalıtım biriminde basınçtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme (Şekil 2.7.a):

$$\gamma_{c,st} = 6SP_{K1} / (A_r E_c) = 6(14.50)(1074.07) / ((273.24)(788.08)) = 0.43 \quad (2.35)$$

Burada P_{K1} artırılmış düşey yüklerden (1.4G+1.6Q) oluşan aksenal basınç kuvvetidir.

d. Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreceli dönmeden meydana gelen şekil değiştirme (Şekil 2.7.c):

$$\gamma_{r,st} = B^2 \theta_s / (2t T_r) = 600^2 (0.005) / (2(10)(200)) = 0.45 \quad (2.36)$$

Burada $\theta_s \geq 0.005$ sabit yük, hareketli yük ve imalat sırasındaki oluşan dönme etkilerinden oluşan tasarım dönme açısı, B çelik plakaya yapışmış olan elastomer çapı, t elastomer katman kalınlığı ve T_r ise toplam elastomer kalınlığıdır.

2.3.3.2 KÇE deprem yalıtım birimlerinin depremli şekil değiştirmesi

a. P_{K2} ilgili yük birleşimi ile elde edilen düşey kuvvet olmak üzere, DD-1 ve DD-2 deprem etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen şekil değiştirme:

$$\delta = 2\cos^{-1}(D/B) = 2\cos^{-1}(0.396/0.600) = 1.70$$

$$A_{re} = A_r(\delta - \sin(\delta)/\pi) = 273240.02(1.70 - (0.99)/\pi) = 378257.99 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{c,E} = 6SP_{K2} / (A_{re} E_c) = 6(14.50)(1092.85) / ((378257.99)(788.08)) = 0.32 \quad (2.37)$$

Not: $P_{K2} = 1092.85 \text{ kN}$ 'dur ve 1.2 G + Q $\mp E_d$ yük kombinasyonu ile elde edilmiştir.

b. D, ilgili deprem düzeyinde oluşan yatay yerdeğiştirme olmak üzere, DD-1 ve DD-2 deprem etkisinden oluşan basınçtan meydana gelen şekil değiştirme:

$$\gamma_{s,E} = D/T_r = 0.396/0.200 = 1.98 \quad (2.38)$$

2.3.3.3 KÇE deprem yalıtım birimlerinin şekil değiştirme sınırı

a. Elastomer malzemede sadece düşey yüklerden oluşan şekil değiştirmelerin aşağıdaki sınırları sağlaması gerekir:

$$\gamma_{c,st} = 0.43 \leq 3.5$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} = 0.88 \leq 5.0 \quad (2.39)$$

b. Elastomer malzeme ara yüzünde yatay yerdeğiştirmeden ve dönmeden meydana gelen toplam şekil değiştirmelerin aşağıdaki sınırları sağlaması gerekir:

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} = 2.52 \leq 6.0 \quad \vee \quad \gamma_{s,E} = 1.98 \leq 2.0 \quad (2.40)$$

2.3.3.4 KÇE deprem yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı

Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü P_{cr}

$$P_{cr} = 0.218 \frac{G_v B^4 (1 - B_L/B)(1 - B_L^2/B^2)}{t T_r (1 + B_L^2/B^2)} = 4152.71 kN \quad (2.41)$$

olarak hesaplanır. Burada G_v elastomer malzeme kayma modülü ve B_L kurşun çekirdek çapıdır. Yatay yerdeğiştirme olduğu durumlarda, DD-1 deprem etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü:

$$P'_{cr} = (A_{re}/A) P_{cr} = 5555.55 kN \quad (2.42)$$

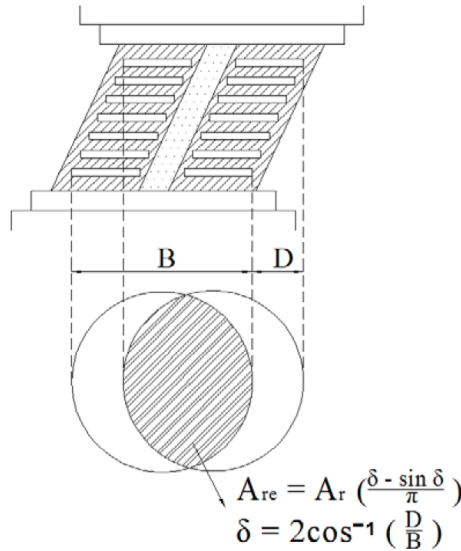
Burada, A_{re} nin hesabında D için, yalıtım sisteminin etkin rijitlik merkezinde oluşan yerdeğiştirme D_{TM} kullanılır.

Elastomer yalıtım birimlerinin, şekil değiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi

$$P_{str} = 3.5 A_{re} E_c / (6S) = 11992.43 kN \quad (2.43)$$

ve elastomer yalıtım birimlerinin yatay yerdeğiştirme olmadığı durumlardak burkulma yükü sınırı,

$$\min(P_{cr}, P_{str}) / P_{K1} = 4152.71 / 1074.07 = 3.87 \geq 2.0 \quad (2.44)$$



Şekil 2.8 : KÇE'nin şekil değiştirmiş durumları.

olarak öngörülmüştür. Elastomer yalıtım birimlerinin DD-1 depreminde meydana gelen yatay yerdeğiştirme altındaki burkulma yükü sınırı da aşağıda verilmiştir:

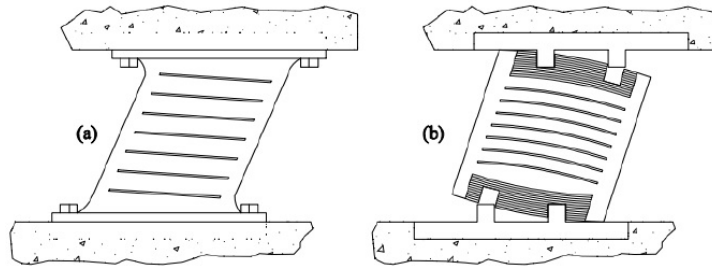
$$\min(P'_{cr}, P_{str})/PK_2 = 5555.55/1092.85 = 5.08 \geq 1.1 \quad (2.45)$$

2.3.3.5 KÇE deprem yalıtım birimlerinin bağlantıları

Elastomer yalıtım birimlerinin üst ve altyapı bağlantıları, DD-1 depreminin yatay ve düşey bileşeni ile gözönüne alınarak tüm yük birleşimlerinin 1.1 ile çarpılması ile elde edilen yükler altında hesaplanan yatay ve düşey kuvvetleri taşıyacak şekilde tasarlanır. Bu işlemde bağlantı yüzeyi ile yalıtım birimi arasındaki sürtünme etkisi dikkate alınmaz. Elastomer yalıtım birimlerinin üst ve alt yapı bağlantıları için Şekil 2.9.a'daki standart bulonlu bağlantı kullanılması durumunda elastomer yalıtım biriminin yuvarlanma kararlılığının sağlanmasına gerek olmaz. Yalıtım birimleri ile üst ve altyapı bağlantılarının çekme alabilen düzende olmadığı (Şekil 2.9.b) ve yatay yüklerin kayma kaması ile karşılandığı durumda, elastomer yalıtım birimlerinde yuvarlanma kararlılığının sağlanması

$$D_M = 0.492m \leq \frac{2}{3} \frac{P_{K3}}{k_e H + P_{K3}} B = \frac{2}{3} \frac{2975.77}{[(480.65)0.2 + 2975.77]} 0.6 = 0.387m \quad (2.46)$$

olarak kontrol edilir. Burada; $D_M = 0.492m$ yalıtım biriminin en büyük deprem etkisi altındaki yatay yerdeğiştirmesi, $k_e = 480.65kN/m$ etkin doğrusal yatay rijitliği ve $H = 200mm$ yalıtım birimi toplam yüksekliği ve $P_{K3} = 2975.77kN$ düşey kuvvettir.



Şekil 2.9 : KÇE'nin bağlantıları.

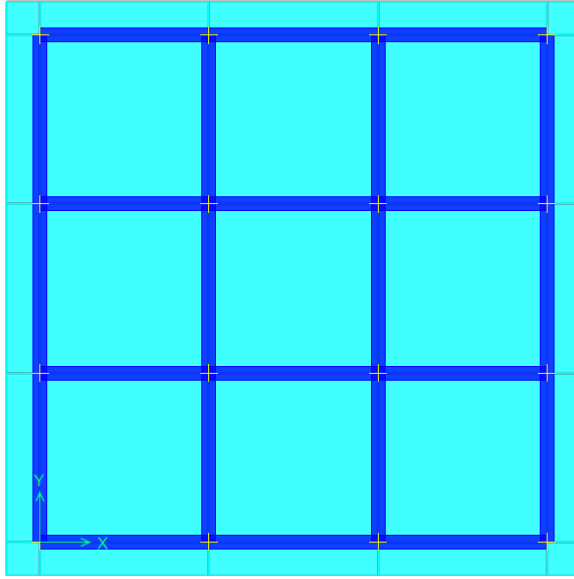
2.4 SAP2000 v20 ile Deprem Etkisinde Taban Yalıtımlı Bina Tasarımı

Bu bölümde, dört katlı ve deprem etkisinde taban yalıtımlı bir binanın, SAP2000 v20 yazılımı ile TBDY 2018'e göre tasarım aşamalarını inceleyeceğiz.

2.4.1 Yapı hakkında genel bilgiler

Her iki doğrultuda da simetrik olan yapı, taşıyıcı sistem olarak betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Deprem etkisinde, kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimleriyle taban yalıtımlı olarak tasarlanacak olan yapının, genel özellikleri ise aşağıda verilmiştir:

- Kat sayısı: 4
- Kat yüksekliği: 4m
- Toplam yapı yüksekliği: 16m
- Yapı oturma alanı: 289m²
- Kullanılan deprem yalıtımı türü: Taban yalıtımı
- Kullanılan deprem yalıtım birimi: Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet
- Kurşun kayma akma gerilmesi: 8 MPa
- Kauçuk kayma modülü: 0.385 MPa
- Toplam kauçuk yüksekliği: 200 mm
- Deprem yalıtım birimi sayısı: 16
- Kullanım amacı: Konut
- Beton sınıfı: C40
- Beton elastisite modülü (E_c): 34550 MPa
- Beton karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}): 40 MPa
- Beton malzeme güvenlik katsayısı (γ_{mc}): 1.5
- Donatı çeliği: S420b
- Donatı çeliği elastisite modülü (E_s): 200000 MPa
- Donatı çeliği karakteristik akma gerilmesi (f_{yk}): 420 MPa
- Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı (γ_{ms}): 1.15



Şekil 2.10 : Zemin kat planı.

2.4.2 Spektrum eğrileri

Tasarımı yapılacak binanın konumu, Fenerbahçe (40.987747° / 29.036840°) olarak düşünülmüştür. Bina tasarımında kullanılacak olan DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ait deprem tasarım parametreleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından hazırlanan “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması” adlı internet sitesinden alınmıştır. Ayrıca, visual basic excel ile kodladığım ve EK A’da bahsettiğim program ile de tasarım spektrumlarının hepsi çizdirildi. Aşağıda, en büyük yer hareketi altındaki spektrum eğrisi için kullanılan veriler bulunmaktadır.

Deprem yer hareketi düzeyi DD-1 ve konumu Fenerbahçe olan bölgenin en büyük yer hareketi altındaki spektrum değerleri için:

- Yerel zemin sınıfı: ZC
- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S): 1.694
- 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1): 0.472
- Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_S): 1.200s
- 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1): 1.500s
- Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}): 2.033
- 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}): 0.708

- Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (T_A): 0.070s
- Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (T_B): 0.348s
- Yatay elastik tasarım ivme spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (T_L): 6.000s

Deprem yer hareketi düzeyi DD-2 ve konumu Fenerbahçe olan bölgenin tasarım spektrumu değerleri için:

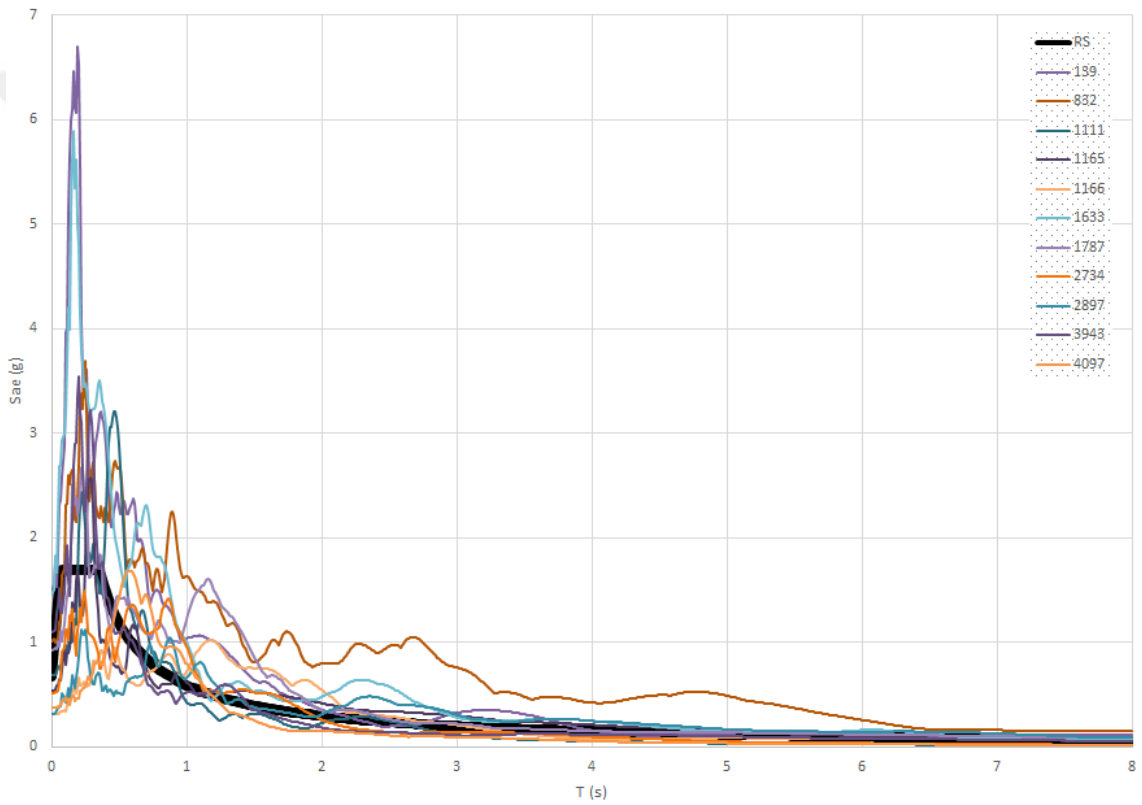
- Yerel zemin sınıfı: ZC
- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S): 0.975
- 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1): 0.267
- Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_S): 1.200s
- 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1): 1.500s
- Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}): 1.170
- 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}): 0.401
- Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (T_A): 0.068s
- Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (T_B): 0.342s
- Yatay elastik tasarım ivme spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (T_L): 6.000s

Not: Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, TBDY 2018'deki 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4 ve 2.3.5'te ifadelerinde de açıklandığı üzere harita spektral ivme katsayıları'na ve yerel zemin etki katsayıları'na bağlı olarak standart biçimde veya TBDY 2018'deki 2.4.1'deki ifadeye göre sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanırlar. Burada AFAD'tan alınan tüm veriler, TBDY 2018 Bölüm 2.3'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda bulunmuştur.

Aşağıda, Berkeley Üniversitesi veri tabanından elde edilen deprem ivme kayıtları listelenmiştir (Çizelge 2.3). Ölçeklendirme işlemi ise matlab yazılım dili ile kodlanmış ve sonuçları Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Deprem kayıtları.

Kayıt Nu.	Merkez Üssü	İstasyon	Yıl	Mekanizma	$(V_s)_{30}(m/s)$	Ölçeği
139	Tabas_Iran	Dayhook	1978	reverse	472	4.613
832	Landers	Amboy	1992	strike slip	383	8.766
1111	Kobe_Japan	NishiAkashi	1995	strike slip	609	1.417
1165	Kocaeli_Turkey	Iznik	1999	strike slip	477	2.310
1166	Manjil_Iran	Abbar	1990	strike slip	724	2.509
1633	Hector Mine	Hector	1999	strike slip	726	2.833
1787	ChiChi_Taiwan	CHY074	1999	strike slip	553	3.489
2734	Kocaeli_Turkey	Izmit	1999	strike slip	811	1.585
2897	Parkfield_CA	Slack Canyon	2004	strike slip	648	7.050
3943	ChiChi_Taiwan	TCU138	1999	strike slip	653	4.008
4097	TottoriJapan	SMN015	2000	strike slip	617	1.771



Şekil 2.11 : DD-1 spektrumu ve ölçeklendirilmiş 11 deprem spektrumu.

2.4.3 Yapı ağırlığı'nın hesaplanması

Kullanım amacı konut olan dört katlı binanın tasarımında TS 498'e göre kullanılacak yükler ile toplam yapı ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

- X ve Y doğrultuları: 15m
- Kat döşemesi alanı: 225m²
- Temel döşemesi alanı: 289m²
- Toplam parapet uzunluğu: 60m
- Katlardaki toplam kiriş uzunluğu: 120m
- Toplam duvar uzunluğu: 120m
- Deprem yalıtım birimi sayısı (N): 16
- Kiriş kesit alanı: 0.4mx0.7m = 0.28m²
- Kolon kesit alanı: 0.6mx0.6m = 0.36m²
- Döşeme kalınlığı: 0.18m
- Temel döşemesi kalınlığı: 0.8m
- Kat yükseklikleri: 4m
- Normal kat ve yalıtım katı ölü yükleri ($G_{normal} + isolation$): 2kN/m
- Normal kat ve yalıtım katı hareketli yükleri ($Q_{normal} + isolation$): 5kN/m
- Çatı ölü yükü ($G_{çatı}$): 4kN/m
- Çatı hareketli yükü ($Q_{çatı}$): 2kN/m
- Duvar yükü: 8kN/m
- Parapet yükü: 7kN/m
- Hareketli yük kütle katılım katsayısı (n): 0.30

Çizelge 2.4 : Toplam yapı ağırlığı (kN).

Kat	Parapet	Duvar	Kiriş	Kolon	G Döşeme	Q Döşeme	G Toplam	Q Toplam	G+nQ
4	420	480	840	288	1912.5	450	3940.5	450	4075.5
3	0	960	840	576	1912.5	1125	3838.5	1125	4176.0
2	0	960	840	576	1912.5	1125	3838.5	1125	4176.0
1	0	960	840	576	1912.5	1125	3838.5	1125	4176.0
Zemin	0	480	840	288	6358.0	1445	7966.0	1445	8399.5

Toplam yapı ağırlığı, 25003kN olarak hesaplanmıştır.

2.4.4 Bina için ön tasarım hedefleri

Belirli isteklere bağlı olarak modellenen binamızın ön tasarım hedefleri için depremselliğine ve performans hedeflerine bakacağız. Depremselliği için tasarım depremi olan DD-2 öngörülmektedir, bina için uygun görülen taban kesme kuvveti oranının sağlanması ve yalıtım birimi deplasmanlarının makul seviyelerde tutulması beklenmektedir.

Performans hedefleri için yapının, kullanım amacına uygun olacak şekilde yapılması uygun görülmektedir. TBDY 2018’de bulunan ve numaraları ile verilen tablolar yardımıyla bina özelliklerini belirleyebiliriz. Şekillerde gösterilen; bina kullanım sınıfları, bina önem katsayıları, bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları bulunmalıdır.

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Şekil 2.12 : Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (BÖK).

Şekil 2.12’de görüldüğü üzere, deprem yalıtımlı binalarda bina önem katsayısı 1’dir ve bina kullanım sınıfı 3’tür.

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Şekil 2.13 : Deprem tasarım sınıfları (DTS).

Şekil 2.13'e göre, $S_{DS} = 1.170$ ve BKS = 3 değerleri ile deprem tasarım sınıfı (DTS)'ni 1 olarak kullanabiliriz.

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Şekil 2.14 : Bina yükseklik sınıfları ve DTS'ye göre bina yükseklik aralıkları.

Şekil 2.14'e göre bina yüksekliği (H_N) = 16 ve DTS = 1 olduğundan bina yükseklik sınıfı (BYS)'ni 6 olarak kullanabiliriz.

(a) Yeni Yapılacak Deprem Yalıtımlı Binalar – Üstyapı				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	SH	DGT	KK	DGT
DD-1	—	—	—	—

(c) Yeni Yapılacak ve Güçlendirilecek Deprem Yalıtımlı Binalar – Yalıtım Sistemi ve Altyapı				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	—	—	—	—
DD-1	KK	ŞGDT ⁽¹⁾ -DGT ⁽²⁾	KK	ŞGDT ⁽¹⁾ -DGT ⁽²⁾

⁽¹⁾ Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.

⁽²⁾ Altyapı için uygulanacaktır.

Şekil 2.15 : DTS'ye göre performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları.

Şekil 2.15'de DTS = 1 için normal performans hedefleri, yalıtım birimi için DD-1 altında kesintisiz kullanım (KK), üst yapı için ise DD-2 altında sınırlı hasar (SH)'dir.

Değerlendirme / tasarım yaklaşımı için ise her ikisi için de dayanıma göre tasarım (DGT) belirlenmiştir.

Performans Hedefi	R	D
KK	1.2	1.2
SH	1.5	1.5

Şekil 2.16 : Deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları.

Şekil 2.16’da taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) = 1.2 ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) = 1.2 olarak kullanılabilir.

Yalıtımlı binalarda görelî kat ötelemesi sınırları ve deprem derzleri: Üst yapıdaki görelî kat ötelemelerinin, hi kat yüksekliği olmak üzere, kesintisiz kullanım (KK) performans seviyesi için $0.005h_i$ değerini aşmamasının sağlanması gerekir. Yalıtımlı binalarda bırakılacak deprem derzlerinin boyutları, yalıtım sisteminin toplam en büyük yerdeğiştirmesine ek olarak görelî kat ötelenmeleri de gözönüne alınarak hesaplanır ve derz genişliği, derzin her iki tarafındaki yapılar için hesaplanan mutlak en büyük yerdeğiştirmelerin toplamından küçük olmaz.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (2.47)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (2.48)$$

Bina ilk iki modunda da eşit hakim periyoda sahip olduğu için SAP2000 yazılımıyla elde edilen periyot değerleri $T = T_x = T_y = 2.17393s$ ve $T_B = 0.342s$ olduğundan 2.47 denklemini kullanabiliriz. Buradan; $R_a(T_{x,y}) = \frac{R}{I} = \frac{1.2}{1} = 1.2$ diyebiliriz.

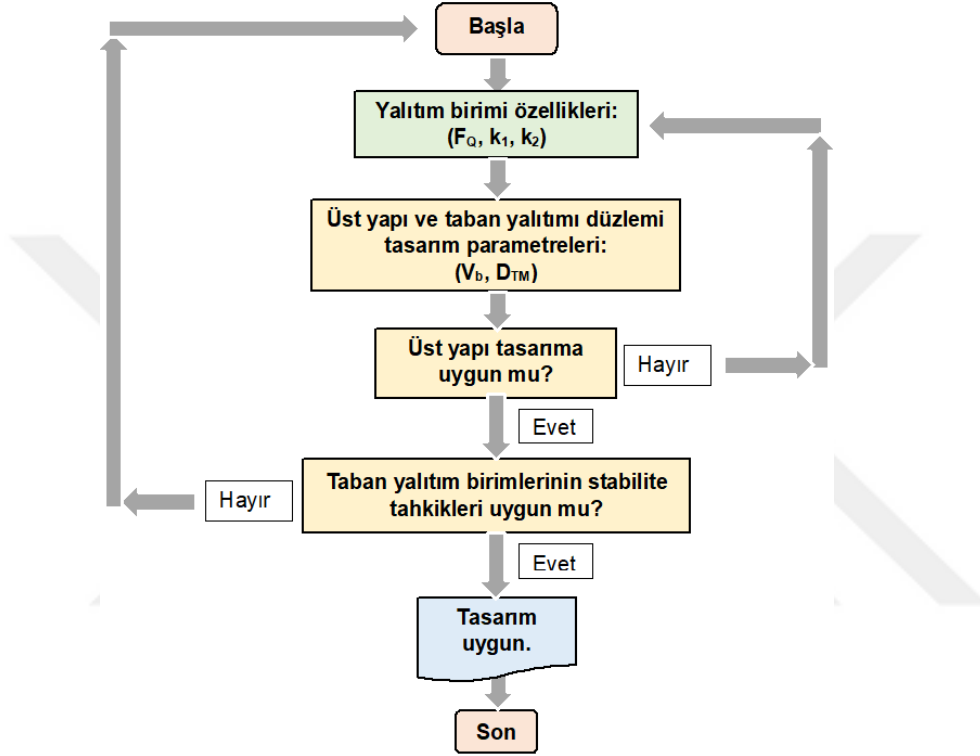
2.4.5 Öngörülen hedefler ile uyumlu deprem yalıtım biriminin seçimi

Bridgestone firmasının, deprem yalıtım birimleri ile ilgili kataloğu kullanılarak tasarım parametreleri belirlendi ($F_Q, k_1, k_2 \rightarrow T_{eff}, \beta_e$). Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinde, deprem yalıtım birimlerinin rijitliği ve eksenel yük kapasiteleri yalıtım birimi boyutlarına bağlıdır. Bu nedenle yalıtım birimi boyutlarına göre belirlenen parametreler ile üst yapı tasarımı iteratif olarak hesaplanır. Kullanılacak yalıtım birimlerine dayalı olarak tasarım ile sonuca gitmek istedim; bu da yalıtım birimlerinin karakteristikleri ve davranışları konusunda bilgi gerektirmektedir. Yalıtım

birimleri özelliklerinin üreticiden üreticiye farklılık gösterebileceği de gözönünde bulundurulmalıdır.

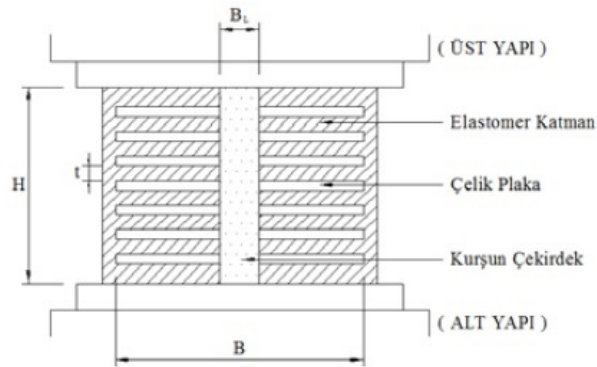
Tasarımda, Çizelge 2.2’de belirtilen yalıtım birimleri parametrelerinin, üst sınır ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametreleri nominal değerlerinin aşağıda verilen λ_{ust} ve λ_{alt} katsayıları ile 2.28’de ve 2.29’da ifade edildiği gibi çarpılması ile elde edilmiştir.

F_Q için: $\lambda_{üst} = 1.61$, $\lambda_{alt} = 0.60$ ve k_2 için: $\lambda_{üst} = 1.83$, $\lambda_{alt} = 0.77$



Şekil 2.17 : Taban yalıtım biriminin seçimi için akış diyagramı.

Bina tasarımı için, 600 mm dış çaplı (B) ve 110 mm kurşun çekirdek çapı (B_L) olan LH060G4-1 kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi seçilmiştir.



Şekil 2.18 : KÇE yalıtım birimi.

- Seçilen yalıtım birimi için en büyük deprem yer hareketi seviyesindeki (DD-1) üst limit değerler ile efektif periyot, rijitlik, sönüm katsayısı, sönüm oranı ile birlikte uygunluk durumunun belirlenmesi:

1- Tasarım deplasmanı (D) öngörülür.

Çalışmamızda kullandığımız spektrum değerleri için $D = 226.289\text{mm}$ olarak öngörüldü.

2- Tasarım deplasmanına bağlı kuvvet belirlenir.

$$F = F_y + k_2(D - D_y) = 122.341 + 962.07(0.226 - 0.023) = 317.802\text{kN}$$

3- Kuvvete ve deplasmana bağlı sönüm oranı ile bu sönüm oranına bağlı sönüm katsayısı (η) belirlenir.

$$\beta_i = 22.014$$

$$\eta_i = \sqrt{\frac{10}{5 + (100W_D)/(4\beta_i W)}} = \sqrt{\frac{10}{5 + (100 \times 99.423)/(4 \times 22.014 \times 35.958)}} = 0.608$$

4- Efektif rijitlik ve periyot belirlenir.

$$K_{eff} = F / D = 317.802 / 0.226 = 1404.410\text{kN/m}$$

$$T_{eff} = 2 \pi \sqrt{m / K_{eff}} = 2.115\text{s}$$

5- Belirlenen efektif periyot ve sönüm için spektrumdan deplasman ve ivme değeri kontrol edilir.

2.115s için spektrum ivme değeri 0.334g

6- Bu değerler eşitlenene kadar D değiştirilerek iterasyon yapılır.

$$0.334\text{g} \times 0.334(\eta) = 0.203\text{g}$$

7- Toplam 16 deprem yalıtım birimi için.

$$V_b = F \times N = 317.802 \times 16 = 5084.832\text{kN}$$

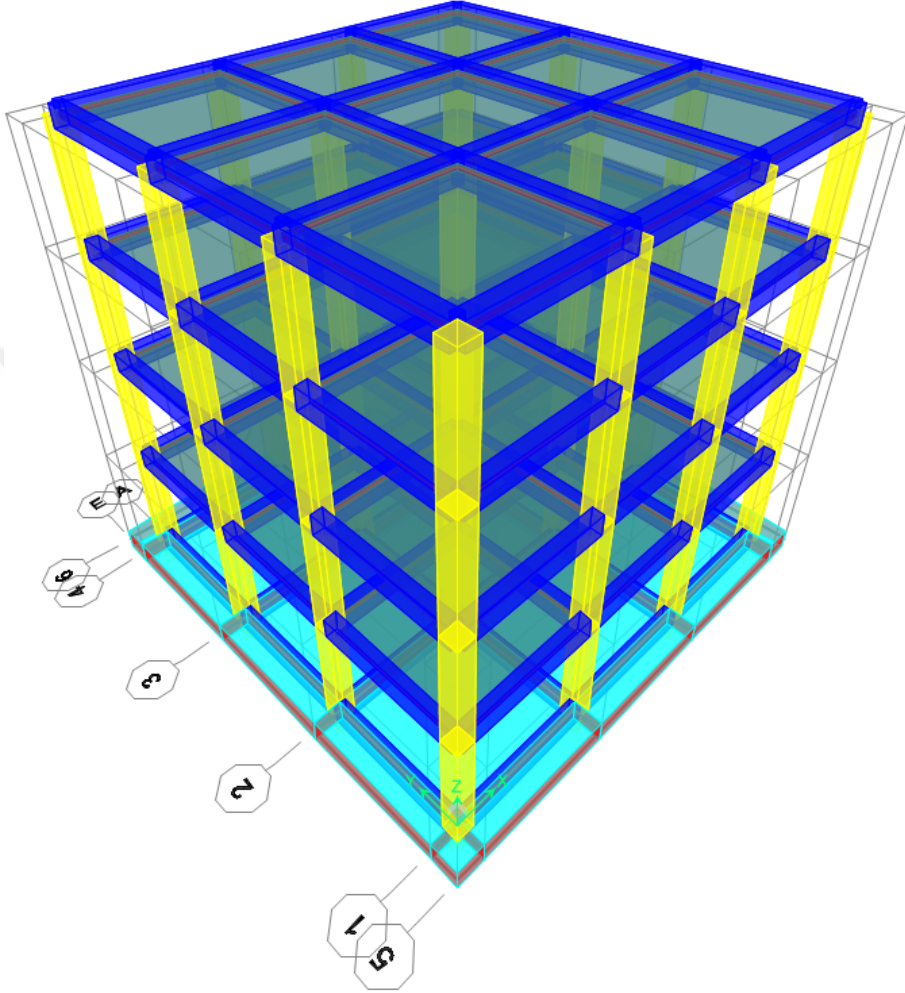
8- 6. adımdaki değerlerin, 7. adımdaki değerlerle kontrolü.

$$V_b / W_{bina} = 5084.832\text{kN} / 25003\text{kN} = 0.203\text{g}$$

İki değer birbirleriyle aynı çıktı. Böylece, uygunluk için kontroller sağlanmış oldu.

2.4.6 Bina'nın modellenmesi

Bu bölüm, dört katlı bir binanın SAP2000 v20 yazılımı ile TBDY 2018'e uygun tasarımı ve modellenmesini içermektedir.



Şekil 2.19 : Bina'nın SAP2000 ile 3 boyutlu modeli.

Modellemede, yapı elemanlarının etkin kesit rijitlik çarpanları (Şekil 2.21) ve hareketli yük kütle katılım katsayısı göz önüne alınmıştır (Şekil 2.20).

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

Şekil 2.20 : Hareketli yük kütle katılım katsayısı.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Şekil 2.21 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.

Malzeme özelliklerinin girilmesi; C40 beton ve S420b çelik kullanılmıştır (Şekil 2.22).

The image shows two side-by-side screenshots of the 'Material Property Data' dialog box in a software application. The left window is for 'Concrete' (C40) and the right window is for 'Rebar' (S420b). Both windows show various material properties that can be input or viewed.

Left Window (Concrete - C40):

- General Data:** Material Name and Display Color: C40 (Yellow icon); Material Type: Concrete; Material Grade: ; Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 25; Mass per Unit Volume: 2.5493; Units: KN, m, C
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E: 34550000; Poisson, U: 0.2; Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05; Shear Modulus, G: 14395833.
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 27579.032; Expected Concrete Compressive Strength: 27579.032; ☐ Lightweight Concrete; Shear Strength Reduction Factor: ; ☐ Switch To Advanced Property Display

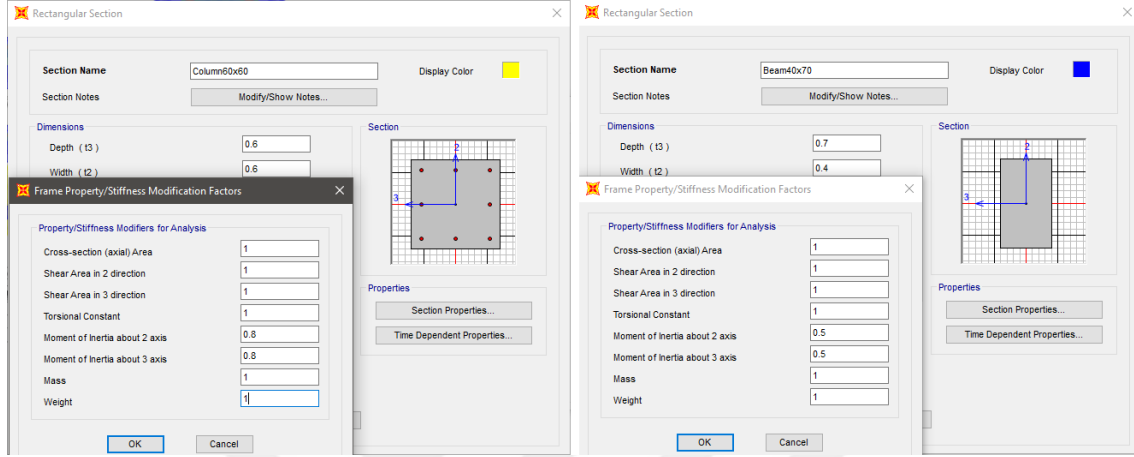
Right Window (Rebar - S420b):

- General Data:** Material Name and Display Color: S420b (Red icon); Material Type: Rebar; Material Grade: ; Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 0; Mass per Unit Volume: 0; Units: KN, m, C
- Uniaxial Property Data:** Modulus Of Elasticity, E: 2.000E+08; Poisson, U: 0; Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.120E-05; Shear Modulus, G: ; ☐ Switch To Advanced Property Display
- Other Properties For Rebar Materials:** Minimum Yield Stress, Fy: 420000; Minimum Tensile Stress, Fu: 500000; Expected Yield Stress, Fye: 420000; Expected Tensile Stress, Fue: 500000; ☐ Switch To Advanced Property Display

Şekil 2.22 : Malzemelerin özelliklerinin girilmesi.

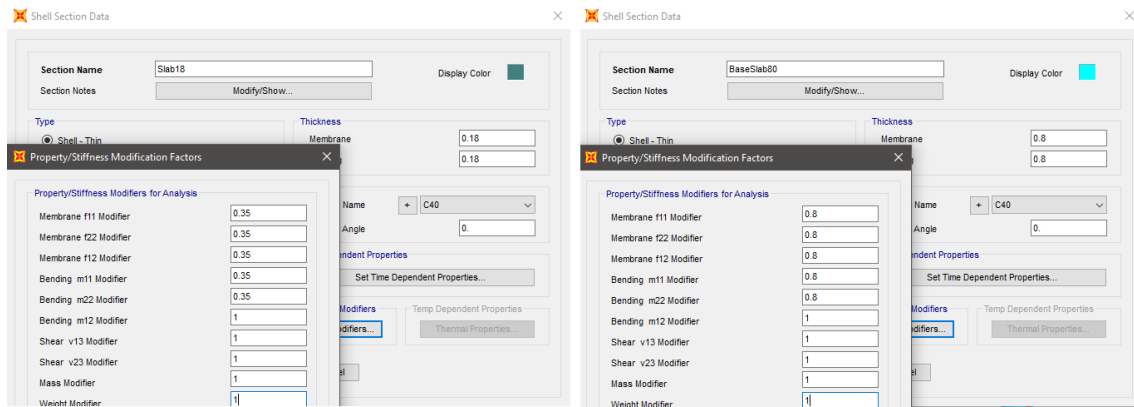
Şekil 2.23'teki ve Şekil 2.24'teki tasarımı yaparken yararlanılan standart ise TS-500'dür (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları).

Şekil 2.23'de verilen betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının, etkin kesit rijitliği çarpanları ve malzeme özellikleri girilerek, kolonların 60cmx60cm ve kirişlerin 40cmx70cm olacak şekilde atanması gösterilmiştir.



Şekil 2.23 : Kesitlerin özelliklerinin girilmesi.

Şekil 2.24'de verilen betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının, etkin kesit rijitliği çarpanları, malzeme özellikleri ve kesit özellikleri girilerek, normal kat ve taban döşemeleri oluşturulmuştur.



Şekil 2.24 : Normal kat ve taban döşemelerinin oluşturulması.

Şekil 2.25'de gösterildiği üzere TS-498'e (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri) göre ölü yükler, hareketli yükler ve deprem yükleri oluşturulmuştur.

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
EDY	Quake	0	TSC-2018
Arc.Coating - Iso. and Norm. Flo.	Dead	1	
Slope and Prot. Conc. at - Roof F.	Other	0	
Live Load - Iso. and Norm. Flo.	Live	0	
Live Load at Roof Floor	Live	0	
On Beams for All Int. and Ex. Wall	Other	0	
Roof Outer Beams Wall	Other	0	
EDY	Quake	0	TSC-2018

Şekil 2.25 : Yüklerin girilmesi.

Bölüm 2.4.5'te anlatıldığı üzere, deplasman değerinin tahmin edilmesiyle iterasyon adımlarına başlanmış ve kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi için en büyük deprem yer hareketi seviyesindeki (DD-1) üst limiti ile elde edilen efektif rijitlik, başlangıç rijitliği (elastik rijitlik), ikincil (elastik ötesi) rijitlik, tasarım deplasmanına bağlı etkin akma dayanımı ve akma sonrası rijitlik oranı değerleri yazılıma şekildeki gibi girilmiştir (Şekil 2.26).

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Rubber Isolator

Property Name: LH060G4-4

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0. Rotational Inertia 1: 0.

Weight: 0. Rotational Inertia 2: 0.

Rotational Inertia 3: 0.

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.

Directional Properties

Direction: U1, U2, U3, R1, R2, R3

Fixed: U1, U2, U3, R1, R2, R3

NonLinear: U1, U2, U3, R1, R2, R3

Fix All, Clear All

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LH060G4-4

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 1404.41

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.2

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 5291.38

Yield Strength: 122.34

Post Yield Stiffness Ratio: 0.1818

OK, Cancel

Şekil 2.26 : KÇE verilerinin girilmesi.

2.4.7 Hesap yönteminin seçimi

Eşdeğer deprem yükü yöntemine benzer şekilde, birinci modu esas alan etkin deprem yükü yöntemi aşağıdaki şartların sağlanması durumunda üst yapının ve alt yapının deprem hesabında kullanılabilir:

a. Yerel zemin, ZA, ZB, ZC veya ZD türüdür.

Uygunluk sağlanmıştır.

b. Yalıtımlı binanın, en büyük deprem yer hareketi düzeyindeki (DD-1) deprem etkisi altında etkin periyodu 4.0s'den küçüktür.

Uygunluk sağlanmıştır.

c. Yalıtım sistemi üzerindeki binanın kat adedi en fazla 4 ve yalıtım arayüzü üzerindeki toplam yüksekliği ise en fazla 20m'dir.

Uygunluk sağlanmıştır.

d. Yalıtım birimlerinde kalkma veya çekme oluşmamaktadır.

Uygunluk sağlanmıştır.

e. Etkin sönüm oranı %30'dan küçüktür.

Uygunluk sağlanmıştır.

f. Yalıtım sistemi üzerindeki binanın her katında burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 2.0$ şartı sağlanmakta olup binada B2 türü düzensizlik yoktur.

Uygunluk sağlanmıştır.

g. Binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \leq 0.1s$ 'dir.

Uygunluk sağlanmıştır.

Yukarıdaki tüm şartlar sağlanmıştır. Ayrıca yukarıdaki; a, b ve d şartlarının sağlandığı durumda daha ayrıntılı sonuçlar veren mod birleştirme yöntemi ve her durumda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemler uygulandıktan sonra ise etkin deprem yükü yöntemi ile kıyaslanmalıdır.

2.4.7.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

☒ Global X Direction
☐ Global Y Direction
Ecc. Ratio (All Diaph.)
Override Diaph. Eccen.

Time Period

☐ Approx. Period Ct (m), x =
☐ Program Calc Ct (m), x =
☒ User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

☒ Program Calculated
☐ User Specified
Max Z
Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss
1 Sec Spectral Accel, S1
Long-Period Transition Period
Site Class
Site Coefficient, Fs
Site Coefficient, F1
Calculated Coefficients
SDS = Fs * Ss
SDS = F1 * S1

Factors

Response Modification, R
System Overstrength, D
Occupancy Importance, I

Şekil 2.27 : Eşdeğer deprem yükü verilerinin girilmesi.

EK A'da katlara etkiyen deprem yükleri VBA excel ile oluşturulan programla detaylı bir şekilde gösterilmiş ve SAP2000 v20 yazılımı ile de aynı sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda, DD-2 altında eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen deprem yükü değeri gösterilmiştir.

$$D_{EDY}^{DD-2} = 0.21\text{m ve } V_{EDY}^{DD-2} = 3838.56\text{kN}$$

2.4.7.2 Etkin deprem yükü yöntemi

Tasarım depremi DD-2 için yalıtım birimi yerdeğiştirmesi D_D

$$D_D = \frac{1.3g}{4\pi^2} T_D^2 \eta_D S_{ae}^{DD-2}(T_D) = \frac{1.3g}{4\pi^2} (1.752)^2 (0.528) (0.229) = 0.092\text{m} \quad (2.49)$$

ve tasarım depremi DD-2 için bina etkin periyodu T_D

$$T_D = 2\pi \sqrt{W/(gK_D)} = 2\pi \sqrt{25003/(g(16)(2047.434))} = 1.752\text{s} \quad (2.50)$$

olarak hesaplanır. Tasarım depremi DD-1 için yalıtım birimi yerdeğiştirmesi D_M

$$D_M = \frac{1.3g}{4\pi^2} T_M^2 \eta_M S_{ae}^{DD-1}(T_M) = \frac{1.3g}{4\pi^2} (3.615)^2 (0.772) (0.196) = 0.492m \quad (2.51)$$

ve tasarım depremi DD-1 için bina etkin periyodu T_M

$$T_M = 2\pi \sqrt{W/(gK_M)} = 2\pi \sqrt{W/(g(16)(480.65))} = 3.615s \quad (2.52)$$

olarak hesaplanır.

Sönüm ölçeklendirme katsayıları η_D ve η_M

$$\eta = \sqrt{0.10/(0.05 + \zeta)} \quad \zeta_D = 0.299 \quad \eta_D = 0.528 \quad \zeta_M = 0.118 \quad \eta_M = 0.772 \quad (2.53)$$

olarak hesaplanır. Burada, ζ her iki durum için karşı gelen etkin sönüm oranıdır.

DD-2 ve DD-1 depremlerindeki yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi, D_D ve yerdeğiştirme değerlerine üstyapı ve yalıtım sistemi burulmasından gelen ilave yer değiştirmelerin eklenmesi ile hesaplanır. Yatay rijitliklerde düzgün bir dağılım olması durumunda yukardaki hesaba katılan toplam yerdeğiştirmeler

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] = 0.092 \left[1 + (15/2) \frac{12(0.05)(15)}{15^2 + 15^2} \right] = 0.106m$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] = 0.492 \left[1 + (15/2) \frac{12(0.05)(15)}{15^2 + 15^2} \right] = 0.566m \quad (2.54)$$

değerlerinden daha küçük olamaz. Eğer bu sağlanmazsa, hesaplanan değerler ile $1.1D_D$ ve $1.1D_M$ değerlerinden büyük olanları gözönüne alınır.

Üstyapıya etkiyen kuvvet, DD-2 ve DD-1 depremleri için

$$V_D = S_{ae}^{DD-2}(T_D) W \eta_D / R_a = (0.229)(25003)(0.528)/1 = 3023.16kN$$

$$V_M = S_{ae}^{DD-1}(T_M) W \eta_M / R_a = (0.196)(25003)(0.772)/1 = 3783.25kN \quad (2.55)$$

Burada R_a , deprem yükü azaltma katsayısı olup ilgili performans hedefine göre Şekil 2.16.dan alınır. Üst yapıya etki eden kuvvet tasarım rüzgar kuvvetinden ve yalıtım sisteminin ikincil rijitliğe geçmesi için gerekli olan kuvvetten daha küçük olmaz. Üst yapıya etki eden kuvvet, katlara eşdeğer deprem yükü yöntemi'nde olduğu gibi, kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olarak dağıtılır. Alt yapıya etkiyen kuvvet, $R_a = 1$ kabul edilerek DD-1 depremi için (2.55.b) kullanılarak hesaplanır.

2.4.7.3 Mod birleştirme yöntemi

Hesaplanan yerdeğiştirmelerle üst yapı ve alt yapı kuvvetleri binada düzensizlik bulunmaması halinde etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan değerlerin %80'inden, binada A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden en az birinin bulunması halinde ise etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan değerlerin %90'ından az olmaz. Ayrıca, etkin sönüm oranı %30 değeri ile sınırlıdır.

Mod birleştirme yönteminin gerekli şartları sağladığı ve bu sebeple de gerekli verilerin yazılıma aşağıdaki şekilde uygulandığı gösterilmiştir (Şekil 2.28).

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	FUNC2	9.81
Accel	U1	FUNC2	9.81

Şekil 2.28 : Mod birleştirme yöntemi.

Mod birleştirme yöntemi sonucu elde edilen deprem yükü aşağıda verilmiştir:

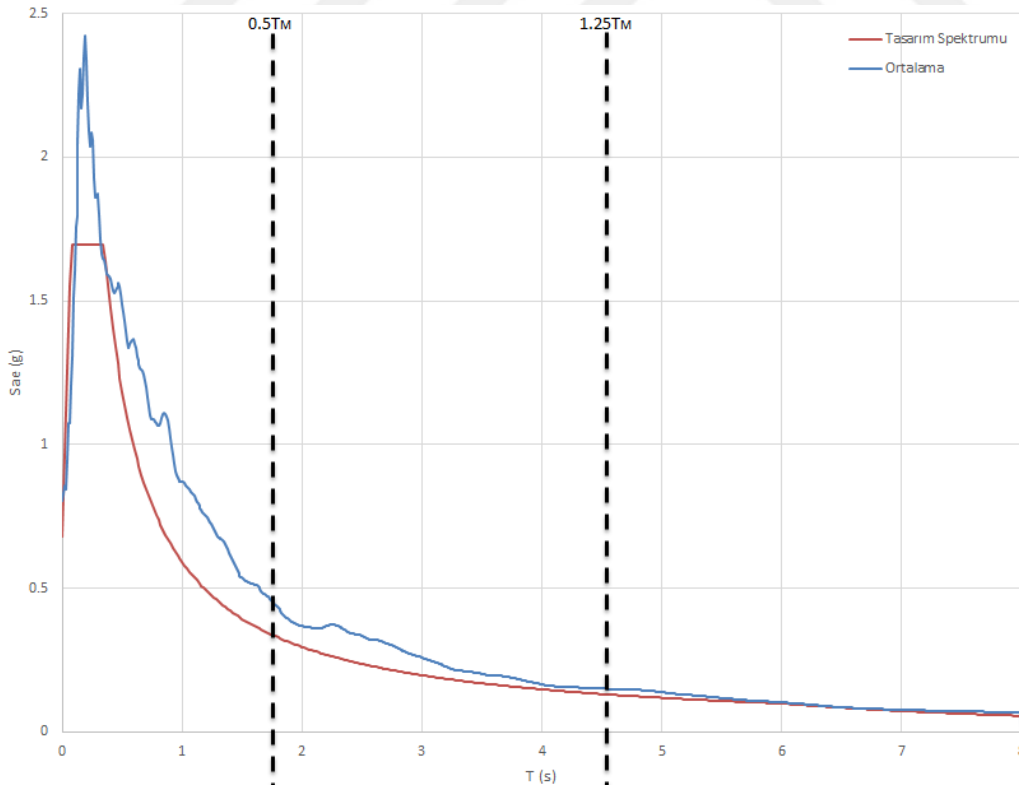
$$V_{MBY}^{DD-2} = 3833.93\text{kN} \quad D_{MBY}^{DD-1} = 0.407\text{m} \quad D_{MBY}^{DD-2} = 0.192\text{m}$$

EK F'de gösterildiği üzere, herhangi bir yapı düzensizliği bulunmadığından, MBY ile hesaplanan $D_{MBY}^{DD-1} = 0.407\text{m}$ deplasman değeri, etkin deprem yükü yöntemiyle

hesaplanan $D_M = 0.492\text{m}$ değerin %80'inden fazladır. EDY ile hesaplanan deprem yükü ile MBY ile hesaplanan deprem yükünün oranına baktığımızda, EDY'nin %80'inden fazladır. Ayrıca, sönüm oranı da %22.014 değerindedir. Bu verilere bakılarak, bu yöntemin tüm koşulları sağladığı söylenebilir.

2.4.7.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \leq 0.1\text{s}$ ise, depremin iki yatay bileşeni, diğer durumlarda depremin iki yatay bileşenine ek olarak düşey bileşeni de gözönüne alınır. Deprem yalıtımlı binaların zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde yönetmelikte verilen kurallara uyulur. Sadece, $0.2T_p$ yerine $0.5T_M = 1.81\text{s}$ (T_M en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu), $1.5T_p$ yerine $1.25T_M = 4.52\text{s}$ (T_M en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu) kullanılır. Zeminin ZD'den daha zayıf olduğu durumlarda, üç boyutlu dinamik yapı-zemin etkileşim hesapları yapılarak elde edilen sonuçlar bina hesaplarında dikkate alınır.



Şekil 2.29 : DD-1 spektrumu ve deprem kayıtlarının ortalaması.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap için bir deprem verisi için üç ayrı doğrultuda girilen deprem verileri Şekil 2.30'daki gibi girilmiştir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek yazılıma girilecektir.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	1_139_U1	9.81
Accel	U2	1_139_U2	9.81
Accel	U3	1_139_U3	9.81

Şekil 2.30 : ZTAH verileri.

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az onbir deprem yer hareketi takımı kullanılacaktır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanacaktır.

Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas şekildeğiştirme talepleri ile sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır. Aşağıda, 22 analiz sonucu elde edilen deprem yükleri (Çizelge 2.5) ve deplasman değerleri (Çizelge 2.6) gösterilmiştir. Her iki çizelgede de on bir değer gösterilmesinin nedeni, bina simetrik

olduğundan dolayı 90° döndürülerek yapılan hesap ile aynı deplasman ve kuvvetlerin elde edilmesidir. (Çizelgelerde, K ile deprem kayıt no., V ile deprem yükü ve D ile deplasman değerleri gösterilmiştir.)

Çizelge 2.5 : ZTAH sonucu elde edilen deprem yükleri (kN).

K	139	832	1111	1165	1166	1633	1787	2734	2897	3943	4097
V	3454.6	3813.7	1432.3	3982.2	3324.8	9857.1	4532.9	6067.5	1394.5	1890.6	3560.8

Bu değerlerin ortalaması olarak, $V_{ZTAH} = 3937.354\text{kN}$ deprem yükü elde edildi.

Çizelge 2.6 : ZTAH sonucu elde edilen deplasmanlar (m).

K	139	832	1111	1165	1166	1633	1787	2734	2897	3943	4097
D	0.344	0.382	0.144	0.402	0.334	0.992	0.456	0.612	0.140	0.191	0.360

Bu değerlerin ortalaması olarak, $D_{ZTAH} = 0.396\text{m}$ deplasman değeri elde edildi.

Yalıtım arayüzünde hesaplanan yerdeğiştirmeler ile üst yapı ve alt yapı kuvvetleri de, binada düzensizlik bulunmaması halinde Etkin Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanan değerlerin %80'inden küçük olmamalıdır.

$D_{ZTAH} / D_M = 0.396\text{m} / 0.492\text{m} = 0.805$ oranı ile $V_{ZTAH} / V_M = 3937.354\text{kN} / 3885.816\text{kN} = 1.013$ oranı yukarıda sözü geçen sınırın sağlandığını göstermektedir.

2.4.8 Taban yalıtımlı binalarda görel kat ötelemesi sınırları

Üst yapıdaki görel kat ötelenmelerinin, h_i kat yüksekliği olmak üzere, Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesi için $0.005h_i$, Sınırlı Hasar (SH) performans seviyesi için $0.01h_i$ ve Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesi için ise $0.015h_i$ değerini aşmamasının sağlanması gerekir. Yalıtımlı binalarda bırakılacak deprem derzlerinin boyutları, yalıtım sisteminin toplam en büyük yerdeğiştirmesine ek olarak görel kat ötelenmeleri de göz önüne alınarak hesaplanır ve derz genişliği, derzin her iki tarafındaki yapılar için hesaplanan mutlak en büyük yerdeğiştirmelerin toplamından küçük olmaz.

EK F'de gösterildiği üzere, binanın üst yapısındaki tüm katlarda her halükarda $\Delta_{max} < \Delta_{sinir}$ olduğundan, görel kat ötelemesi şartı sağlanmaktadır.

3. MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE DEPLASMAN TESPİTİ

3.1 Makine Öğrenmesi ve Tarihi Gelişim Süreci

Makine öğrenmesi, insan zihninin öğrenme kabiliyetini taklit edebilmek adına verilerin ve algoritmaların kullanımıyla öğrenme doğruluğunu adım adım artırmaya dayanan yapay zeka bilimi alt dalıdır. Makine öğrenmesi'nin bir alt dalı ise derin öğrenmedir.

İlk olarak 1943 yılında, nörobilimci Warren McCulloch ve mantıkçı Walter Pitts insan beynindeki sinir ağlarının modellenmesiyle makine öğrenmesinin temellerini atmış oldu. "Sinirsel Aktivitelere İçkin Fikirlerin Mantıksal Hesaplaması" adlı çalışmaları bu alanda yeni bir dönemin başlamasına sebep oldu.

"Makinelerin İşleyişi ve Zeka" adlı makalesini 1950'de yazan matematikçi Turing bu makalede "Turing Testi" olarak bilinen bir öngörüü ortaya koyuyor. Bu testte, bir makinenin bir insanla metin yoluyla sohbet sürdürmesi gerekiyor. Eğer beş dakika sonra insan başka bir insanla konuştuğuna ikna olabiliyorsa makine testi başarıyla geçmiş oluyor.

Makine öğrenmesi tabiri 1952 yılında Arthur Samuel tarafından adlandırıldı. İlk makine öğrenmesi programlarını IBM'deki laboratuvarında yazdı. Dama oyununda her oynayışındaki hataları düzeltebilmek adına her oynayışından elde edilen verilerle kazanma olasılığını iyileştirmeye yarayan programı, makine öğrenmesinin ilk örneklerinden biri olmuştur.

"Perceptron: Algılayan ve Tanıyan bir Otomaton" adlı yazısıyla psikolog Rosenblatt derin sinir ağlarının yapı taşlarını atmış oldu. 1957 yılında hayata geçirilen bu düşüncesi insan zihnine yakın şekilde algılamayı sağlayan benzerlikleri ve farklılıkları ortaya koyabilmiştir. Bu projesiyle, kimlik tanıma ve sesi ayırt edebilmek gibi istihbarati verileri bulabilmiştir.

1960 yılında “Optimal Uçuş Rotaları için İrtifa Kuramı” makalesini yayımlayan Henry Kelley, bahsi konu makalesiyle yapay sinir ağlarını eğitmede kullanılan hataların geriye doğru yayılımı modellerinin gelişiminde temel rol oynamıştır.

Modern derin öğrenme için ilkleri yaratan Ivakhnenko, 1971 yılında "Veri İşlemede Grup Metodu" yöntemini geliştirdi. Bu yöntemle sekiz katmanlı bir derin ağ oluşturabilme başarısını sağlayabilmiştir.

Yetmişli yılların sonunda Fukushima, görsellerin nasıl tanınacağını öğrenen yapay sinir ağları olan "neocognitron"u ortaya koymuştur.

1985'te NETtalk'ı oluşturan hesaplamalı nörobilimci Terry Sejnowski, İngilizce kelimeleri küçük bir çocuğa öğretircesine makineye öğretti ve oluşan cümleleri konuşma sürecine çevirebilmek için geliştirmeye devam etti.

Tekerrür eden yapay sinir ağlarında binden fazla katman gerektiren çok derin öğrenme problemini 1993 yılında çözmüş olan Schmidhuber, bu ağların karmaşıklığının anlaşılması konusunda önemli bir aşama kaydetmiştir.

1995 yılında Cortes ve Vapnik tarafından destek vektör makineleri önemli bir aşamaya gelmiştir. Metinlerin sınıflandırılması, görsellerin sınıflandırılması, el yazılarının tanınması gibi konularda kullanılmaktadır.

1998 yılında Le Cun, stokastik gradyan iniş algoritmasının geri yayılım algoritmasıyla entegre olmasıyla daha büyük başarıya sahip olmasını sağlayan bir yaklaşım öne sürmüştür.

Prof. Fei-Fei Li, 2009'da ImageNet'i kurdu. 2019 itibariyle, 14 milyondan fazla etiketli görselin erişime açık olduğu ücretsiz bir veri tabanı oluşturmuştur. Burada etiketlenen veriler gözetimli öğrenmede yapay sinir ağlarına alıştırma yaptırabilmek adına gereklidir. Görseller ile İngilizce kelimelerin eş anlamlı gruplara göre sıralandığı sözcüksel bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Kedi deneyi denen ve You Tube'den alınan on milyon etiketlenmemiş görsel ile veriler üzerinde analiz yapılması üzerine dayanır. Bu gözetimsiz öğrenme ile kendine kedileri belirlemeyi ve tanımayı öğretmiştir.

Deep Face ile 2014 yılında Facebook, %97.35 doğrulukla yüzleri tanıyabilmek adına yapay sinir ağlarını kullanmaktadır.

2022 yılına geldiğimizde ise günlük hayat, siber güvenlik konusu gibi hemen her alanda kullanılmaya devam eden makine öğrenimi hususu önemini küresel boyutta gittikçe artırmaktadır.

3.2 Gözetimli Öğrenme

Makine öğrenmesi, genel hatlarıyla üç grupta ele alınmaktadır. Bunlar; gözetimli öğrenme, gözetimsiz öğrenme ve takviyeli öğrenme şeklindedir. Gözetimli öğrenme, bir eğitim verisi yani etiket bilgisi içermektedir. Yani sonuçları bilinen verilerden oluşmaktadır. Oluşturulan model ile etiket bilgisi bulunmayan verilerin sonuçlarının tahmin edilmesi üzerine kuruludur. Gözetimsiz öğrenme ise etiketlenmemiş veri gruplarını analiz etmek ve kümelemek için boyut indirgeme, anomali tespiti gibi makine öğrenmesi algoritmalarını kullanır. Takviyeli öğrenmeye bakacak olursak, bulunduğu ortama göre kendi başına karar alabilen bir sistemin, hedefine ulaşabilmesinde doğru karar almayı nasıl öğrenebileceği üzerinedir. Bu öğrenme yöntemi; robotik, oyun programlama gibi alanlarda kullanılmaktadır.

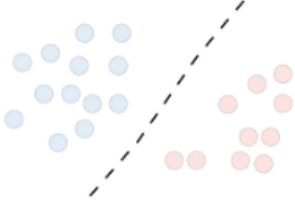
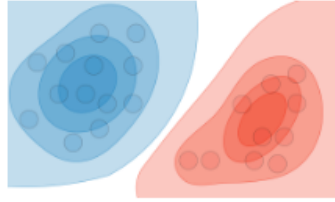
Bu bölümde, çalışmada kullanılan algoritmaların tamamının gözetimli öğrenme grubuna ait olması sebebiyle sadece gözetimli öğrenme grubunu ve kullanılan algoritmaları detaylı bir şekilde inceleyeceğiz.

3.2.1 Gözetimli öğrenmeye giriş

Çıktı kümesi $\{y^{(1)}, \dots, y^{(m)}\}$ ile ilişkili $\{x^{(1)}, \dots, x^{(m)}\}$ girdi kümesinin, nasıl tahmin edilebileceğini öğrenen bir sınıflandırıcı tasarlamak istenmektedir.

	Regresyon	Sınıflandırıcı
Çıktı	Sürekli	Sınıf
Örnekler	Lineer regresyon (bağlanım)	Lojistik regresyon (bağlanım), Destek Vektör Makineleri (DVM), Naive Bayes

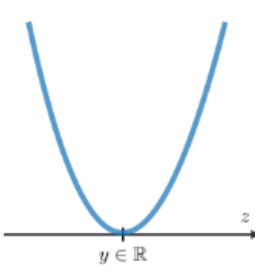
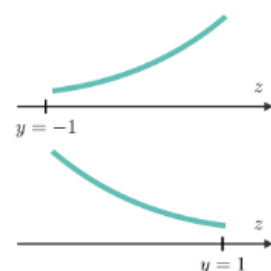
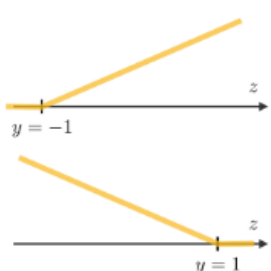
Şekil 3.1 : Tahmin türü ve tahmin modelleri.

	Ayırt edici model	Üretici model
Amaç	Doğrudan tahmin $P(y x)$	$P(y x)$ 'i tahmin etmek için $P(x y)$ 'i tahmin etme
Öğrenilenler	Karar Sınırı	Verilerin olasılık dağılımı
Örnekleme		
Örnekler	Regresyon, Destek Vektör Makineleri	Gauss Diskriminant Analizi, Naive Bayes

Şekil 3.2 : Model türleri - farklı modeller.

Gösterimler ve genel konsept:

- Hipotez - Bizim seçtiğimiz bir model olan hipotez h_θ olarak belirtilmiştir. $x^{(i)}$ verisi için modelin tahmini sonucundaki çıktı $h_\theta x^{(i)}$ 'dir.
- Kayıp fonksiyonu - $L:(z,y) \in \mathbb{R} \times Y \rightarrow L(z,y) \in \mathbb{R}$ şeklinde tanımlanan bir kayıp fonksiyonu y gerçek değerine karşılık geleceği öngörülen z değerini girdi olarak alan ve ne kadar farklı olduklarını gösteren bir fonksiyondur.

En küçük kareler hatası	Lojistik yitimi (kayıbı)	Menteşe yitimi (kayıbı)
$\frac{1}{2}(y - z)^2$	$\log(1 + \exp(-yz))$	$\max(0, 1 - yz)$
		
Lineer regresyon (bağlanım)	Lojistik regresyon (bağlanım)	Destek Vektör Makineleri

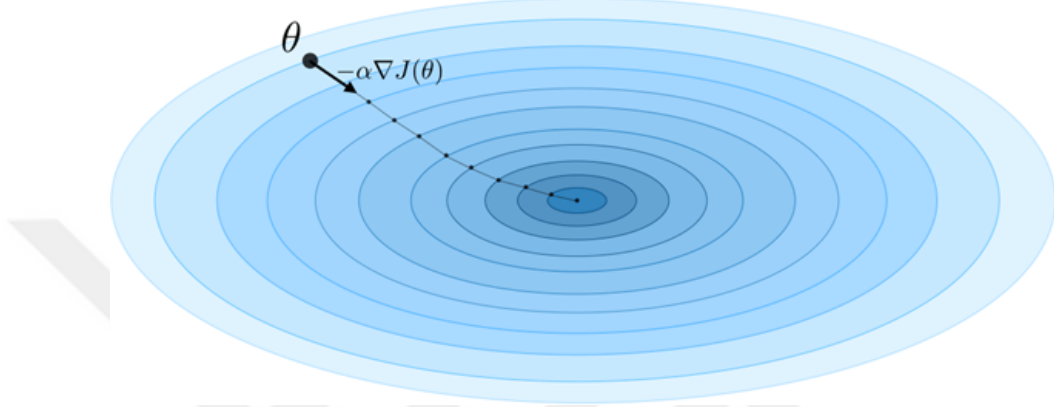
Şekil 3.3 : Yaygın kayıp fonksiyonları.

- Maliyet fonksiyonu - J maliyet fonksiyonu genellikle bir modelin performansını değerlendirmek için kullanılır ve L kayıp fonksiyonu ile aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$J(\theta) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L(h\theta(x^{(i)}), y^{(i)}) \quad (3.1)$$

- Gradyan inişi $-\alpha \in \mathbb{R}$ öğrenme katsayısı olmak üzere, J maliyet fonksiyonunu en aza indirgeyerek asgari hatayı bulabilmek için kullanılır. Aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\theta \leftarrow \theta - \alpha \nabla J(\theta) \quad (3.2)$$



Şekil 3.4 : Gradyan inişi modeli.

Not: Stokastik gradyan inişi, her eğitim örneğine bağlı olarak parametreyi günceller. Amaç, gradyan inişleri kullanarak tahmine bağlı olarak gerçekleşen hatayı en aza indirmektir.

- Olabilirlik: θ parametreleri verilen bir $L(\theta)$ modelinin olabilirliğini, olabilirliği maksimize ederek en uygun θ parametrelerini bulmak için kullanılır. Uygulamada, optimize edilmesi daha kolay olan log-olabilirlik $l(\theta) = \log(L(\theta))$ 'i kullanılmaktadır. Bunu, aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$\theta^{opt} = \arg_{\theta} \max L(\theta) \quad (3.3)$$

- Newton algoritması: $l'(\theta) = 0$ olacak şekilde bir θ bulan sayısal bir yöntemdir. Güncelleme kuralı aşağıdaki gibidir:

$$\theta \leftarrow \theta - \frac{l''(\theta)}{l'(\theta)} \quad (3.4)$$

3.2.2 Sınıflama ve bağlanım modelleri

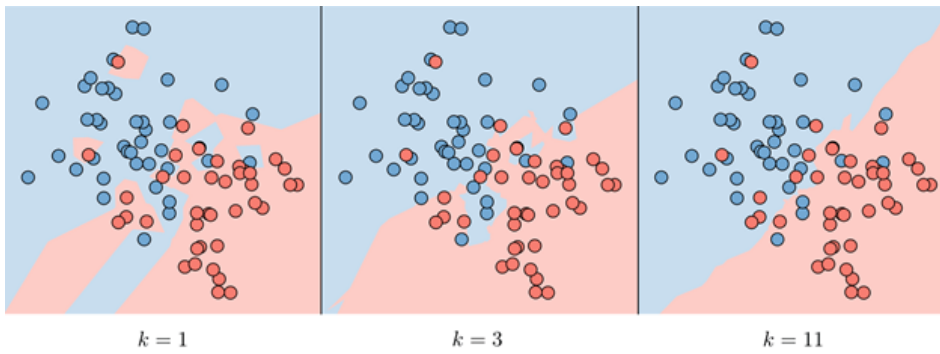
Mevcut verilerden hareket ederek geleceğin tahmin edilmesinde faydalanılan ve veri madenciliği teknikleri içerisinde en yaygın kullanıma sahip olan sınıflama ve bağlanım, önemli veri sınıflarını ortaya koyan veya gelecek veri eğilimlerini tahmin eden modelleri kurabilen iki veri analiz yöntemidir. Sınıflama kategorik değerleri tahmin ederken, bağlanım ise süreklilik gösteren değerlerin tahmin edilmesinde kullanılır. Örneğin, bir sınıflama modeli banka kredi uygulamalarının güvenli veya riskli olmalarını kategorize etmek amacıyla kurulurken, bağlanım modeli geliri ve mesleği verilen potansiyel müşterilerin bilgisayar ürünleri alırken yapacakları harcamaları tahmin etmek için kurulabilir.

Sınıflama ve bağlanım modellerinde kullanılan başlıca algoritmalar; k en yakın komşuluk, lojistik bağlanım, destek vektör makineleri, karar ağaçları, rastgele orman ve gradyan artırma'dır.

3.2.2.1 k en yakın komşuluk

Genellikle kNN olarak adlandırılan k en yakın komşuluk algoritması, sınıfı bilinmeyen veri, eğitim setindeki diğer veriler ile karşılaştırılır ve bir uzaklık ölçümü yapılır. Hesaplanan uzaklığa göre henüz bir sınıfa atanamamış veriye en uygun sınıf bulunmasıyla yöntem amacına ulaşır. kNN, hem sınıflandırma hem de bağlanım yöntemleri için kullanılabilir.

Not: k parametresi ne kadar yüksekse yanlılık o kadar yüksek ve k parametresi ne kadar düşükse varyans o kadar yüksek olur.



Şekil 3.5 : kNN örnekleme.

- Vapnik Öğrenme Teorisi: $H = VC(H) = d$ ve eğitim örneği sayısı m verilmiş olsun. En az $1 - \delta$ olasılığı ile aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

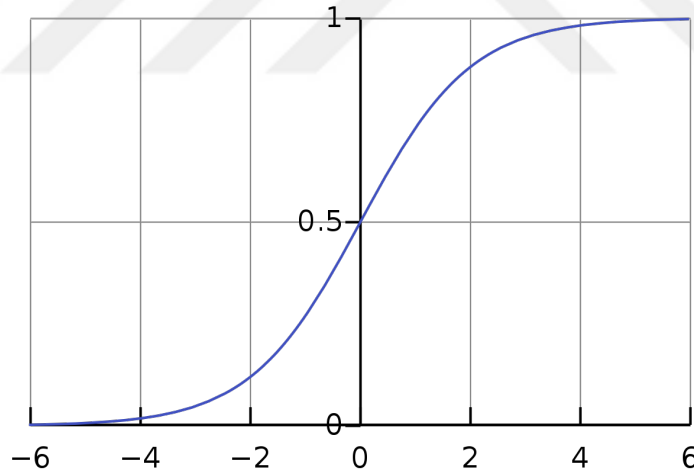
$$\hat{\epsilon}(h) \leq \left(\min_{h \in H} \epsilon(h) \right) + O \sqrt{\frac{d}{m} \log\left(\frac{m}{d} + \frac{1}{m} \log\left(\frac{1}{\delta}\right)\right)} \quad (3.5)$$

3.2.2.2 Lojistik bağlanım

Lojistik bağlanım, önceden sağlanan verilere dayanarak bir olayın olasılığını tahmin etmek için kullanılan matematiksel bir modeldir. Kredi puanlama, çevrimiçi işlem sahtekarlığı tespiti gibi örnekler bu algoritmanın uygulama alanlarından bazılarıdır. Lojistik bağlanım, doğru veya yanlış gibi ikili verilerle çalışır.

- Sigmoid fonksiyonu: Lojistik fonksiyonu olarak da bilinen sigmoid fonksiyonu g , aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\forall z \in \mathbb{R}, g(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \in]0, 1[\quad (3.6)$$



Şekil 3.6 : Lojistik bağlanım örnekleme.

Not: Lojistik bağlanımlar, kapalı form çözümüne sahip değildirler.

- Lojistik bağlanım: $y|x; \theta \sim \text{bernoulli}(\phi)$ olduğunu varsayıyoruz. Aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$\phi = p(y = 1|x; \theta) = \frac{1}{1 + \exp(-\theta^T x)} = g(\theta^T x) \quad (3.7)$$

- Softmax bağlantımı: Çok sınıflı lojistik bağlantım olarak da adlandırılan softmax bağlantımı iki'den fazla sınıf olduğunda lojistik bağlantımı genelleştirebilmek için kullanılır. Genel kabul olarak, her i sınıfı için bernoulli parametresi φ_i 'nin eşit olmasını sağlaması için $\theta_K = 0$ olarak ayarlanmaktadır.

$$\varphi_i = \frac{\exp(\theta_i^T x)}{\sum_{j=1}^K \exp(\theta_j^T x)} \quad (3.8)$$

3.2.2.3 Destek vektör makineleri

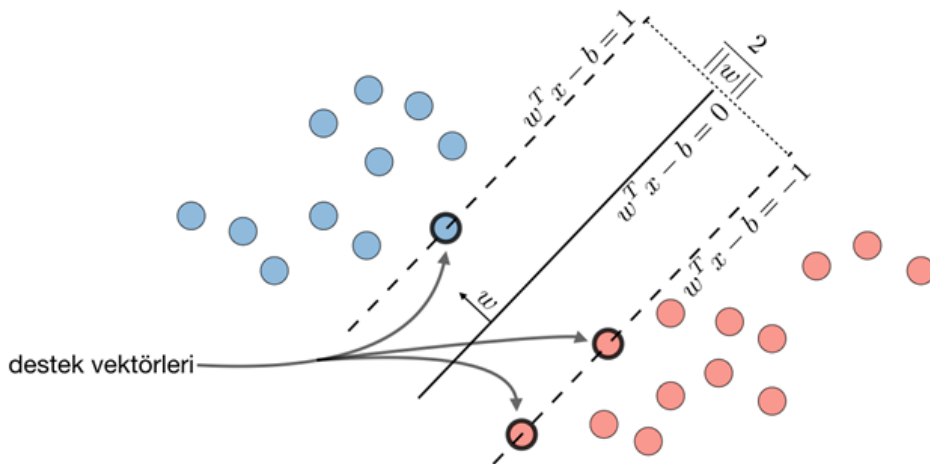
Destek vektör makinelerinin amacı minimum mesafeyi maksimuma çıkaran doğruyu yani karar sınırını bulmaktır. Bunu, önce bir düzlem üzerine yerleştirilmiş noktaları ayırmak için bir doğru çizerek daha sonra ise bu doğrunun iki sınıfının noktaları için de maksimum uzaklıkta olmasıyla nihayete erdirir.

- Optimal marj sınıflandırıcısı: h optimal marj sınıflandırıcısı şöyledir:

$$h(x) = \text{sign}(w^T x b) \quad (3.9)$$

burada $(w,b) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}$, aşağıdaki optimizasyon probleminin çözümüdür:

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad | \quad y^{(i)}(w^T x^{(i)} b) \geq 1 \quad (3.10)$$



Şekil 3.7 : Destek vektör makineleri.

Not: Karar sınırı, $w^T x - b = 0$ şeklinde tanımlanır.

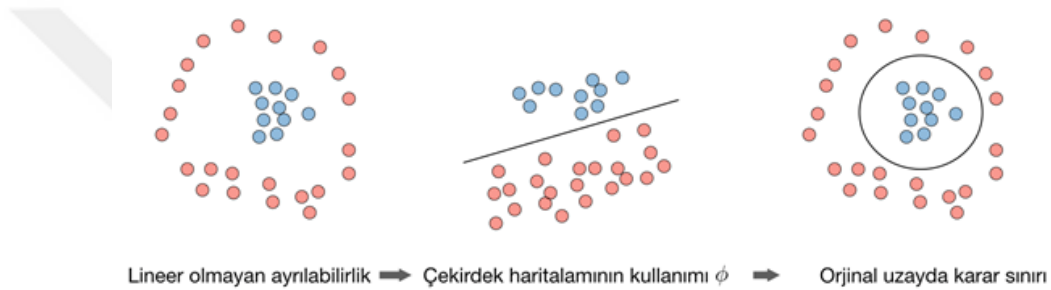
- Menteşe yitimi (kayı): Menteşe yitimi destek vektör makinelerinin ayarlarında kullanılır ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$L(z,y) = [1 - yz]_+ = \max(0, 1 - yz) \quad (3.11)$$

- Kernel: ϕ gibi bir özellik eşlemesi göz önüne alındığında, kernel'i (K) aşağıdaki gibi tanımlarız:

$$K(x,z) = \phi(x)^T \phi(z) \quad (3.12)$$

Uygulamada, $K(x,z) = \exp(-\frac{\|x-z\|^2}{2\sigma^2})$ tarafından tanımlanan kernel (K), Gauss çekirdeği olarak adlandırılır ve yaygın olarak kullanılır.



Şekil 3.8 : Kernel (çekirdek) örnekleme.

Not: Kerneli kullanarak maliyet fonksiyonunu hesaplamak için "kernel hilesi"ni kullanıyoruz çünkü genellikle çok karmaşık olan ϕ 'yi bilmeye gerek yoktur. Bunun yerine, yalnızca $K(x,z)$ değerlerine ihtiyacımız vardır.

- Lagranj: $L(w,b)$ şeklinde şöyle tanımlanır:

$$L(w,b) = f(w) + \sum_{i=1}^l \beta_i h_i(w) \quad (3.13)$$

Not: β_i katsayılarına lagranj çarpanları denir.

3.2.2.4 Karar ağaçları

Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları, genellikle karar ağaçları olarak bilinir ve ikili ağaçlar olarak temsil edilirler. Burada amaç, değişkenler uzayını basit alt bölgelere ayırmaktır. Hedeflenen değişken önceden tanımlanmış ve karar ağaçlarının yapısı sebebiyle tepeden aşağıya doğru inen bir yöntemle sonuca gidilmektedir. Başka bir

deyişle, bir karar ağacı, çok sayıda veri içeren bir kümenin, daha küçük kümeler olacak şekilde bölmeyi amaçlamaktadır.

Bir karar ağacı algoritmasında, ağacın doğruluğunu etkileyen en önemli hususlardan biri ise bölünmenin nasıl gerçekleşeceği. Sınıflandırma ve bağlanım problemlerinde bölünme genel olarak farklı mekanizmadır. Karar ağaçlarında en sık kullanılan algoritmalar; hedef değişkenimiz sınıflandırma problemi ise entropi, gini, sınıflandırma hatası, eğer bağlanım problemi ise en küçük kareler yöntemi uygulanmaktadır.

Entropi, verilerimizle ilgili belirsizliğin bir ölçüsüdür. Sezgisel olarak, bir veri kümesinin yalnızca bir etiketi varsa, daha düşük bir entropiye sahip olduğumuzu düşünebiliriz. Dolayısıyla verilerimizi, entropiyi asgari düzeyde tutacak şekilde bölmemiz önemlidir. Bölünmeler iyi oldukça tahminler de o oranda iyileşme sağlanmaktadır.

$$H = - \sum p(x) \log p(x) \quad (3.14)$$

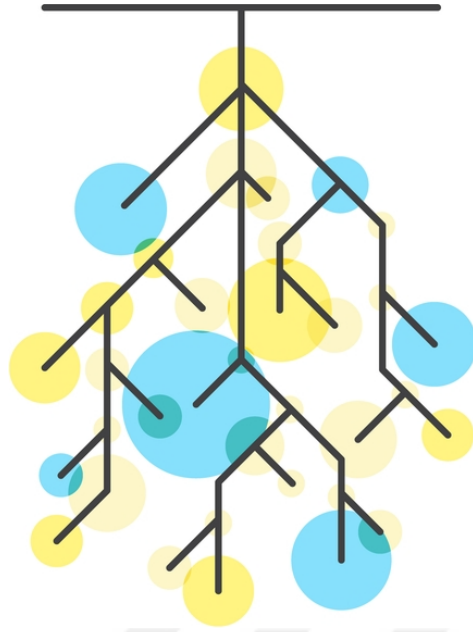
Burada, H entropiyi, p(x) ise belirli bir sınıfa ait grubun yüzdesini göstermektedir.

Yukarıda da bahsettiğimiz üzere karar ağacının entropi değerini asgari düzeye indirgeyen bölünmeler yapmasını sağlamak gerekmektedir. En iyi bölünmeyi belirlemek için aşağıda eşitliği verilen bilgi kazancı kullanılmaktadır.

$$Gain(S, D) = H(S) - \sum_{V \in D} \frac{|V|}{|S|} H(V) \quad (3.15)$$

Burada, S orijinal veri kümesidir ve D ise kümenin bölünmüş bir parçasıdır. Her V, S'nin bir alt kümesidir. V'nin tümü ayrıktır ve S'yi oluşturmaktadır. Bu durumda bilgi kazancı, bölünmeden önceki orijinal veri setinin entropisi ile her bir özniteliğin entropi değeri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır.

Karar ağacı algoritmasının kullanıldığı sınıflandırma problemlerinde kullanılacak veri seti eğitim ve test olacak şekilde iki parçaya ayrılmalıdır. Algoritma, eğitim verilerini kullanarak model oluşturur ve bu model ile test verisi üzerine uygulanarak modelin problem çözümündeki başarısı hesaplanmaktadır.



Şekil 3.9 : Karar ağaçları örnekleme.

3.2.2.5 Rastgele orman

Rastgele orman, rastgele seçilen özelliklerden oluşan çok sayıda karar ağacı kullanan ağaç tabanlı bir tekniktir.

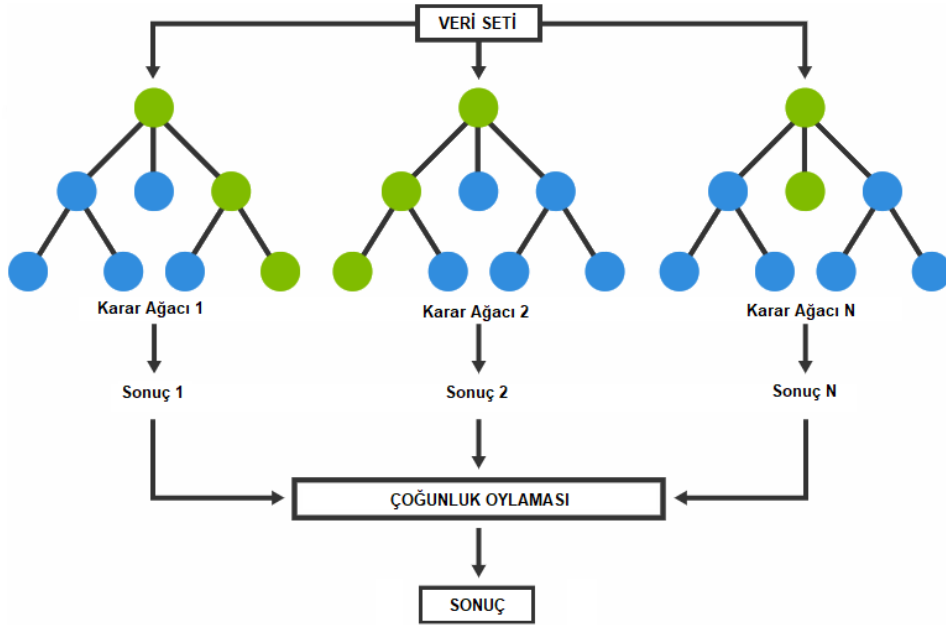
Bu algoritma için birçok yöntem bulunmaktadır. Örneğin, Bagging yöntemi ile eğitim verisi kullanılarak her bir ağaç meydana getirilir. Ardışık gelen ağaçlar bir öncekinden bağımsızdır ve en büyük oy tahmin için alınır. Bununla, ilk amaçlanan Bagging tekniği kullanılarak her bir ağacın birbirinden bağımsız olarak eğitim verileri ile oluşturulmasıdır. Bunun yanında tahminler rastgele seçim metodu ile oluşturulur. Ek olarak yeni verilerin tahmini için toplu öğrenme metodu süresince oluşturulan verilerden her bir değişkenin önem dereceleri ölçülür. Bu model özellikle çok sayıda öngörücü olduğunda indirgeme için yararlı olabilir. Rastgele orman, çok ağaç üretmek için tekrarlanan bölümlene ve parçalama kullanan bir toplu öğrenme metodudur.

Toplu öğrenmede her bir ağacı geliştirmek için rastgele vektörler oluşturulur. Örneğin; Bagging yöntemi, eğitim verisinden elde edilen örneklerin rastgele seçimiyle ağaç geliştirilmesi ilkesine dayanır. Bu yaklaşımda, K ağaç için rastgele bir θ_K vektörü oluşturulur. Oluşturulan θ_K 'ler birbirinden bağımsızdır. Aynı dağılıma sahip θ_K ve eğitim verisi kullanılarak bir ağaç geliştirilir. Eğitim verisindeki örnek sayısı N'dir. Rastgele vektörler, rastgele olarak N tane kutuya yerleştirilir. Sonrasında rastgele split

seçimi yapılır. Rastgele split seçimi θ_K , 1 ile K arasında yer alan bağımsız, rastgele ve tamsayıdır. θ 'nin boyutu ve yapısı, oluşturulacak ağacın yapısına ve kullanımına bağlıdır. Geniş sayıda ağaçlar oluşturulduktan sonra en popüler sınıf için oylanır. Rastgele orman sınıflandırıcısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\{h(x, \theta_k) | k = 1, \dots, K\} \quad (3.16)$$

Burada, x girdi verisini, θ_k ise rastgele vektörü temsil etmektedir. Her bir ağaç en gözde sınıf için bir oya atanır. Bu işlem adımlarına rastgele orman denilmektedir.



Şekil 3.10 : Rastgele orman örnekleme.

3.2.2.6 Gradyan artırma

Gradyan artırma, genellikle karar ağaçları gibi zayıf öğrenicileri biraraya getirerek güçlü bir öğrenici oluşturmaktır.

Aşağıda algoritma adımları için, eğitim seti $(x_i, y_i)_{i=1}^n$, türevlenebilir kayıp fonksiyonu $L(y, F(x))$, iterasyon sayısı ise M 'dir.

1- Modeli sabit bir değerle başlatalım:

$$F_0(x) = \arg_{\gamma} \min \sum_{i=1}^n L(y_i, \gamma) \quad (3.17)$$

2- $m = 1$ ile M arasında değişmekte:

a- Söзде artıkları hesapla:

$$r_{im} = - \left[\frac{\partial L(y_i, F(x_i))}{\partial F(x_i)} \right]_{F(x) = F_{m-1}(x)} \quad \text{for } i = 1, \dots, n. \quad (3.18)$$

b- Temel bir öğreniciye sığdırın $h_m(x)$ söзде kalıntılara, yani eğitim setini kullanarak eğitin $\{(x_i, r_{im})\}_{i=1}^n$.

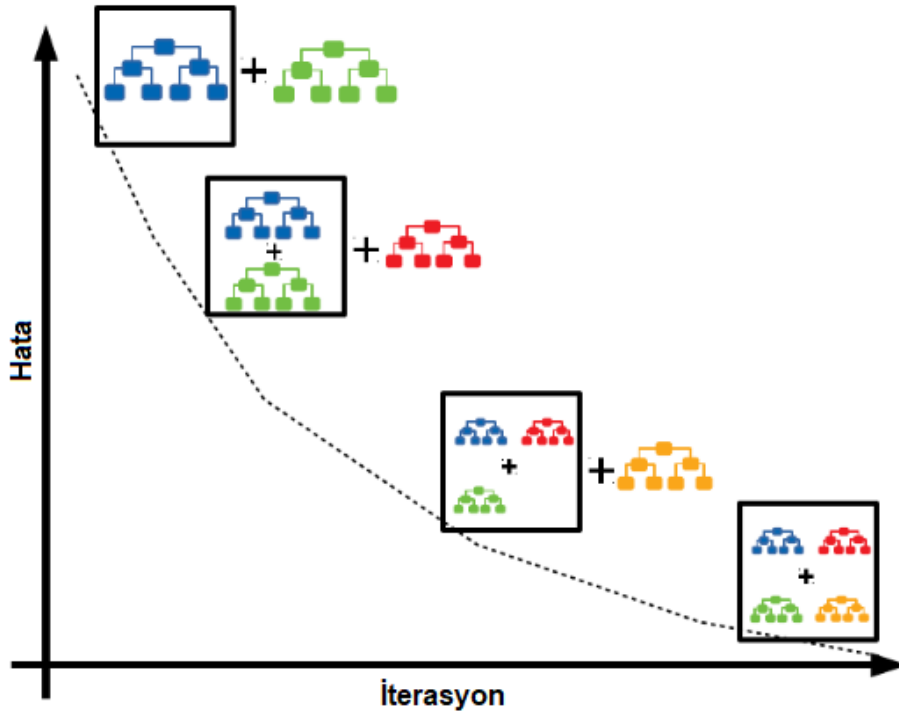
c- Hesaplama çarpanı γ_m ile tek boyutlu optimizasyon probleminin çözüümü aşığıdaki ifadedeki gibi yapılabilir:

$$\gamma_m = \arg \min_{\gamma} \sum_{i=1}^n L(y_i, F_{m-1}(x_i) + \gamma h_m(x_i)) \quad (3.19)$$

d- Modeli güncelle:

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + \gamma_m h_m(x) \quad (3.20)$$

3- Çıktı $F_M(x)$ 'dir.



Şekil 3.11 : Gradyan artırma örnekleme.

3.3 Algoritmaların Uygulanması

Teorisi ve çalışma mekanizmasından bir önceki bölümde bahsedilen algoritmaların programlanması, python yazılım dili ile içinde bulunan makine öğrenmesi kütüphanelerinden (matplotlib, sklearn, pandas, numpy) yararlanılarak yapıldı. Python tabanlı jupyter notebook ile de adım adım sonuçlar elde edildi. Çalışmada kullanılan kodlar EK E’de "Makine öğrenmesi için jupyter notebook - python kodları" başlığıyla verilmiştir.

Tabanına yerleştirilen on altı adet kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimiyle birlikte, deprem etkisi altında taban yalıtımlı olarak tasarlanan binaya, Bridgestone deprem yalıtım birimi kataloğundan alınan beş yüz yetmiş beş farklı kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım biriminin, TBDY 2018’e göre en büyük deprem yer hareketi seviyesi altında, alt ve üst limitlerinin ortalaması ile elde edilen deplasman değerlerinin sonucu ile veri seti (EK D) oluşturulmuş ve bu ortalama deplasman değerleri (Dort); 0.10m = 1, 0.15m = 2, 0.20m = 3, 0.25m = 4, 0.30m = 5, 0.35m = 6 olarak etiketlenmiştir. Sonrasında, altı farklı gözetimli makine öğrenmesi algoritması çalıştırılmış, başarı oranları tespit edilmiş ve algoritmalar da kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, farklı özelliklere sahip bir yalıtım birimi türünün, aynı özellikteki bir binaya uygulandığında, oluşabilecek deplasman değerinin hızlı bir şekilde tespiti ve yaklaşık bir fikir vermesidir.

3.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

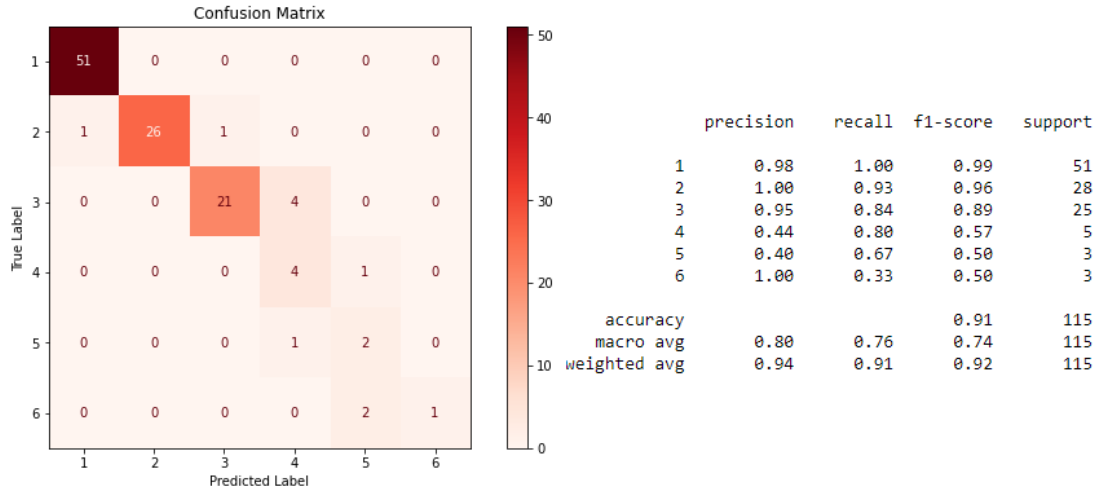
Bu bölümde, önce algoritmaların kendi davranışını görebilmek adına tek başlarına değerlendirilmesini, sonrasında ise burada kullanılan altı algoritmayı birbirleriyle karşılaştırarak sonuçların değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

3.4.1 Algoritmaların kendi içerisinde değerlendirilmesi

Veride var olan durum ile modelimizin doğru ve yanlış tahminlerinin sayısını gösteren hata matrisi (confusion matrix) ile sonuçları değerlendireceğiz. Bu matriste kullanılan

kavramlar ise şu şekilde açıklanmaktadır. Kesinlik (precision), algoritmanın doğru olarak tahmin ettiği ağırlıklı ortalama deplasman değerlerinin ne kadarının doğru tespit edildiğini göstermektedir. Öte yandan, duyarlılık (recall) değeri, gerçekten bilinen ağırlıklı ortalama deplasman değerlerinin ne kadar başarılı tahmin edildiğini göstermektedir. F1 puanı ise bu iki ölçünün harmonik ortalamasıdır ve bire yakınlığı bizim için önemli bir ölçüttür.

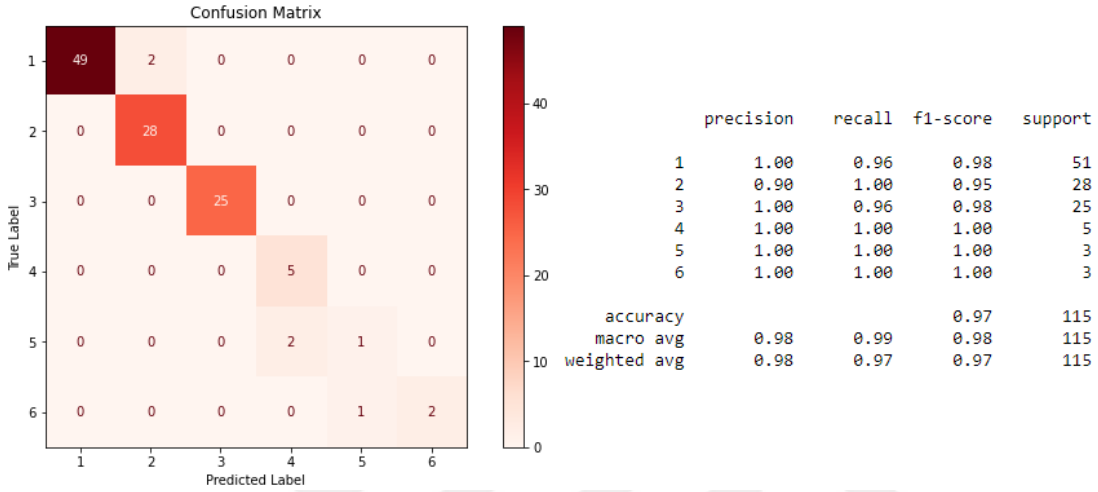
İlk olarak k en yakın komşuluk algoritması ele alındı. Burada, başarı oranının beş kez çapraz doğrulama için en düşük doğrulama hatasına karşılık gelen k değeri 3 olarak elde edildi. Bu veri ile birlikte, başarı oranının %91.30 olduğu gözlemlendi. Sonrasında ise kesinlik, duyarlılık ve f1 puanı'nı içeren hata matrisi ile deplasman değerlerinin kendi içinde tutarlılığına bakıldı. Burada; kesinlik değeri ağırlıklı ortalama ile %94 olarak saptanmış. Bu, algoritmanın tahmin ettiği deplasman değerlerinin %94'ü doğru tespit edilmiş anlamına gelmektedir. Öte yandan duyarlılık değeri %91 olarak saptanmış. Bu ise gerçekten bilinen deplasman değerinin %91 oranında doğru saptanmış olduğunu gösteriyor. F1 puanı ise bu iki ölçünün harmonik ortalaması olarak %92 değeriyle ortaya çıkmıştır. Burada, f1 puanı'nın 1'e makul seviyede yakın olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.12 : kNN hata matrisi.

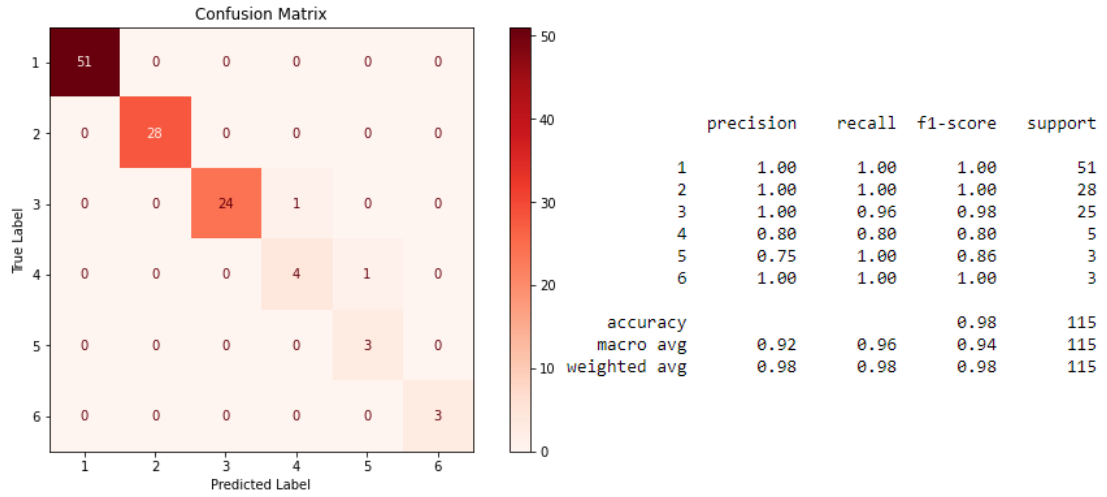
Lojistik bağlanım algoritması'nın başarı oranı %95.65 olarak gözlemlenmiştir. Sonrasında ise kesinlik, duyarlılık ve f1 puanı'nı içeren hata matrisi ile deplasman değerlerinin kendi içinde tutarlılığına bakıldı. Burada; kesinlik değeri ağırlıklı

ortalama ile %98 olarak saptanmış. Bu, algoritmanın tahmin ettiği deplasman değerlerinin %98'i doğru tespit edilmiş anlamına gelmektedir. Öte yandan duyarlılık değeri %97 olarak saptanmış. Bu ise gerçekten bilinen deplasman değerinin %97 oranında doğru saptanmış olduğunu gösteriyor. F1 puanı ise bu iki ölçünün harmonik ortalaması olarak %97 değeriyle ortaya çıkmıştır. Burada, f1 puanı'nın 1'e makul seviyede yakın olduğunu söyleyebiliriz.



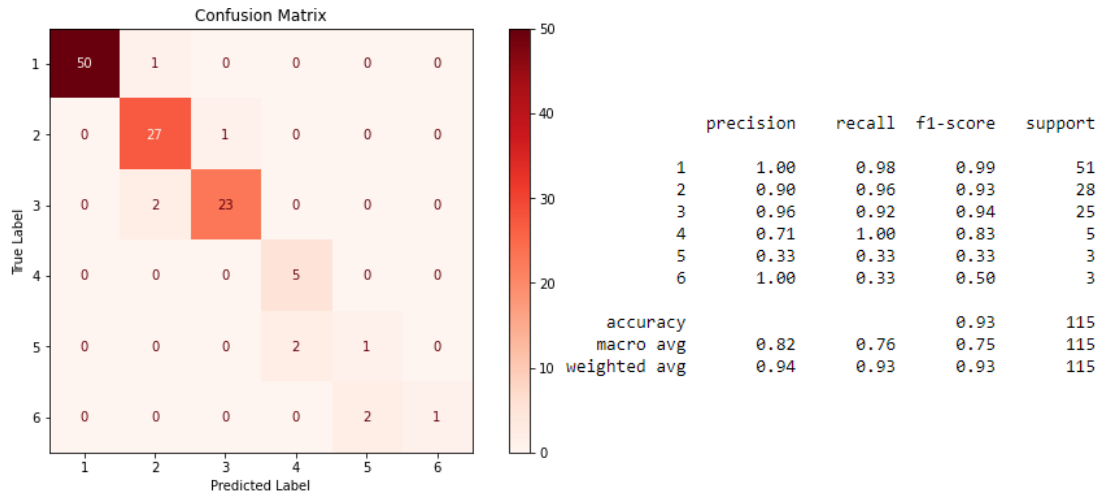
Şekil 3.13 : Lojistik bağlanım hata matrisi.

Bu çalışmada başarı oranı en yüksek olan algoritma, destek vektör makineleri'dir ve bu oran %98.26 olarak gözlemlenmiştir. Sonrasında ise kesinlik, duyarlılık ve f1 puanı'nı içeren hata matrisi ile deplasman değerlerinin kendi içinde tutarlılığına bakıldı. Burada; kesinlik değeri ağırlıklı ortalama ile %98 olarak saptanmış. Bu, algoritmanın tahmin ettiği deplasman değerlerinin %98'i doğru tespit edilmiş anlamına gelmektedir. Öte yandan duyarlılık değeri %98 olarak saptanmış. Bu ise gerçekten bilinen deplasman değerinin %98 oranında doğru saptanmış olduğunu gösteriyor. F1 puanı ise bu iki ölçünün harmonik ortalaması olarak %98 değeriyle ortaya çıkmıştır. Basit bir ortalama yerine harmonik ortalama olmasının sebebi ise uç durumları da gözardı etmememiz gerektiğidir. Eğer basit bir ortalama hesaplaması olsaydı kesinlik değeri 1 ve duyarlılık değeri 0 olan bir modelin f1 puanı 0.5 olarak gelecektir ve bu bizi yanıltacaktır. Buradaki durumda ise f1 puanı'nın 1'e makul seviyede yakın olduğunu söyleyebilir ve tatmin edici bir sonuç aldığımızı belirtebiliriz.



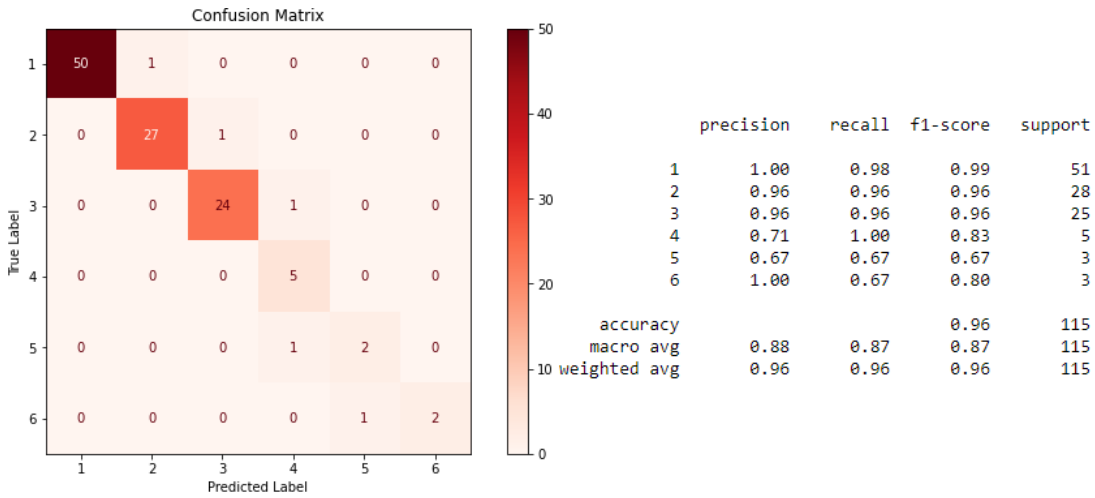
Şekil 3.14 : Destek vektör makineleri hata matrisi.

Karar ağaçları algoritması'nın başarı oranı %93.04 olarak gözlemlenmiştir. Sonrasında ise kesinlik, duyarlılık ve f1 puanı'nı içeren hata matrisi ile deplasman değerlerinin kendi içinde tutarlılığına bakıldı. Burada; kesinlik değeri ağırlıklı ortalama ile %94 olarak saptanmış. Bu, algoritmanın tahmin ettiği deplasman değerlerinin %94'ü doğru tespit edilmiş anlamına gelmektedir. Öte yandan duyarlılık değeri %93 olarak saptanmış. Bu ise gerçekten bilinen deplasman değerinin %93 oranında doğru saptanmış olduğunu gösteriyor. F1 puanı ise bu iki ölçünün harmonik ortalaması olarak %93 değeriyle ortaya çıkmıştır. Burada, f1 puanı'nın 1'e makul seviyede yakın olduğunu söyleyebiliriz.



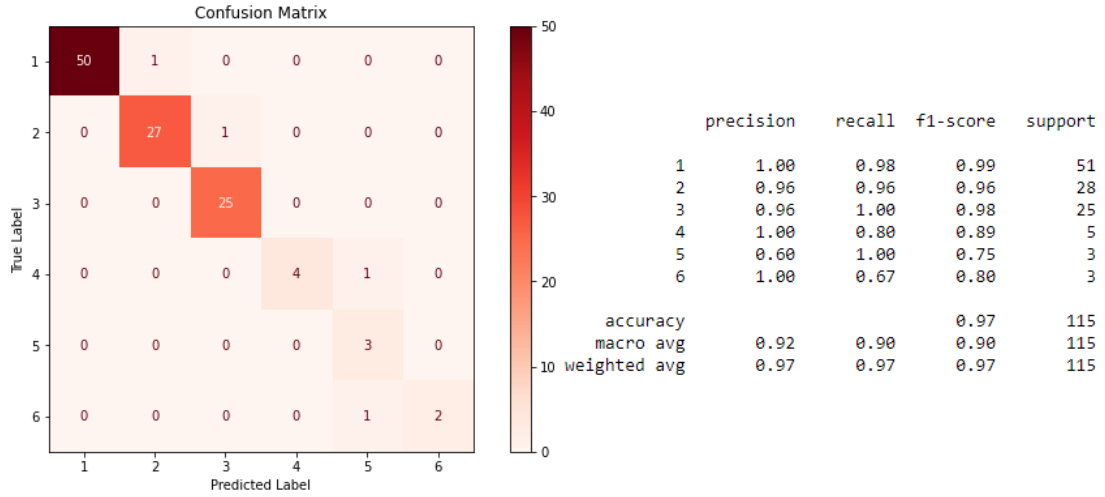
Şekil 3.15 : Karar ağaçları hata matrisi.

Rastgele orman algoritması'nın başarı oranı %95.65 olarak gözlemlenmiştir. Sonrasında ise kesinlik, duyarlılık ve f1 puanı'nı içeren hata matrisi ile deplasman değerlerinin kendi içinde tutarlılığına bakıldı. Burada; kesinlik değeri ağırlıklı ortalama ile %96 olarak saptanmış. Bu, algoritmanın tahmin ettiği deplasman değerlerinin %96'sı doğru tespit edilmiş anlamına gelmektedir. Öte yandan duyarlılık değeri %96 olarak saptanmış. Bu ise gerçekten bilinen deplasman değerinin %96 oranında doğru saptanmış olduğunu gösteriyor. F1 puanı ise bu iki ölçünün harmonik ortalaması olarak %96 değeriyle ortaya çıkmıştır. Burada, f1 puanı'nın 1'e makul seviyede yakın olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.16 : Rastgele orman hata matrisi.

Gradyan artırma algoritması'nın başarı oranı %96.52 olarak gözlemlenmiştir. Sonrasında ise kesinlik, duyarlılık ve f1 puanı'nı içeren hata matrisi ile deplasman değerlerinin kendi içinde tutarlılığına bakıldı. Burada; kesinlik değeri ağırlıklı ortalama ile %97 olarak saptanmış. Bu, algoritmanın tahmin ettiği deplasman değerlerinin %97'si doğru tespit edilmiş anlamına gelmektedir. Öte yandan duyarlılık değeri %97 olarak saptanmış. Bu ise gerçekten bilinen deplasman değerinin %97 oranında doğru saptanmış olduğunu gösteriyor. F1 puanı ise bu iki ölçünün harmonik ortalaması olarak %97 değeriyle ortaya çıkmıştır. Metrik sonuçlarından bahsedilen bu gözetimli makine öğrenmesi algoritması için başarı oranının bu denli yüksek olmasından ve f1 puanı'nın 1'e makul seviyede yakın olmasından dolayı, uygulamada kullanılabilir olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.17 : Gradyan artırma hata matrisi.

3.4.2 Algoritmaların birbirleriyle karşılaştırılması

Bu algoritmalarından elde edilen sonuçlar, önce kendi içerisinde daha sonra ise birbirleriyle karşılaştırıldı. Bu sonuçlar, çizelge 3.1.de ve şekil 3.18.de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Başarı oranı en yüksek olan algoritmanın %98.26 ile destek vektör makineleri olduğu görülmektedir. Başarı oranı en düşük olan algoritmanın ise %91.30 ile k en yakın komşuluk olduğu görülmektedir. Buradan, bu altı algoritmanın uygulanmasının tatmin edici derecede olduğu yorumunu çıkarabiliriz.

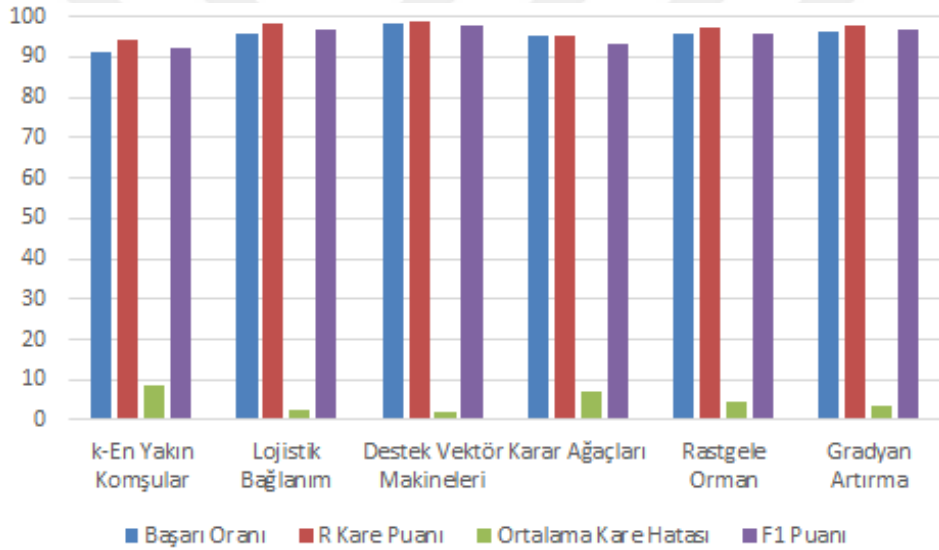
R kare puanı, deneysel verilerin doğrusal bir eğriye ne kadar iyi uyduğunun en iyi ölçütü, bağlanım analiz işleminde hesaplanmış determinasyon katsayısıdır. Ne kadar çok veri noktası varsa, r kare'nin güvenilirliği o kadar yüksektir ve değeri bire yakın olan algoritmaların daha iyi bir performans sergilediği söylenebilir. R kare puanı'nın en yüksek olduğu algoritmanın %98.83 ile destek vektör makineleri olduğu görülmektedir. R kare puanı'nın en düşük olduğu algoritmanın ise %94.14 ile k en yakın komşuluk olduğu görülmektedir. Değerlerin, bire makul oranda yakın olduğu ve istenilen oranların elde edildiği görülmektedir.

Ortalama kare hatası, bir bağlanım eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu hesaplar. Bu metrik, makine öğrenmesi algoritmasının performansını ölçer, her zaman pozitif değerlidir ve değeri sıfıra yakın olan algoritmaların daha iyi bir

performans sergilediği söylenebilir. Ortalama kare hatası'nın en yüksek olduğu algoritmanın %8.70 ile k en yakın komşuluk olduğu görülmektedir. Ortalama kare hatası'nın en düşük olduğu algoritmanın ise %1.74 ile destek vektör makineleri olduğu görülmektedir. Değerlerin, sıfıra makul oranda yakın olduğu ve istenilen oranların elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Algoritmaların metrik sonuçları (%).

Algoritma	Başarı Oranı	R Kare Puanı	Ortalama Kare Hatası	F1 Puanı
k En Yakın Komşuluk	91.30	94.14	8.70	92
Lojistik Bağlanım	95.65	98.24	2.61	97
Destek Vektör Makineleri	98.26	98.83	1.74	98
Karar Ağaçları	95.32	95.32	6.96	93
Rastgele Orman	95.65	97.07	4.35	96
Gradyan Artırma	96.52	97.66	3.48	97



Şekil 3.18 : Metrik sonuçların karşılaştırılması (%).

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerden oluşan dört katlı bir binanın, on altı adet kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimiyle, TBDY 2018'e göre tasarımını içermektedir. Bu tasarımı yaparken yararlanılan en önemli standartlar ise "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları" (TS-500) ve "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri" (TS-498)'dir.

Taban yalıtımlı olarak tasarlanan binanın gerekli esnekliği sağlayarak, doğal periyodu artmış, deprem etkisi altındaki sönümü yeterli seviyede kalmıştır. Ayrıca, kullanılan deprem yalıtım birimleri, hem deprem etkisinde hem de servis halinde tüm düşey ve yatay yükleri karşılamıştır. Bununla birlikte, binanın üst yapısındaki deprem etkisini azaltan taban yalıtım sistemi uygulandıktan sonra, göreceli kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetleri azalmıştır.

TBDY 2018'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda, binada herhangi bir yapı düzensizliği söz konusu değildir. Bununla birlikte, deprem etkisi altında dört farklı hesap yöntemi uygulanmıştır. Bunlar, eşdeğer deprem yükü, etkin deprem yükü, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. Bu yöntemler, ilgili yönetmeliğe göre detaylı bir biçimde incelenmiş ve sonuçların uygunluğu gösterilmiştir.

Eşdeğer deprem yükü metodu için hem excel programının arka planında bulunan visual basic ile kodladığım programla (EK A) hem de SAP2000 v20 yazılımı ile karşılaştırmalı olarak hesap yapılmıştır. Etkin deprem yükü metodu ile hesap ise yönetmelikte bulunan ifadeler ile elde edilmiştir. Mod birleştirme yöntemi, SAP2000 v20 ile hesaplanmış ve binada yapı düzensizliğinin bulunmaması sebebiyle etkin deprem yükü metodu sonucu elde edilen deplasman ve deprem yükü değerleri ile gerekli şartları sağladığı gösterilmiştir.

TBDY 2018'e göre gerekli şartları sağlayan on bir deprem kaydı ve bunların doksan derece döndürölüp SAP2000 v20 yazılımı ile binaya uygulanması sonucunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi yapılmış. Elverişsiz deprem yüküne göre elde edilen yirmi iki deplasman değerinin ortalaması ve deprem yüklerinin ortalaması, binada yapı düzensizliğinin bulunmaması sebebiyle etkin deprem yükü metodu sonucu elde edilen deplasman ve deprem yükü değerleri ile karşılaştırılmış ve gerekli şartları sağladığı gösterilmiştir.

Jupyter notebook yardımıyla python yazılım dili ile programlanan altı farklı makine öğrenmesi algoritmasından elde edilen sonuçlar tek tek açıklanmış ve başarı oranları detaylı bir biçimde gösterilmiştir. Bu altı algoritma şöyledir; k en yakın komşuluk, lojistik bağlanım, destek vektör makineleri, karar ağaçları, rastgele orman ve gradyan artırma.

Bu algoritmalarından elde edilen sonuçlar, önce kendi içerisinde daha sonra ise birbirleriyle karşılaştırıldı. Başarı oranı en yüksek olan algoritmanın %98.26 ile destek vektör makineleri olduğu görölmektedir. Diğer beş algoritmanın da başarı oranlarının oldukça tatmin edici olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışmada amaç, farklı özelliklere sahip bir yapıtım birimi türünün, aynı özellikteki bir binaya uygulandığında, oluşabilecek deplasman değerinin hızlı bir şekilde tespiti ve yaklaşık bir fikir vermesidir. Buradan, çalışmada amacın sağlandığı kontrol mekanizmaları ile detaylı bir biçimde gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akar, A., Akar, Ö. & Güngör, O.** (2010). Rastgele Orman Sınıflandırıcısı ile Arazi Kullanım Alanlarının Belirlenmesi, *III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Kocaeli.
- Alpaydin, E. & Bach, F.** (2014). *Introduction to Machine Learning*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 3. sürüm.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. & Olshen, R.** (1984). *Classification and Regression Trees*, Chapman and Hall, USA, 1. sürüm.
- Celep, Z.** (2019). *Betonarme Yapılar*, Beta, İstanbul.
- Celep, Z.** (2019). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımı*, Beta, İstanbul.
- Celep, Z.** (2014). *Yapı Dinamiği*, Beta, İstanbul, 5. sürüm.
- Chopra, A.K.** (1989). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice-hall, New Jersey, 4. sürüm.
- Clough, R.W. & Penzien, J.** (1993). *Dynamics of Structures*, McGraw-Hill, New York.
- Darılmaz, K., Orakdöğen, E. & Özmen, G.** (2018). *Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş*, Birsen, İstanbul.
- Darılmaz, K.** (2019). *Örneklerle SAP2000 v20*, Birsen, İstanbul.
- Doğan, G. & Gültekin, B.** (2021). İnşaat Mühendisliğinde Yapay Zeka Çalışmaları, *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 2(2), 117-138.
- Dubey, H. & Pudi, V.** (2013). CLUEKR: CLUstering Based Efficient kNN Regression, *Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Gold Coast.
- Hudson, D.** (1982). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice-hall, New Jersey, 4. sürüm.
- Johnston, B. & Mathur, I.** (2019). *Applied Supervised Learning with Python*, Packt, UK.
- Komodromos, P.** (2000). *Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures*, WIT Press, Southampton.
- Mohri, M., Rostamizadeh, A. & Talwalkar, A.** (2018). *Foundations of Machine Learning*, MIT Press, USA, 2. sürüm.
- Guido, S. & Müller, A.** (2016). *Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists*, O'reilly, 1. sürüm.

TBDY (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

TS 498 (1987). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 500 (2000). *Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Url-1. <<https://akademi40.org>>, erişim tarihi: 15.05.2022.

Url-2. <<https://www.coursera.org/machine/learning>>, erişim tarihi: 15.05.2022.

Url-3. <<https://ngawest2.berkeley.edu>>, erişim tarihi: 20.05.2022

Url-4. <<https://polen.itu.edu.tr>>, erişim tarihi: 20.05.2022.

Url-5. <<https://sgfin.github.io/learning-resources>>, erişim tarihi: 25.05.2022.

Url-6. <<https://stringfixer.com/tr>>, erişim tarihi: 25.05.2022.

Url-7. <<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>>, erişim tarihi: 28.05.2022.

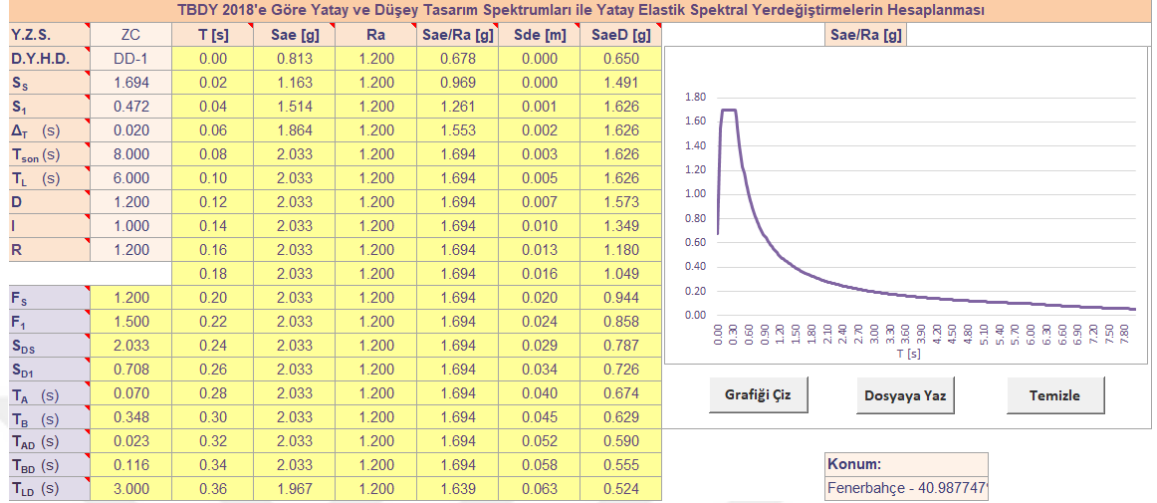
EKLER

- EK A :** VBA excel ile spektrum eğrisi ve eşdeğer deprem yükü
- EK B :** Matlab kodları ile ölçeklendirme oranı'nın tespiti
- EK C :** Deprem kayıtları
- EK D :** Deprem yalıtım birimleri veri tabanı
- EK E :** Makine öğrenmesi için jupyter notebook - python kodları
- EK F :** Yapı düzensizlikleri
- EK G :** Yalıtımlı bina ile yalıtımsız bina'nın karşılaştırılması





EK A :



Şekil A.1 : Spektrumların çizdirilmesi.

Visual basic excel ile TBDY 2018'e göre kodladığım bu program, zemin sınıfına ve deprem düzeyine göre zamana bağlı azaltılmış tasarım spektrumunu çizdirmeyi hedeflemektedir.

Statik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı

S _{DS}	1.170	B _x (m)	15.000	Eşdeğer Deprem Yüğü
S _{D1}	0.401	N	4	
T _A (s)	0.068	C _t	0.750	
T _B (s)	0.342	T _p ^(x) (s)	2.17393	≤ 8.400 1.4 * T _{pA} (s)
T _L (s)	6.000	T (s)	2.174	
D	1.200	Sae(T _p ^(x))	0.184	e _x (m) 0.750
I	1.000	Ra(T _p ^(x))	1.200	V _{IE} ^(x) (kN) 3838.556 ≥ 1170.140
R	1.200	SaR(T _p ^(x))	0.154	ΔF _{NE} ^(x) (kN) 115.157

Kat	h (m)	W _i (kN)	H _i (m)	m _i (t)	z=m _i *H _i	F _{IE} ^(x) (kN)	V _i (kN)	M _{ib} ^(x) (kNm)	M _o ^(x) (kNm)
4	4.000	4075.5	16.000	415.571	6649.128	1582.801	1582.801	1187.101	25324.82
3	4.000	4176	12.000	425.818	5109.820	1127.877	2710.679	845.908	13534.53
2	4.000	4176	8.000	425.818	3406.546	751.918	3462.597	563.939	6015.34
1	4.000	4176	4.000	425.818	1703.273	375.959	3838.556	281.969	1503.84
Base	0.000	8399.5	0.000	856.480	0.000	0.000	3838.556	0.000	0.00
Toplam	16.000	25003.0		2549.505	16868.767	3838.556			

Şekil A.2 : Eşdeğer deprem yükü hesabı.

Aynı yöntemle kodladığım diğer program ise dört katlı taban yalıtımlı bir binanın eşdeğer deprem yükü hesabını detaylı bir biçimde içermektedir.



EK B :

```
clc
clear all
%Deprem Kayıtlarının Atanması:
data1=dlmread('RSN139_TABAS_DAYL1.AT2',' ',4,0);
data2=data1';
acc0=data2(:);
dt=0.005;
t=0.0:dt:dt*(length(acc0)-1);
vel0=cumsum(acc0)*dt;
dis0=cumsum(vel0)*dt;
%Baseline Correction:
acc=detrend(acc0);
vel=cumsum(acc*9.81)*dt;
dis=cumsum(vel)*dt;
%Fourier Amplitude Spectrum:
nn=length(acc);
nn2=floor(nn/2);
f=[1:1:nn2]/(nn*dt);
accfft=fft(acc(1:nn));
accFAS=abs(accfft(1:nn2))/nn*2;
accPHASE=angle(accfft(1:nn2));
%Butterworth(4th) - Band Pass Filtering:
FilterOrder=4;
fn=1/(2*dt);
fc=[0.1 20];
[B,A]=butter(FilterOrder,fc/fn);
accF=filtfilt(B,A,acc);
velF=filtfilt(B,A,vel);
disF=filtfilt(B,A,dis);
```

```

%Spectra değerleri:
clear SD SV SA
T=0.005:0.005:5;
ksi=0.05;
n=length(T);
w=2*pi./T;
u0(1:n)=0;
v0(1:n)=0;
a0(1:n)=0;
umax(1:n)=0.0;
for i=1:length(accF)
    u(1:n)=1./(4.0/dt2 + 2*2.0*ksi*w/dt + w.*w).*(accF(i) + 1.0/dt2*(4*u0(1:n) + 4*v0(1:n)*dt + a0(1:n)*dt2) + 2.0*ksi*w/dt.*(2*u0(1:n) + v0(1:n)*dt));
    v(1:n)=-v0(1:n)+2/dt*(u(1:n)-u0(1:n));
    a(1:n)=4/dt2*(u(1:n) - u0(1:n) - v0(1:n)*dt - a0(1:n)*dt2/4);
    u0=u;
    v0=v;
    a0=a;
    umax=max(umax,abs(u0));
end
SD=umax;
SV=w.*umax;
SA=w.2. * umax;
[SD,SV,SA]=RSpectNewmark(accF,T,ksi,dt);
function [SD, SV, SA]=RSpectNewmark(acc0F1,T,damp,dt)
    clear SD SV SA
    n=length(T);
    w=2*pi./T;
    u0(1:n)=0;
    v0(1:n)=0;
    a0(1:n)=0;
    umax(1:n)=0.0;
    for i=1:length(acc0F1)

```

```

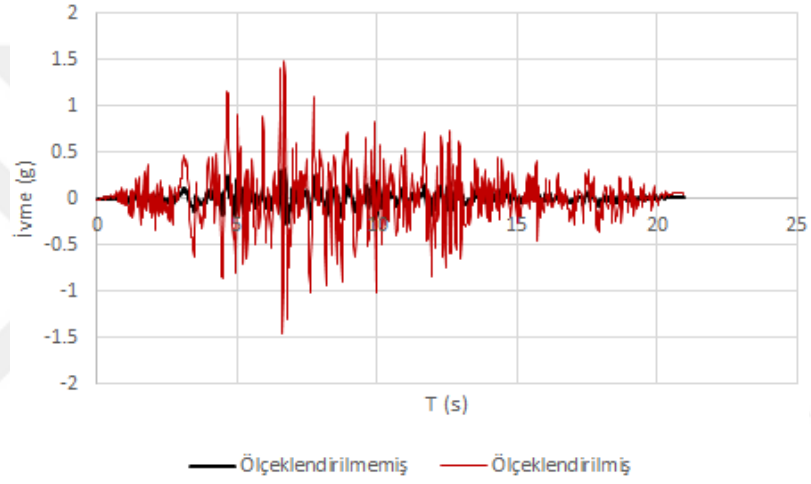
u(1:n)=1./(4.0/dt2 + 2*2.0*damp*w/dt + w.*w).*(acc0F1(i) + 1.0/dt2*(4*
u0(1:n) + 4*v0(1:n)*dt + a0(1:n)*dt2) + 2.0*damp*w/dt.*(2*u0(1:n) + v0(1:
n)*dt));
v(1:n)=-v0(1:n)+2/dt*(u(1:n)-u0(1:n));
a(1:n)=4/dt2*(u(1:n) - u0(1:n) - v0(1:n)*dt - a0(1:n)*dt2/4);
u0=u;
v0=v;
a0=a;
umax=max(umax,abs(u0));
end
SD=umax;
SV=w.*umax;
SA=w.2.*umax;
return
%TBDY2018'e göre tasarım spektrumu:
Ss=1.694; S1=0.472; %(Zemin Sınıfı: ZC, Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-1,
Konum: Fenerbahçe Stadı)
Fs=1.2; F1=1.5;
Sds=Fs*Ss; Sd1=F1*S1;
Tb=Sd1/Sds; Ta=0.2*Tb; TL=6.0;
ST(1:length(T))=0;
Ra=1.2;
for ii=1:length(T)
if T(ii)<= Ta
ST(ii)=0.4*Sds+0.6*Sds/Ta*T(ii)/Ra;
elseif T(ii)<= Tb
ST(ii)=Sds/Ra;
elseif T(ii)<= TL
ST(ii)=Sd1/T(ii)/Ra;
else
ST(ii)=Sd1*TL/T(ii)2/Ra;
end
end
ScaleFacAlfa=sum(ST.*SA)/sum(SA.2)

```

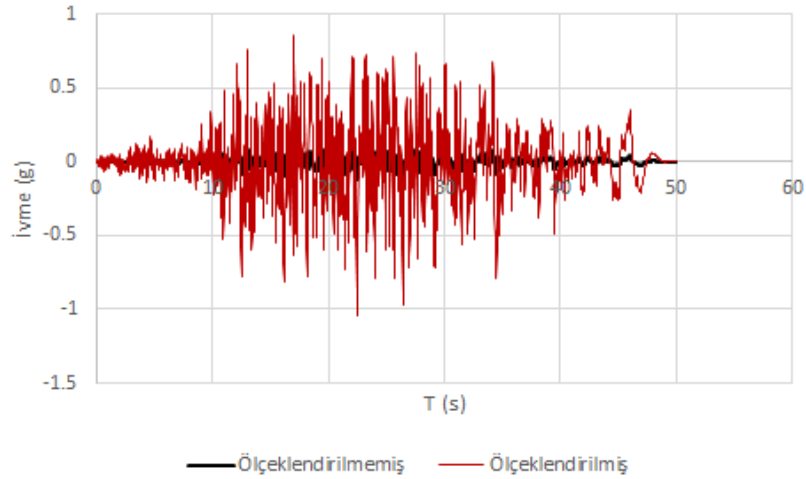


EK C :

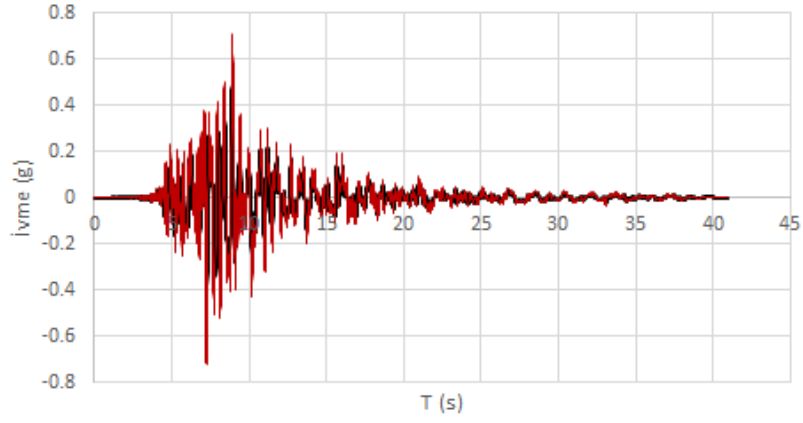
Deprem ivme kayıtlarının seismosignal programı ile doğrusal ana hat düzeltme (linear baseline correction) ve 0.1 ila 0.25 frekansta bant genişliğiyle butterworth filtre tipiyle düzenlenmesinden sonra, zamana bağlı olarak ivme grafikleri çizdirilmiştir. Ayrıca, kullandığımız en büyük deprem spektrumuna göre ölçeklendirme oranını elde etmek için matlab yazılım dili kullanılmıştır (EK B). Ölçeklendirme oranı elde edildikten sonra seismosignal programı ile aynı düzeltmeler yapıldıktan sonra, ölçeklendirilmiş olan deprem kayıtları zamana bağlı olarak çizdirilmiş ve aynı grafikte karşılaştırılmıştır.



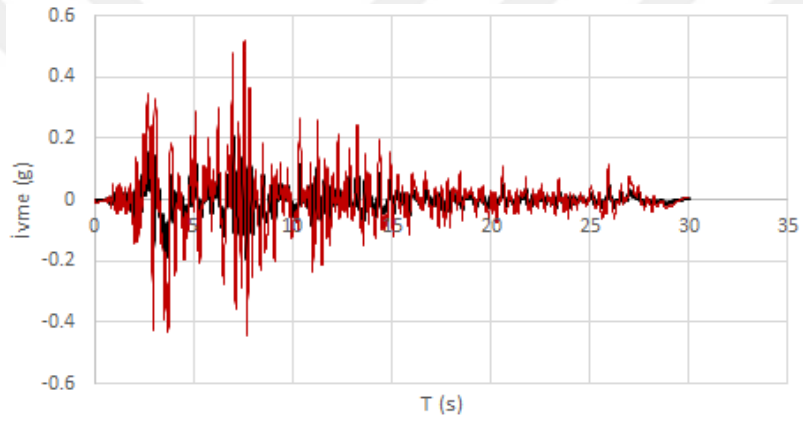
Şekil C.1 : Kayıt no.: 139.



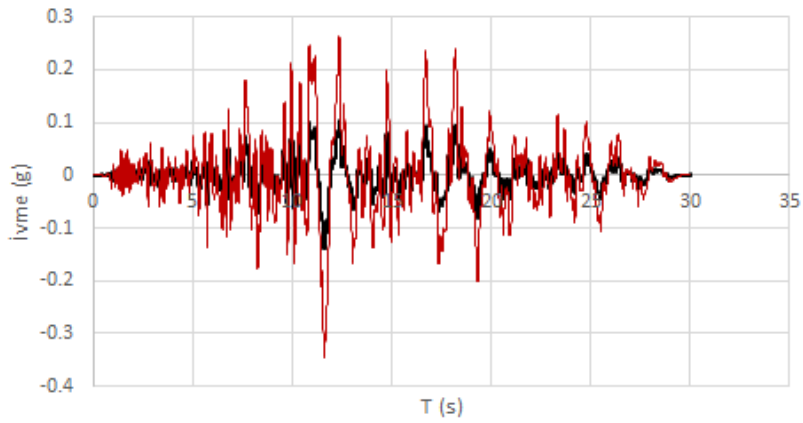
Şekil C.2 : Kayıt no.: 832.



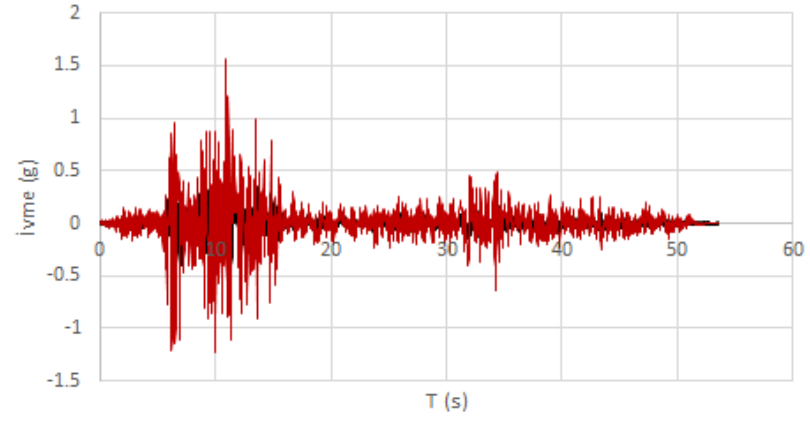
— Ölçeklendirilmemiş — Ölçeklendirilmiş
Şekil C.3 : Kayıt no.: 1111.



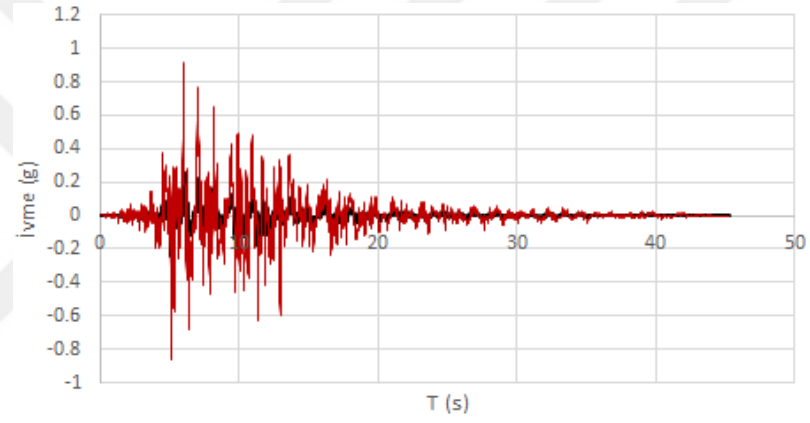
— Ölçeklendirilmemiş — Ölçeklendirilmiş
Şekil C.4 : Kayıt no.: 1165.



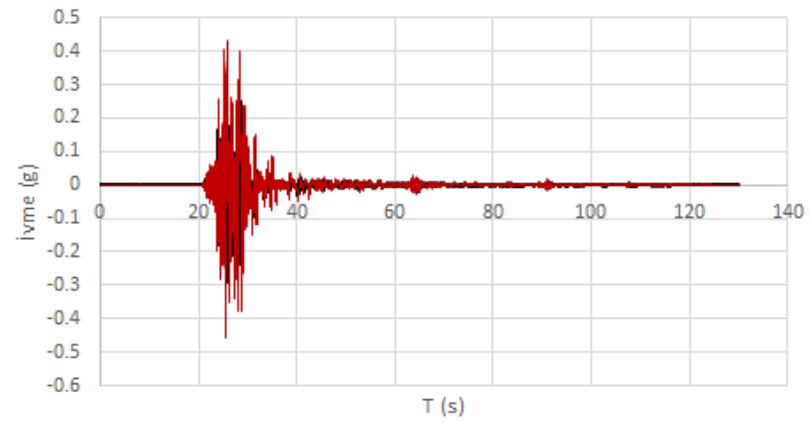
— Ölçeklendirilmemiş — Ölçeklendirilmiş
Şekil C.5 : Kayıt no.: 1166.



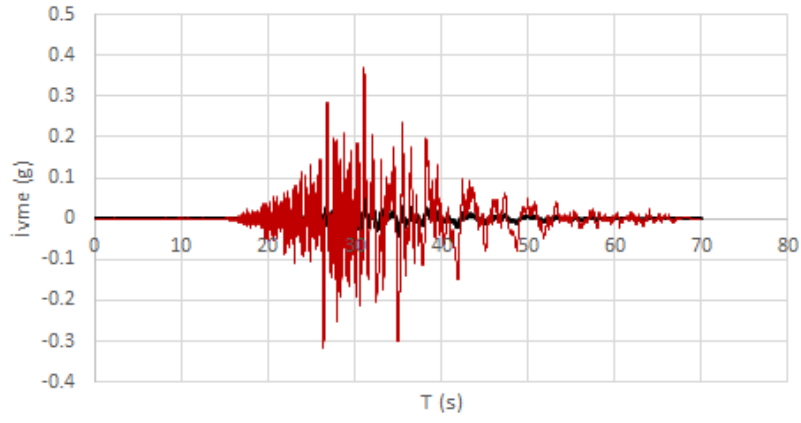
Şekil C.6 : Kayıt no.: 1633.



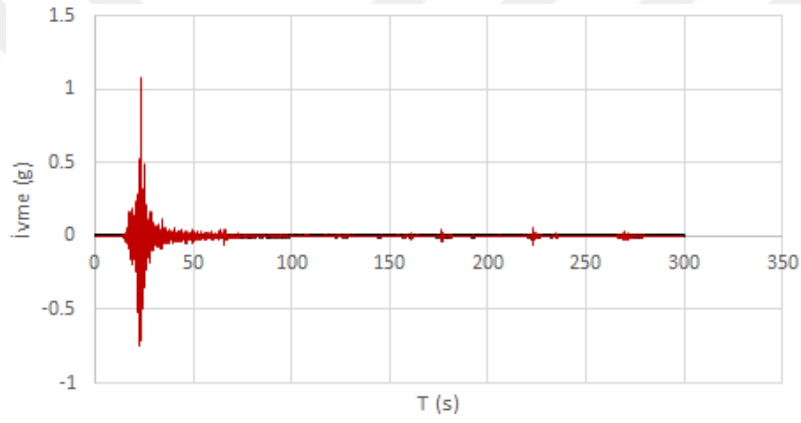
Şekil C.7 : Kayıt no.: 1787.



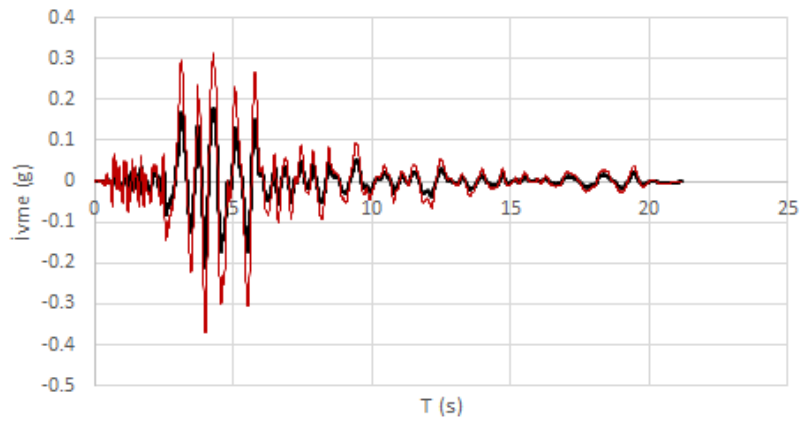
Şekil C.8 : Kayıt no.: 2734.



— Ölçeklendirilmemiş — Ölçeklendirilmiş
Şekil C.9 : Kayıt no.: 2897.



— Ölçeklendirilmemiş — Ölçeklendirilmiş
Şekil C.10 : Kayıt no.: 3943.



— Ölçeklendirilmemiş — Ölçeklendirilmiş
Şekil C.11 : Kayıt no.: 4097.

EK D :

Bridgestone deprem yalıtım birimi kataloğundan alınan beş yüz yetmiş beş farklı kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım biriminin, TBDY 2018'e göre en büyük deprem yer hareketi seviyesi altında, alt ve üst limitlerinin ortalaması ile elde edilen deplasman değerlerinin sonucu ile oluşturulan veri tabanı çizelge D.1.de gösterilmiştir. Burada, Dort için; 0.10m = 1, 0.15m = 2, 0.20m = 3, 0.25m = 4, 0.30m = 5, 0.35m = 6 olarak etiketlenmiştir.



Çizelge D.1 : Deprem yalıtım birimleri veri seti.

B(mm)	B _L (mm)	T _r (mm)	G _v (MPa)	τ_{yp} (MPa)	F _y (kN)	K _{eff} (MPa)	Dort
600	110	200	0.385	8	122.341	1404.410	6
600	120	200	0.385	8	145.596	1543.292	5
600	130	200	0.385	8	170.873	1708.149	5
600	140	200	0.385	8	198.172	1895.937	4
600	150	200	0.385	8	227.493	2101.256	4
600	160	200	0.385	8	258.836	2317.661	4
650	110	198	0.385	8	122.341	1602.679	6
650	120	198	0.385	8	145.596	1746.775	5
650	130	198	0.385	8	170.873	1919.636	5
650	140	198	0.385	8	198.172	2120.004	4
650	150	198	0.385	8	227.493	2343.357	4
650	160	198	0.385	8	258.836	2583.109	3
650	170	198	0.385	8	292.202	2832.675	3
700	100	202	0.385	8	101.108	1656.813	6
700	110	202	0.385	8	122.341	1775.663	6
700	120	202	0.385	8	145.596	1923.794	5
700	130	202	0.385	8	170.873	2102.177	5
700	140	202	0.385	8	198.172	2311.429	4
700	150	202	0.385	8	227.493	2547.769	4
700	160	202	0.385	8	258.836	2804.898	3
700	170	202	0.385	8	292.202	3077.016	3
700	180	202	0.385	8	327.590	3357.528	3
750	110	200	0.385	8	122.341	2002.157	5
750	120	200	0.385	8	145.596	2154.300	5
750	130	200	0.385	8	170.873	2338.405	4
750	140	200	0.385	8	198.172	2556.570	4
750	150	200	0.385	8	227.493	2806.201	4
750	160	200	0.385	8	258.836	3081.869	3
750	170	200	0.385	8	292.202	3369.310	3
750	180	200	0.385	8	327.590	3688.694	3
750	190	200	0.385	8	365.000	4004.253	2
800	120	200	0.385	8	145.596	2383.564	5
800	130	200	0.385	8	170.873	2573.104	4
800	140	200	0.385	8	198.172	2797.905	4
800	150	200	0.385	8	227.493	3058.202	3
800	160	200	0.385	8	258.836	3349.291	3
800	170	200	0.385	8	292.202	3656.167	3
800	190	200	0.385	8	365.000	4349.294	2
800	200	200	0.385	8	404.432	4699.887	2
850	120	200	0.385	8	145.596	2626.407	5
850	130	200	0.385	8	170.873	2820.359	4
850	140	200	0.385	8	198.172	3050.896	4
850	150	200	0.385	8	227.493	3320.560	3

850	160	200	0.385	8	258.836	3625.172	3
850	170	200	0.385	8	292.202	3949.658	3
850	180	200	0.385	8	327.590	4307.989	2
850	190	200	0.385	8	365.000	4684.334	2
850	200	200	0.385	8	404.432	5081.070	2
850	210	200	0.385	8	445.886	5465.771	2
850	220	200	0.385	8	489.363	5844.846	2
900	130	198	0.385	8	170.873	3104.234	4
900	140	198	0.385	8	198.172	3341.064	4
900	150	198	0.385	8	227.493	3618.700	3
900	160	198	0.385	8	258.836	3935.991	3
900	170	198	0.385	8	292.202	4277.680	3
900	180	198	0.385	8	327.590	4658.119	2
900	190	198	0.385	8	365.000	5062.427	2
900	200	198	0.385	8	404.432	5482.564	2
900	210	198	0.385	8	445.886	5920.943	2
900	220	198	0.385	8	489.363	6343.776	2
900	230	198	0.385	8	534.861	6759.684	2
950	140	198	0.385	8	198.172	3622.326	3
950	150	198	0.385	8	227.493	3906.427	3
950	160	198	0.385	8	258.836	4234.294	3
950	170	198	0.385	8	292.202	4590.159	3
950	180	198	0.385	8	327.590	4989.103	2
950	190	198	0.385	8	365.000	5417.044	2
950	200	198	0.385	8	404.432	5866.355	2
950	210	198	0.385	8	445.886	6328.545	2
950	220	198	0.385	8	489.363	6805.539	2
950	230	198	0.385	8	534.861	7263.914	2
950	240	198	0.385	8	582.382	7713.042	1
1000	150	201	0.385	8	227.493	4161.575	3
1000	160	201	0.385	8	258.836	4497.380	3
1000	170	201	0.385	8	292.202	4864.898	2
1000	180	201	0.385	8	327.590	5278.380	2
1000	190	201	0.385	8	365.000	5725.113	2
1000	200	201	0.385	8	404.432	6197.808	2
1000	210	201	0.385	8	445.886	6688.272	2
1000	220	201	0.385	8	489.363	7187.486	2
1000	230	201	0.385	8	534.861	7696.443	1
1000	240	201	0.385	8	582.382	8185.519	1
1000	250	201	0.385	8	631.925	8659.385	1
1100	170	200	0.385	8	292.202	5560.981	2
1100	180	200	0.385	8	327.590	5994.400	2
1100	190	200	0.385	8	365.000	6479.881	2
1100	200	200	0.385	8	404.432	7001.629	2
1100	210	200	0.385	8	445.886	7552.131	2
1100	220	200	0.385	8	489.363	8122.719	1

1100	230	200	0.385	8	534.861	8704.126	1
1100	240	200	0.385	8	582.382	9300.138	1
1100	250	200	0.385	8	631.925	9872.278	1
1100	260	200	0.385	8	683.490	10432.484	1
1100	270	200	0.385	8	737.077	10968.603	1
1200	180	200	0.385	8	327.590	6734.227	2
1200	190	200	0.385	8	365.000	7251.368	2
1200	200	200	0.385	8	404.432	7813.822	2
1200	210	200	0.385	8	445.886	8415.127	1
1200	220	200	0.385	8	489.363	9047.247	1
1200	230	200	0.385	8	534.861	9701.132	1
1200	240	200	0.385	8	582.382	10367.119	1
1200	250	200	0.385	8	631.925	11051.510	1
1200	260	200	0.385	8	683.490	11709.183	1
1200	270	200	0.385	8	737.077	12355.337	1
1200	280	200	0.385	8	792.687	12977.779	1
1200	290	200	0.385	8	850.318	13570.608	1
1200	300	200	0.385	8	909.972	14129.213	1
1300	200	200	0.385	8	404.432	8659.267	2
1300	210	200	0.385	8	445.886	9304.435	1
1300	220	200	0.385	8	489.363	9990.568	1
1300	230	200	0.385	8	534.861	10709.186	1
1300	240	200	0.385	8	582.382	11450.866	1
1300	250	200	0.385	8	631.925	12205.543	1
1300	260	200	0.385	8	683.490	12963.172	1
1300	270	200	0.385	8	737.077	13728.633	1
1300	280	200	0.385	8	792.687	14463.953	1
1300	290	200	0.385	8	850.318	15175.353	1
1300	300	200	0.385	8	909.972	15856.068	1
1300	310	200	0.385	8	971.648	16501.048	1
1300	320	200	0.385	8	1035.346	17106.652	1
1400	210	200	0.385	8	445.886	10226.008	1
1400	220	200	0.385	8	489.363	10959.462	1
1400	230	200	0.385	8	534.861	11735.649	1
1400	240	200	0.385	8	582.382	12545.588	1
1400	250	200	0.385	8	631.925	13379.368	1
1400	260	200	0.385	8	683.490	14226.681	1
1400	270	200	0.385	8	737.077	15077.134	1
1400	280	200	0.385	8	792.687	15937.757	1
1400	290	200	0.385	8	850.318	16765.612	1
1400	300	200	0.385	8	909.972	17568.182	1
1400	310	200	0.385	8	971.648	18339.121	1
1400	320	200	0.385	8	1035.346	19072.751	1
1400	330	200	0.385	8	1101.066	19765.086	1
1400	340	200	0.385	8	1168.808	20413.121	1
1500	230	200	0.385	8	534.861	12786.676	1

1500	240	200	0.385	8	582.382	13657.993	1
1500	250	200	0.385	8	631.925	14563.872	1
1500	260	200	0.385	8	683.490	15494.048	1
1500	270	200	0.385	8	737.077	16437.812	1
1500	280	200	0.385	8	792.687	17384.508	1
1500	290	200	0.385	8	850.318	18343.617	1
1500	300	200	0.385	8	909.972	19265.869	1
1500	310	200	0.385	8	971.648	20162.610	1
1500	320	200	0.385	8	1035.346	21026.324	1
1500	330	200	0.385	8	1101.066	21851.084	1
600	110	162	0.385	8	122.341	1646.932	6
600	120	162	0.385	8	145.596	1790.544	5
600	130	162	0.385	8	170.873	1963.074	5
600	140	162	0.385	8	198.172	2163.690	4
600	150	162	0.385	8	227.493	2387.881	4
600	160	162	0.385	8	258.836	2628.917	3
650	100	163	0.385	8	101.108	1746.426	6
650	110	163	0.385	8	122.341	1864.950	6
650	120	163	0.385	8	145.596	2013.176	5
650	130	163	0.385	8	170.873	2192.116	4
650	140	163	0.385	8	198.172	2403.029	4
650	150	163	0.385	8	227.493	2642.411	4
650	160	163	0.385	8	258.836	2904.078	3
650	170	163	0.385	8	292.202	3182.674	3
700	100	167	0.385	8	101.108	1945.348	6
700	110	167	0.385	8	122.341	2066.261	5
700	120	167	0.385	8	145.596	2218.057	5
700	130	167	0.385	8	170.873	2402.242	4
700	140	167	0.385	8	198.172	2620.666	4
700	150	167	0.385	8	227.493	2871.467	3
700	160	167	0.385	8	258.836	3149.247	3
700	170	167	0.385	8	292.202	3448.648	3
700	180	167	0.385	8	327.590	3762.582	3
750	110	165	0.385	8	122.341	2342.486	5
750	120	165	0.385	8	145.596	2497.841	5
750	130	165	0.385	8	170.873	2687.971	4
750	140	165	0.385	8	198.172	2913.643	4
750	150	165	0.385	8	227.493	3176.647	3
750	160	165	0.385	8	258.836	3471.935	3
750	170	165	0.385	8	292.202	3784.428	3
750	180	165	0.385	8	327.590	4127.471	3
750	190	165	0.385	8	365.000	4495.656	2
800	120	168	0.385	8	145.596	2734.023	5
800	130	168	0.385	8	170.873	2928.166	4
800	140	168	0.385	8	198.172	3159.509	4
800	150	168	0.385	8	227.493	3430.831	3
800	160	168	0.385	8	258.836	3738.530	3

800	170	168	0.385	8	292.202	4067.447	3
800	180	168	0.385	8	327.590	4431.693	2
800	190	168	0.385	8	365.000	4815.514	2
800	200	168	0.385	8	404.432	5222.029	2
850	120	168	0.385	8	145.596	3020.968	4
850	130	168	0.385	8	170.873	3219.041	4
850	140	168	0.385	8	198.172	3456.974	4
850	150	168	0.385	8	227.493	3735.767	3
850	160	168	0.385	8	258.836	4056.165	3
850	170	168	0.385	8	292.202	4401.390	3
850	180	168	0.385	8	327.590	4787.224	2
850	190	168	0.385	8	365.000	5198.524	2
850	200	168	0.385	8	404.432	5627.275	2
850	210	168	0.385	8	445.886	6076.485	2
850	220	168	0.385	8	489.363	6510.984	2
900	130	170	0.385	8	170.873	3493.532	4
900	140	170	0.385	8	198.172	3736.242	3
900	150	170	0.385	8	227.493	4021.014	3
900	160	170	0.385	8	258.836	4351.063	3
900	170	170	0.385	8	292.202	4710.402	2
900	180	170	0.385	8	327.590	5113.832	2
900	190	170	0.385	8	365.000	5547.737	2
900	200	170	0.385	8	404.432	6004.558	2
900	210	170	0.385	8	445.886	6475.712	2
900	220	170	0.385	8	489.363	6964.369	2
900	230	170	0.385	8	534.861	7433.250	2
950	140	168	0.385	8	198.172	4096.568	3
950	150	168	0.385	8	227.493	4389.293	3
950	160	168	0.385	8	258.836	4728.475	3
950	170	168	0.385	8	292.202	5102.950	2
950	180	168	0.385	8	327.590	5525.369	2
950	190	168	0.385	8	365.000	5983.962	2
950	200	168	0.385	8	404.432	6471.814	2
950	210	168	0.385	8	445.886	6980.686	2
950	220	168	0.385	8	489.363	7501.522	2
950	230	168	0.385	8	534.861	8037.627	1
950	240	168	0.385	8	582.382	8550.901	1
1000	150	165	0.385	8	227.493	4802.339	3
1000	160	165	0.385	8	258.836	5149.948	3
1000	170	165	0.385	8	292.202	5538.622	2
1000	180	165	0.385	8	327.590	5978.867	2
1000	190	165	0.385	8	365.000	6460.909	2
1000	200	165	0.385	8	404.432	6978.541	2
1000	210	165	0.385	8	445.886	7524.084	2
1000	220	165	0.385	8	489.363	8088.697	1
1000	230	165	0.385	8	534.861	8662.933	1

1000	240	165	0.385	8	582.382	9250.639	1
1000	250	165	0.385	8	631.925	9812.592	1
1100	170	166	0.385	8	292.202	6311.501	2
1100	180	166	0.385	8	327.590	6769.722	2
1100	190	166	0.385	8	365.000	7285.716	2
1100	200	166	0.385	8	404.432	7847.027	2
1100	210	166	0.385	8	445.886	8447.176	1
1100	220	166	0.385	8	489.363	9077.987	1
1100	230	166	0.385	8	534.861	9730.286	1
1100	240	166	0.385	8	582.382	10394.276	1
1100	250	166	0.385	8	631.925	11076.008	1
1100	260	166	0.385	8	683.490	11730.255	1
1100	270	166	0.385	8	737.077	12371.998	1
1200	180	169	0.385	8	327.590	7554.363	2
1200	190	169	0.385	8	365.000	8086.177	2
1200	200	169	0.385	8	404.432	8681.866	2
1200	210	169	0.385	8	445.886	9325.483	1
1200	220	169	0.385	8	489.363	10009.894	1
1200	230	169	0.385	8	534.861	10726.523	1
1200	240	169	0.385	8	582.382	11465.825	1
1200	250	169	0.385	8	631.925	12217.595	1
1200	260	169	0.385	8	683.490	12971.637	1
1200	270	169	0.385	8	737.077	13732.683	1
1200	280	169	0.385	8	792.687	14462.595	1
1200	290	169	0.385	8	850.318	15167.459	1
1200	300	169	0.385	8	909.972	15840.407	1
1300	200	168	0.385	8	404.432	9685.605	1
1300	210	168	0.385	8	445.886	10371.581	1
1300	220	168	0.385	8	489.363	11108.930	1
1300	230	168	0.385	8	534.861	11890.139	1
1300	240	168	0.385	8	582.382	12706.123	1
1300	250	168	0.385	8	631.925	13546.912	1
1300	260	168	0.385	8	683.490	14402.109	1
1300	270	168	0.385	8	737.077	15261.016	1
1300	280	168	0.385	8	792.687	16130.687	1
1300	290	168	0.385	8	850.318	16967.149	1
1300	300	168	0.385	8	909.972	17778.882	1
1300	310	168	0.385	8	971.648	18558.072	1
1300	320	168	0.385	8	1035.346	19298.478	1
900	130	252	0.385	8	170.873	2592.202	4
900	140	252	0.385	8	198.172	2819.213	4
900	150	252	0.385	8	227.493	3082.274	3
900	160	252	0.385	8	258.836	3376.870	3
900	170	252	0.385	8	292.202	3688.068	3
900	180	252	0.385	8	327.590	4029.109	3
900	190	252	0.385	8	365.000	4394.236	2
900	200	252	0.385	8	404.432	4752.733	2

900	210	252	0.385	8	445.886	5108.086	2
900	220	252	0.385	8	489.363	5456.646	2
900	230	252	0.385	8	534.861	5789.068	2
950	140	250	0.385	8	198.172	3061.329	4
950	150	250	0.385	8	227.493	3333.158	3
950	160	250	0.385	8	258.836	3640.405	3
950	170	250	0.385	8	292.202	3968.101	3
950	180	250	0.385	8	327.590	4330.415	2
950	190	250	0.385	8	365.000	4711.626	2
950	200	250	0.385	8	404.432	5114.605	2
950	210	250	0.385	8	445.886	5506.784	2
950	220	250	0.385	8	489.363	5894.649	2
950	230	250	0.385	8	534.861	6271.405	2
950	240	250	0.385	8	582.382	6629.531	2
1000	150	248	0.385	8	227.493	3596.537	3
1000	160	248	0.385	8	258.836	3914.995	3
1000	170	248	0.385	8	292.202	4257.869	3
1000	180	248	0.385	8	327.590	4639.641	2
1000	190	248	0.385	8	365.000	5045.454	2
1000	200	248	0.385	8	404.432	5467.473	2
1000	210	248	0.385	8	445.886	5908.208	2
1000	220	248	0.385	8	489.363	6334.216	2
1000	230	248	0.385	8	534.861	6754.354	2
1000	240	248	0.385	8	582.382	7159.474	2
1000	250	248	0.385	8	631.925	7543.342	2
1100	170	252	0.385	8	292.202	4770.768	2
1100	180	252	0.385	8	327.590	5181.949	2
1100	190	252	0.385	8	365.000	5625.395	2
1100	200	252	0.385	8	404.432	6093.913	2
1100	210	252	0.385	8	445.886	6579.277	2
1100	220	252	0.385	8	489.363	7085.898	2
1100	230	252	0.385	8	534.861	7574.951	2
1100	240	252	0.385	8	582.382	8058.507	1
1100	250	252	0.385	8	631.925	8526.225	1
1100	260	252	0.385	8	683.490	8971.794	1
1100	270	252	0.385	8	737.077	9390.455	1
1200	180	248	0.385	8	327.590	5855.229	2
1200	190	248	0.385	8	365.000	6336.343	2
1200	200	248	0.385	8	404.432	6852.302	2
1200	210	248	0.385	8	445.886	7395.536	2
1200	220	248	0.385	8	489.363	7957.446	1
1200	230	248	0.385	8	534.861	8528.928	1
1200	240	248	0.385	8	582.382	9112.978	1
1200	250	248	0.385	8	631.925	9674.411	1
1200	260	248	0.385	8	683.490	10222.479	1
1200	270	248	0.385	8	737.077	10747.651	1

1200	280	248	0.385	8	792.687	11244.184	1
1200	290	248	0.385	8	850.318	11709.145	1
1200	300	248	0.385	8	909.972	12139.571	1
1300	200	252	0.385	8	404.432	7499.054	2
1300	210	252	0.385	8	445.886	8084.929	2
1300	220	252	0.385	8	489.363	8698.157	1
1300	230	252	0.385	8	534.861	9329.730	1
1300	240	252	0.385	8	582.382	9970.194	1
1300	250	252	0.385	8	631.925	10623.231	1
1300	260	252	0.385	8	683.490	11252.787	1
1300	270	252	0.385	8	737.077	11866.331	1
1300	280	252	0.385	8	792.687	12455.533	1
1300	290	252	0.385	8	850.318	13014.983	1
1300	300	252	0.385	8	909.972	13541.073	1
1300	310	252	0.385	8	971.648	14030.668	1
1300	320	252	0.385	8	1035.346	14482.332	1
1400	210	247	0.385	8	445.886	8972.861	1
1400	220	247	0.385	8	489.363	9642.962	1
1400	230	247	0.385	8	534.861	10342.200	1
1400	240	247	0.385	8	582.382	11061.132	1
1400	250	247	0.385	8	631.925	11790.011	1
1400	260	247	0.385	8	683.490	12535.352	1
1400	270	247	0.385	8	737.077	13252.720	1
1400	280	247	0.385	8	792.687	13955.865	1
1400	290	247	0.385	8	850.318	14633.577	1
1400	300	247	0.385	8	909.972	15280.204	1
1400	310	247	0.385	8	971.648	15891.683	1
1400	320	247	0.385	8	1035.346	16465.015	1
1400	330	247	0.385	8	1101.066	16997.774	1
1400	340	247	0.385	8	1168.808	17488.928	1
1500	230	250	0.385	8	534.861	11174.364	1
1500	240	250	0.385	8	582.382	11951.831	1
1500	250	250	0.385	8	631.925	12748.031	1
1500	260	250	0.385	8	683.490	13552.803	1
1500	270	250	0.385	8	737.077	14373.868	1
1500	280	250	0.385	8	792.687	15164.987	1
1500	290	250	0.385	8	850.318	15938.507	1
1500	300	250	0.385	8	909.972	16685.389	1
1500	310	250	0.385	8	971.648	17399.473	1
1500	320	250	0.385	8	1035.346	18076.435	1
1500	330	250	0.385	8	1101.066	18712.825	1
1500	340	250	0.385	8	1168.808	19306.617	1
1500	350	250	0.385	8	1238.573	19856.759	1
1500	360	250	0.385	8	1310.360	20363.236	1
1500	370	250	0.385	8	1384.169	20826.630	1
1600	250	250	0.385	8	631.925	13797.670	1

1600	260	250	0.385	8	683.490	14679.624	1
1600	270	250	0.385	8	737.077	15569.246	1
1600	280	250	0.385	8	792.687	16475.826	1
1600	290	250	0.385	8	850.318	17349.459	1
1600	300	250	0.385	8	909.972	18203.884	1
1600	310	250	0.385	8	971.648	19029.795	1
1600	320	250	0.385	8	1035.346	19821.043	1
1600	330	250	0.385	8	1101.066	20573.257	1
1600	340	250	0.385	8	1168.808	21282.749	1
1600	350	250	0.385	8	1238.573	21947.372	1
1600	360	250	0.385	8	1310.360	22565.774	1
1600	370	250	0.385	8	1384.169	23137.791	1
1600	380	250	0.385	8	1460.000	23664.020	1
1600	390	250	0.385	8	1537.853	24146.029	1
1600	250	322	0.385	8	631.925	11858.339	1
1600	260	322	0.385	8	683.490	12614.550	1
1600	270	322	0.385	8	737.077	13343.547	1
1600	280	322	0.385	8	792.687	14059.666	1
1600	290	322	0.385	8	850.318	14752.073	1
1600	300	322	0.385	8	909.972	15415.911	1
1600	310	322	0.385	8	971.648	16045.754	1
1600	320	322	0.385	8	1035.346	16638.355	1
1600	330	322	0.385	8	1101.066	17192.065	1
1600	340	322	0.385	8	1168.808	17705.494	1
1600	350	322	0.385	8	1238.573	18178.733	1
1600	360	322	0.385	8	1310.360	18612.562	1
1600	370	322	0.385	8	1384.169	19007.955	1
1600	380	322	0.385	8	1460.000	19365.630	1
1600	390	322	0.385	8	1537.853	19687.289	1
1700	280	322	0.385	8	792.687	15214.445	1
1700	290	322	0.385	8	850.318	15997.829	1
1700	300	322	0.385	8	909.972	16755.962	1
1700	310	322	0.385	8	971.648	17482.638	1
1700	320	322	0.385	8	1035.346	18173.415	1
1700	330	322	0.385	8	1101.066	18825.242	1
1700	340	322	0.385	8	1168.808	19435.672	1
1700	350	322	0.385	8	1238.573	20003.930	1
1700	360	322	0.385	8	1310.360	20529.518	1
1700	370	322	0.385	8	1384.169	21013.329	1
1700	380	322	0.385	8	1460.000	21456.537	1
1700	390	322	0.385	8	1537.853	21859.680	1
1700	400	322	0.385	8	1617.728	22224.433	1
1800	300	322	0.385	8	909.972	18088.435	1
1800	310	322	0.385	8	971.648	18912.729	1
1800	320	322	0.385	8	1035.346	19703.382	1
1800	330	322	0.385	8	1101.066	20456.242	1

1800	340	322	0.385	8	1168.808	21167.598	1
1800	350	322	0.385	8	1238.573	21835.523	1
1800	360	322	0.385	8	1310.360	22458.717	1
1800	370	322	0.385	8	1384.169	23037.196	1
1800	380	322	0.385	8	1460.000	23571.550	1
1800	390	322	0.385	8	1537.853	24063.138	1
1800	400	322	0.385	8	1617.728	24512.343	1
1800	410	322	0.385	8	1699.625	24920.899	1
1800	420	322	0.385	8	1783.545	25290.678	1
1800	430	322	0.385	8	1869.487	25623.829	1
600	100	120	0.385	8	101.108	1969.868	6
600	110	120	0.385	8	122.341	2088.237	5
600	120	120	0.385	8	145.596	2236.810	5
600	130	120	0.385	8	170.873	2418.166	4
600	140	120	0.385	8	198.172	2633.102	4
600	150	120	0.385	8	227.493	2880.033	3
600	160	120	0.385	8	258.836	3153.303	3
650	100	132	0.385	8	101.108	2090.199	6
650	110	132	0.385	8	122.341	2210.540	5
650	120	132	0.385	8	145.596	2362.104	5
650	130	132	0.385	8	170.873	2547.328	4
650	140	132	0.385	8	198.172	2767.152	4
650	150	132	0.385	8	227.493	3021.389	3
650	160	132	0.385	8	258.836	3304.937	3
650	170	132	0.385	8	292.202	3602.559	3
700	100	141	0.385	8	101.108	2251.253	6
700	110	141	0.385	8	122.341	2373.643	5
700	120	141	0.385	8	145.596	2527.993	5
700	130	141	0.385	8	170.873	2717.124	4
700	140	141	0.385	8	198.172	2941.798	4
700	150	141	0.385	8	227.493	3203.909	3
700	160	141	0.385	8	258.836	3498.470	3
700	170	141	0.385	8	292.202	3810.247	3
700	180	141	0.385	8	327.590	4152.538	3
750	110	150	0.385	8	122.341	2536.173	5
750	120	150	0.385	8	145.596	2692.999	5
750	130	150	0.385	8	170.873	2885.547	4
750	140	150	0.385	8	198.172	3114.778	4
750	150	150	0.385	8	227.493	3383.449	3
750	160	150	0.385	8	258.836	3687.576	3
750	170	150	0.385	8	292.202	4011.919	3
750	180	150	0.385	8	327.590	4370.404	2
750	190	150	0.385	8	365.000	4746.991	2
800	120	162	0.385	8	145.596	2814.588	4
800	130	162	0.385	8	170.873	3009.800	4
800	140	162	0.385	8	198.172	3242.708	4

800	150	162	0.385	8	227.493	3515.837	3
800	160	162	0.385	8	258.836	3826.734	3
800	170	162	0.385	8	292.202	4160.078	3
800	180	162	0.385	8	327.590	4530.063	2
800	190	162	0.385	8	365.000	4921.174	2
800	200	162	0.385	8	404.432	5337.095	2
850	120	171	0.385	8	145.596	2977.822	4
850	130	171	0.385	8	170.873	3175.439	4
850	140	171	0.385	8	198.172	3412.718	4
850	150	171	0.385	8	227.493	3690.656	3
850	160	171	0.385	8	258.836	4009.104	3
850	170	171	0.385	8	292.202	4352.753	3
850	180	171	0.385	8	327.590	4735.893	2
850	190	171	0.385	8	365.000	5143.707	2
850	200	171	0.385	8	404.432	5568.185	2
850	210	171	0.385	8	445.886	6012.047	2
850	220	171	0.385	8	489.363	6440.317	2
900	130	180	0.385	8	170.873	3340.785	4
900	140	180	0.385	8	198.172	3581.551	3
900	150	180	0.385	8	227.493	3863.869	3
900	160	180	0.385	8	258.83	4189.373	3
900	170	180	0.385	8	292.202	4542.023	3
900	180	180	0.385	8	327.590	4937.027	2
900	190	180	0.385	8	365.000	5360.036	2
900	200	180	0.385	8	404.432	5803.246	2
900	210	180	0.385	8	445.886	6258.072	2
900	220	180	0.385	8	489.363	6725.940	2
900	230	180	0.385	8	534.861	7174.760	2
950	140	192	0.385	8	198.172	3705.765	3
950	150	192	0.385	8	227.493	3991.079	3
950	160	192	0.385	8	258.836	4321.556	3
950	170	192	0.385	8	292.202	4681.048	3
950	180	192	0.385	8	327.590	5084.553	2
950	190	192	0.385	8	365.000	5518.388	2
950	200	192	0.385	8	404.432	5975.054	2
950	210	192	0.385	8	445.886	6446.069	2
950	220	192	0.385	8	489.363	6934.506	2
950	230	192	0.385	8	534.861	7403.738	2
950	240	192	0.385	8	582.382	7865.139	1
1000	150	201	0.385	8	227.493	4161.575	3
1000	160	201	0.385	8	258.836	4497.380	3
1000	170	201	0.385	8	292.202	4864.898	2
1000	180	201	0.385	8	327.590	5278.380	2
1000	190	201	0.385	8	365.000	5725.113	2
1000	200	201	0.385	8	404.432	6197.808	2
1000	210	201	0.385	8	445.886	6688.272	2

1000	220	201	0.385	8	489.363	7187.486	2
1000	230	201	0.385	8	534.861	7696.443	1
1000	240	201	0.385	8	582.382	8185.519	1
1000	250	201	0.385	8	631.925	8659.385	1
1100	170	222	0.385	8	292.202	5179.996	2
1100	180	222	0.385	8	327.590	5609.221	2
1100	190	222	0.385	8	365.000	6076.241	2
1100	200	222	0.385	8	404.432	6574.465	2
1100	210	222	0.385	8	445.886	7095.961	2
1100	220	222	0.385	8	489.363	7631.938	2
1100	230	222	0.385	8	534.861	8187.181	1
1100	240	222	0.385	8	582.382	8720.182	1
1100	250	222	0.385	8	631.925	9246.706	1
1100	260	222	0.385	8	683.490	9753.060	1
1100	270	222	0.385	8	737.077	10234.329	1
1200	180	240	0.385	8	327.590	5979.362	2
1200	190	240	0.385	8	365.000	6466.234	2
1200	200	240	0.385	8	404.432	6989.540	2
1200	210	240	0.385	8	445.886	7541.863	2
1200	220	240	0.385	8	489.363	8114.653	1
1200	230	240	0.385	8	534.861	8698.778	1
1200	240	240	0.385	8	582.382	9298.159	1
1200	250	240	0.385	8	631.925	9874.504	1
1200	260	240	0.385	8	683.490	10439.852	1
1200	270	240	0.385	8	737.077	10982.223	1
1200	280	240	0.385	8	792.687	11497.301	1
1200	290	240	0.385	8	850.318	11980.435	1
1200	300	240	0.385	8	909.972	12429.022	1
1300	200	261	0.385	8	404.432	7339.794	2
1300	210	261	0.385	8	445.886	7916.213	2
1300	220	261	0.385	8	489.363	8517.983	1
1300	230	261	0.385	8	534.861	9136.060	1
1300	240	261	0.385	8	582.382	9761.098	1
1300	250	261	0.385	8	631.925	10395.605	1
1300	260	261	0.385	8	683.490	11007.056	1
1300	270	261	0.385	8	737.077	11600.744	1
1300	280	261	0.385	8	792.687	12169.120	1
1300	290	261	0.385	8	850.318	12707.443	1
1300	300	261	0.385	8	909.972	13211.732	1
1300	310	261	0.385	8	971.648	13680.109	1
1300	320	279	0.385	8	445.886	8332.903	2
1400	220	279	0.385	8	489.363	8964.323	1
1400	230	279	0.385	8	534.861	9617.432	1
1400	240	279	0.385	8	582.382	10282.791	1
1400	250	279	0.385	8	631.925	10966.618	1
1400	260	279	0.385	8	683.490	11625.082	1

1400	270	279	0.385	8	737.077	12272.444	1
1400	280	279	0.385	8	792.687	12897.962	1
1400	290	279	0.385	8	850.318	13495.420	1
1400	300	279	0.385	8	909.972	14060.468	1
1400	310	279	0.385	8	971.648	14589.769	1
1400	320	279	0.385	8	1035.346	15081.439	1
1400	330	279	0.385	8	1101.066	15534.486	1
1400	340	279	0.385	8	1168.808	15948.704	1
1500	230	298	0.385	8	534.861	10061.415	1
1500	240	298	0.385	8	582.382	10762.213	1
1500	250	298	0.385	8	631.925	11470.573	1
1500	260	298	0.385	8	683.490	12190.911	1
1500	270	298	0.385	8	737.077	12886.182	1
1500	280	298	0.385	8	792.687	13563.441	1
1500	290	298	0.385	8	850.318	14215.201	1
1500	300	298	0.385	8	909.972	14836.082	1
1500	310	298	0.385	8	971.648	15422.001	1
1500	320	298	0.385	8	1035.346	15970.779	1
1500	330	298	0.385	8	1101.066	16480.298	1
1500	340	298	0.385	8	1168.808	16950.083	1
1500	350	298	0.385	8	1238.573	17380.296	1
1500	360	298	0.385	8	1310.360	17772.534	1

EK E :

#Tüm kütüphanelerin atanması:

#1- k-NN 2- Loj.Bağ. 3- Dest.Vekt.Mak. 4- Kar.Ağa. 5- Rast.Orm. 6- Grad.Art.

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import sklearn.metrics as metrics
```

```
import pandas as pd
```

```
import numpy as np
```

```
%matplotlib inline
```

#Tüm modellerin atanması:

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
```

```
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
```

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
```

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
```

```
from sklearn.model_selection import cross_val_score
```

```
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
```

```
from sklearn.metrics import f1_score
```

```
from sklearn.metrics import accuracy_score
```

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error
```

```
from sklearn.metrics import r2_score
```

```
from sklearn.metrics import plot_confusion_matrix
```

```
from sklearn.metrics import classification_report, confusion_matrix
```

```
from sklearn import model_selection
```

```
from sklearn import svm
```

```
from sklearn import tree
```

```
from sklearn import ensemble
```

#Eğitim veri setinin atanması:

#Dort 0.10m=1 0.15m=2 0.20m=3 0.25m=4 0.30m=5 0.35m=6

```
names=['B','BL','Tr','Gv','Toyp','Fy','Keff','Dave']
```

```
df=pd.read_table('trnCase2.txt',names=names,header=None)
```

```
df.head()
```

```

#Eğitim veri seti için temizlik kontrolü:
df.isnull().sum()
X=df.iloc[:,0:-1]
Y=df.iloc[:, -1:]
Y=np.ravel(Y)
X_train,X_test,y_train,y_test=train_test_split(X,Y,test_size=0.20,random_state=42)
#Belirlenen çapraz doğrulama oranına göre en iyi k-komşuluk sayısı:
neighbors = list(range(1, 15, 1))
cv_scores = []
for k in neighbors:
    knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=k)
    scores = cross_val_score(knn, X_train, y_train, cv=5, scoring='accuracy')
    cv_scores.append(scores.mean())
    mse = [1 - x for x in cv_scores]
optimal_k = neighbors[mse.index(min(mse))]
#Belirlenen cv'ye göre en düşük doğrulama hatası aşağıdaki k'dadır.
print("En iyi komşuluk sayısı: ".format(optimal_k))
plt.plot(neighbors, mse)
plt.xlabel("K Komşuluk Sayısı")
plt.ylabel("Yanlış Sınıflandırma Hatası")
plt.show()
scores = cross_val_score(knn, X_train, y_train, cv=5, scoring='accuracy')
#k-NN modeli için en uygun K değeri'nin bulunması:
egitim_dogruluk=[]
test_dogruluk=[]
komsuluk_sayisi = range(1,15,1)
for n_komsuluk in komsuluk_sayisi:
    knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=n_komsuluk)
    knn.fit(X_train, y_train)
    egitim_dogruluk.append(knn.score(X_train, y_train))
    test_dogruluk.append(knn.score(X_test, y_test))
plt.plot(komsuluk_sayisi,egitim_dogruluk,label='Eğitim Doğruluk')
plt.plot(komsuluk_sayisi,test_dogruluk,label='Test Doğruluk')

```

```

plt.ylabel("Doğruluk")
plt.xlabel("n-komşuluk")
plt.legend()
#k-NN:
knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=3)
knn.fit(X_train, y_train)
y_pred = knn.predict(X_test)
result = knn.score(X_test, y_test)
print("Accuracy:
#Hata matrisi: -k-NN
matrix=plot_confusion_matrix(knn,X_test,y_test,cmap=plt.cm.Red)
matrix.ax_.set_title('Confusion Matrix',color='black')
plt.xlabel('Predicted Label',color='black')
plt.ylabel('True Label',color='black')
plt.gcf().axes[0].tick_params(colors='black')
plt.gcf().axes[1].tick_params(colors='black')
plt.gcf().set_size_inches(10,6)
plt.show()
print(classification_report(y_test, y_pred))
r2_score(y_test,y_pred)
mean_squared_error(y_test,y_pred)
#Lojistik Bağlanım:
model = LogisticRegression(solver='lbfgs', multi_class='ovr',max_iter=1000)
model.fit(X_train, y_train)
y_pred=model.predict(X_test)
param_grid = ['penalty' : ['l2'],
               'C' : np.logspace(-4, 4, 10),
               'solver' : ['lbfgs'],
               'max_iter' : [1000]]
log = GridSearchCV(model, param_grid = param_grid, cv=5)
best_log = log.fit(X_train,y_train)
best_log.best_estimator_
result = log.score(X_test, y_test)

```

```

print("Accuracy: %.2f%%" % (result*100.0))
#Hata matrisi: - Lojistik Bağlanım
matrix=plot_confusion_matrix(log,X_test,y_test,cmap=plt.cm.Reds)
matrix.ax_.set_title('Confusion Matrix',color='black')
plt.xlabel('Predicted Label',color='black')
plt.ylabel('True Label',color='black')
plt.gcf().axes[0].tick_params(colors='black')
plt.gcf().axes[1].tick_params(colors='black')
plt.gcf().set_size_inches(10,6)
plt.show()
print(classification_report(y_test, y_pred))
r2_score(y_test,y_pred)
mean_squared_error(y_test,y_pred)
#Destek Vektör Makineleri:
classifier=svm.SVC(kernel='linear',gamma='auto',C=2)
classifier.fit(X_train,y_train)
y_pred=classifier.predict(X_test)
result=classifier.score(X_test,y_test)
print("Accuracy: %.2f%%" % (result*100.0))
#Hata matrisi: -Destek Vektör Makineleri
matrix=plot_confusion_matrix(classifier,X_test,y_test,cmap=plt.cm.Reds)
matrix.ax_.set_title('Confusion Matrix',color='black')
plt.xlabel('Predicted Label',color='black')
plt.ylabel('True Label',color='black')
plt.gcf().axes[0].tick_params(colors='black')
plt.gcf().axes[1].tick_params(colors='black')
plt.gcf().set_size_inches(10,6)
plt.show()
print(classification_report(y_test, y_pred))
r2_score(y_test,y_pred)
mean_squared_error(y_test,y_pred)
#Karar Ağaçları:
dt_clf=tree.DecisionTreeClassifier(max_depth=5)

```

```

dt_clf.fit(X_train,y_train)
dt_clf.score(X_test,y_test)
y_pred=dt_clf.predict(X_test)
dt_clf.score(X_test,y_test)
#Hata matrisi: -Karar Ağaçları
matrix=plot_confusion_matrix(dt_clf,X_test,y_test,cmap=plt.cm.Red)
matrix.ax_.set_title('ConfusionMatrix',color='black')
plt.xlabel('Predicted Label',color='black')
plt.ylabel('True Label',color='black')
plt.gcf().axes[0].tick_params(colors='black')
plt.gcf().axes[1].tick_params(colors='black')
plt.gcf().set_size_inches(10,6)
plt.show()
print(classification_report(y_test, y_pred))
r2_score(y_test,y_pred)
mean_squared_error(y_test,y_pred)
#Rastgele Orman:
rfc=RandomForestClassifier(random_state=42)
rfc.fit(X_train, y_train)
param_grid = 'n_estimators': [35],
              'max_features': ['auto'],
              'max_depth' : [8],
              'criterion' :['gini']
CV_rfc = GridSearchCV(estimator=rfc, param_grid=param_grid, cv= 5)
CV_rfc.fit(X_train, y_train)
CV_rfc.best_params_
rfc1=RandomForestClassifier(random_state=42, max_features='auto', n_estimators=
35,
max_depth=8,criterion='gini')
rfc1.fit(X_train, y_train)
y_pred=rfc1.predict(X_test)
result=rfc1.score(X_test,y_test)
print("Accuracy: %.2f%%" % (result*100.0))

```

```

#Hata matrisi: -Rastgele Orman
matrix=plot_confusion_matrix(rfc1,X_test,y_test,cmap=plt.cm.Red)
matrix.ax_.set_title('Confusion Matrix',color='black')
plt.xlabel('Predicted Label',color='black')
plt.ylabel('True Label',color='black')
plt.gcf().axes[0].tick_params(colors='black')
plt.gcf().axes[1].tick_params(colors='black')
plt.gcf().set_size_inches(10,6)
plt.show()
print(classification_report(y_test, y_pred))
r2_score(y_test,y_pred)
mean_squared_error(y_test,y_pred)
#Gradyan Artırma:
gb_clf=ensemble.GradientBoostingClassifier()
gb_clf.fit(X_train,y_train)
y_pred=gb_clf.predict(X_test)
gb_clf.score(X_test,y_test)
gb_clf.predict([[1000,230,248,0.385,8,534.861,6754.354]])
#Hata matrisi: -Gradyan Artırma
matrix=plot_confusion_matrix(gb_clf,X_test,y_test,cmap=plt.cm.Red)
matrix.ax_.set_title('Confusion Matrix',color='black')
plt.xlabel('Predicted Label',color='black')
plt.ylabel('True Label',color='black')
plt.gcf().axes[0].tick_params(colors='black')
plt.gcf().axes[1].tick_params(colors='black')
plt.gcf().set_size_inches(10,6)
plt.show()
print(classification_report(y_test, y_pred))
r2_score(y_test,y_pred)
mean_squared_error(y_test,y_pred)

```

EK F :

Eşdeğer deprem yükü metoduyla SAP2000 v20 yazılımıyla elde edilen veriler ile depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binalar'ın tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar oluşmamış, bunlarla ilgili TBDY 2018 bölüm 3.6'daki tanımlamalar eşliğinde tüm koşullar sağlanmıştır (Şekil F.1).

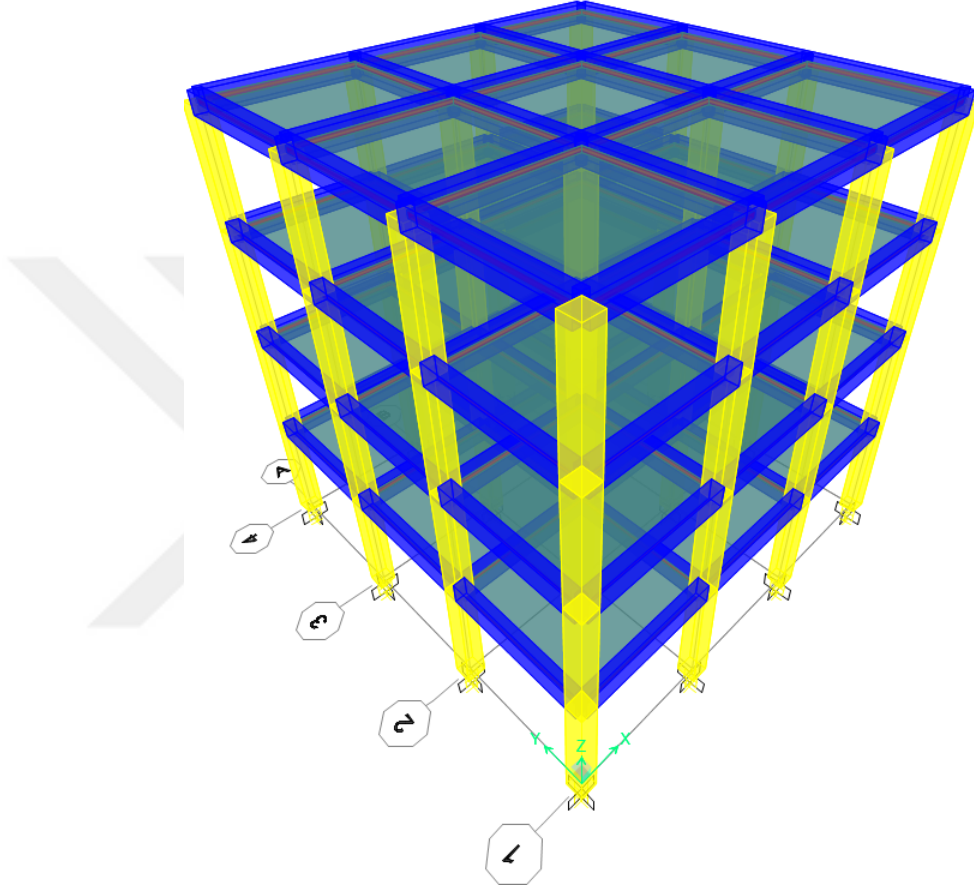
1. KAT						Etkin Göreli Kat Ötelemesi			
X1-K1	EDY	0.016832	YA-K1	EDY	-2.7E-15		x	y	
X2-K1	EDY	0.016832	YB-K1	EDY	-2.1E-15	Sınır Kats	0.0050	0.0050	$\Delta_{max} < \Delta_{sınır}$
X3-K1	EDY	0.016832	YC-K1	EDY	-1.5E-15	$\Delta_{sınır}$	0.02	0.02	
X4-K1	EDY	0.016832	YD-K1	EDY	-9.2E-16	Δ_{max}	0.016832	-9.231E-16	
	Δ_{max}	0.016832		Δ_{max}	-9.23E-16	A1 - nbi < 1.2 Burulma			
	Δ_{min}	0.016832		Δ_{min}	-2.68E-15	Düz. Yok			
	Δ_{ort}	0.016832		Δ_{ort}	-1.8E-15	max nbi	1		
	nbi	1		nbi	0.5123921	dbi	1		
	hi	4		hi	4	<2 olduğundan (B2)			
	Δ_{ort}/hi	0.004208		Δ_{ort}/hi	-4.5E-16	Yumuşak Kat			
	nki alt	-		nki alt	-	Düzensizliği yoktur			
	nki üst	0.855328		nki üst	0.8377354	max nki	0.855328		
2. KAT						Etkin Göreli Kat Ötelemesi			
X1-K2	EDY	0.019679	YA-K2	EDY	-3.3E-15		x	y	
X2-K2	EDY	0.019679	YB-K2	EDY	-2.5E-15	Sınır Kats	0.0050	0.0050	$\Delta_{max} < \Delta_{sınır}$
X3-K2	EDY	0.019679	YC-K2	EDY	-1.8E-15	$\Delta_{sınır}$	0.02	0.02	
X4-K2	EDY	0.019679	YD-K2	EDY	-1E-15	Δ_{max}	0.019679	-1.035E-15	
	Δ_{max}	0.019679		Δ_{max}	-1.04E-15	A1 - nbi < 1.2 Burulma			
	Δ_{min}	0.019679		Δ_{min}	-3.27E-15	Düz. Yok			
	Δ_{ort}	0.019679		Δ_{ort}	-2.15E-15	max nbi	1		
	nbi	1		nbi	0.4812834	dbi	1		
	hi	4		hi	4	<2 olduğundan (B2)			
	Δ_{ort}/hi	0.0049198		Δ_{ort}/hi	-5.38E-16	Yumuşak Kat			
	nki alt	1.1691421		nki alt	1.1936943	Düzensizliği yoktur			
	nki üst	1.0522967		nki üst	1.3298909	max nki	1.3298909		
3. KAT						Etkin Göreli Kat Ötelemesi			
X1-K3	EDY	0.018701	YA-K3	EDY	-2.4E-15		x	y	
X2-K3	EDY	0.018701	YB-K3	EDY	-1.9E-15	Sınır Kats	0.0050	0.0050	$\Delta_{max} < \Delta_{sınır}$
X3-K3	EDY	0.018701	YC-K3	EDY	-1.3E-15	$\Delta_{sınır}$	0.02	0.02	
X4-K3	EDY	0.018701	YD-K3	EDY	-7.9E-16	Δ_{max}	0.018701	-7.941E-16	
	Δ_{max}	0.018701		Δ_{max}	-7.94E-16	A1 - nbi < 1.2 Burulma			
	Δ_{min}	0.018701		Δ_{min}	-2.44E-15	Düz. Yok			
	Δ_{ort}	0.018701		Δ_{ort}	-1.62E-15	max nbi	1		
	nbi	1		nbi	0.4910794	dbi	1		
	hi	4		hi	4	<2 olduğundan (B2)			
	Δ_{ort}/hi	0.0046753		Δ_{ort}/hi	-4.04E-16	Yumuşak Kat			
	nki alt	0.9503024		nki alt	0.7519414	Düzensizliği yoktur			
	nki üst	1.5979663		nki üst	1.6770029	max nki	1.6770029		
4. KAT						Etkin Göreli Kat Ötelemesi			
X1-K4	EDY	0.011703	YA-K4	EDY	-1.4E-15		x	y	
X2-K4	EDY	0.011703	YB-K4	EDY	-1.1E-15	Sınır Kats	0.0050	0.0050	$\Delta_{max} < \Delta_{sınır}$
X3-K4	EDY	0.011703	YC-K4	EDY	-8.1E-16	$\Delta_{sınır}$	0.02	0.02	
X4-K4	EDY	0.011703	YD-K4	EDY	-5.1E-16	Δ_{max}	0.011703	-5.125E-16	
	Δ_{max}	0.011703		Δ_{max}	-5.13E-16	A1 - nbi < 1.2 Burulma			
	Δ_{min}	0.011703		Δ_{min}	-1.42E-15	Düz. Yok			
	Δ_{ort}	0.011703		Δ_{ort}	-9.64E-16	max nbi	1		
	nbi	1		nbi	0.5315012	dbi	1		
	hi	4		hi	4	<2 olduğundan (B2)			
	Δ_{ort}/hi	0.0029258		Δ_{ort}/hi	-2.41E-16	Yumuşak Kat			
	nki alt	0.6257954		nki alt	0.5963019	Düzensizliği yoktur			
	nki üst	-		nki üst	-	max nki	0.6257954		

Şekil F.1 : Yapı düzensizlikleri.



EK G :

Bölüm 2.4.4’de şekillerle belirtilen, TBDY 2018’deki tüm uygulama kurallarını kapsayan ve herhangi bir yapı düzensizliği’nin bulunmadığı zemine ankastre bina modeli, SAP2000 v20 ile aşağıdaki gibi tasarımı yapılmıştır (Şekil G.1).

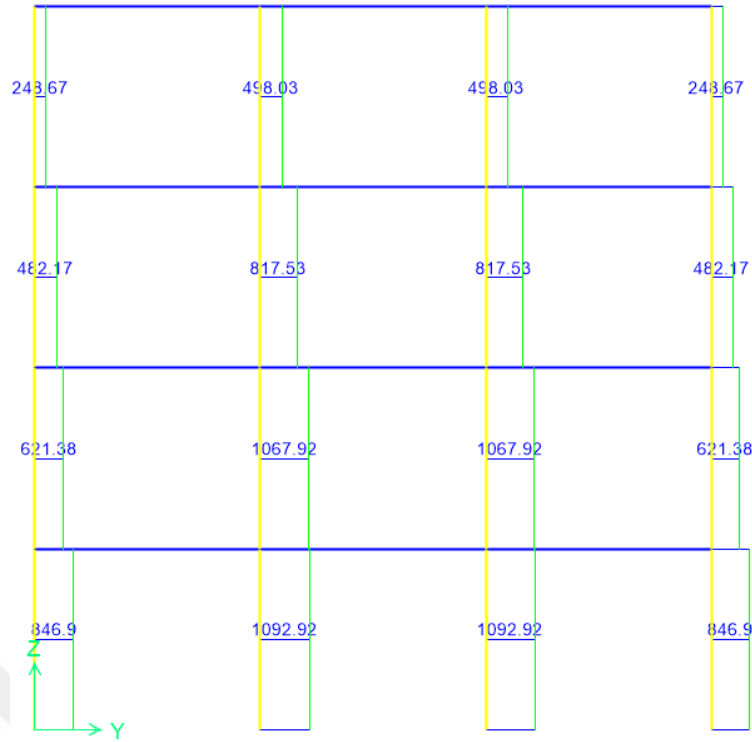


Şekil G.1 : Zemine ankastre mesnetli bina modeli.

Taban yalıtımı uygulaması ile bina’daki hakim titreşim periyodunun, ankastre mesnetli sisteme göre 2.44 kat artış gösterdiği hesaplanmıştır. Bunun sonucu olarak taban yalıtımlı sistemde, spektral ivmeler düşmüş, deprem etkisinde yapıya gelen kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Ayrıca deprem etkisi altındaki bu binada, katlar arasında çok küçük ötelemeler olduğundan rijit cisim davranışı görülmüş, şekil değiştirmeler özellikle deprem yalıtım birimi seviyesinde kalmıştır.

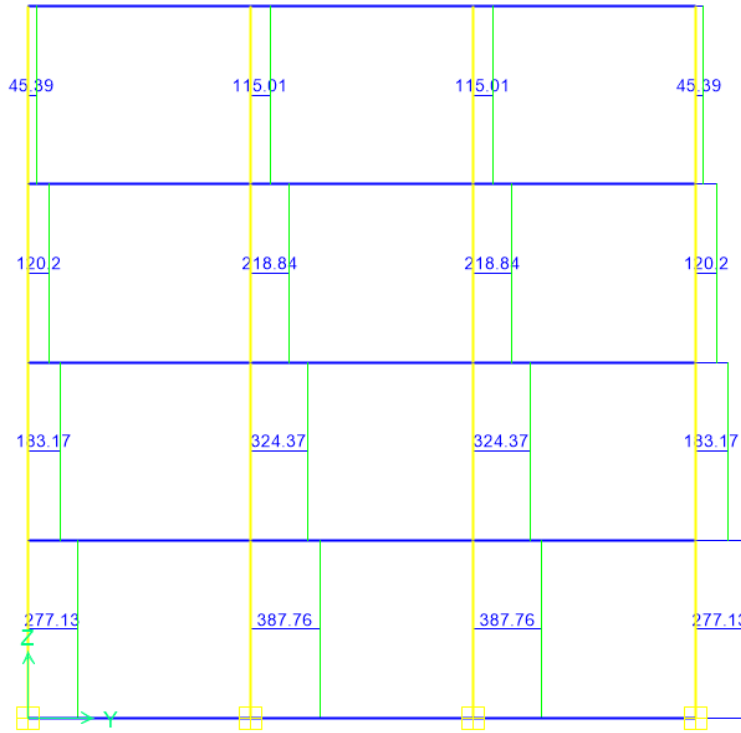
Çizelge G.1 : Zemine ankastre mesnetli ve taban yalıtımlı binaların kıyaslanması.

Taban	EDY (kN)	MBY (kN)	Hakim Periyot (s)
Zemine Ankastre Mesnetli	1277.88	1145.08	0.63166
Taban Yalıtımlı	3838.56	3833.93	2.17393



Şekil G.2 : Zemine ankastre mesnetli bina - kat kesme kuvvetleri.

Bina yüksekliği boyunca kolon uçlarında elde edilen kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil G.2 ile Şekil G.3’de karşılaştırılmıştır. Kurşun çekirdekli kauçuk deprem yalıtım birimleriyle kurulan deprem etkisindeki taban yalıtımlı bina için katlardaki kesme kuvveti değerleri, zemine ankastre binaya göre büyük oranda azalmıştır.



Şekil G.3 : Taban yalıtımlı bina - kat kesme kuvvetleri.

ÖZGEÇMİŞ

Adı SOYADI: Ahmet KARAKAYA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2018, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Lisans, Erasmus +:** 2018, Czestochowa University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering

MESLEKİ DENEYİMLER VE ÖDÜLLER:

- 2016 yılında Malatya’da bulunan Alper Yapı Denetim firması’nda stajını yaptı.
- 2017 yılında Devlet Su İşleri Malatya 92. Şube Müdürlüğü’nde stajını yaptı.