



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TABAN İZOLATÖRLÜ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI

OSMAN FURKAN KILINÇ

Mart 2011

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TABAN İZOLATÖRLÜ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI

OSMAN FURKAN KILINÇ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ersin AYDIN

Mart 2011

Osman Furkan KILINÇ tarafından **Yrd.Doç.Dr. Ersin AYDIN** danışmanlığında hazırlanan “**Taban İzolatörlü Yapıların Deprem Davranışı**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

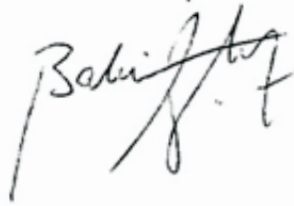
Başkan : Yrd.Doç.Dr. Ersin AYDIN (Danışman, Niğde Üniversitesi)



Üye : Yrd.Doç.Dr. Turan KARABÖRK (Aksaray Üniversitesi)



Üye : Yrd.Doç.Dr. Baki ÖZTÜRK (Niğde Üniversitesi)



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 24.03/2011 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun 27.04/2011 tarih ve 2011/18-03... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

27.04/2011

Doç. Dr. Nurettin ACIR
MÜDÜR

ÖZET

TABAN İZOLATÖRLÜ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI

KILINÇ, Osman Furkan
Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ersin AYDIN

Mart 2011, 114 sayfa

Depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşan temel sismik izolasyon sistemlerinin yapıların davranışı üzerindeki etkileri önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu tez çalışmasında betonarme yapılara eklenen taban izolasyonlarının yapısal davranış üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Az, orta ve yüksek katlı binaları temsilen 4, 10 ve 20 katlı yapı modellerine eklenen sismik izolatörlerin etkileri incelenmiştir. Ayrıca izolatörün rijitliği de düşük, orta ve yüksek olarak üç farklı şekilde değiştirilerek, bu değişimin yapısal davranıştaki etkileri araştırılmıştır. Bolu-Düzce (KG-DB) deprem ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında hesaplar yapılmıştır. Yapısal davranışı temsilen kat yer değiştirmeleri, rölatif kat yer değiştirmeleri, yumuşak kat indeksi olarak tanımlanan rölatif yer değiştirmelerinin oranları, kat mutlak ivmeleri, taban kesme kuvvetleri ve taban eğilme momentleri incelenmiştir. Ayrıca izolatörlü ve izolatörsüz durumlarda yapının ilk üç periyodundaki değişimlerde incelenmiştir. Yapılan sayısal analizler sonucunda görülmüştür ki; izolatörlerin yapısal davranış üzerinde ciddi katkıları vardır.

Anahtar kelime: Taban sismik izolasyon sistemleri, pasif izolasyon, depreme dayanıklı yapı tasarımı.

SUMMARY

SEISMIC RESPONSE OF BASE ISOLATED STRUCTURES

KILINÇ, Osman Furkan

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor :Assistant Professor Dr. Ersin AYDIN

March 2011, 114 pages

The effects of base isolation on seismic response have been an important research area in recent years. In this thesis, the effect of added seismic base isolators on the structural response are investigated. The influences of seismic isolators added to 4-storey, 10-storey and 20-storey structures are ascertained. The stiffnesses of the isolators for three cases, which are low, moderate, high stiffness, are changed and the effects on the structural response are studied. Time history analyses are performed by using Bolu-Düzce (NS-EW) earthquake ground motion records. The structural responses are defined as storey displacements, interstorey drifts, soft storey index that is defined as the interstorey drift ratio, storey absolute accelerations, base shears, base moments. The variation of first-three periods of the structural models according to added seismic isolators are also analyzed. It can be seen from the numerical analysis that the isolators make an important contribution on the structural response.

Keywords: Base isolations systems, passive isolation, earthquake resistant structural design.

ÖNSÖZ

Yaşanılan son depremlerden depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini bir daha ortaya koymuştur. Geleneksel tasarım yapıların dayanımının artırılması yönünde iken, yaklaşık son 20-25 yıl içinde ortaya çıkan yapısal kontrol sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Taban izolasyon sistemleri, pasif, aktif, yarı aktif ve karma yapı kontrol sistemleri, pek çok yapıya uygulanmış ve yaşanan depremlerde oldukça iyi performans göstermişlerdir.

Ülkemizde de uygulamaları başlayan bu sistemlerin, gelecekte daha da yaygınlaşacağı bir gerçektir. Yapısal kontrol sistemlerinin elemanları olan, izolatörler, pasif, aktif ve yarı aktif sönümleyicilerin yerli üretimi ile kullanımları daha da artacaktır. Bu konuda teknik alt yapının da hazır olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, yapıların temellerine yerleştirilen yüksek sönümlü izolatörlerin yapısal davranış üzerindeki etkileri, izolatör rijitliğinin ve kat yüksekliğinin buna etkileri araştırılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıŐtır.

Bu çalıŐmayı yürüten, engin bilgilerinden faydalandığım ve bana her konuda desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Ersin AYDIN'a,

Hayatım boyunca yanımda olan, liderlik yapan ve ufkumu geniŐleten babam Ali KILINÇ'a,

Her zaman varlıklarından onur duyduğum tüm aile fertlerime,

Yüksek Lisans hayatımda beni yalnız bırakmayan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Bursa Osmangazi Belediyesi Fen İşleri Müdürü Yücel BEŐLİ ve çalışma arkadaşlarım'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
ÖNSÖZ	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xix
KISALTMA VE SİMGELER	xx
BÖLÜM I. DEPREM VE SİSMİK İZOLASYON	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Pasif Enerji Sönümleyiciler.....	3
1.2.1 Metalik sönümleyiciler.....	4
1.2.2 Sürtünme tipi sönümleyiciler.....	4
1.2.3 Visko elastik sönümleyiciler.....	5
1.2.4 Viskoz akışkanlı sönümleyiciler.....	7
1.2.5 Ayarlı kütle sönümleyicileri.....	8
1.3 Sismik İzolatör Türleri.....	10

1.3.1 Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler.....	10	
1.3.2 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler.....	10	
1.3.3 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler.....	11	
1.3.4 Kayma tipi izolatörler.....	11	
1.3.5 Yaylar.....	12	
1.4 Yapısal Aktif ve Yarı-Aktif Kontrol.....	13	
1.4.1 Aktif kontrol.....	13	
1.4.2 Yarı aktif kontrol.....	14	
1.4.3 Karma kontrol.....	15	
1.5 Deprem İzolatör (Sismik Yalıtım) Sistemleri.....	16	
1.5.1 Sismik izolasyon kullanımındaki amaçlar.....	17	
1.5.2 Sismik izolasyon sisteminin yararları ve sonuçları.....	23	
1.5.3 Kullanılması uygun olmayan durumlar.....	24	
BÖLÜM II İZOLATÖRLÜ SİSTEMİN SAP2000 YAPI ANALİZ PROGRAMINDA		
MODELLENMESİ		25
2.1 Sistem Modelinin Oluşturulması.....	25	
2.2 Mesnet Koşullarının Tanımlanması.....	26	
2.3 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması.....	27	
2.4 Kesit Özelliklerinin Tanımlanması ve Çubuklara Atanması.....	28	
2.5 Sisteme Deprem Datalarının Etki Ettirilmesi.....	32	

2.6 Sistemin Analizinin Yapılması.....	33
2.7 Sönümleyici (Link Elaman) Tanımlanması ve Sisteme Atanması.....	37
2.8 Yeniden Sistem Analizinin Yapılması.....	40
2.9 Sonuçların Görüntülenmesi (Deplasman ve İvme Değerlerinin Alınması).....	40
2.10 Taban Kesme Kuvvetlerinin ve Eğilme Momentlerinin Belirlenmesi.....	43
2.11 Kat İvmelerinin Belirlenmesi.....	44
BÖLÜM III DAVRANIŞIN SAYISAL ÇÖZÜMÜ İÇİN NEWMARK-β YÖNTEMİ	
3.1 Giriş.....	45
3.2 Sabit İvme.....	46
3.3 Sabit Ortalama İvme.....	46
3.4 Lineer İvme.....	47
BÖLÜM IV KAUÇUK İZOLATÖRLÜ ÖRNEK YAPI MODELLERİNİN DİNAMİK	
ANALİZİ	51
4.1 4 Katlı Model Yapı.....	55
4.1.1 Düşük rijitlikli kauçuk izolator (4 katlı yapı).....	56
4.1.2 Orta rijitlikli kauçuk izolator (4 katlı yapı).....	61
4.1.3 Yüksek rijitlikli kauçuk izolator (4 katlı yapı).....	67
4.2 10 Katlı Model Yapı.....	72
4.2.1 Düşük rijitlikli kauçuk izolator (10 katlı yapı).....	73
4.2.2 Orta rijitlikli kauçuk izolator (10 katlı yapı).....	78

4.2.3 Yüksek rijitlikli kauçuk izolatör (10 katlı yapı).....	83
4.3 20 Katlı Model Yapı.....	88
4.3.1 Düşük rijitlikli kauçuk izolatör (20 katlı yapı).....	89
4.3.2 Orta rijitlikli kauçuk izolatör (20 katlı yapı).....	96
4.3.3 Yüksek rijitlikli kauçuk izolatör (20 katlı yapı).....	104
BÖLÜM V SONUÇLAR	111
KAYNAKLAR	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Yapısal kontrol sistemleri.....	3
Çizelge 4.1	Yüksek sönümlü kauçuk yatakların karakteristik özellikleri.....	52
Çizelge 4.2	İzolatörlü ve izolatörsüz yapıların periyotları.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	X Şekli ADAS metalik sönümleyicisi.....	4
Şekil 1.2	Sürtünme tipi sönümleyici.....	5
Şekil 1.3	(a) Visko-elastik sönümleyici (b) Dünya ticaret merkezi (c) Visko-elastik sönümleyicilerin yerleşim detayı.....	6
Şekil 1.4	TMD'nin mekanik modeli.....	9
Şekil 1.5	Aktif kütle sönümleyicilerin yerleştirildiği bina.....	14
Şekil 1.6	Enerji sönümleyici sistem.....	16
Şekil 1.7	Taban izolasyon sistemi.....	16
Şekil 1.8	Taban izolatör modeli.....	18
Şekil 1.9	Doğu-batı kesiti.....	20
Şekil 2.1	Sistem türünün oluşturulması.....	25
Şekil 2.2	Sistem boyutlarının girilmesi.....	26
Şekil 2.3	Mesnet koşullarının girilmesi.....	27
Şekil 2.4	Malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	28
Şekil 2.5	Kesit özelliklerinin tanımlanması.....	28
Şekil 2.6	Kesit özelliklerinin tanımlanması.....	29
Şekil 2.7	Kesiti özelliklerinin tanımlanması.....	29
Şekil 2.8	Kesit özelliklerinin tanımlanması.....	30
Şekil 2.9	Kesit özelliklerinin tanımlanması.....	30
Şekil 2.10	Kesit özelliklerinin tanımlanması.....	31
Şekil 2.11	Kesit özelliklerinin tanımlanması.....	31
Şekil 2.12	Deprem datalarının atanması (Düzce DB).....	32
Şekil 2.13	Deprem datalarının atanması (Düzce KG).....	33
Şekil 2.14	Sistemin analizinin yapılması.....	33

Şekil 2.15	İzolatörsüz yapı için 2. kat deplasman.....	34
Şekil 2.16	İzolatörsüz yapı için 3. kat deplasman.....	34
Şekil 2.17	İzolatörsüz yapı için 4. kat deplasman.....	35
Şekil 2.18	İzolatörsüz yapı için 5. kat deplasman.....	35
Şekil 2.19	Load Case Data tanımlanması.....	36
Şekil 2.20	İzolatörlerin tanımlanması.....	37
Şekil 2.21	İzolatörün özelliklerinin tanımlanması.....	38
Şekil 2.22	İzolatörün özelliklerinin tanımlanması.....	38
Şekil 2.23	İzolatörün özelliklerin tanımlanması.....	39
Şekil 2.24	İzolatörlerin atanması.....	39
Şekil 2.25	Nokta atanması.....	40
Şekil 2.26	Deplasmanı okunacak noktaların atanması.....	40
Şekil 2.27	Deplasman yönlerinin belirlenmesi.....	41
Şekil 2.28	1'inci kattaki deplasman.....	41
Şekil 2.29	2'inci kattaki deplasman.....	41
Şekil 2.30	3'üncü kattaki deplasman.....	42
Şekil 2.31	4'üncü kattaki deplasman.....	42
Şekil 2.32	5'inci kattaki deplasman.....	43
Şekil 2.33	Taban kesme kuvvetlerinin ve momentlerinin belirlenmesi.....	43
Şekil 2.34	Taban kesme kuvvetlerinin gösterilmesi.....	43
Şekil 2.35	Kat ivmeleri için nokta atanması.....	44
Şekil 2.36	Nihai ivmelerin gösterilmesi.....	44
Şekil 4.1	(a) 4 Katlı betonarme model yapı (b) 10 Katlı betonarme model yapı (c) 20 Katlı betonarme model yapı.....	51
Şekil 4.2	1999 Düzce deprem ivme kaydı (a) Kuzey-Güney doğrultusunda (b) Doğu-Batı doğrultusunda.....	52

Şekil 4.3	4 Katlı yapı periyotları.....	54
Şekil 4.4	10 Katlı yapı periyotları.....	54
Şekil 4.5	20 Katlı yapı periyotları.....	55
Şekil 4.6	4 Katlı betonarme yapı modeli (a) Ankastre mesnetli (b) İzolatörlü.	55
Şekil 4.7	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	56
Şekil 4.8	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	56
Şekil 4.9	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları.	57
Şekil 4.10	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları.	57
Şekil 4.11	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	58
Şekil 4.12	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	58
Şekil 4.13	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi.	59
Şekil 4.14	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi.	59
Şekil 4.15	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	60
Şekil 4.16	İzolatörlü ve İzolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	60
Şekil 4.17	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	61
Şekil 4.18	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	62
Şekil 4.19	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	62
Şekil 4.20	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları.	62
Şekil 4.21	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları.	63
Şekil 4.22	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	63
Şekil 4.23	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	64
Şekil 4.24	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi.	64
Şekil 4.25	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi.	65
Şekil 4.26	İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	65

Şekil 4.27	İzolotörlü ve İzolotörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	66
Şekil 4.28	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	66
Şekil 4.29	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	67
Şekil 4.30	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	67
Şekil 4.31	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları...	68
Şekil 4.32	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları...	68
Şekil 4.33	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	69
Şekil 4.34	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	69
Şekil 4.35	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	70
Şekil 4.36	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	70
Şekil 4.37	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	71
Şekil 4.38	İzolotörlü ve İzolotörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	71
Şekil 4.39	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	71
Şekil 4.40	10 Katlı betonarme yapı modeli (a) Ankastre mesnetli (b) İzolotörlü..	72
Şekil 4.41	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	73
Şekil 4.42	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	73
Şekil 4.43	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları....	74
Şekil 4.44	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları....	74
Şekil 4.45	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	75
Şekil 4.46	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	75
Şekil 4.47	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	76
Şekil 4.48	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	76
Şekil 4.49	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	77
Şekil 4.50	İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	77

Şekil 4.51	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	77
Şekil 4.52	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	78
Şekil 4.53	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	78
Şekil 4.54	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları...	79
Şekil 4.55	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları...	79
Şekil 4.56	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	80
Şekil 4.57	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	80
Şekil 4.58	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	81
Şekil 4.59	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	81
Şekil 4.60	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	82
Şekil 4.61	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	82
Şekil 4.62	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	83
Şekil 4.63	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	83
Şekil 4.64	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	84
Şekil 4.65	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları....	84
Şekil 4.66	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları....	85
Şekil 4.67	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	85
Şekil 4.68	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	86
Şekil 4.69	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	86
Şekil 4.70	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	87
Şekil 4.71	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	87
Şekil 4.72	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	88
Şekil 4.73	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	88
Şekil 4.74	20 Katlı betonarme yapı modeli (a) Ankastre mesnetli (b) İzolatörlü..	89

Şekil 4.75	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	89
Şekil 4.76	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	90
Şekil 4.77	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları...	90
Şekil 4.78	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları...	91
Şekil 4.79	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	91
Şekil 4.80	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	92
Şekil 4.81	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	92
Şekil 4.82	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	93
Şekil 4.83	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	93
Şekil 4.84	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	94
Şekil 4.85	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	94
Şekil 4.86	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	95
Şekil 4.87	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	95
Şekil 4.88	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	95
Şekil 4.89	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	96
Şekil 4.90	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	97
Şekil 4.91	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları...	97
Şekil 4.92	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları...	98
Şekil 4.93	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	98
Şekil 4.94	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	99
Şekil 4.95	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	100
Şekil 4.96	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi...	100
Şekil 4.97	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	101
Şekil 4.98	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi...	101

Şekil 4.99	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	102
Şekil 4.100	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	102
Şekil 4.101	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	103
Şekil 4.102	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	103
Şekil 4.103	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları.....	104
Şekil 4.104	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları.....	104
Şekil 4.105	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları...	105
Şekil 4.106	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları...	105
Şekil 4.107	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi.....	106
Şekil 4.108	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi.....	106
Şekil 4.109	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi..	107
Şekil 4.110	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi..	107
Şekil 4.111	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi..	108
Şekil 4.112	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi..	108
Şekil 4.113	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	109
Şekil 4.114	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi.....	109
Şekil 4.115	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri.....	110
Şekil 4.116	İzolotörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri.....	110

FOTOĞRAF VB. MALZEMELER DİZİNİ

Fotoğraf 1.1	SUT binası.....	7
Fotoğraf 1.2	Viskoz akışkanlı sönümleyici.....	8
Fotoğraf 1.3	Viskoz akışkanlı sönümleyici uygulaması.....	8
Fotoğraf 1.4	Millennium köprüsü, Londra.....	9
Fotoğraf 1.5	Düşük sönümlü kauçuk izolatörler.....	10
Fotoğraf 1.6	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör.....	11
Fotoğraf 1.7	Kayma tipi izolatör.....	12
Fotoğraf 1.8	San Francisco ve Atatürk uluslararası hava terminali.....	12
Fotoğraf 1.9	Yaylı sistem.....	13
Fotoğraf 1.10	MR sönümleyici.....	15
Fotoğraf 1.11	Auto Zone yönetim binası.....	20

KISALTMA VE SİMGELER

KISALTMA/SİMGE

m	Kütle
c	Sönüm katsayısı
k	Rijitlik katsayısı
x	Deplasman
\dot{x}	Hız
\ddot{x}	İvme
$F_e(t)$	Dış kuvvet
ζ	Sönüm oranı
W	Dairesel serbest titreşim frekansı
t	Zaman
Δt	Zaman aralığı
s	Mesafe
DB	Doğu-Batı
KG	Kuzey-Güney
δ_N, β_N	Newmark- β metodu sabitleri
F_N	Katsayılar matrisi
H_N	Katsayılar vektörü
T	Titreşim periyodu
\ddot{x}_g	Yer ivmesi
Ri	Rölatif kat deplasmanı
Ni	Yumuşak kat indeksi

BÖLÜM I

DEPREM VE SİSMİK İZOLASYON

1.1 Giriş

Yüzölçümünün % 95'i aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizin, günümüze kadar deprem afetinden büyük zararlar gördüğü, hatta geçmiş yüzyıllarda Anadolu'da bulunan bazı medeniyetlerin deprem felaketinde yok olduğu bilinmektedir. Deprem, önlenemeyen ve ne zaman geleceği önceden kesin olarak bilinemeyen bir doğal olaydır. Yapılması gereken, depremi tanımakla birlikte zararların en aza indirmek için depreme dayanıklı yapı tasarlamak ve uygulamaktır. 1999 yılında Marmara bölgesinde meydana gelen depremler, ülkemizde inşa edilen binaların çoğunun gereken dayanıma sahip olmadığını göstermiştir.

Deprem hasarına sebep olarak bilgisizlik veya imkansızlık gibi nedenler ileri sürmek gerçekçi değildir. Proje ve yapım aşamasında, süregelen yanlışlıklar bu afetlerden gereken dersin çıkarılmadığını göstermektedir.

Depremde hasar gören yapıların büyük çoğunluğunun betonarme binalar olduğu bilinmektedir. Bazı dezavantajlar olmasına rağmen doğru projelendirildiği ve uygulandığı takdirde betonarme ile depreme dayanıklı yapı sistemi imal etmek mümkündür.

Binanın taşıyıcı sistem seçiminde en önemli faktör, deprem ve rüzgar kuvvetlerinin meydana getirdiği yatay yüklerdir. Deprem ve rüzgar kuvvetlerinin binalarımıza verebileceği hasarı önlemek için en uygun sistemi binalarımızda uygulamalıyız. Her bir sistemin kendine özgü olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için betonarme malzeme özelliklerinin, taşıyıcı sistem özelliklerinin ve yapı dinamiğinin mühendislerce iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Bina yapımında ve güçlendirme projesi hazırlaması için statik proje hazırlama tecrübesi ve afet yönetmeliğinin tam olarak bilinmesi gereklidir, ancak yeterli değildir. Yapılan binanın özelliklerinin, statik ve dinamik davranışın nasıl etkilendiğinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılan binaya uygulanması ve güçlendirme tekniğinin uygulanması, yapının deprem kuvvetleri karşısında daha olumlu bir duruma düşmesine sebep olabilir [1].

Konu ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Pınarbaşı ve Akyüz, sismik izolasyon hakkında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Sismik izolasyon yöntemindeki amacın zemin ile yapı tabanı arasına esnek enerji sönümleyici elemanlar yerleştirilerek zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Sismik izolasyon yönteminin ana felsefesi, bir izolasyon sisteminin sahip olması gereken temel koşullar ve başlıca uygulama alanları kısaca özetlendikten sonra bu teknikte sıkça kullanılan elastomerik yastıkların önemli özellikleri tanımlanarak ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda bu tip yastıklar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sunulmuştur [2].

Konu ile ilgili başka bir çalışmada Özden tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da sismik izolasyon hakkında deneyler yapılmıştır. Özden bu sistemin atık yastık lastiklerinin izolatör olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve sonuç olarak; kırsal kesimde bulunan köprü girişleri altında kayıcı mesnet olarak, ve yüksek ağırlığa sahip masif yapılar altında sismik izolatör olarak kullanılabilirliğini belirlemiştir [3].

Ersavaş sismik izolasyonun nasıl uygulandığını, avantajları, dezavantajlarını araştırmış ve sistemin depreme dayanım gücünün çok iyi olduğunu, binaya olan etkisinin çok fazla olduğunu ve uygulama şeklinin de farklı olduğunu belirtmiştir [4].

Akgönen'in çalışmasında depreme dayanıklı yapı tasarımı ve sismik izolasyon sistemiyle bina güçlendirme tekniğinin diğer güçlendirme tekniklerine göre avantajlarını ve dezavantajlarını incelemiştir. Sismik izolasyon yöntemiyle bina güçlendirmesinde inşaat işlerinin azalması, bina model özelliklerinin kolay düzenlenmesi, iç mimariyi bozmaması gibi sonuçlar diğer güçlendirme tekniklerine göre sismik izolasyon tekniğinin üstünlüklerinin olduğunu göstermiştir [1].

Yapı davranışının yarı-aktif yalıtım sistemlerini kullanarak sismik izolasyon sistemindeki yararlarını incelemiştir. Bu incelemede fay etkisinin izolasyon seviyesinde oluşturduğu büyük yer değiştirmeleri azalttığını ve en üst katta oluşan ivme değerleri bakımından karşılaştırıldıklarında, aralarındaki farkın ihmal edilebilecek derecede küçük olduğunu gözlemlemiştir [5].

Bu tez çalışmasında yapılacak olan binaların bir sonraki depremde yıkılmasını veya hasar görmesini önlemek için kullanılan depreme dayanıklı taban izolasyonu yani sismik izolasyon sistemi irdelenmiştir.

Çizelge 1.1 Yapısal kontrol sistemleri [6]

Sismik İzolasyon	Pasif Kontrol	Yarı Aktif ve Aktif Kontrol
Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler	Metalik sönümleyiciler	Aktif kuvvet veren sistemler
Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler	Sürtünme tipi sönümleyiciler	Aktif kütleli sistemler
Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler	Visko elastik sönümleyiciler	Değişken rijitlik ve sönüm veren sistemler
Kayma tipi izolatörler	Viskoz akışkanlı sönümleyiciler	Akıllı malzemeler
Yaylı sistemler	Ayarlı kütle sönümleyicileri	

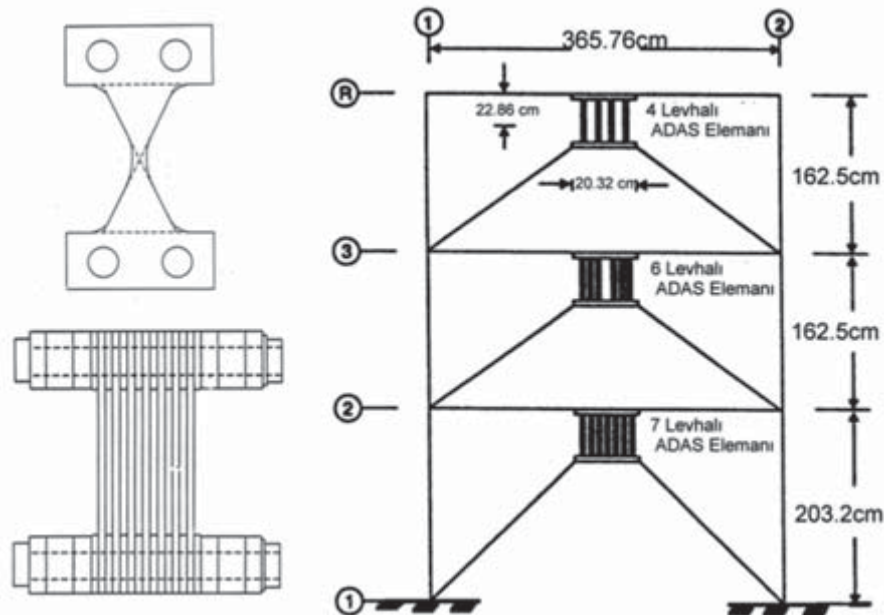
Yapıların korunmasına yönelik modern sistemler Çizelge 1.1’de verildiği gibi üç gruba bölünebilir.

1.2 Pasif Enerji Sönümleyiciler

Dinamik etkilere maruz yapılardaki titreşim enerjisi esas olarak iç sürtünme ve plastik deformasyonlar ile yok edilmektedir. Yapının enerji yutma kapasitesi ne kadar fazla ise titreşimin genliği de o kadar küçük olmaktadır. Tipik çelik yapılarda sönüm oranı %2, betonarme yapılarda ise %5 civarındadır. Titreşimin genliğini azaltmak için yapının enerji yutma kapasitesini artırmak gerekmektedir. Geleneksel yapılarda elemanların kütle ve rijitlik özellikleri belli bir doğruluk derecesi ile modellenenmektedir. Sönüm özelliklerini ise, yapısal elemanların enerji yutma kapasitelerindeki ve ideal olmayan birleşim noktalarının davranışlarındaki belirsizliklerden dolayı karakterize etmek oldukça zordur. Sonuç olarak, analizi basitleştirmek için genelleştirilmiş formda sönümü orantılı olarak kabul etmek yeterli görülmektedir. Bugün, mevcut yapı analizi programları ve tasarım yöntemleri genellikle orantılı sönümü kabul etmektedirler. Pasif enerji sönümleyicili sistemler sönüm, rijitlik ve dayanımı artırıcı özellikteki malzemelerden oluştuğundan, bunlar hem yeni yapılacak yapılarda hem de yaşlı ilerlemiş yapıların veya hasarlı yapıların rehabilitasyonu için de kullanılabilir [15].

1.2.1 Metalik sönümleyiciler

Sismik enerjiyi sönümlemenin yollarından biri metallerin elastik olmayan davranışını kullanmaktır. Bu amaç için tasarlanan sistemlerin çoğunda dikdörtgen, üçgen veya X şeklinde yumuşak çelik levhalar kullanılmış ve gerilmelerin malzeme içerisinde mümkün olduğu kadar düzenli dağılmasına dikkat edilmiştir. Yaygın olarak kullanılan tipik bir X şekilli levha sönümleyici (ADAS) Şekil 1.1’de gösterilmiştir [5]. Metalik sönümleyicilerin bir yapı sisteminde kullanılması için teorik ve deneysel çalışmalara bağlı olarak kazanılan bilgilerin ışığında hazırlanacak yönetmeliklere ihtiyaç olmuştur. Bazı araştırmacılar metalik enerji yutan elemanların tasarımı için yapının hareket denklemine metalik elemanların çevrimsel kuvvet-deplasman ilişkilerini katarak, birtakım dizayn metotları geliştirmişlerdir. Metalik enerji sönümleyici elemanların özellikle çelik yapılara uygulamaları daha kolaydır.

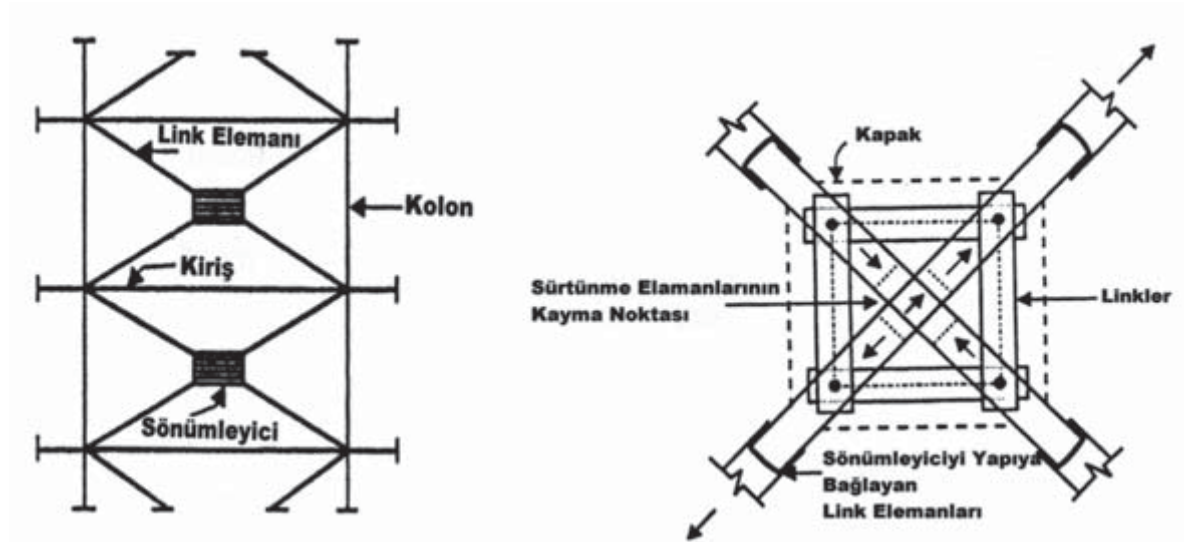


Şekil 1.1 X Şekilli ADAS metalik sönümleyicisi

1.2.2 Sürtünme tipi sönümleyiciler

Sürtünmenin de diğer enerji yutma mekanizmaları gibi oldukça etkili olduğu bilinmektedir ve yıllardır otomobil frenlerinde kinetik enerjiyi absorbe etmek için kullanılmaktadır. Sürtünme tipi sönümleyicilerin farklı mekanik ve malzeme özellikleri ile pek çok çeşidi geliştirilmiştir. Sönümleyicinin sürtünme katsayısını yapı ve sönümleyicinin ömrü boyunca koruyabilmesi için uygun malzemeler geliştirilmiştir. Şekil 1.2’de görülen Pall sönümleyicileri, X şekilli çubuklardan oluşan ve sürtünme prensibini kullanan sönümleyicilerdendir. Bu sönümleyiciler

rüzgar yükleri altında ve orta şiddetli depremlerde kaymayacak şekilde dizayn edilmiştir. Şiddetli deprem yükleri altında birincil yapı elemanlarında akma olmadan, daha önceden tanımlanan optimum bir yükte sönümleyici kaymaya başlamaktadır. Bütün sürtünme tipi sönümleyicilerin sürtünme yüzeylerinde kullanılan malzemeler; çelik üstüne çelik, çelik üstüne pirinç veya paslanmaz çelik üzerine grafit ile kaplanmış bronzdan oluşmaktadır. Sürtünme yüzeyinin yapısı sönümleyicinin ömrü açısından oldukça önemlidir. Mesela, düşük karbon alaşımlı çelikler zamanla korozyona uğrayarak sürtünme yüzeyini değiştirebilmektedir. Pirinç veya bronz kaplama, düşük karbonlu çeliğe sürekli değdiği zaman korozyonu daha da artırmıştır. Yüksek krom içeren çelikler, pirinç veya bronz ile temas ettiğinde korozyon oluşturmamıştır. Son yıllarda, sürtünme tipi sönümleyiciler yeni yapılar ve güçlendirilmesi gereken yapılarda sismik performansı artırmak için kullanılmıştır. Pall tipi sönümleyiciler Kanada'da kullanılmıştır. Japonya'da, Omiya şehrindeki 31 katlı çelik yapıya Sumitomo tipi sönümleyiciler eklenmiştir [20].



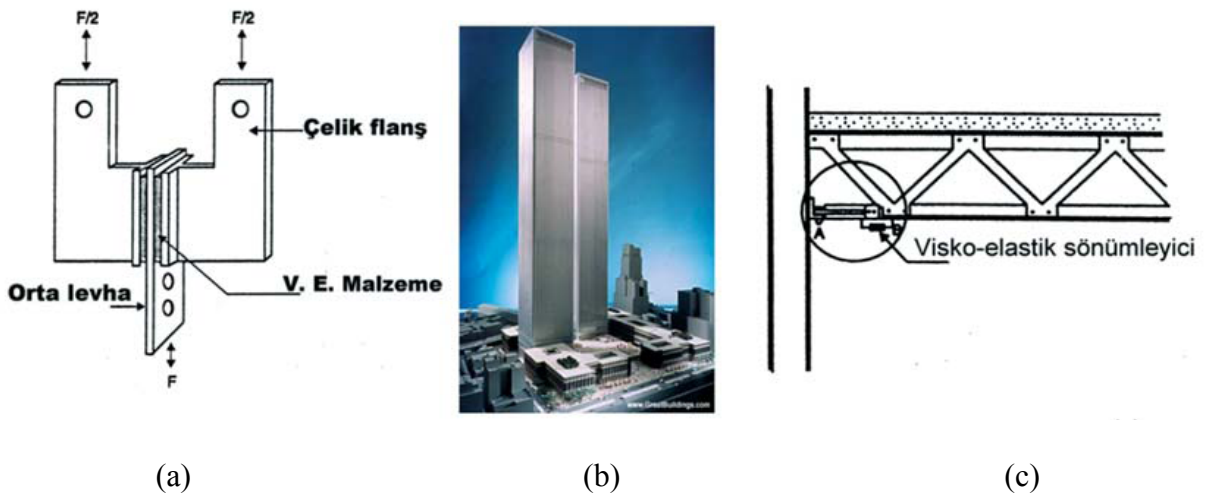
Şekil 1.2 Sürtünme tipi sönümleyici

1.2.3 Visko elastik sönümleyiciler

Enerjiyi absorbe etmek için kullanılan visko-elastik katı malzemeler de mevcuttur. Bu visko-elastik malzemelerin hem rüzgar yüklerine karşı hem de sismik etkilere karşı uygulamaları yapılmıştır. Visko elastik malzemeler uçak çerçevelerinin titreşimini kontrol etmek için 1950'lerde kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat mühendisliğindeki ilk uygulama Şekil 1.3 (b-c)'de görülen ve 11 Eylül saldırılarında yıkılan çelik taşıyıcı sistemli Dünya Ticaret Merkezinin İkiz Kulelerinde (1969) yapılmıştır. Rüzgar titreşimlerini azaltmak için yaklaşık

olarak 10.000 adet visko-elastik sönümleyici monte edilmiştir. İnşaat mühendisliği yapılarında kullanılan visko-elastik malzemeler, tipik karbon polimerleri veya ona benzer katı maddelerden oluşmaktadır. 3M şirketi tarafından geliştirilen tipik bir visko-elastik sönümleyici Şekil 1.3 (a)'da gösterilmiştir [22].

Görüldüğü gibi visko-elastik malzeme çelik levhalar arasına yerleştirilmiştir. Visko-elastik sönümleyiciler, visko-elastik tabakaların kayma deformasyonları ile enerjiyi sönümlemektedir. Visko-elastik malzemelerin dinamik yükler altındaki davranışları titreşim frekansına, deformasyona ve sıcaklığa bağlıdır.



Şekil 1.3 (a) Visko-elastik sönümleyici (b) Dünya ticaret merkezi (c) Visko-elastik sönümleyicilerin yerleşim detayı

Visko-elastik sönümleyicilerin çelik yapılara uygulanması daha kolay olduğundan, Taiwan'ın Taipei şehrinde 2/5 ölçeğinde bir çelik yapıya visko-elastik sönümleyiciler eklenerek farklı deprem etkileri altında 30°C sıcaklıkta test edilmiştir [22]. Sonuçlar göstermiştir ki, yapıya eklenen visko-elastik sönümleyiciler yapının sönüm oranını %12'lerin ötesinde artırmış ve test yapısının elastik olmayan duktilite gereksiniminin düşmesinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. 11 Eylül deki terör olayları sonucu yıkılan New York'daki Dünya Ticaret Merkezinden sonra başka binalarda da visko-elastik sönümleyiciler kullanılmıştır. 1980'lerde Seattle'daki Columbia Sea First ve Two Union Square yapılarında rüzgara bağlı titreşimleri düşürmek için bu sönümleyiciler kullanılmıştır. Bu yapılarda çelik kolonlar yüksek mukavemetli beton ile sarılmıştır. Taiwan'ın Taipei şehrinde 1994 yılında, Chien-Tan demiryolu istasyonunun çatısında rüzgardan kaynaklanan titreşimleri düşürmek için yine visko-elastik sönümleyiciler kullanılmıştır. Bunun yanında, California San Jose'de 13 katlı çelik

Santa Clara County binasında [23] ve San Diego’da ilk olarak 3 katlı bir betonarme yapıda, visko-elastik sönümleyiciler sismik güçlendirme için kullanılmıştır [18].

1.2.4 Viskoz akışkanlı sönümleyiciler

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler esas olarak uygulamada 3 çeşittir. Birinci uygulamada viskoz akışkan içi boş çelik bir duvarın içine doldurulduktan sonra akışkan içine batırılan bir metal levha üst döşemeye bağlanır.



Fotoğraf 1.1 SUT binası

Deprem anında katlar arası rölatif deplasmanlar nedeniyle levhanın viskoz ortamdaki hareketi sismik enerjiyi kısmen sönümler. Japonya’nın Shizuoka şehrinde Fotoğraf 1.1’de görülen çelik taşıyıcı sistemli SUT binasında 170 adet sönüm duvarı kullanılarak yapı mukabelesinde yaklaşık %70-80 oranında azalma elde edilmiştir. Diğer uygulamada viskoz akışkan, içinde pistonun hareket ettiği bir silindir içine doldurulmuş olup Fotoğraf 1.2’de görülmektedir. Pistonun yüksek viskoziteli akışkan içerisinde hareketi neticesinde mekanik enerji ısı enerjisine dönüşür. Bu sisteme en güzel örnek olan performansı çeşitli mühendislik alanlarında denenmiş viskoz akışkanlı sönümleyicilerdir. Viskoz akışkanlı sönümleyicinin en önemli üstünlüğü en genel halinde altı serbestlik dereceli sönümleme yapabilmesidir [15].



Fotoğraf 1.2 Viskoz akışkanlı sönümleyici

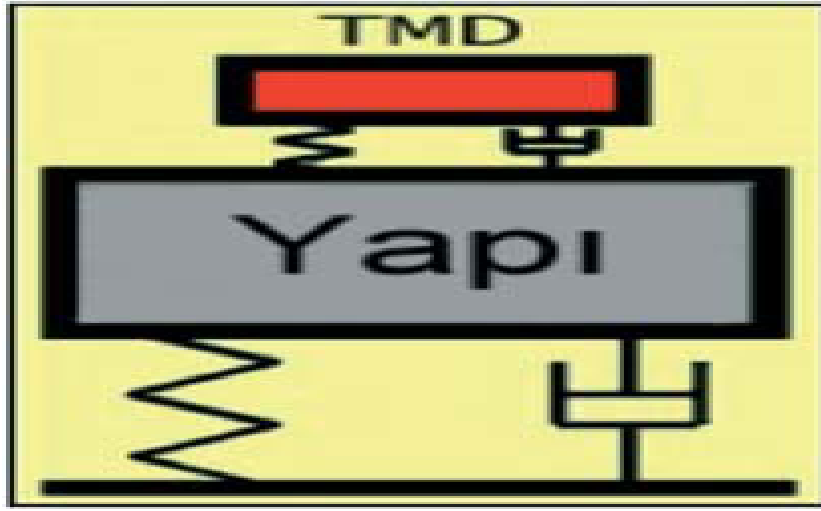
Üçüncü uygulamada viskoz akışkanın yerel deformasyonu yerine akışkan belirli kanallardan geçmeye zorlanarak istenen enerji sönümü gerçekleşir. Fotoğraf 1.3’de çelik kafes sistem için bir uygulamayı görüyorsunuz.



Fotoğraf 1.3 Viskoz akışkanlı sönümleyici uygulaması

1.2.5 Ayarlı kütle sönümleyicileri

Esas yapıya birbirine paralel yay ve viskoz sönümleyici yardımıyla bağlanan kütleyle ayarlı kütle sönümleyici (TMD) denmektedir. TMD parametreleri uygun şekilde seçilerek yapının istenen titreşim moduna ayarlandığı takdirde o modda ki titreşim enerjisinin bir kısmının TMD’ye akışı sağlanarak esas yapının titreşim enerjisi azaltılır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 TMD'nin mekanik modeli

TMD'lerin yerleştirildiği ilk yapı Avustralya'nın Sydney şehrindeki çelik taşıyıcı sisteme sahip Centerpoint gökdelenidir. Amerika Birleşik Devletlerinde TMD'lerin yerleştirildiği iki binadan birisi Newyork'da taşıyıcı sistemi çelik olan Citicorp Center, diğeri ise Boston'da John Hancock gökdelenidir. Japonya'da ise ilk TMD yine çelik taşıyıcı sistemli Chiba Port gökdelenine yerleştirildikten sonra bunu Osaka'da Funade Bridge gökdeleni, Kimitsu şehrindeki çelik bacalar ve diğeri izlemiştir. TMD'ler ise pek çok köprüde (Fotoğraf 1.4), Dubai'de Burj Al Arab otelinde ve Emirates kulelerinde kullanılmıştır [15].



Fotoğraf 1.4 Millennium köprüsü, Londra

1.3 Sismik İzolatör Türleri

Sismik izolasyon tekniği basit bir ilkeye dayanmaktadır. Yapının temellerinin üstünde düşey taşıyıcı mesnetlerinde yatay harekete izin verecek bir düzenleme yapmak. Bu ilkeye dayalı olarak geliştirilen ve uygulamaları son on yılda büyük artış gösteren sismik izolasyon teknoloji türleri bulunmaktadır.

1.3.1 Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler

Fotoğraf 1.5’de görüldüğü gibi izolatörlerin her iki ucunda iki kalın çelik levha bulunmaktadır. Kauçuk tek bir seferde belirli bir sıcaklık ve basınç altında çelik levhaya tutturulmuştur. Çelik levhaların yatay rijitliğe etkisi yoktur. Malzeme davranışları kaymada oldukça doğrusaldır ve sönüm oranı kritik sönümün %2-3 oranındadır. Malzemede sünme olmamakta ve uzun süreli elastisite modülü stabilitesi oldukça iyidir. Düşük sönümlü bu kompozit elemanların avantajları; kolayca üretilebilmeleri, basit modellenebilmeleri ve mekaniksel davranışlarının çevre şartlarından az etkilenmeleridir. Tek dezavantajları ek sönümleyici elemanlara ihtiyaç duymalarıdır [16].



Fotoğraf 1.5 Düşük sönümlü kauçuk izolatörler

1.3.2 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler

Kurşun çekirdekli izolatörler 1975’de Yeni Zelanda’da üretilmiştir. Yeni Zelanda, Japonya ve USA’da yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu izolatörler düşük sönümlü kauçuk izolatörlere benzemektedir. Fakat izolatörün orta boşluğunda Fotoğraf 1.6’da görüldüğü gibi bir kurşun çekirdek vardır. Bu çekirdek kauçuğun yüksek kayma deformasyonlarını engellemektedir. Elemana, deplasmana bağımlı etkili bir başlangıç rijitliği ve sönümü vermektedir [21].



Fotoğraf 1.6 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör

1.3.3 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin ek sönümleyici ihtiyacını ortadan kaldırmak için Malezya kauçuk üreticileri birliği tarafından (MRPRA) 1982’de yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler geliştirilmiştir. Sönüm, eklenen karbon blokları, reçineler veya yağlar ve diğer dolgu maddeleri ile artırılmıştır. Bu sönüm %100 kayma deformasyonları altında %10-20 oranında artırılmıştır. İzolatörlerdeki sönüm ne viskoz ne de çevrimseldir. İkisinin arasında bir davranışı vardır. Deney sonuçları göstermiştir ki bu elemanların davranışı lineer viskoz ve elasto-plastik elemanların davranışının bir kombinasyonudur. Bu izolatörlerin diğer bir avantajı da, trafik veya trenlerden kaynaklanan yüksek frekanslı düşey titreşimlerin filtre edilmesinde başarılı olmalarıdır [19].

1.3.4 Kayma tipi izolatörler

Kısmi olarak kayan sistemler sismik izolasyon için amaçlanan en basit ve en eski sistemlerdir. Bu sistemlerin geri getirici kuvvet mekanizmaları ile desteklenmeleri gerekir. Aksi takdirde kalıcı deplasmanlar kabul edilemez seviyelere ulaşabilir. Geri getirici etkiyi oluşturmada en yaygın yollardan biri küresel kayma yüzeyi kullanmaktır. Buna en güzel örnek sürtünmeli sarkaç sistemindeki kayıcı mesnetlerdir. Fotoğraf 1.7’de bu tür bir mesnet görüyorsunuz. İzolatörün efektif rijitliği ve izolasyon periyodu yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Kayma yüzeylerinde farklı malzemeler kullanılarak ve yüzey geometrisinin değişimleri ile hem sürtünmeden hem de sarkaç davranışından esinlenerek farklı tasarımlar ortaya çıkarılmıştır. Fotoğraf 1.8’de çelik taşıyıcı sistemlere yapılan uygulamalara örnekler verilmiştir [17].



Fotoğraf 1.7 Kayma tipi izolatör



Fotoğraf 1.8 San Francisco ve Atatürk uluslararası hava terminali

1.3.5 Yaylar

Kauçuk veya kayma tipi izolatörler genellikle yatay hareketlerin sönümlenmesi için kullanılmıştır. Üç boyutlu bir izolasyona ihtiyaç duyulduğunda bu sistemler yeterli gelmeyecektir. Yatay ve özellikle düşey titreşimlerin azaltılması için çelik helisel yaylı sistemler geliştirilmiştir. Düşey frekansları yatay frekanslarının 3-5 katıdır. Yaylar hemen hemen sönümsüz ve sistem genellikle viskoz sönümleyicileri ile birlikte kullanılmaktadır [6]. Fotoğraf 1.9'da taşıyıcı sistemlere yapılan uygulamalara örnekler verilmiştir.



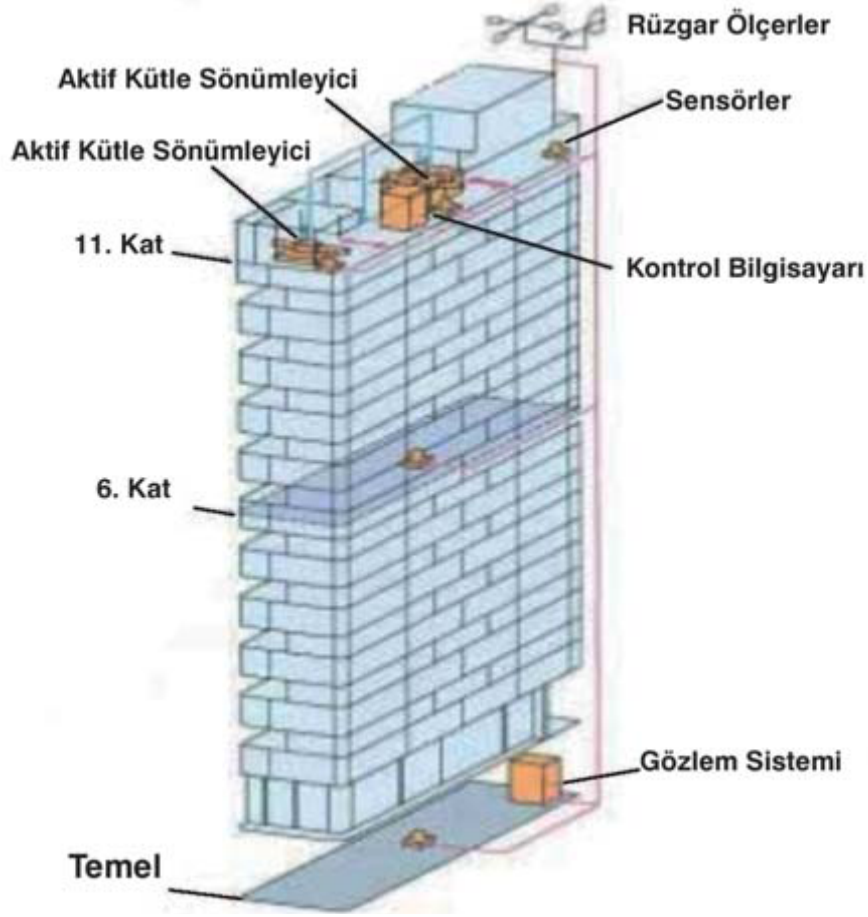
Fotoğraf 1.9 Yaylı sistem

1.4 Yapısal Aktif ve Yarı-Aktif Kontrol

1.4.1 Aktif kontrol

Yapı tasarım tarihi üç döneme bölünebilir. Sadece statik yüklere göre tasarım yapılan dönem klasik dönem olarak adlandırılır. İkinci dönem modern dönem olarak isimlendirilir. Bu dönem, yapıdaki dinamik etkilerinde göz önüne alınarak tasarımların yapıldığı dönemdir. Statik yükler yapı ömrü boyunca çok fazla değişmezler. Fakat dinamik yükler gerek büyüklükleri gerekse yönleri açısından değışkendirler. Dış yüklerdeki bu değışimi kompanse etmek için yeni konseptler ortaya çıkmıştır. Üçüncü dönem olarak ortaya çıkan postmodern dönem bu bakış açısı ile doğmuştur. Yapıya gelebilecek yükleri önceden tahmin etmek çok zordur. Bilgisayar, elektro-hidrolik sistemler ve sensör teknolojilerindeki ilerlemeler sonucunda artık, yapıya gelen dinamik kuvvetler ölçülerek önceden belirlenen bir algoritmaya göre kontrol bilgisayarında gerekli kontrol kuvvetleri hesaplanabilmekte ve bu kuvvetler yapıya yerleştirilen aktif kuvvet mekanizmaları ile uygulanabilmektedir. Postmodern dönemde hedeflenen yapı deprem ve rüzgar gibi dinamik çevre etkilerine karşı öngörülen güvenlik, dayanım ve konforu sağlayacak şekilde kendini adapte edebilen bir yapıdır. Kontrol kuvvetleri genelde tendonlar ile uygulanmaktadır. Bu tendonlar ön gerilmeli ve elektrik ile çalışan hidrolik bir mekanizma ile kontrol edilmektedirler. Daha önce açıklandığı gibi pasif TMD'ler yapının genelde birinci mod hareketini azaltacak şekilde ayarlanıyorlardı. Diğer modları da kontrol edebilmek aktif TMD'ler ile mümkün olabilmektedir. Bu prensibe dayanarak, Şekil 1.5'de görülen ve ilk olarak Japonya'da Kyobashi Seiwa Binasına yerleştirilen aktif kütleli (AMD) bir sistem tasarlanmıştır [24].

Japonya'da aktif kontrol sistemlerinin kullanıldığı çok sayıda bina bulunmaktadır. Diğer bir örnek 1992'de tamamlanan Applause kulesidir. Bu yapıda aktif kütle olarak binadaki mevcut helikopter platformu kullanılmıştır. Yeni kontrol algoritmalarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir [25].



Şekil 1.5 Aktif kütle sönümleyicilerin yerleştirildiği bina

1.4.2 Yarı aktif kontrol

Aktif kontrol sistemlerine göre dış enerji ihtiyacı çok daha az olan yarı aktif kontrol sistemleri önemli gelişmelerden biridir. Sismik hareket esnasında aktif sistemlerin ana güç kaynakları devre dışı olabilecekken, yarı aktif sistemlerdeki piller çalışmaya devam edeceklerdir. Bu konudaki ilk çalışmalar göstermiştir ki, yarı aktif sistemler pasif sistemlerden ve tamamen aktif sistemlerden daha iyi performans gösterebilmektedir. Bu sistemler izolatörlü yapılarda da izolatörlerin yüksek deplasmanlarını sönümlemek için kullanılmaktadır. Yarı aktif sönümleyiciler, piller vasıtası ile oluşturulabilen elektrik veya manyetik alanlar yardımı ile ER veya MR sıvıların mekanik özelliklerinin kontrolü prensibi ile çalışmaktadırlar (Fotoğraf

1.10). ABD ve Almanya'da bazı firmaların yeni yarı aktif sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik çalışmaları devam etmektedir [12].



Fotoğraf 1.10 MR sönümleyici

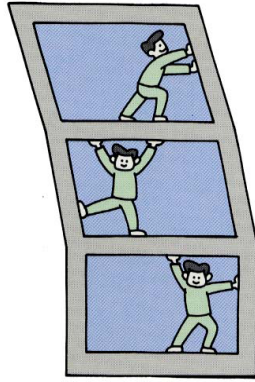
1.4.3 Karma kontrol

Karma tip yapısal kontrolde, bir yapı aktif veya yarı aktif kontrol sistemleri ile donatılmış olup davranışı iyileştirmek için pasif elemanlarla da desteklenmiş olabilir. Bunda amaç aktif kontrol elemanlarının yüksek enerji ihtiyacını azaltmak ve sismik titreşim anında aktif sistem için gerekli olan enerji kesilir ise en azından pasif sistem ile korumayı gerçekleştirmektir. 1994 Northridge depremi ile taban izolatörleri ilk olarak ciddi bir tehdit almıştır. Aktif fay yakınlarında elde edilen sismik kayıtlarda yüksek periyotlu bileşenler tespit edilmiştir. Bu bileşenler izolasyon sisteminde rezonans benzeri büyük yatay yer değiştirmeler meydana getirmektedir. Bunun üzerine izolatörleri korumak için izolasyon seviyesinde pasif viskoz sönümleyiciler eklenmiştir. Bu sayede izolatör hareketi sınırlandırılmış fakat bu seferde üst yapıdaki katlar arası deplasmanlar ve ivmeler artmıştır. Bu ise izolasyon felsefesine tamamen terstir. İzolasyon seviyesinde eklenmesi gereken optimum sönüm miktarı ise yer hareketinin dinamik karakteristiklerine bağlı olduğundan önceden kesin olarak belirlenmesi zordur. Konu ile ilgili olarak 1998 yılında ABD ve Japonlu araştırmacılar 5 yıl süren ortak bir çalışma yapmışlar ve izolatör seviyesinde yerleştirilmek üzere yarı aktif sönümleyiciler geliştirmişlerdir. Ayrıca FP6 LESSLOSS projesi kapsamında alt proje olarak yarı aktif sistemler için kontrol algoritmalarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

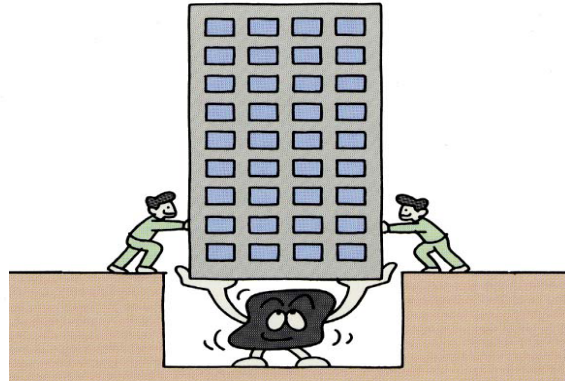
Bu tür yarı aktif taban izolasyonları sayesinde hem izolatörler korunmakta hem de üst yapıdaki katlar arası deplasman ve ivmeler artmamaktadır [26].

1.5 Deprem İzolasyon (Sismik Yalıtım) Sistemleri

Sismik izolasyon yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine binaya gelen sismik enerjiyi binaların periyodunu uzatarak azaltma esasına dayanan depreme dayanıklı bir tasarım yaklaşımıdır. Yapının ve deprem ivmesinin özellikleri dikkate alınarak; yapının rijitliğini azaltmak, periyodunu ve sönümünü artırarak yapıya daha küçük deprem kuvvetlerinin gelmesini sağlamak ve yapının küçük veya orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve şiddetli depremlerdeki hasarının da en aza indirgenmesini sağlar. Bu teknoloji doğru uygulandığı takdirde büyük depremler sırasında bile binadaki zorlanmalar elastik sınırlar içinde kalmaktadır.



Şekil 1.6 Enerji sönümleyici sistem



Şekil 1.7 Taban izolasyon sistemi

Yapılarda; sıva, kaplama, bölme duvarları gibi taşıyıcı olmayan mimarî elemanlar ve kolon, kiriş, perde duvar gibi taşıyıcı elemanlar bulunur. Yapıların servis ömürleri boyunca değişik büyüklükler de çok sayıda depremler olabilir. Ayrıca, yapının servis ömrü boyunca beklenen en şiddetli bir deprem vardır. Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de görüldüğü üzere depreme dayanıklı bir yapının, değişik elemanlarından, değişik şiddetlerdeki depremlerde beklenen davranışlar aşağıdaki gibidir:

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

Yapının ömrü içinde birden çok kez olacak orta şiddetli depremlerde mimarî elemanlarda ve az da olsa taşıyıcı sistemlerde hasar başlangıcı olabilir.

Yapının servis ömründe yaşadığı en şiddetli depremde can kaybı olmasın. Bir diğer ifadeyle taşıyıcı sistemde ileri düzeyde hasar olabilir, ancak yapı yıkılmamalıdır [5].

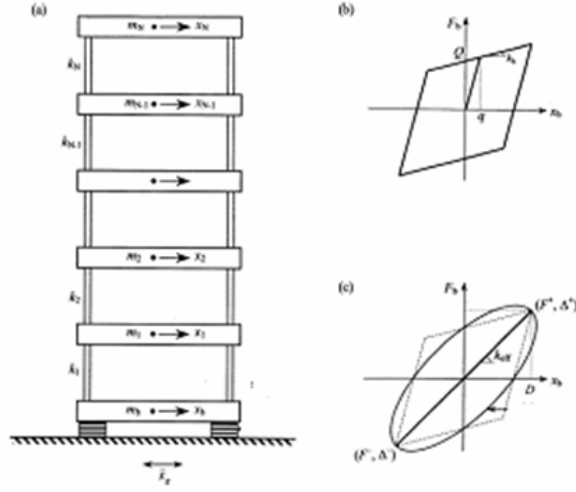
1.5.1 Sismik izolasyonun amaçları

Bütün deplasmanların temel ile üst yapı arasında olmasını sağlamak ve sönümleyici elemanın mümkün olduğu kadar deprem enerjisini yutmasını ve sönümlemesini temin etmektir.

Bu amaçla yapının dinamik özellikleri değiştirilerek depremde yapıya gelecek yatay yükün azaltılması hedeflenir.

- Yapının sönümü artırılırsa yapıya gelen hem ivme hem de ötelenme azalacaktır.
- Yapıların şiddetli depremlerde yatay yer değiştirmeleri 40-50 cm'den büyük olmamalıdır.
- Periyot yapının kütlesi ile doğru, rijitliği ile ters orantılıdır.
- Yapının rijitliği azaltılır, periyodu uzatılırsa yapıya daha küçük bir deprem kuvveti gelecektir.
- Yapının periyodu 2-2.5 sn kadar uzatılırsa, deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olmaktadır.
- İzolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0.9 -1.0 civarındadır. İzolasyonlu yapı rijit kütle hareketi yapmaktadır.
- İzolasyonsuz yapı yer hareketini genellikle 3.0 -6.0 kat büyütmektedir [9].

İzolatörler esnek bir yapıya sahip olduğu için binanın hakim periyodunu izolatörsüz sistemlere göre önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Kayan tabaka içeren izolasyon sistemleri depremin enerjisini bina hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvvetleriyle dağıtırlar. Bu tip sistemler, depreme bağlı olarak oluşan titreşimlerin kontrol altına alınması ve binaya gelen etkilerin büyük yer hareketlerinden izole edilmesi yönüyle önem kazanmaktadır. Şekil 1.8'de izolatörlü bir sistemin kesit görünüşü ve kuvvet-deplasman ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 1.8 Taban izolatör modeli

Günümüzde inşaat şartnameleri öncelikle can güvenliğini göz önüne almaktadır. Ancak deprem sonrasında hayati önemi olan bazı binaların (hastane, okul vs.) işlevselliğine deprem öncesinde olduğu gibi devam etmesi, önem verilmesi gereken bir diğer husustur. Maddi kayıplar; işyerindeki ekipmanların hasar, mevcut ve stoktaki ürünlerin hasar, üretimin durması ve siparişlerin yetiştirilememesi şeklinde olur.

Depremi doğası ve yapılar üzerine etki eden kuvvetlerinin büyüklüğü hakkında daha çok bilgiler edindikçe, güvenliğini artırmak amacıyla daha dayanıklı binalar yapılmaktadır. Binaların göçmesinin önüne geçmek amacıyla onlar, depreme dayanıklı yapılmakta fakat depremden yalıtılmış olmamaktadırlar. Bu da, orta büyüklükteki depremlerde bina içinde hasarların beklenebileceği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, 1906 San Francisco Depremi gibi büyük depremler, insan hayatını tehlikeye sokarak, milyonlarca dolara mal olan önemli yapısal ve binalar içindeki eşya ve cihazlara yönelik hasarlara neden olabilir. ABD ve Japonya gibi ülkelerde orta büyüklükteki binalara “Sismik izolasyon” (deprem yalıtımı) diye adlandırılan yeni bir teknoloji uygulanmaktadır. Bu teknolojiye sistem, yapıyı tabanından veya temelinden ayırma ya da izole etme yoluyla, yapıya geçen deprem yer hareketini büyük ölçüde azaltarak çalışmaktadır. Örneğin, 8.0 Richter büyüklüğündeki bir depreme maruz kalan izole edilmiş bir yapı, 5.5 Richter büyüklüğündeki bir depremle karşılaşmış gibi davranış gösterir. Yolcularına sarsıntılı bir yolculuk yerine yumuşak bir yolculuk sunan otomobiller ile onların süspansiyon sistemi, yaylar ve darbe yutucular arasındaki ilişki buna uygun bir benzetme olur. Denenmiş, etkili bir sismik izolasyon sistemi kauçuk ve çelik darbe yutucu yastık tabakalar ile kurşun çekirdekten oluşmaktadır. Bu taşıyıcı yastıklar, her kolonun dibi ile kolon temeli arasına yerleştirilir ve yerdeki deprem hareketi tarafından yapıya

aktarılan enerjiyi sönümlerler. Bina daha az kuvvetle karşılaşır ve rijit bir kutu gibi yapıya ve içindeki eşya ve cihazlara zararı önemli oranda azaltmayla sonuçlanan kontrollü bir yumuşaklıkla “üniform” olarak hareket eder. Böylece sismik izolasyon, bir depremden sonra iş kesintisini minimumda tutarken, insan hayatını korur, ekonomik kayıpları önler [1].

Geleneksel inşaatlar, rijit binalarda, çok büyük kat ivmelerine ve sünek binalarda katlar arasında büyük deplasman farklarına neden olurlar. Bu iki etken, yapı elemanlarının ve bina içindeki eşyaların güvenliğini sağlamakta güçlükler yaratır.

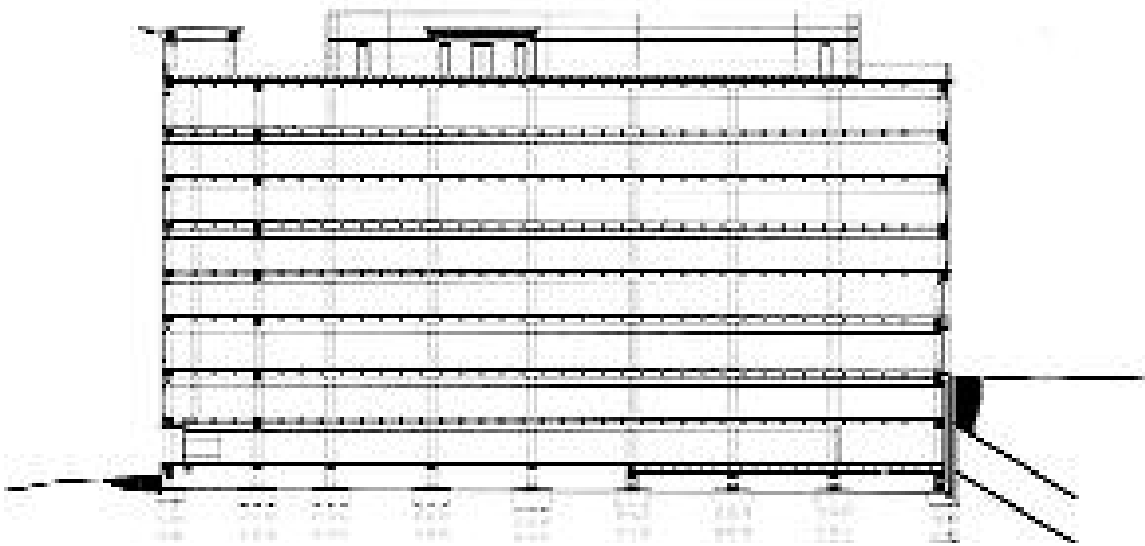
Hareket, izolatörler kotunda gerçekleşir. Kat ivmeleri düşüktür; bina, bina sakinleri ve serbest eşyalar güvenlidir [8].

İzolasyon sistemi üzerine inşa edilmiş binalar, yerin yatay hareketinin büyük bölümünün yapı struktürüne geçmesine engel olurlar. Bu da, kat ivmelerinin ve katlar arasındaki deplasman farklarının önemli ölçüde azalması sonucunu doğurur. Böylece, yapı elemanlarının ve içindeki eşyaların güvenliği sağlanır (Şekil 1.9). Şu anda, sismik izolasyon yapılarak deprem zararlarına karşı korunma sağlanmış 17 ülkeye yayılmış 400 struktür mevcuttur. Bunun 115 tanesi ABD’dedir. Bu struktürlerin birçoğu 1994 Northridge Depremi’nde South California Üniversitesi Hastanesi gibi doğa tarafından test edilmiştir. En yüksek yer ivmeleri 0.47 g’a kadar yükselmiştir. Bütün struktürler, kuvvetleri ve ivmeleri düşürerek öngörüldüğü gibi davranış göstermişlerdir. Yer hareketinin 6.7 Richter ölçeğinde ölçülmesine rağmen, Los Angeles’daki 17 Ocak 1994 Depremi sırasında, sekiz katlı South California Üniversitesi Hastanesi’nde bir vazo bile devrilmemiştir. Bu dayanıklılığın nedeni hastane binasının 149 adet sismik “darbe yutucular” ya da taban izolatörleri üzerinde oturmasıdır. Taban izolatörleri, bir struktürü temellerinden ayırmak için kolonların dibine yerleştirilen hareket edebilen, yük taşıyıcı elemanlardır. İzolatörler, bir depremin yarattığı yatay yer hareketini, struktüre, kolonların geleneksel düzeninden daha yavaş, daha “üniform” tarzda yayarlar. Taban izolasyonlu bir binada, taşıyıcı kolonlardaki hareket minimuma indirildiği için, deprem takviyesi yapılmış binalarda tipik olarak yer alan çapraz takviyelere ve çok sayıda perde duvarlara gerek kalmamaktadır. Bir miktar ek takviye genel olarak gerekebilir, fakat masraflar o kadar azalmaktadır ki; taban izolasyonu, yeni bir inşaatta, inşaat maliyetine çoğunlukla yüzde 5’ten daha az bir ek getirmektedir. Ayrıca, yenileme maliyetini de önemli ölçüde azaltmaktadır. Şu anda ABD’de devam eden 30 taban izolasyonu projesinin yaklaşık yarısı yenilenen binalara aittir. Taban izolatörleri mevcut binalara monte edilirken yük, krikolar ve

destekler yoluyla kolon üzerinden kaldırılır. Kolonun bir bölümü kesilir ve araya izolatör sokularak montaj yapılır. Taban izolasyonu, restorasyon projeleri için de çoğu zaman en ucuz çözümdür. Çünkü, üst katlarda geniş çapta perde duvarlar ve çaprazlar inşa etme gereği olmadığından, tarihî dokuyu bozmayan bir çözümdür. Deprem hareketini modelleyen ve yer hareketini yapay olarak yaratan bilgisayar yazılımları, bu sismik elemanların gelişmesine katkıda bulunmuştur. Bu araçlar, bir projede kullanılacak en uygun izolatör tipine karar verilmesine yardımcı olmaktadır [10].



Fotoğraf 1.11 Auto Zone yönetim binası



Şekil 1.9 Doğu-batı kesiti

Doğu Rocky Mountains’da, New Madrid Fayı’nda yer alan ve ABD tarihinin en büyüğü olan 1806 Depremi’ni yaşayan Memphis’te sekiz katlı 22500 m² alana sahip Auto Zone şirketi yönetim binası (Fotoğraf 1.11), 1995 yılında tamamlanmış ve içinde, çok geniş çapta bilgisayar araştırma cihazlarını barındırmaktadır. Auto Zone projesinde yer alan 24 adet

kurşun-kauçuk ve 19 adet yüksek sönümlemeli kauçuk izolatörler, inşaat maliyetinin, büyük bir depreme dayanabilecek çelik ve betonarme strüktürün maliyeti ile aynı düzeyde tutulmasını sağlamıştır. Kurşun kauçuk ve yüksek sönümlemeli kauçuk izolatörler, çoğu zaman birlikte kullanılırlar; çünkü deprem enerjisini sönümlemek için yalnızca belirli miktarda kurşun yeterli olmaktadır. Kurşun-kauçuk izolatörler, ilke olarak binanın burulma davranışını en aza indirmek amacıyla, bina dış çevre akslarına yerleştirilir [10].

Her taban izolasyonlu binanın çevresinde sismik bir olay sırasında harekete izin veren bir boşluk bırakılması gerekmektedir. Auto Zone projesinde mimarlar (Şekil 1.9), bina ustalıklı bir detaylandırma gerektiren eğimli bir arazide yer aldığından, bu boşluğa bir dizi seçenekli dilatasyon kapak detayı geliştirmişlerdir. Örneğin, binaya bitişik prekast beton kaldırım, iki parçalı olarak tasarlanmıştır. Mimarlar için, proje ekibinin üyelerine taban izolasyonunun yeni taşıyıcı sistemini anlatmak için gerekli zamanın doğru tahmin edilmesi önemlidir. Taban izolasyonunun binaya enerji giriş kabloları, bina dışına çıkan pıssu hatları, bağlantı noktaları, cihazların bağlantıları ve daha birçok noktaya olan etkilerini gözden geçirmek için önemli miktarda zaman ayırmak gerekir. Taban izolasyonu ile ilk kez çalışan mimarlar için, ekip elemanlarının eğitilmesi, işin zamanında bitirilmesi bakımından oldukça önemlidir.

Bir yapının etkin rezonans periyodu genellikle 0.1 ile 1.0 saniye periyot aralığındadır. Bu periyot aralığı aynı zamanda pek çok şiddetli depremin baskın periyot aralığını da kapsar.

Doğal periyotları bu kritik aralıkta bulunan yapılar zeminden aktarılan ivmeleri genellikle yükseklikleri boyunca artırırılar. Bu tür yapıların depreme dayanıklı tasarımında yapı mühendislerinin karşılaştığı en önemli zorluk aynı anda hem görelî kat ötelemelerinin hem de kat ivmelerinin sınırlandırılması koşuludur. Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması, döşemeler arasındaki kolonlar ve bölme duvarlar, tavanlar veya hafif donanımlar gibi yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki olası zararı azaltılabilmek için gereklidir. Diğer yandan kat ivmelerinin azaltılması, hiç yapısal hasar gözlemlenmese bile, hassas iç ekipmanlara, makinelere ve binanın içinde yaşayan insanlara gelebilecek zararı azaltmak için gereklidir. Yapının rijitliği artırılarak görelî kat ötelemeleri azaltılabilir. Ancak bu durumda yapının rijitliğindeki artış zemin hareketlerinin yapıda güçlenmesiyle kat ivmelerinin artmasına neden olacaktır. Binaya esneklik katmak bu problemi çözebilir. Fakat bu durumda, yapının esnekliği, rüzgar yüklerinde ya da küçük depremlerde döşemelerin ayaklarının altında hareket etmesine, bölme duvarların çatlamasına, ve belki de hepsinden önemlisi görelî kat ötelemelerinin artmasına neden olacaktır. Sismik izolasyon yöntemi görelî kat

ötelemelerini ve kat ivmelerini aynı anda azaltmanın pratik yollarından biridir. Sismik izolasyonlu bir yapı, hem büyük yer değiştirmelerin odaklandığı izolasyon sistemiyle kat ivmelerinin azaltılması için gereken “esnekliğe” sahiptir; hem de bir deprem hareketinde hemen hemen rijit bir şekilde hareket eden üstyapısıyla görelî kat ötelemelerinin azaltılması için gereken “rijitliğe” sahiptir [10].

Eğer sismik izolasyonlu bir yapının doğal frekansı, eşleniği olan ankastre temelli yapının frekansına ve zemin hareketlerinin baskın frekansına kıyasla çok daha küçük olursa, yapının davranışı üstyapının hemen hemen rijit kaldığı ve sadece izolasyon sisteminin deformasyona uğradığı birinci dinamik modu tarafından belirlenir. Üstyapıda deformasyona neden olan daha yüksek modlar harekete katılmayacakları için bu yüksek modların içerdiği yüksek enerji de üstyapıya aktarılmayacaktır. Çoğu zaman depremlerin yatay bileşenleri düşey bileşenlerine göre daha şiddetlidir. Bundan dolayıdır ki, yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılan sismik izolatörler genellikle düşük yatay rijitlikle birlikte yüksek düşey rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanır. Yüksek düşey rijitlik ile düşük yatay rijitliğe sahip sismik izolatörlerle yalıtılmış bir yapı yatay yönde tek serbestlik dereceli sarkaç gibi davranır. Tek serbestlik dereceli sistemlerdeki kütle-rijitlik-frekans ilişkisi göz önünde bulundurularak, dikkatli bir tasarımla, belirli bir kütleyle sahip temel izolasyonlu bir yapı, zemin hareketlerinin baskın frekanslarından yeterince uzak bir doğal frekansa sahip olacak şekilde tasarlanabilir [13].

Herhangi bir sismik izolasyon sisteminin, depreme karşı koruma sağlayabilmesi için sahip olması gereken temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [11].

- Sismik izolasyonlu yapının frekansının eşleniği olan ankastre temelli frekansından ve pek çok şiddetli depremin baskın frekansından çok daha düşük olabilmesi için “yeterince düşük yatay rijitlik”,
- Rüzgar yükleri ve küçük depremler gibi düşük düzeydeki dinamik yüklemeler altında yapının hareketini engelleyebilmek için “nispeten yüksek yatay rijitlik”,
- Üstyapının ağırlığı bozulmadan taşıyabilmek için “yüksek düşey rijitlik”,
- Sistemdeki yer değiştirmelerin kabul edilebilir düzeyde kalabilmesi ve olası bir rezonans durumunu bastırabilmek için “yeterince sönüm”,
- Üstyapının hemen hemen hareket öncesindeki orijinal pozisyonuna geri dönebilmesi için “geri-merkezleştirme etkisi”,
- Beklenmeyen şiddetteki bir depremde önce izolatörlerin, daha sonra yapının

göçmesini engelleyecek bir “göçmeyi önleyici sistem”,

- Çekme kuvvetlerine maruz kalma riski varsa “çekme yüklerine karşı yeterince dayanım”.

Uygulamada karşılaşılan önemli problemlerden birisi katlar arası deplasmanlar ile kat ivmelerinin aynı anda nasıl azaltılacağıdır. Bunu sağlamanın en pratik yolu yapı ile zemin arasına yatay yönde oldukça esnek düşey yönde oldukça rijit bir izolasyon mekanizması yerleştirmektir. Taban izolatörleri temel olarak ya kauçuk sönümleyiciler ya da teflon veya çelik yüzeyler üzerinde kayan toplardan oluşmuş elemanlardır. İnce çelik levhalar arasına volkanize kauçuk elemanların kat kat yerleştirilmesi ile ortaya çıkan sismik izolatörlerin kullanımı son 20 yıl içerisinde yaygınlaşmıştır. Çelik levhalar elemanın düşey rijitliğini artırmak için kullanılmaktadır. Düşeydeki rijitlikleri sayesinde yapıdan gelen düşey yükleri rahatlıkla taşımaktadırlar. Yatayda oldukça esnek olduklarından izolatörlerin üzerine inşa edilmiş yapının davranışı büyük oranda elastik bölgede kalmaktadır. Yapı izolatörler üzerinde hemen hemen rijit cisim hareketi yapar. Güvenliğin dışında temele yerleştirilmiş bu izolatörler yapının taşıyıcı sistemindeki elemanların boyutlarının da düşmesine sebep olmaktadır. İzolatörler yapının etkin frekansını hem izolatörsüz haldekine göre hem de yer hareketinin etkin frekansına göre daha düşük hale getirirler. Diğer bir deyişle yapının periyodunu artırırlar [7].

1.5.2 Sismik izolasyon sisteminin yararları ve sonuçları

Sismik izolasyon sisteminin yararları aşağıdaki gibidir [14]:

- Can güvenliğinin sağlanması,
- Yapısal hasarların önlenmesi,
- Yapısal olmayan hasarların önlenmesi,
- Kesilme riskinin önlenmesi,
- Deprem sonrası fonksiyon kaybının önlenmesi,
- Araştırma ve geliştirme projelerinin korunması,
- Tarihi bina ve değerlerin korunması.

Taban izolasyon sisteminin uygulandığı binalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilir [14]:

Elastik davranış sağlanır,

Yapıya gelen kuvvetler azalır,

Kat ivmeleri küçülür,

Katlar arası deplasmanlar küçülür, hemen hemen bütün katlar yaklaşık aynı deplasmanı gösterir. Rölatif kat deplasmanları sifıra yaklaşır.

Taban izolasyon sistemi, uygulanacak yeni binalarda bina toplam maliyetini projeye bağlı olarak arttıracaktır. Fakat bina fonksiyonunun önemini (hastaneler, polis istasyonları, okullar, vb.) ve muhteviyatının değerini (bilgi işlem merkezleri, hastaneler, laboratuvarlar, yarı iletken fabrikalar, vb.) düşünürsek bu oran deprem sonrası hasarlar ve fonksiyon kaybı yanında önemsiz kalacaktır [8].

1.5.3 Kullanılması uygun olmayan durumlar

- Yapıların periyotlarının uzatılması yumuşak zeminler üzerine inşa edilmiş yapılar için zararlıdır. Yumuşak zeminlerde sismik izolasyon konularak yapı periyodunun artırılması halinde yapıya gelecek deprem yükü artacaktır.
- Bitişik nizam yapılarda izolasyon yapılması uygun değildir [14].


BÖLÜM II

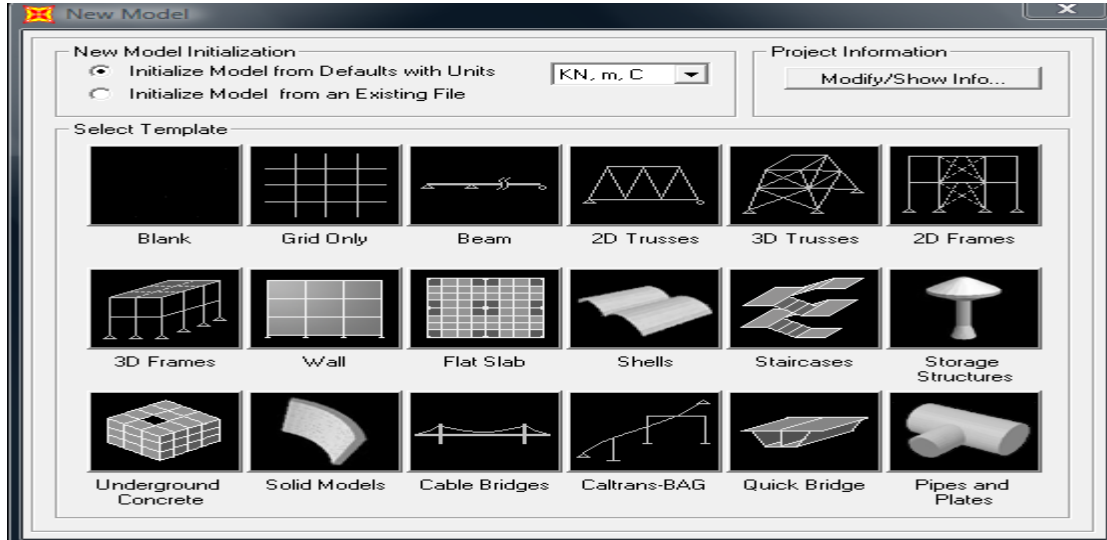
İZOLATÖRLÜ SİSTEMİN SAP2000 YAPI ANALİZ PROGRAMINDA MODELLENMESİ

Bu bölümde 4 katlı betonarme yapının ve izolatör sisteminin SAP 2000’de modellenmesi gösterilmiştir. Sistem 4 katlı ve 3 açıklıklı olarak tasarlanmış olup açıklık aralıkları 7,5m ve 6m, kat yükseklikleri ise 3m olarak modellenmiştir. Kesit özellikleri ve kütle değerleri Şekil 2.1’de verilmiştir.

Şekildeki sistemin SAP2000 programında modellenmesi şu şekilde yapılır;

2.1 Sistem Modelinin Oluşturulması

1. Konum çubuğunun sağındaki açılır listesinden birim kN, m,C seçilir.
2. Üst bölümdeki  New Model düğmesine basılır. Daha sonra ekrana gelecek olan New Model ileti kutusunda sistem iki boyutlu düzlem sistem olduğundan 3D Frames düğmesine basınız.

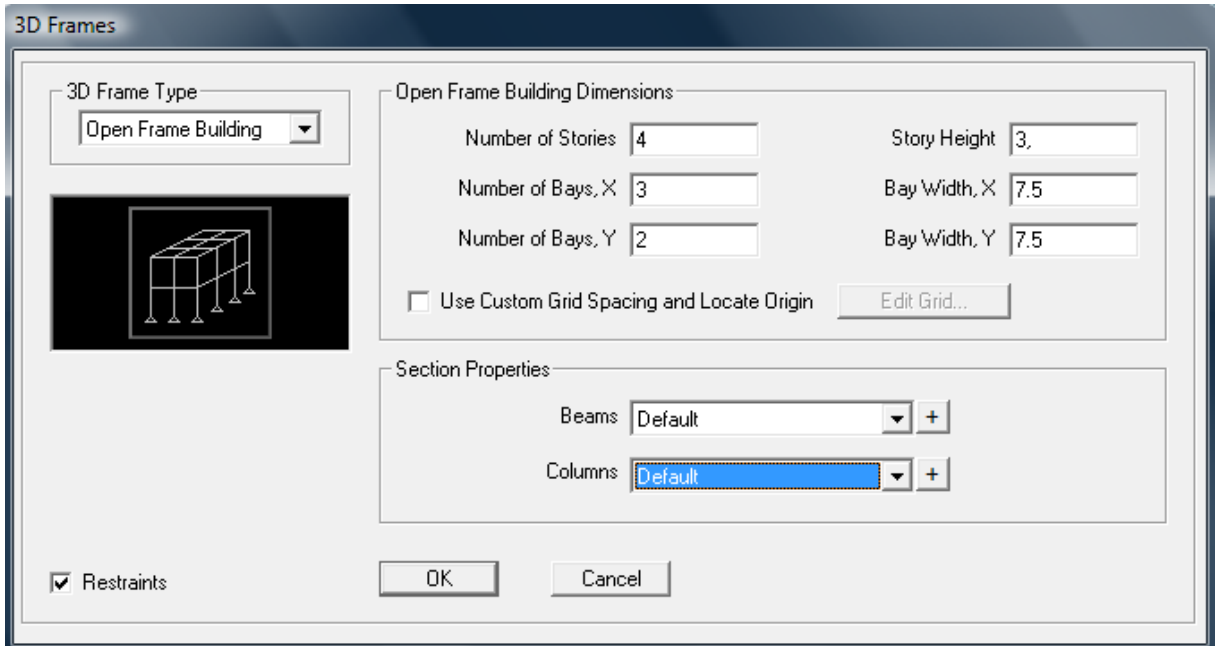


Şekil 2.1 Sistem türünün oluşturulması


3. Bu işlem düzlem sistemin modelini oluşturmakta kullanılacak 3D Frames ileti kutusunu ekrana getirecektir.

4. Ekranı gelen Şekil 2.2'deki ileti kutusunda

- * 3D Frame Type açılır listesinden Open Frame Building seçeneğine tıklayın,
- * Number of Stories yazı kutucuğuna 4 yazın,
- * Story Height yazı kutucuğuna 3 yazın,
- * Number of Bays X yazı kutucuğuna 3 yazın,
- * Bay Width X yazı kutucuğuna 7,5 yazın
- * Number of Bays Y yazı kutucuğuna 2 yazın,
- * Bay Width Y yazı kutucuğuna 7,5 yazın ve OK butonuna basılır.




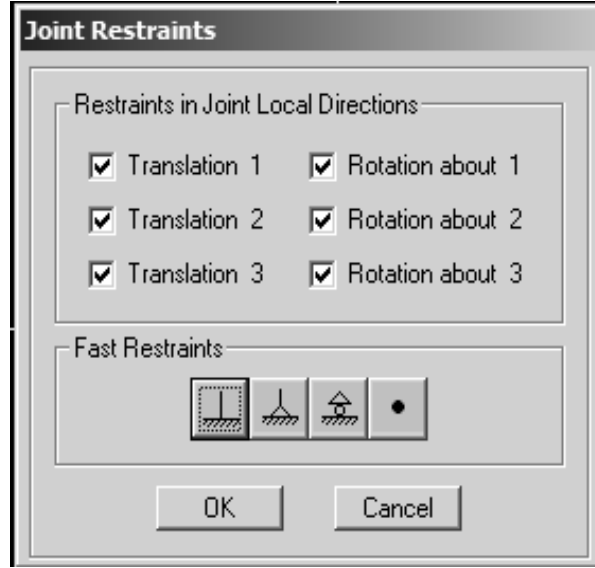
Şekil 2.2 Sistem boyutlarının girilmesi

5. Ekranın solundaki 3D View penceresinin sağ üst köşesindeki  düğmesine basarak pencereyi kapatın.

6. Bu işlem ekranda tek aktif pencere olarak X-Z düzlemini gösteren pencerenin bulunmasını sağlayacaktır.

2.2 Mesnet Koşullarının Tanımlanması

7. En alttaki 4 düğüm noktasını seçip Assign menüsünden Joint ordan da Restraints komutunu seçiyoruz. Sonrada açılan pencerede Şekil 2.3'deki  düğmeye basın.



Şekil 2.3 Mesnet koşullarının girilmesi

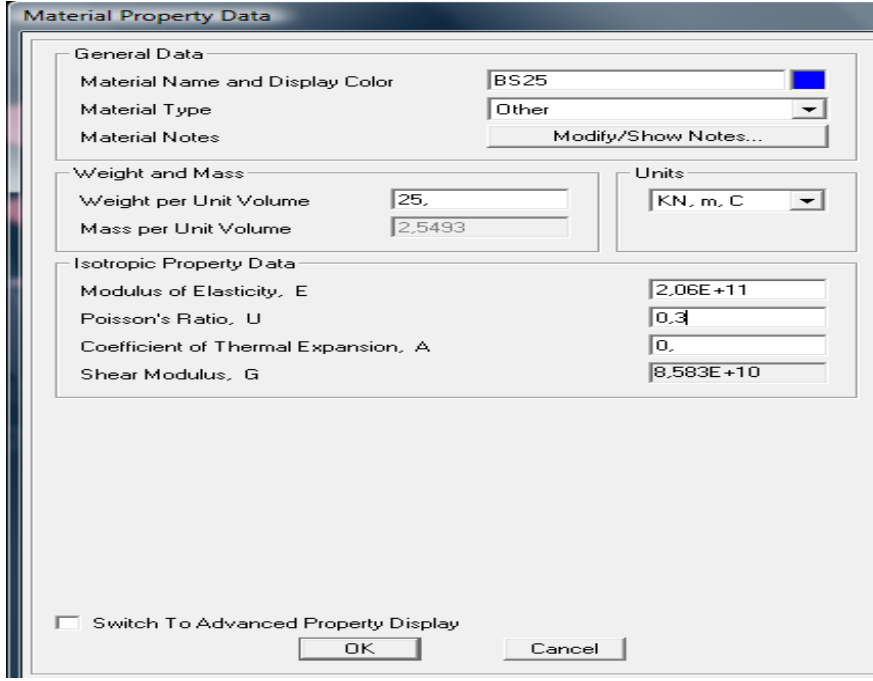
2.3 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

8. Malzemeyi tanımlamak için Define menüsünden Materials komutunu seçilir.

9. Ekranı gelen ileti kutusunda yeni bir malzeme tanımlamak için Add New Material düğmesine basın. Bu işlemden sonra malzeme özelliklerini gösteren Material Property Data ileti kutusu ekrana gelecektir. Bu ileti kutusunda;

- * Material Name yazı kutucuğuna BS25 yazılır,
- * Type of Design bölümünden Other seçeneğini seçin,
- * Mass per unit Volume yazı kutucuğuna 2,5493,
- * Weight per unit Volume yazı kutucuğuna 25,
- * Modulus of Elasticity yazı kutucuğuna 2,06E+11,
- * Poisson's Ratio yazı kutucuğuna 0,3,
- * Coeff of Thermal Expansion yazı kutucuğuna 8,583E+10 yazıp OK düğmesine basın.

Bu ileti kutusu Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

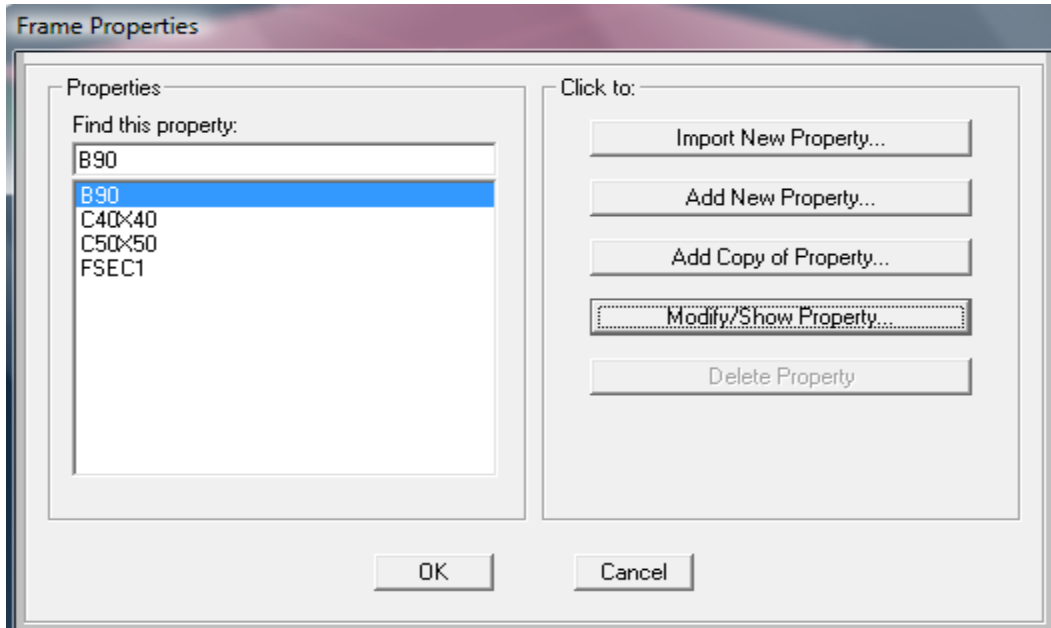


Şekil 2.4 Malzeme özelliklerinin tanımlanması

2.4 Kesit Özelliklerinin Tanımlanması ve Çubuklara Atanması

10. Define menüsünden Sections Properties ardından Frame section seçeneğini seçiyoruz.

11. Yeni kesitler oluşturmak için ekrana gelen Şekil 2.5'deki ileti kutusunda Add New Property düğmesine basıyoruz.



Şekil 2.5 Kesit özelliklerinin tanımlanması

12. Şekil 2.6'da açılan pencerede kesit adına B90 yazılır.

- * Penceredeki Cross- section area kutucuğuna 0,241
- * Moment of İntertia about 3 axis kutucuğuna 7,64E-03 yazıp OK düğmesine basın.
- * Karşımıza çıkan yeni pencerede sadece material kutucuğuna daha önceden tanımladığımız BS25 malzemesini seçip OK düğmesine basınız.

Property Data			
Section Name		B90	
Properties			
Cross-section (axial) area	0,241	Section modulus about 3 axis	0,0198
Torsional constant	3,056E-03	Section modulus about 2 axis	0,0202
Moment of Inertia about 3 axis	7,645E-03	Plastic modulus about 3 axis	0,0352
Moment of Inertia about 2 axis	9,104E-03	Plastic modulus about 2 axis	0,0355
Shear area in 2 direction	0,15	Radius of Gyration about 3 axis	0,1781
Shear area in 3 direction	0,105	Radius of Gyration about 2 axis	0,1944

Şekil 2.6 Kesit özelliklerinin tanımlanması

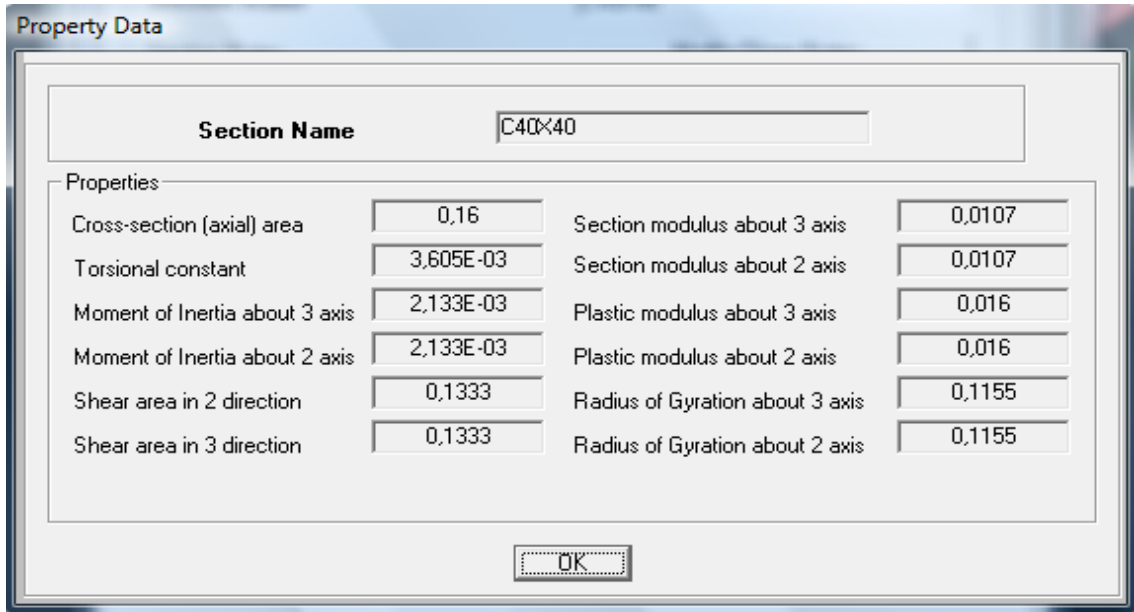
Tee Section			
Section Name		B90	
Section Notes		Modify/Show Notes...	
Properties		Property Modifiers	
Section Properties...		Set Modifiers...	
		Material	
		+ BS25	
Dimensions			
Outside stem (t3)	0,6		
Outside flange (t2)	0,9		
Flange thickness (tf)	0,14		
Stem thickness (tw)	0,25		
		Display Color	
		[Red Square]	

Şekil 2.7 Kesit özelliklerinin tanımlanması

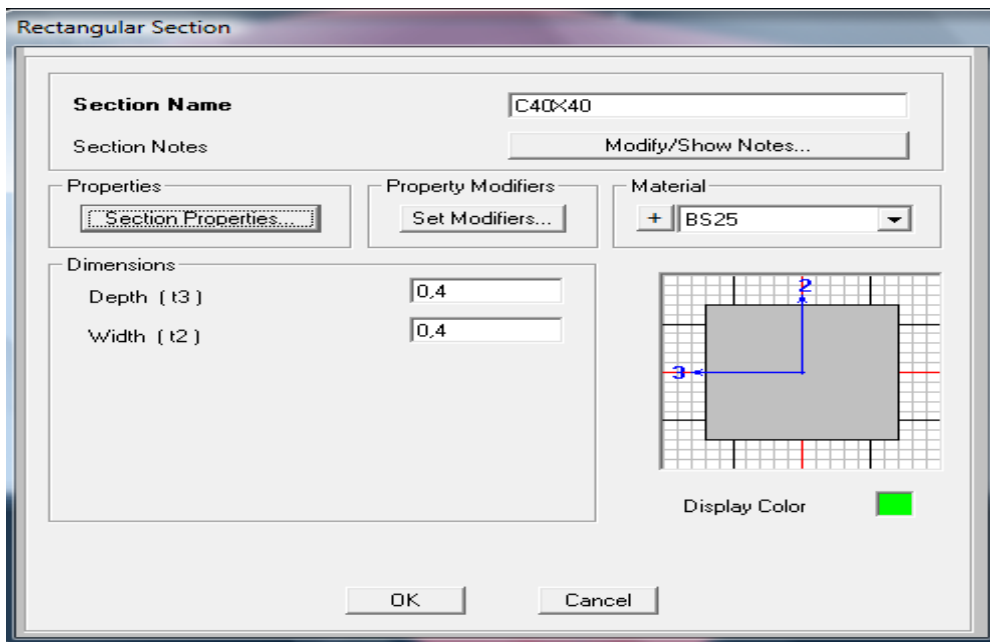
13. Açılan pencerede kesit adına C40X40 yazılır. C40X40 kesit özellikleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

Penceredeki Cross- section area kutucuğuna 0,16

- * Moment of İntertia about 3 axis kutucuğuna 2,133E-03 yazıp OK düğmesine basın,
- * Karşımıza çıkan yeni pencerede sadece material kutucuğuna daha önceden tanımladığımız BS25 malzemesini seçip OK düğmesine basınız.



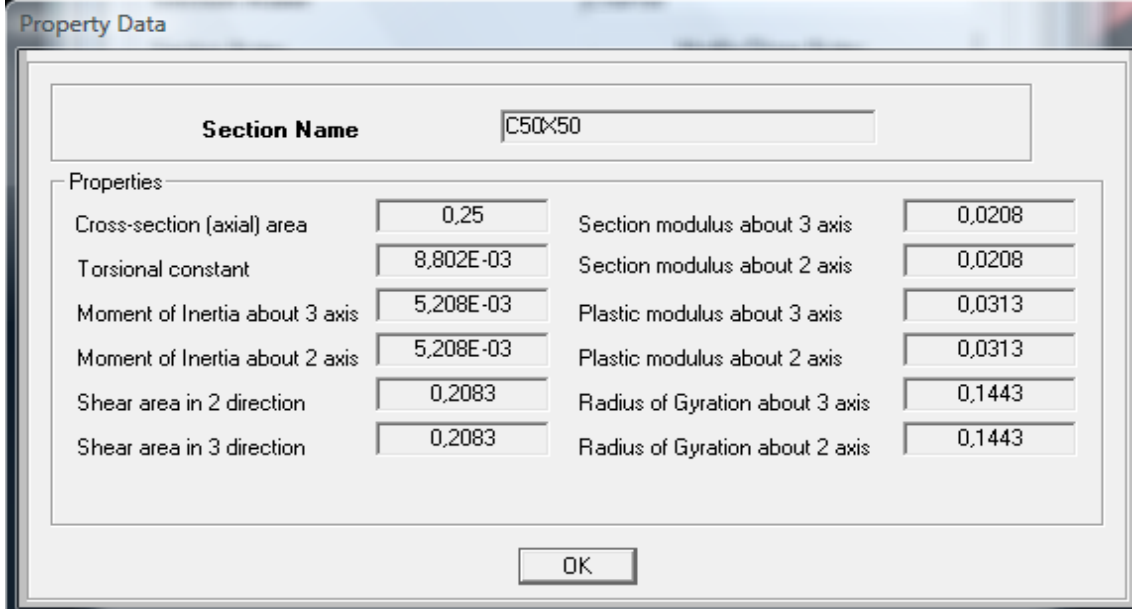
Şekil 2.8 Kesit özelliklerinin tanımlanması



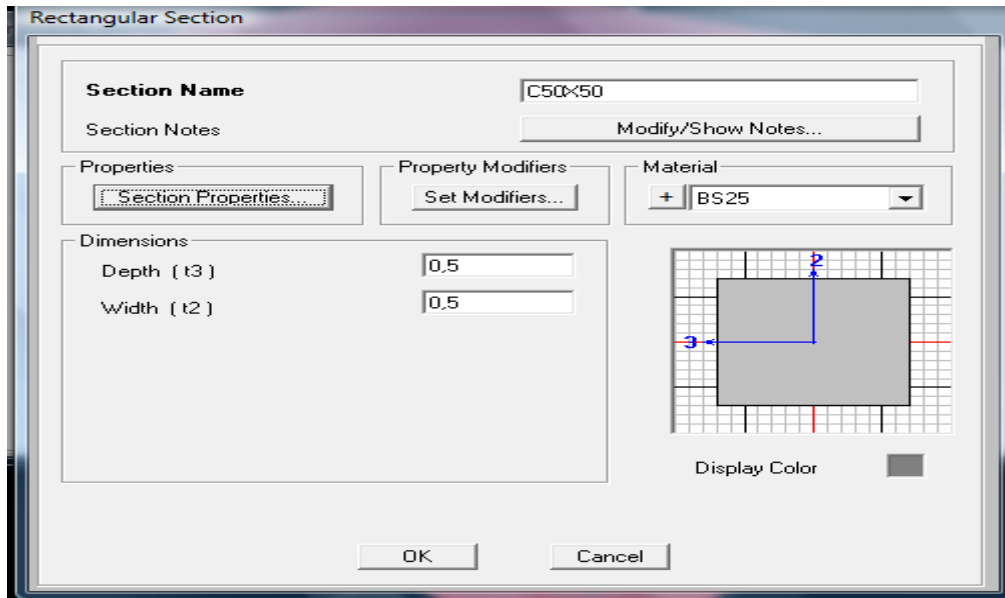
Şekil 2.9 Kesit özelliklerinin tanımlanması

14. Açılan pencerede kesit adına C50X50 yazılır.

- * Penceredeki Cross- section area kutucuğuna 0,25
- * Moment of İntertia about 3 axis kutucuğuna 5,208E-03 yazıp OK düğmesine basın,
- * Karşımıza çıkan yeni pencerede sadece material kutucuğuna daha önceden tanımladığımız BS25 malzemesini seçip OK düğmesine basınız.



Şekil 2.10 Kesit özelliklerinin tanımlanması



Şekil 2.11 Kesit özelliklerinin tanımlanması

Şekil 2.10 ve 2.11’de C50X50 kesit özellikleri gösterilmiştir.

15. Kesitler tanımlandıktan sonra 1, 2, 3'üncü katlardaki kolonlar seçilerek Assign menüsünden Frame/ Cable / Tendon seçeneğinden C50X50 seçilip OK düğmesine basılır.

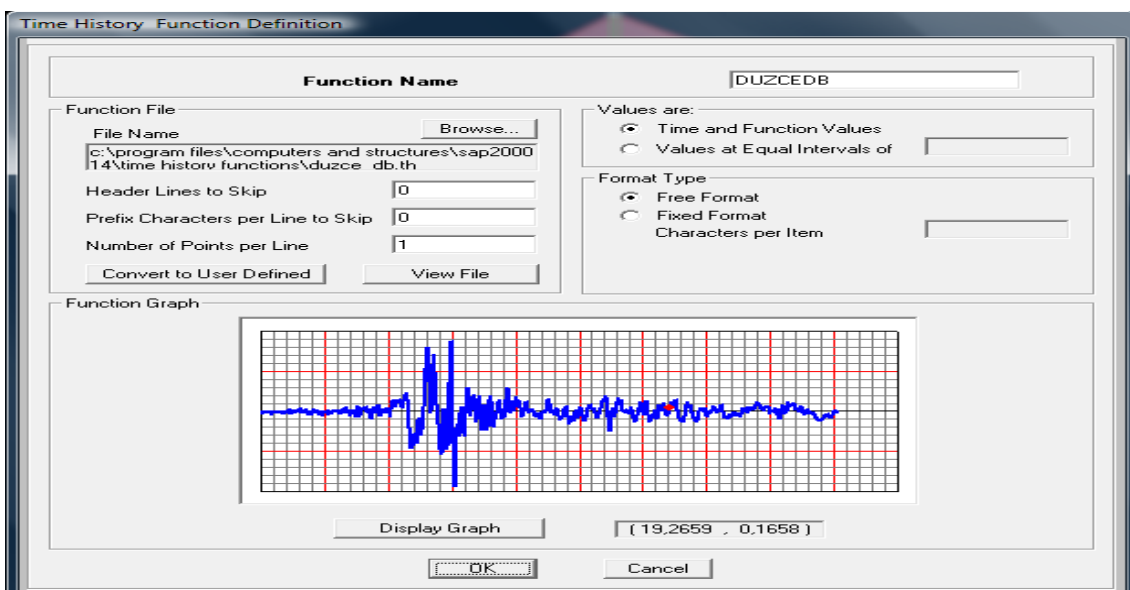
16. Kesitler tanımlandıktan sonra 4'üncü katlardaki kolonlar seçilerek Assign menüsünden Frame/ Cable / Tendon seçeneğinden C40X40 seçilip OK düğmesine basılır.

17. Kesitler tanımlandıktan sonra bütün katlardaki kirişler seçilerek Assign menüsünden Frame/ Cable / Tendon seçeneğinden B90 seçilip OK düğmesine basılır. Bu şekilde tüm kesitler atanmış olur.

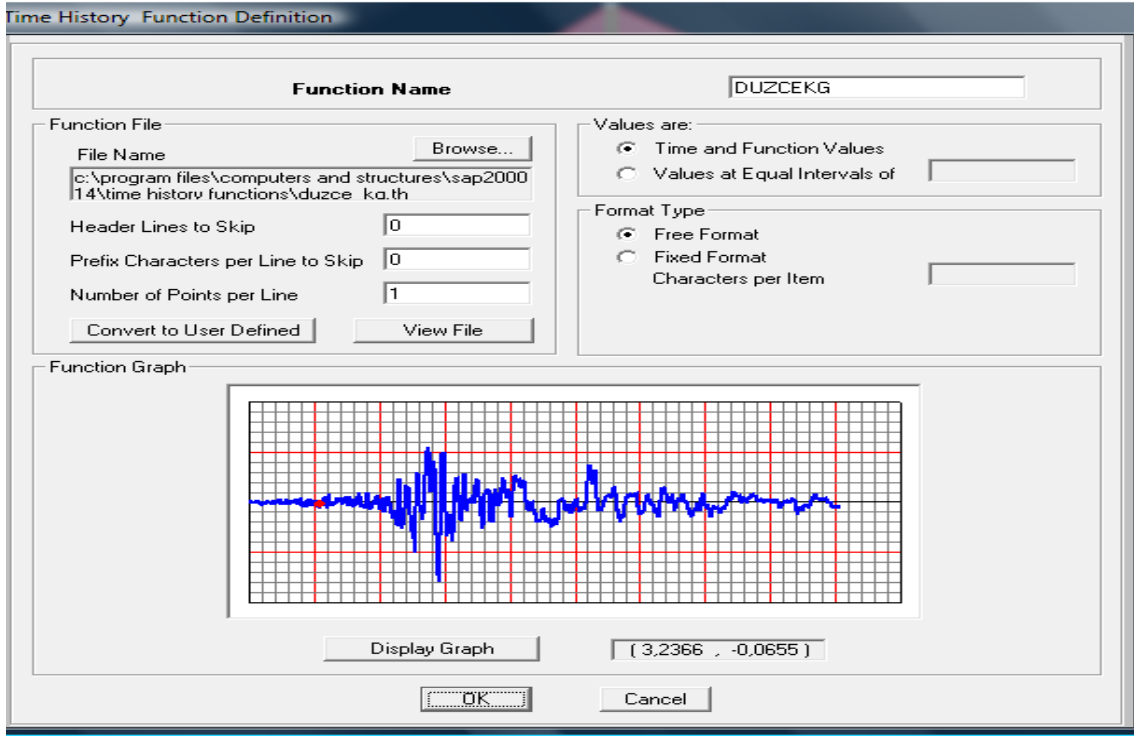
2.5 Sisteme Deprem Datalarının Etki Ettirilmesi

18. Define menüsünden functions'ı seçip sonra Time History seçeneğini seçiyoruz. Açılan penceredeki kutucuktan From File seçeneğini seçip Add New Function düğmesine basıyoruz. Şekil 2.12, 2.13'de deprem datalarının modele atanma aşamaları gösterilmiştir.

19. Açılan pencerede Function File kısmındaki browse düğmesine tıklayıp elimizdeki Düzce DB Düzce KG deprem dataları dosyasını seçip OK düğmesine basıyoruz. Values are kısmında ise Time and Function Values seçeneğini tıklıyoruz ve ardından Function Graph kısmındaki Display Graph düğmesine tıklayıp sonrada 2 kez OK düğmesine tıklayıp pencereleri kapatıyoruz.



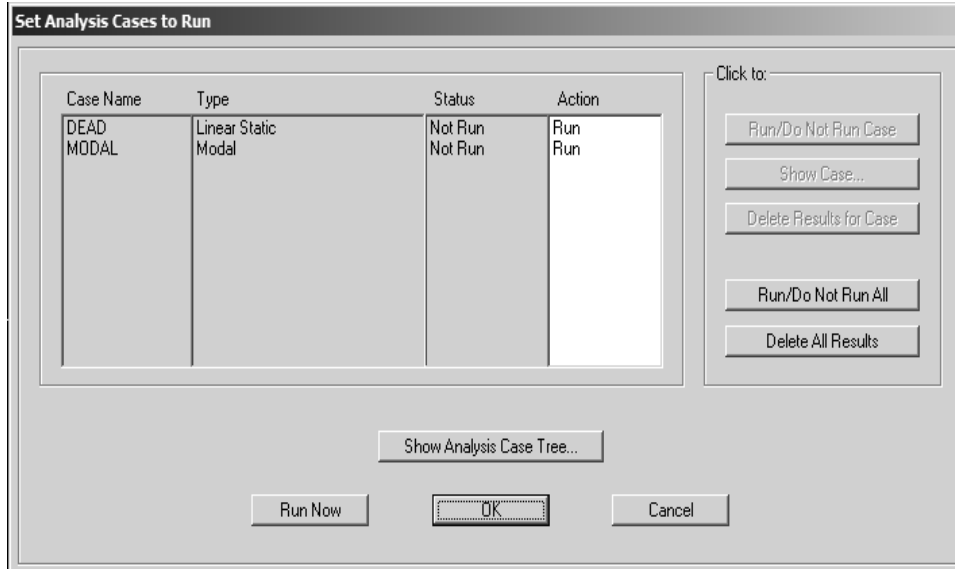
Şekil 2.12 Deprem datalarının atanması (Düzce DB)



Şekil 2.13 Deprem datalarının atanması (Düzce KG)

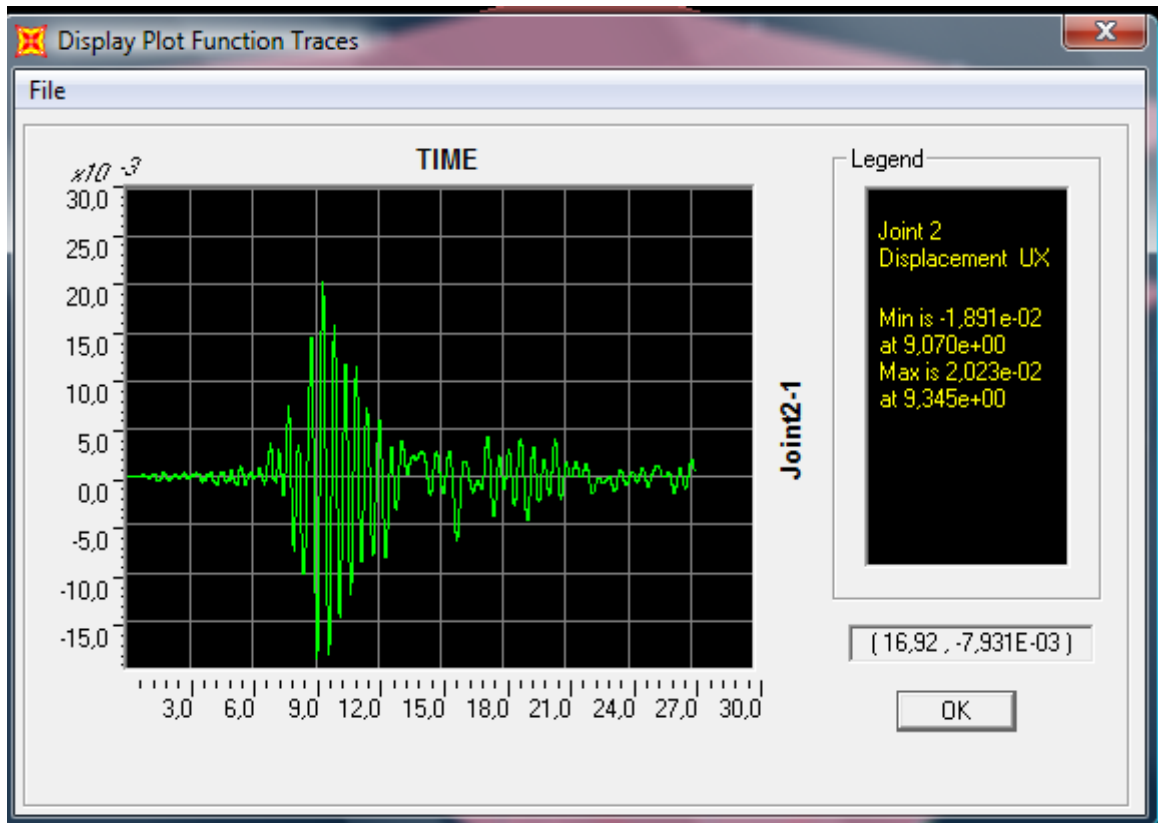
2.6 Sistemin Analizinin Yapılması

20. F5 tuşuna basıp Run Now düğmesini tıklıyoruz.

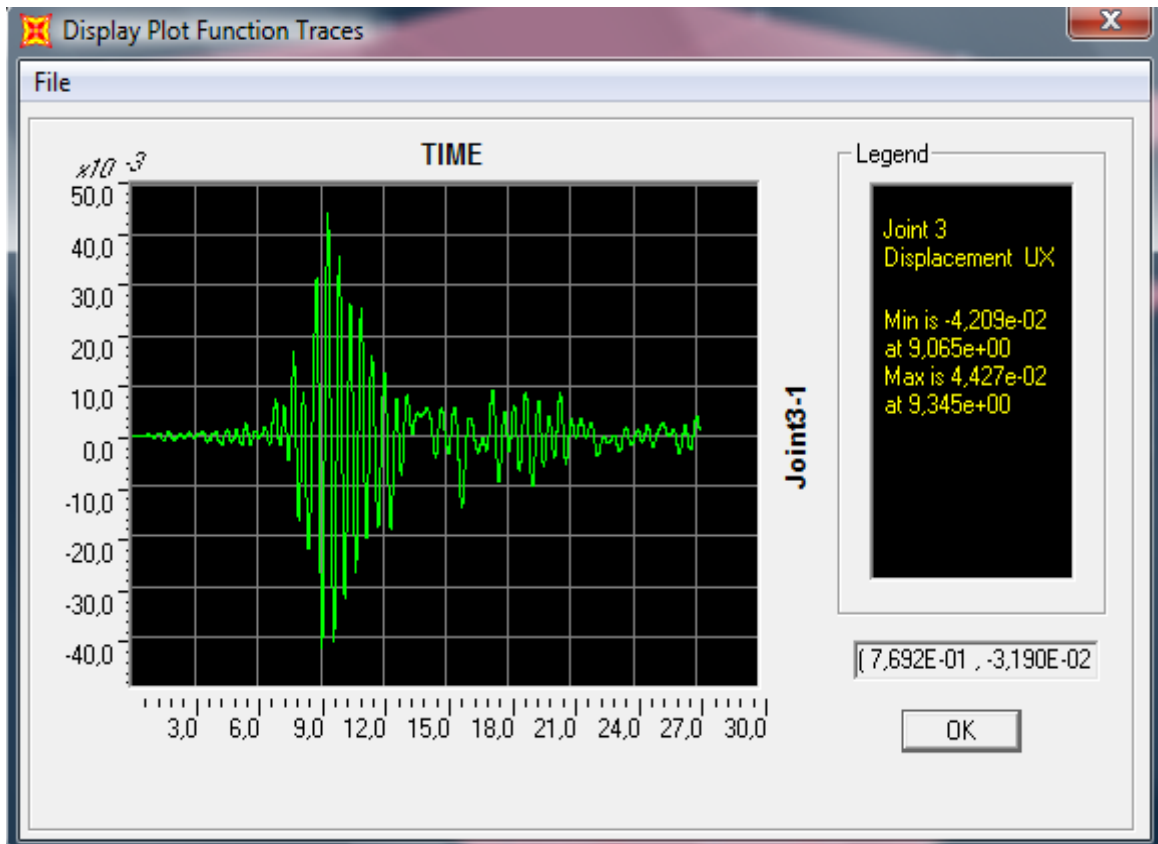


Şekil 2.14 Sistemin analizinin yapılması

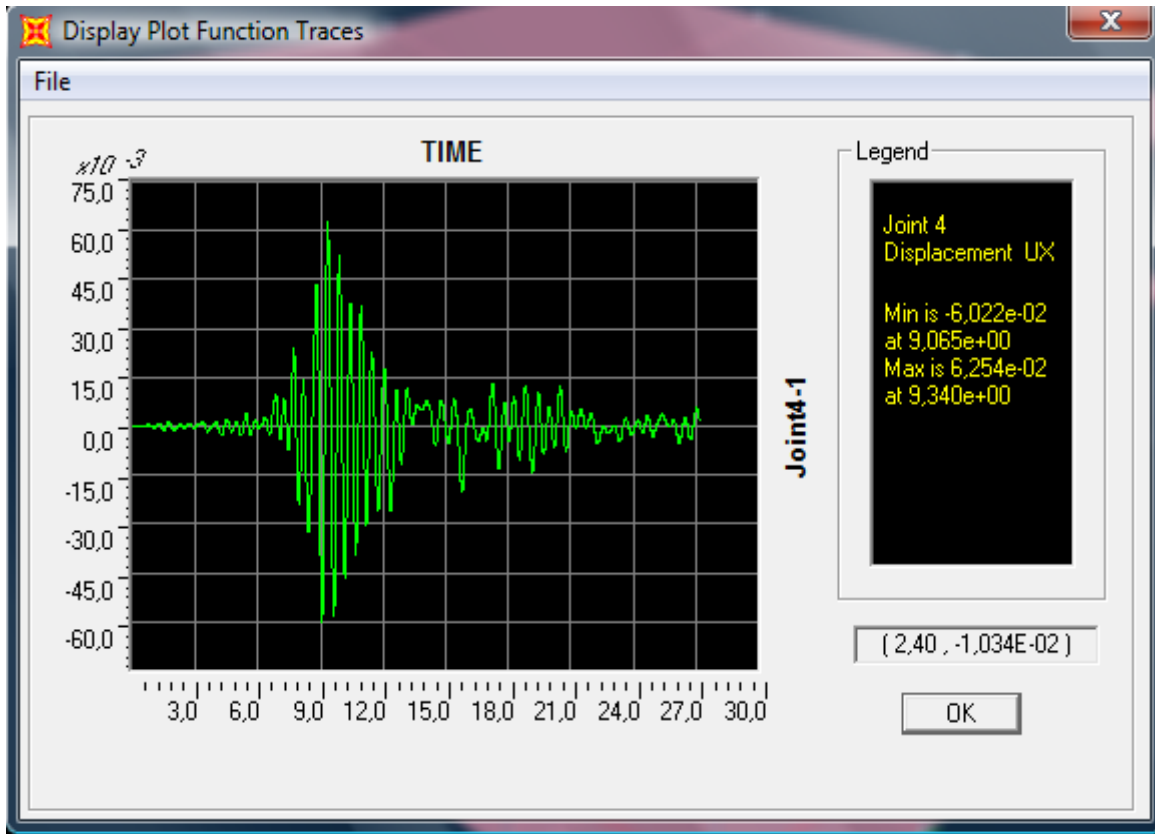
* Deplasmanlar izolatörsüz sistem için Şekil 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 gösterilmiştir.



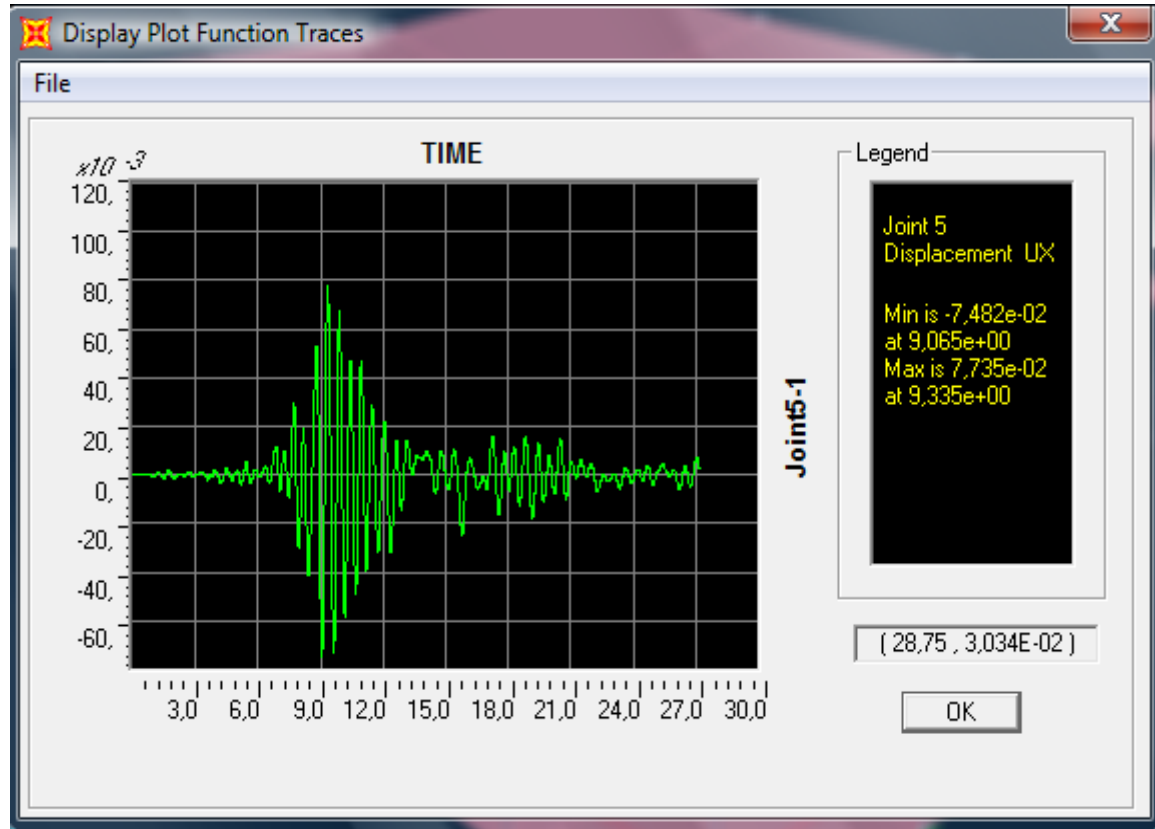
Şekil 2.15 İzolatsız yapı için 2. kat deplasman



Şekil 2.16 İzolatsız yapı için 3. kat deplasman



Şekil 2.17 İzolatsız yapı için 4. kat deplasman



Şekil 2.18 İzolatsız yapı için 5. kat deplasman

Ankastre mesnet seviyesinde deplasman '0' çıkmıştır. Üst katlarda ise deplasman sürekli artmış yani katlar arası rölatif deplasman artmıştır. Bu yapı için olumsuz sonuçlar doğurmakta, yapının ciddi hasarlar almasına sebep olmaktadır. Deplasman yukardaki gibi çıkmıştır. Sistem izolasyonsuz olarak RUN edilmiştir. Sonuç yukardaki gibidir.

21. Define menüsünden Load Cases kısmından Add New Load Case düğmesini tıklıyoruz.

22. Penceredeki Lode Case Type kısmında Time History seçeneğini seçiyoruz.

23. Loads Applied kısmındaki en sağ kutucukta Accel seçeneğini, Load name kutusunu U1, Function kutusunu Düzce KG, Scale Factor kutusunu 1 yapıp Add Düğmesine tıklıyoruz.

24. Loads Applied kısmındaki en sağ kutucukta Accel seçeneğini, Load name kutusunu U2, Function kutusunu Düzce DB, Scale Factor kutusunu 1 yapıp Add Düğmesine tıklıyoruz.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	DUZCEKG	1.
Accel	U2	DUZCEDB	1.

Şekil 2.19 Load Case Data tanımlanması

25. Time step data kısmında Number of Output Time Steps kısmına 300, Output Time Step Size kısmına ise 0,1 yazıyoruz.

26. Time History kısmında Modal seçeneğini tıklıyoruz.

27. Analysis Type kısmında Nonliner seçeneğini tıklıyoruz.

28. Load case name bölümüne DEPREM yazıyoruz.

29. Use modal case kısmında ise Modal 1 seçiyoruz.

2.7 Sönümleyici (Link Elaman) Tanımlanması ve Sisteme Atanması

30. Define menüsünden Section Properties ardından Link/supprot Properties seçeneğini seçtikten sonra Add New Property düğmesini tıkladıktan sonra üstteki kutucuktan Rubber Isolator seçeneğini seçiyoruz property name İZOLATÖR yazıyoruz mass butonuna 0.175 yazıyoruz ve Directional Properties kısmındaki U1 kısmını aktif hale getiriyoruz. U2 kısmını da aktif hale getiriyoruz yalnız U2 yönünde nonliner analiz istendiği için Nonliner butonunuda tıklıyoruz. Aynı işlemleri de U3 yönü için nonliner olacak şekilde yapıyoruz. İki kez OK'e basarak işlemi tamamlıyoruz.

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Şekil 2.20 İzolatörlerin tanımlanması

31. U1'in yanndaki Modify/Show for U1 düğmesini tıklayıp Effective Stiffness değerimiz olan 1750000 değerini Effective Damping değeri 0 olarak yazılır ve OK butonuna basılır.

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	IZOLATOR
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No
Properties Used For All Analysis Cases	
Effective Stiffness	1750000.
Effective Damping	0.
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Şekil 2.21 İzolatorün özelliklerinin tanımlanması

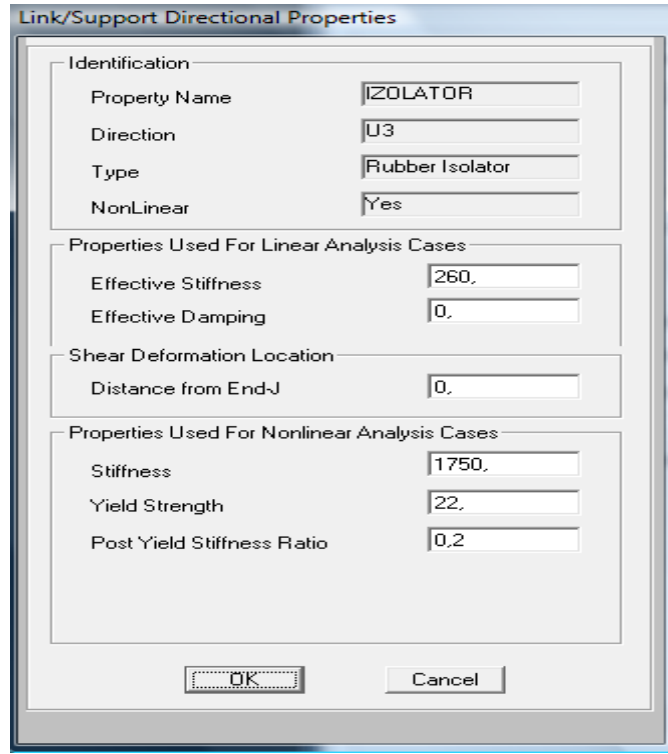
32. U2'in yanndaki Modify/Show for U2 düğmesini tıklayıp Effective Stiffness değerimiz 260 , Effective Damping 0 , Distance From End-J 0 , nonliner analiz için ise Stiffness 1750 , Yield Strength 22 , Post Yield Stiffness 0,2 olarak yazılır ve OK butonuna basılır.

33. U1'in yanndaki Modify/Show for U2 için belirlenen değerlerin hepsini U3 nonliner analizi için de kullanırız ve 3 kez OK butonuna basarız.

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	IZOLATOR
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	260.
Effective Damping	0.
Distance from End-J	0.
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	1750.
Yield Strength	22.
Post Yield Stiffness Ratio	0.2
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

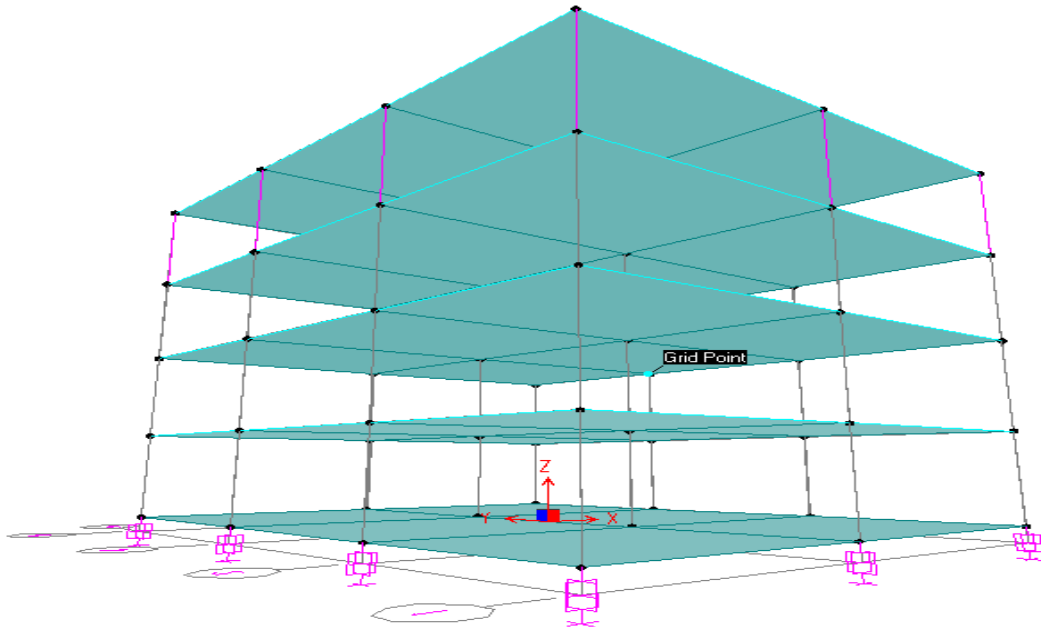
Şekil 2.22 İzolatorün özelliklerinin tanımlanması

34. Bu işlemlerden sonra Draw menüsünden Draw Joint Link i seçiyoruz ve sönümleyici atıyoruz.En alt kattaki taban düğüm noktalarının hepsinin üzerini tıklayarak izolatörleri atıyoruz.



Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	IZOLATOR
Direction	U3
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	260.
Effective Damping	0.
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	1750.
Yield Strength	22.
Post Yield Stiffness Ratio	0.2

Şekil 2.23 İzolatörün özelliklerin tanımlanması



Şekil 2.24 İzolatörlerin atanması

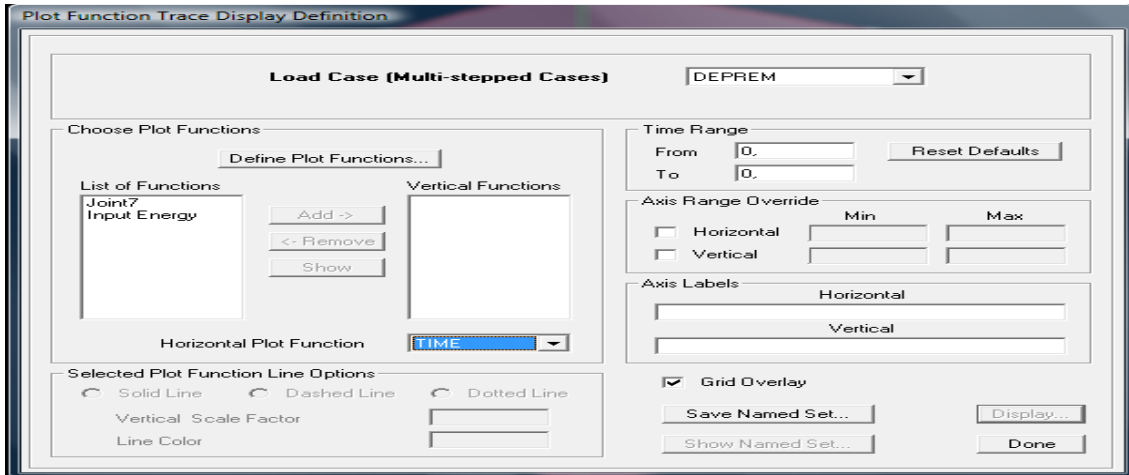
2.8 Yeniden Sistem Analizinin Yapılması

35. F5 tuşuna basıp, Run Now düğmesi tıklanır.

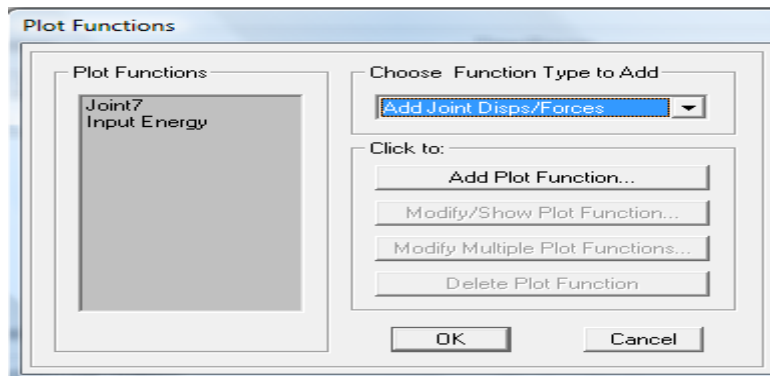
2.9 Sonuçların Görüntülenmesi (Deplasman ve İvme Değerlerinin Alınması)

36. Analiz bittikten sonra Display menüsünden Show Plot Functions seçeneğini seçiyoruz.

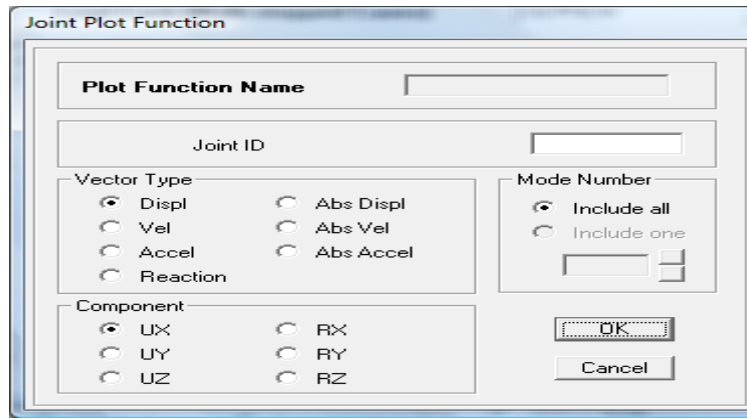
37. Açılan pencerede Define Plot Function düğmesini tıklayıp sağdaki kutucuktan Add Joint Disps/Forces seçeneğini seçip Add Plot Functions düğmesini tıklıyoruz ve deplasmana bakacaksak Disp, ivmeye bakacaksak Accel seçeneğinin tıklı olması gerekir. Düğüm nokta numaramızıda yazıp OK düğmesine tıklıyoruz. Bunu tüm katlardaki düğüm noktalarımız için yapıyoruz. Katları rijit diyafram olarak tanımladığımızdan dolayı her katta sadece tek bir düğüm noktasını yazmamız yeterli olacaktır.



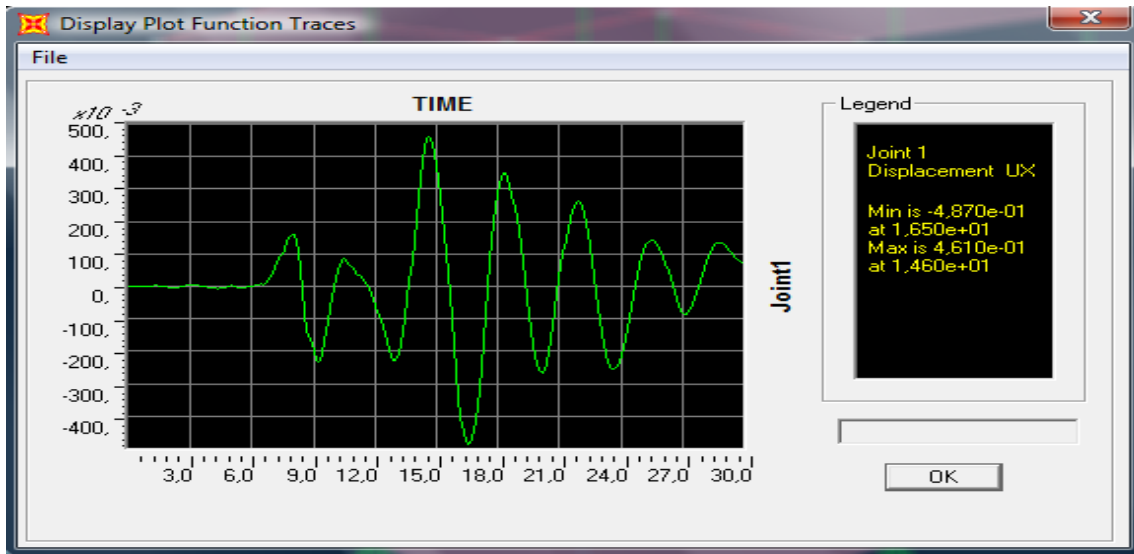
Şekil 2.25 Nokta atanması



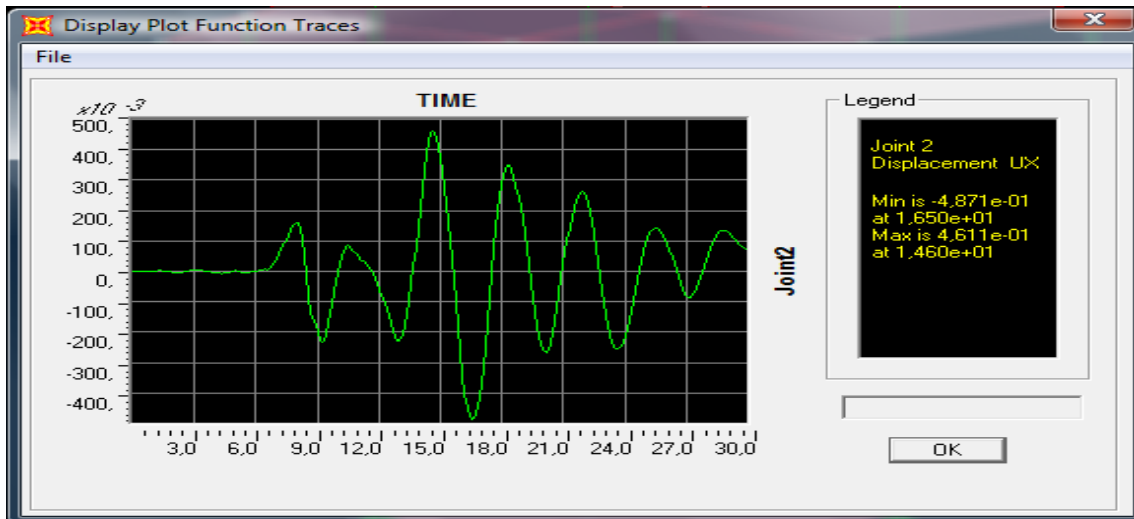
Şekil 2.26 Deplasmanı okunacak noktaların atanması



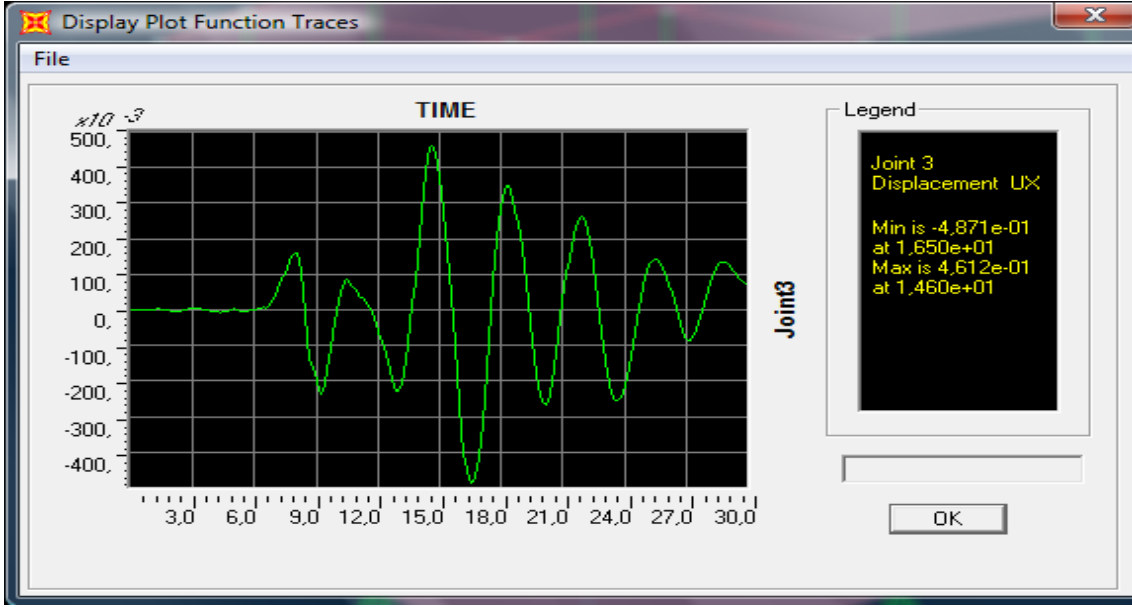
Şekil 2.27 Deplasman yönlerinin belirlenmesi



Şekil 2.28 1'inci kattaki deplasman

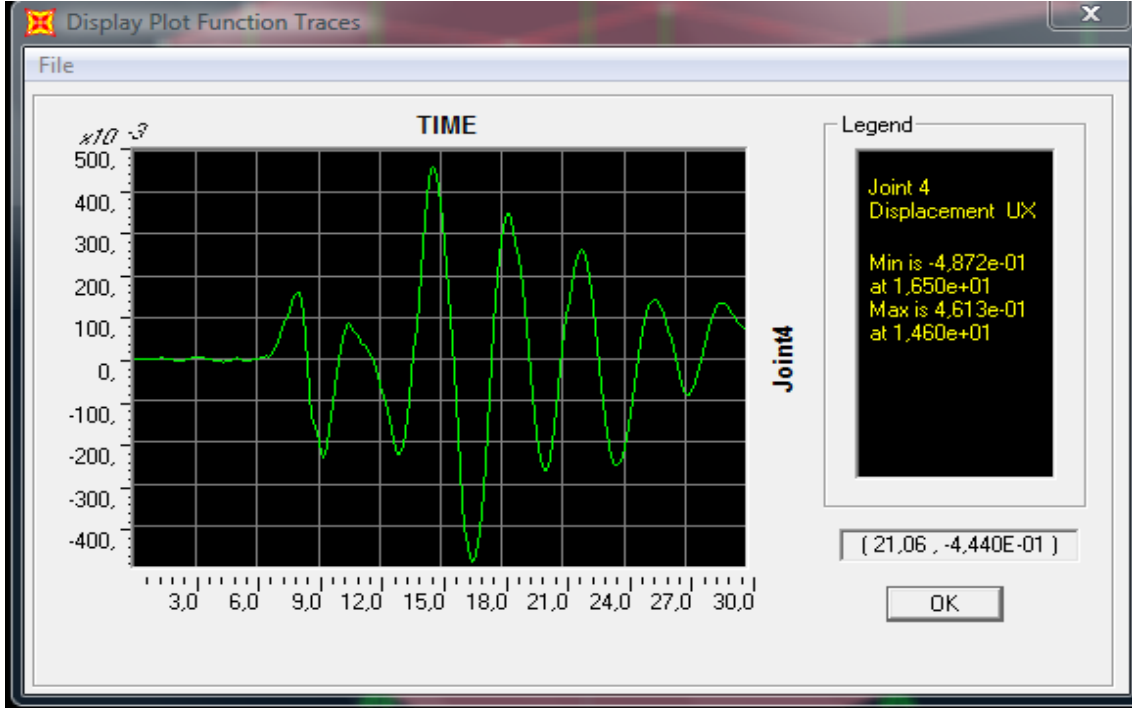


Şekil 2.29 2'inci kattaki deplasman

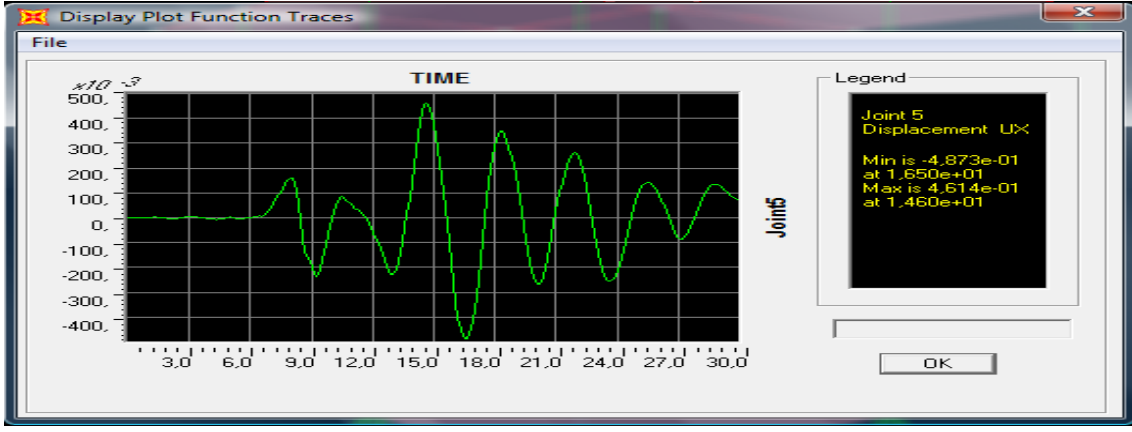


Şekil 2.30 3'üncü kattaki deplasman

Atanan noktalar ait deplasmanlar yukarıdaki sıra izlenerek çizdirilir. Şekil 2.22'de görülen fonksiyon 1 noktası için yani izolatör noktası için çizdirilmiş deplasman fonksiyonudur. Bu işlemi diğer noktalara da aşağıdaki şekillerde de gösterildiği gibi uygulanmış ve deplasmanlar elde edilmiştir. Deplasmanlar Şekil 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32'de gösterilmiştir.



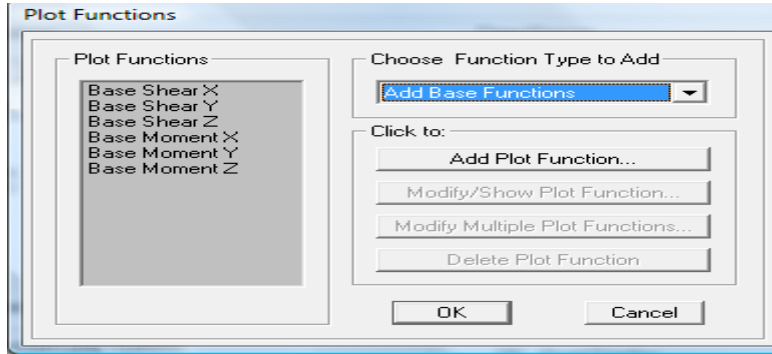
Şekil 2.31 4'üncü kattaki deplasman



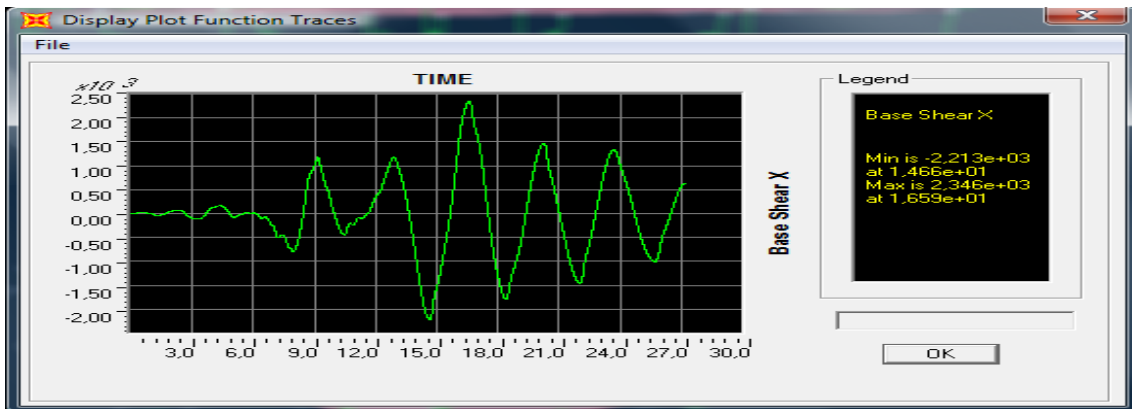
Şekil 2.32 5'inci kattaki deplasman

2.10 Taban Kesme Kuvvetlerinin ve Eğilme Momentlerinin Belirlenmesi

Chose Function Tybe to Add menüsünden Add Base Function seçeneği seçilir ve X; Y, Z yönündeki Base Shear ve Base Momentler atanarak Display Plot Function Traces menüsünden değerler okutulur.

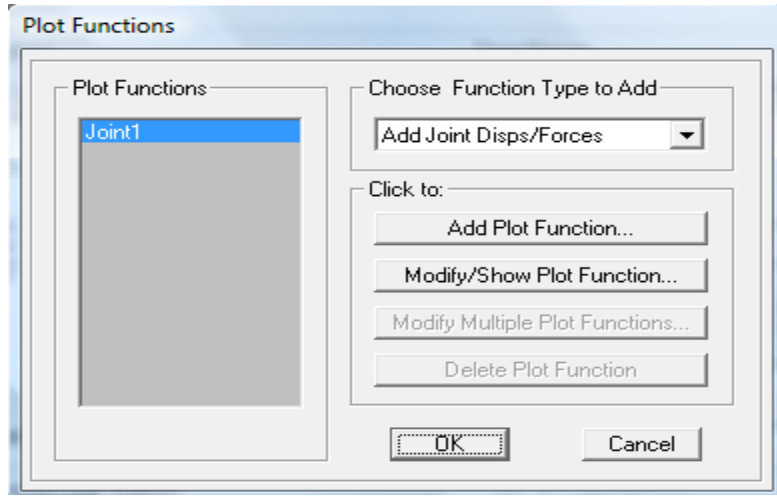


Şekil 2.33 Taban kesme kuvvetlerinin ve momentlerinin belirlenmesi

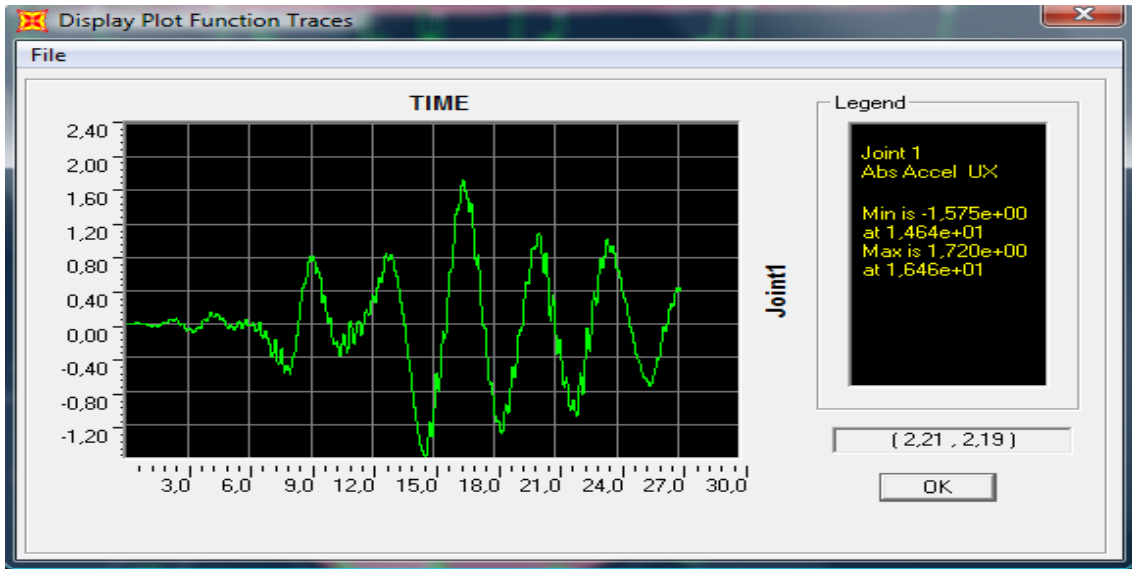


Şekil 2.34 Taban kesme kuvvetlerinin gösterilmesi

2.11 Kat İvmelerinin Belirlenmesi



Şekil 2.35 Kat ivmeleri için nokta atanması



Şekil 2.36 Nihai ivmelerin gösterilmesi

Chose Function Tybe to Add menüsünden Add Joint Disps/Forces seçeneği seçilir noktalar atanarak her noktadaki Display Plot Function Traces menüsünden ivme değerleri okutulur. (Şekil 2.35 ve Şekil 2.36)

BÖLÜM III

DAVRANIŞIN SAYISAL ÇÖZÜMÜ İÇİN NEWMARK-β YÖNTEMİ

3.1 Giriş

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, yapısal davranışın çözümünde sayısal metotların geliştirilmesini ve yaygın olarak kullanılmasını artırmıştır [4]. Davranışın çözümlenmesinde yapı için tanımlanan kuvvet fonksiyonlarını ayırklaştırmak gerekir. Kuvvetin fonksiyonları genellikle zaman tanım alanında ayırklaştırılarak kullanılır. Sayısal analizin ana teması davranışı adım adım çözmektir.

Verilen k. adımdaki kuvvet ve davranışla ilgili bilgiler ile (k+1). adımdaki ivme, hız, ve yer değiştirme bilgilerine ulaşılmaktadır. Hareketin denklemi,

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F_p(t) \quad (3.1)$$

formunda yazılabilir. Daha sonra aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\ddot{x}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{x}(t) + \omega_n^2x(t) = \frac{F_p(t)}{m} \quad (3.2)$$

Burada,

$$\dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt} \quad \ddot{x}(t) = \frac{d\dot{x}(t)}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (3.3) için ayırklaştırma genellikle yapılmaz. Fakat bunun yerine, ayırklaştırma bir integral denklemi için yazılabilir. Çünkü, hesaplamalarda eğrinin altında kalan alan yüksek doğruluk ile bulunabilir. Denklem (3.3) tekrar yazılırsa,

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \dot{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \ddot{x}(s) ds & x(t) &= x(t_0) + \int_{t_0}^t \dot{x}(s) ds \\ t_{k+1} &= t_k, \quad t_k = t_0 & \Delta t &= t_{k+1} - t_k \end{aligned} \quad (3.4)$$

haline gelmektedir. Daha sonra, bu denklemler aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$\dot{x}_{k+1} = \dot{x}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \ddot{x}(s) ds \quad x_{k+1} = x_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \dot{x}(s) ds \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'i çözmek için yaklaşık olarak sürekli olan bir ivme fonksiyonu ($\ddot{x}(s)$) tanımlamak gerekir. Sürekli bir ivme fonksiyonu tanımlamanın pek çok yolu vardır. En yaygın bilinen ve mühendislerce kullanılan üç yol vardır. Bunlar; sabit ivme, sabit ortalama ivme ve lineer ivme olarak tanımlanmıştır.

3.2 Sabit İvme

Sabit ivme, t_k ile t_{k+1} zaman aralığında ivmeyi sabit kabul eder. Bu aralıkta ivmenin büyüklüğü zaman aralığının başlangıcındaki büyüklüğe eşittir. Bu durum,

$$\ddot{x}(t) = \ddot{x}(t_k) = \ddot{x}_k \quad t_k \leq t \leq t_{k+1} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. İvme bilindiğine göre Denklem (3.5)'den,

$$\dot{x}_{k+1} = \dot{x}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \ddot{x}_k dt = \dot{x}_k + \ddot{x}_k \Delta t \quad (3.7a)$$

$$x_{k+1} = x_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} [\dot{x}_k + \ddot{x}_k(t - t_k)] dt = x_k + \dot{x}_k \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{x}_k \Delta t^2 \quad (3.7b)$$

şeklinde hız ve yer değiştirme değerleri bulunabilir. Dikkat edilmesi gereken nokta ise, bu denklemlerin sağ tarafındaki terimlerin k. adımdaki değerler olduğudur.

3.3 Sabit Ortalama İvme

Sabit ortalama ivme kabulünde her bir zaman aralığında ivme sabit ve büyüklüğü de başlangıçtaki ile sonraki adımdaki değerlerin ortalamasına eşittir. Bu durum,

$$\ddot{x}(t) = \frac{1}{2}(\ddot{x}(t_k) + \ddot{x}(t_{k+1})) = \frac{1}{2}(\ddot{x}_k + \ddot{x}_{k+1}) \quad t_k \leq t \leq t_{k+1} \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir. Hız ve yer değiştirme değerleri ise,

$$\dot{x}_{k+1} = \dot{x}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \frac{1}{2}(\ddot{x}_k + \ddot{x}_{k+1}) dt = \dot{x}_k + \frac{1}{2} \ddot{x}_k \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{x}_{k+1} \Delta t \quad (3.9a)$$

$$x_{k+1} = x_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \left[\dot{x}_k + \frac{1}{2}(\ddot{x}_k + \ddot{x}_{k+1})(t - t_k) \right] dt = x_k + \dot{x}_k \Delta t + \frac{1}{4} \ddot{x}_k \Delta t^2 + \frac{1}{4} \ddot{x}_{k+1} \Delta t^2 \quad (3.9b)$$

olarak yazılabilir.

3.4 Lineer İvme

Lineer ivme kabulünde ise ivmenin başlangıç ile sonraki adım arasında lineer olarak değiştiği kabul edilir. İvme k. adımda,

$$\ddot{x}(t) = \ddot{x}(t_k) + \left[\frac{\ddot{x}(t_{k+1}) - \ddot{x}(t_k)}{t_{k+1} - t_k} \right] (t - t_k) = \ddot{x}(t_k) + \left[\frac{\ddot{x}_{k+1} - \ddot{x}_k}{t_{k+1} - t_k} \right] (t - t_k) \quad t_k \leq t \leq t_{k+1} \quad (3.10)$$

formunda yazılabilir. Buna bağlı olarak hız ve yer değiştirme,

$$\dot{x}_{k+1} = \dot{x}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \left[\ddot{x}_k + \frac{(\ddot{x}_{k+1} - \ddot{x}_k)}{t_{k+1} - t_k} (t - t_k) \right] dt = \dot{x}_k + \frac{1}{2} \ddot{x}_k \Delta t + \frac{1}{6} \ddot{x}_{k+1} \Delta t^2 \quad (3.11a)$$

$$x_{k+1} = x_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \left[\dot{x}_k + \ddot{x}_k (t - t_k) + \frac{1}{2} \left(\frac{\ddot{x}_{k+1} - \ddot{x}_k}{t_{k+1} - t_k} \right) (t - t_k)^2 \right] dt = x_k + \dot{x}_k \Delta t + \frac{1}{3} \ddot{x}_k \Delta t^2 + \frac{1}{6} \ddot{x}_{k+1} \Delta t^2 \quad (3.11b)$$

şeklinde yazılabilir.

Mühendislerce en yaygın olarak kullanılan sayısal integrasyon metodu Newmark- β metodudur. Bu metot üç farklı kabul için genelleştirilmiştir. Burada üç eş denklem aşağıdaki gibi çıkarılmıştır.

$$\ddot{x}(t) + 2\zeta \omega_n \dot{x}(t) + \omega_n^2 x(t) = \frac{F_{k+1}}{m} \quad (3.12a)$$

$$\dot{x}_{k+1} = \dot{x}_k + (1 - \beta_N) \Delta t \ddot{x}_k + \beta_N \Delta t \ddot{x}_{k+1} \quad (3.12b)$$

$$x_{k+1} = x_k + \dot{x}_k \Delta t + \left(\frac{1}{2} \right) \Delta t^2 \ddot{x}_k + \alpha_N \Delta t^2 \ddot{x}_{k+1} \quad (3.12c)$$

Burada F_{k+1} sürekli bir fonksiyon olan $F_e(t)$ 'nin (k+1). adımdaki değeridir. Bu üç farklı kabul için katsayılar aşağıdaki gibi değişmektedir.

1. Sabit ivme $\delta_N=0$ ve $\alpha_N=0$
2. Sabit ortalama ivme $\delta_N=1/2$ ve $\alpha_N=1/4$
3. Lineer ivme $\delta_N=1/2$ ve $\alpha_N=1/6$

Denklem (3.12a)'nın içine Denklem (3.12b) ve (3.12c) yerleştirilir ise,

$$\ddot{x}_{k+1} + 2\zeta\omega_n [\dot{x}_k + (1 - \delta_N)\Delta t \dot{x}_k + \delta_N \Delta t \ddot{x}_{k+1}] + \omega_n^2 \left[x_k + \dot{x}_k \Delta t + \left(\frac{1}{2}\right) \Delta t^2 \ddot{x}_k + \alpha_N \Delta t^2 \ddot{x}_{k+1} \right] = \frac{F_{k+1}}{m} \quad (3.13)$$

haline gelir. Denklem (3.13) tekrar düzenlenirse,

$$(1 + 2\zeta\omega_n \delta_N \Delta t + \omega_n^2 \alpha_N \Delta t^2) \ddot{x}_{k+1} = -\omega_n^2 x_k - [2\zeta\omega_n + \omega_n^2 \Delta t] \dot{x}_k - \left[2\zeta\omega_n (1 - \delta_N) \Delta t + \omega_n^2 \left(\frac{1}{2} - \alpha_N\right) \Delta t^2 \right] \ddot{x}_k + \frac{F_{k+1}}{m} \quad (3.14)$$

şeklinde olur. Buradan, \ddot{x}_{k+1} çözümlerse,

$$\ddot{x}_{k+1} = -\left(\frac{\omega_n^2}{\beta_N}\right) x_k - \left(\frac{2\zeta\omega_n + \omega_n^2}{\beta_N}\right) \dot{x}_k - \frac{\gamma_N}{\beta_N} \ddot{x}_k + \frac{1}{m\beta_N} F_{k+1} \quad (3.15)$$

formunda olur. Burada β_N ve γ_N ,

$$\beta_N = 1 + 2\zeta\omega_n \delta_N \Delta t + \omega_n^2 \alpha_N \Delta t^2 \quad \gamma_N = 2\zeta\omega_n (1 - \delta_N) \Delta t + \omega_n^2 \left(\frac{1}{2} - \alpha_N\right) \Delta t^2 \quad (3.16)$$

şeklindedir. Denklem (3.16), Denklem (3.12b) ve Denklem (3.12c) içine yerleştirilirse,

$$\dot{x}_{k+1} = -\left(\frac{\omega_n^2 \delta_N \Delta t}{\beta_N}\right) x_k + \left(\frac{\beta_N - 2\zeta\omega_n \delta_N \Delta t + \omega_n^2 \alpha_N \Delta t^2}{\beta_N}\right) \dot{x}_k + \left(\frac{\beta_N \Delta t - \delta_N (\beta_N + \gamma_N) \Delta t}{\beta_N}\right) \ddot{x}_k + \frac{\delta_N \Delta t}{m\beta_N} F_{k+1} \quad (3.17)$$

$$x_{k+1} = \left(\frac{\beta_N - \omega_n^2 \alpha_N \Delta t^2}{\beta_N}\right) x_k + \left(\frac{\beta_N \Delta t - 2\zeta\omega_n \alpha_N \Delta t^2 - \omega_n^2 \alpha_N \Delta t^2}{\beta_N}\right) \dot{x}_k + \left(\frac{\frac{1}{2}\beta_N \Delta t^2 - \alpha_N (\beta_N + \gamma_N) \Delta t^2}{\beta_N}\right) \ddot{x}_k + \frac{\alpha_N \Delta t^2}{m\beta_N} F_{k+1} \quad (3.18)$$

haline getirilir. Özet olarak, (k+1). adımdaki davranış, k. adımdaki davranış ve (k+1). adımdaki F_{k+1} dış kuvvetin yardımıyla bulunur. Denklemler (3.15), (3.17) ve (3.18) matris formunda gösterilirse,

$$\begin{pmatrix} X_{k+1} \\ \dot{X}_{k+1} \\ X_{k+1} \end{pmatrix} = F_N \begin{pmatrix} X_k \\ \dot{X}_k \\ X_k \end{pmatrix} + H_N F_{k+1} \quad (3.19)$$

şeklinde olur. Burada,

$$F_N = \frac{1}{\beta_N} \begin{bmatrix} \beta_N - \omega_n^2 \alpha_N \Delta t^2 & \beta_N \Delta t - 2\zeta \omega_n \alpha_N \Delta t^2 - \omega_n^2 \alpha_N \Delta t^3 & \frac{1}{2} \beta_N \Delta t^2 - \alpha_N (\beta_N + \gamma_N) \Delta t^2 \\ -\omega_n^2 \delta_N \Delta t & \beta_N - 2\zeta \omega_n \alpha_N \Delta t - \omega_n^2 \delta_N \Delta t^2 & \beta_N \Delta t - \delta_N (\beta_N + \gamma_N) \Delta t \\ -\omega_n^2 & -2\zeta \omega_n - \omega_n^2 \Delta t & -\gamma_N \end{bmatrix}$$

$$H_N = \left(\frac{1}{m\beta_N} \right) \begin{pmatrix} \alpha_N \Delta t^2 \\ \delta_N \Delta t \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

olarak ifade edilir. N Newmark- β metodunu simgelemektedir. Denklem (3.19) daha da basitleştirilirse,

$$q_k = \begin{pmatrix} X_k \\ \dot{X}_k \\ X_k \end{pmatrix} \quad q_{k+1} = F_N q_k + H_N F_{k+1} \quad (3.21)$$

şekline gelir.

Lineer bir sistemde sabit aralıklı zaman dilimlerinde α_N ve δ_N 'nin seçilen değerleri için ilk olarak F_N ve H_N matrislerinin hesabına ihtiyaç duyulur.

Burada dikkat edilecek önemli bir nokta, sayısal analizin stabilitesidir. Newmark- β metodu için yapı dinamiğinde genellikle sabit ortalama ivme kabulü kullanılır. Çünkü o kabul yüksek dereceden sayısal stabilite göstermektedir.

Dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir nokta ise sayısal doğruluktur. İntegrasyon zaman adımları düşürüldükçe, hesaplamanın doğruluğu artacaktır. Araştırmalar zaman aralığının $\Delta t \leq T_n / 10$ kısıtlamasına uyularak alınmasının oldukça doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Tek serbestlik dereceli bir sistemin deprem davranışında kuvvet fonksiyonu,

$$F_k = -m\ddot{x}_{gk} \quad (3.22)$$

olur. Burada, \ddot{x}_{gk} k. adımdaki yer ivmesidir. Dinamik denge denklemi,

$$\ddot{x}_{k+1} + 2\zeta\omega_N\dot{x}_{k+1} + \omega_N^2x_{k+1} = -\ddot{x}_{gk+1} \quad (3.23)$$

şeklinde olur. Denklem (3.21), deprem etkisi düşünülürse,

$$q_{k+1} = F_N q_k + H_N^{EQ} \ddot{x}_{gk+1} \quad (3.24)$$

haline gelir. Burada,

$$H_N^{EQ} = -\left(\frac{1}{\beta_N}\right) \begin{Bmatrix} \alpha_N \Delta t^2 \\ \delta_N \Delta t \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.25)$$

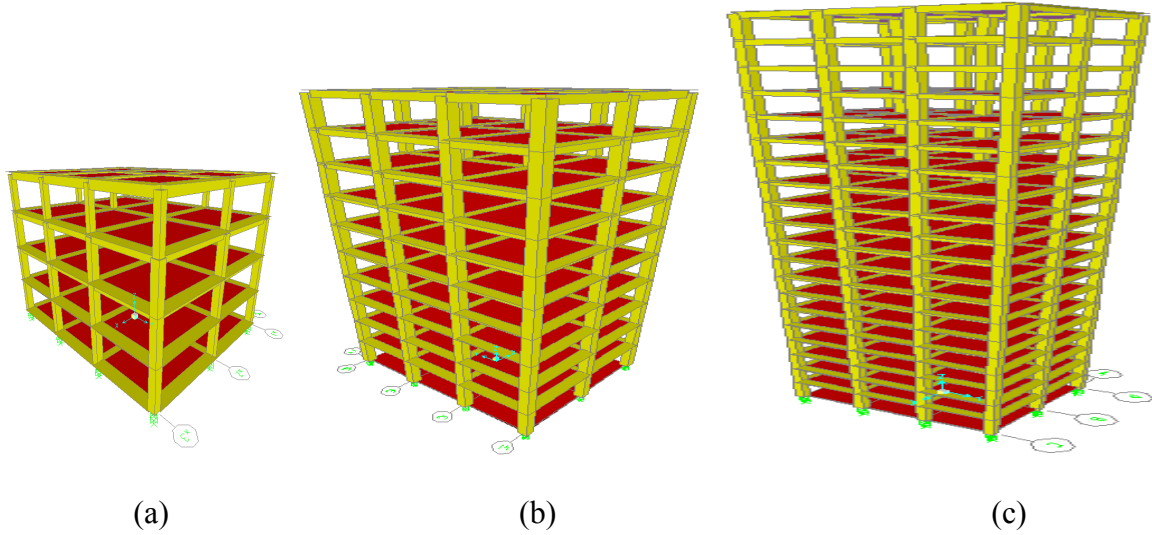
olarak verilmektedir.

BÖLÜM IV

KAUÇUK İZOLATÖRLÜ ÖRNEK YAPI MODELLERİNİN DİNAMİK ANALİZİ

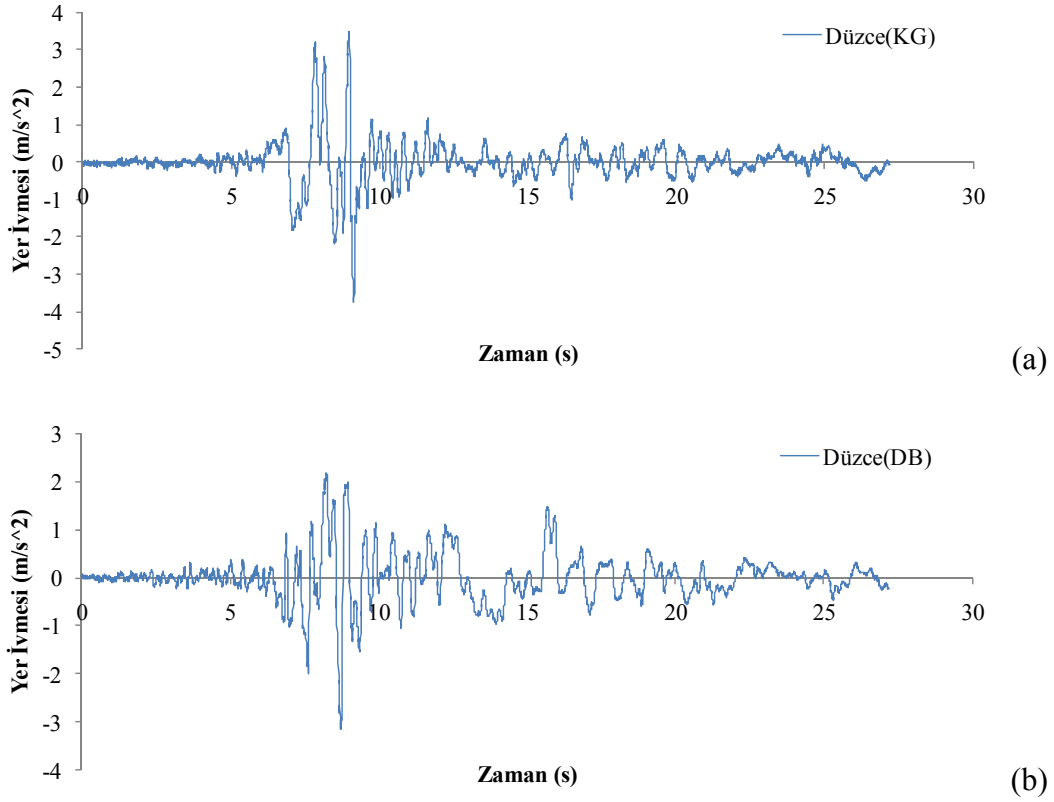
Bu tez çalışmasında sismik izolatörlerin Şekil 4.1’de görülen 4, 10, 20 katlı betonarme yapıların dinamik davranışı üzerindeki etkileri sayısal analizlerle araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar izolatörlü ve izolatörsüz durumlar için; az, orta ve yüksek katlı yapılar için karşılaştırılmıştır.

Kullanılan izolatörün rijitliğinin düşük, orta ve yüksek olması durumları için analizler tekrarlanmıştır. Dolayısıyla izolatör rijitliğindeki değişimin farklı yüksekliklerdeki model yapılar üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Zaman tanım alanında hesap için Şekil 4.2’de görülen Düzce (KG ve DB) deprem ivme kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 4.1 (a) 4 Katlı betonarme model yapı (b) 10 Katlı betonarme model yapı (c) 20 Katlı betonarme model yapı

Model yapılar ilk önce ankastre mesnetli olarak modellenmiştir. Bu durum için model yapıların kat yer değiştirmeleri, rölatif kat yer değiştirmeleri, ardışık rölatif kat yer değiştirmelerinin oranları, mutlak kat ivmeleri, taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti hesaplanmıştır. Daha sonra model yapıların temel mesnetlerinde Çizelge 4.1’de gösterilen düşük, orta ve yüksek rijitlikli izolatör tipleri kullanılarak analizler tekrar yapılmış ve davranış değerlerinin grafikleri oluşturularak izolatörsüz hal ile karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 4.2 1999 Düzce deprem ivme kaydı (a) Kuzey-Güney doğrultusunda (b) Doğu-Batı doğrultusunda

3 farklı temel yalıtım sistemi ve klasik yapı modelleri oluşturularak bu deprem kayıtları için zaman-tanım yöntemi ile dinamik analizler yapılmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk yatak davranışı doğrusal olmayan, üst yapı ise doğrusal olarak kabul edilmiştir. Kullanılan yüksek sönümlü kauçuk yatakların doğrusal ve doğrusal olmayan fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir [11].

Çizelge 4.1 Yüksek sönümlü kauçuk yatakların karakteristik özellikleri [11].

Rijitlik	Düşey Rijitlik (kN/m)	Başlangıç Rijitliği (kN/m)	Etkili Rijitlik (kN/m)	Akma Kuvveti (kN)	Son Rijitlik/İlk Rijitlik Oranı	Kütle (kg)
Düşük	$1750 \cdot 10^3$	1.750	263	22,24	0,2	175,5
Orta	$1373 \cdot 10^3$	7.786	1.079	77,87	0,043	175,5
Yüksek	$2746 \cdot 10^3$	12.454	1.863	124,54	0,055	175,5

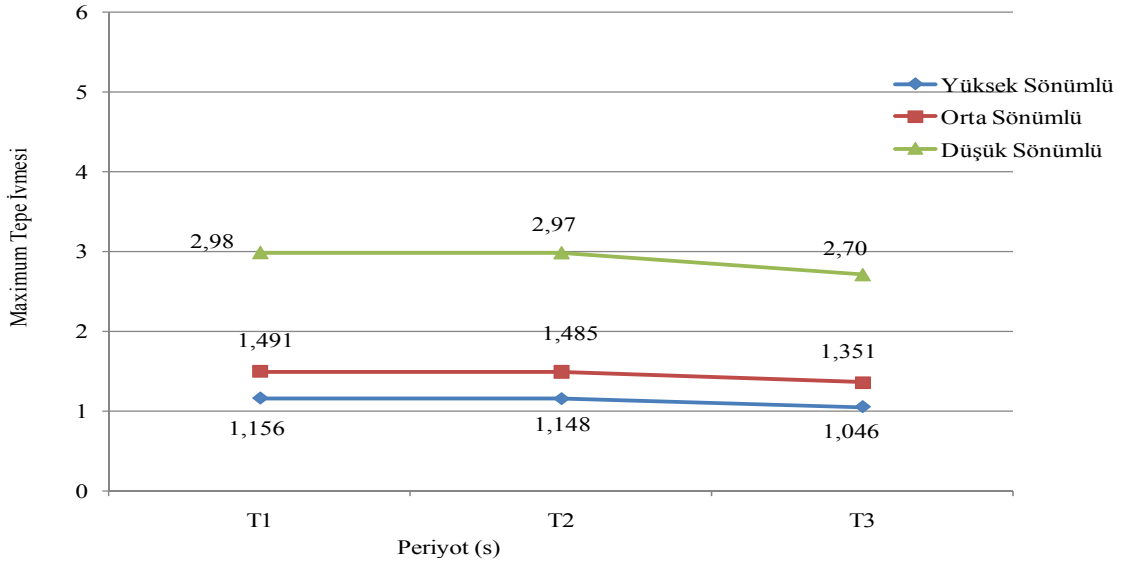
Çizelge 4.2 izolasyonlu ve izolasyonsuz yapıların ilk üç periyodunu göstermektedir. 4 katlı izolatörsüz yapıda ilk periyot 0,37 s iken düşük rijitlikli izolatör durumunda periyot 2,977 s’ye yükselmiş, yani yaklaşık 8 kat artmıştır. Bu değer 3 s’yi de geçmediği gözlenmiştir.

İzolatörün orta rijitlikli seçilmesi durumunda yapının ilk periyodunun 1,491 s'ye ulaştığı, izolatörsüz duruma göre yaklaşık 4 kat arttığı görülmüştür. Düşük izolatörlü ile karşılaştırıldığında orta rijitlikli izolatör durumunda periyot yaklaşık yarıya düşmüştür. Yüksek rijitlikli izolatör durumuna bakıldığında, izolatörsüz duruma göre periyot (1,156 s) yaklaşık 3 kat artmıştır. Düşük rijitlikli durum ile karşılaştırıldığında periyodun 2,6 kat azaldığı, orta rijitlikli durum ile karşılaştırıldığında periyodun 1,3 kat azaldığı görülmüştür.

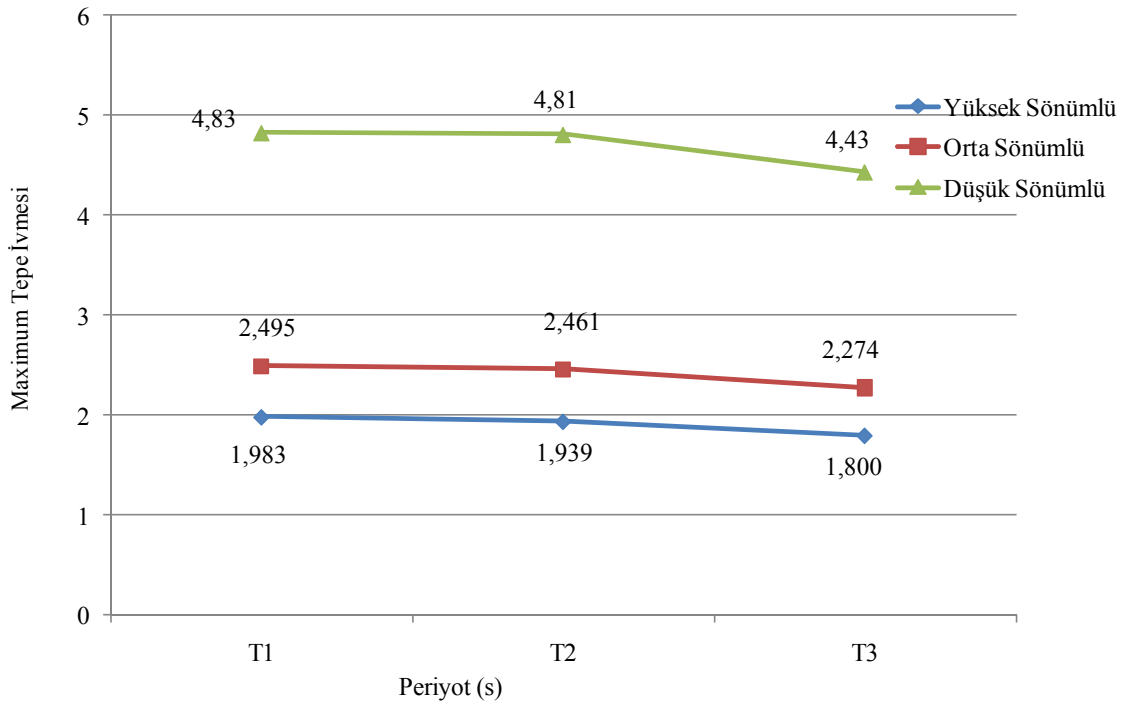
Çizelge 4.2 İzolatörlü ve izolatörsüz yapıların periyotları

		Periyot (s)		
	İzolatör Rijitliği	T1	T2	T3
4 Katlı	İzolatörsüz	0,370	0,348	0,325
	Düşük	2,977	2,974	2,704
	Orta	1,491	1,485	1,351
	Yüksek	1,156	1,148	1,046
10 Katlı	İzolatörsüz	0,829	0,744	0,698
	Düşük	4,826	4,809	4,433
	Orta	2,495	2,461	2,274
	Yüksek	1,983	1,939	1,800
20 Katlı	İzolatörsüz	2,000	1,775	1,565
	Düşük	5,396	5,232	4,239
	Orta	3,142	3,057	2,519
	Yüksek	2,732	2,598	2,197

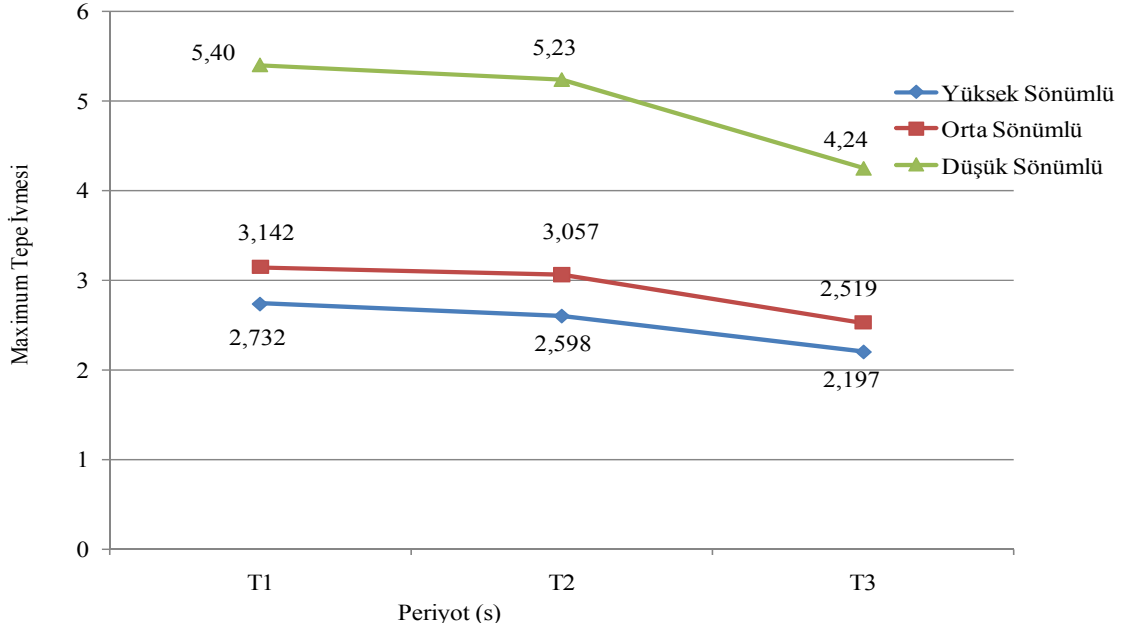
10 katlı yapı modelinin periyotlarına bakıldığında, izolatörsüz halde ilk periyot 0,829 s iken düşük rijitlikli izolatör durumda yaklaşık 6 kat, orta rijitlikli izolatör durumunda yaklaşık 3 kat, yüksek rijitlikli izolatör durumunda yaklaşık 2,4 kat artmıştır. 20 katlı yapı modelinin örnek olarak ilk periyodu incelendiğinde, izolatörsüz duruma göre düşük rijitlikli izolatör halinde periyodun yaklaşık 2,7 kat, orta rijitlikli izolatör halinde periyodun yaklaşık 1,6 kat, yüksek rijitlikli izolatör halinde periyodun yaklaşık 1,4 kat arttığı gözlenmiştir. Bütün modellerde görüldüğü gibi izolatörlü yapıların periyotları izolatörsüz hale göre arttığı, izolatör rijitliğindeki artışın, izolatörlü modeller arasında incelendiğinde, periyodu azalttığı görülmüştür. 4, 10 ve 20 katlı modellerin periyotları Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.3 4 Katlı yapı periyotları



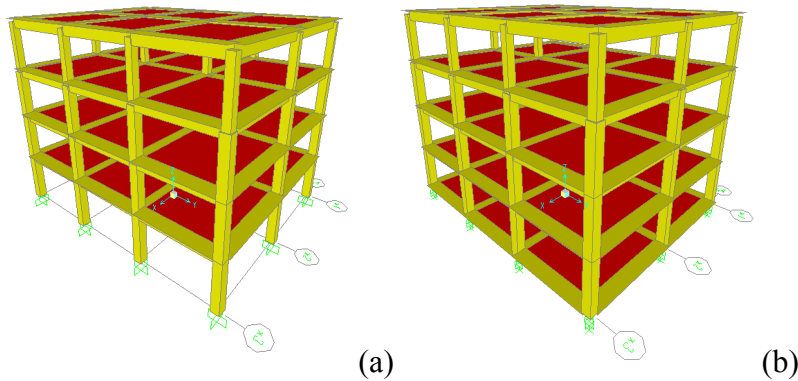
Şekil 4.4 10 Katlı yapı periyotları



Şekil 4.5 20 Katlı yapı periyotları

4.1 4 Katlı Model Yapı

Çalışmanın bu aşamasında az katlı yapıları karakterize etmesi açısından 4 katlı X yönünde iki (7,5m), Y yönünde üç açıklıklı (5m) Şekil 4.6 (a)'da ki betonarme yapı modeli seçilmiştir. Dört katlı betonarme yapının beton cinsi C25 seçilmiştir. İlk 3 katta kolonlar 50X50 cm ve 4.katta kolonlar 40X40 cm boyutlarındadır. Döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Tüm kirişler 25X50 tablalı kiriş olarak seçilmiştir. Kat yüksekliği 3m'dir. Elastisite Modülü 3.10^7 kN/m² olarak seçilmiştir.



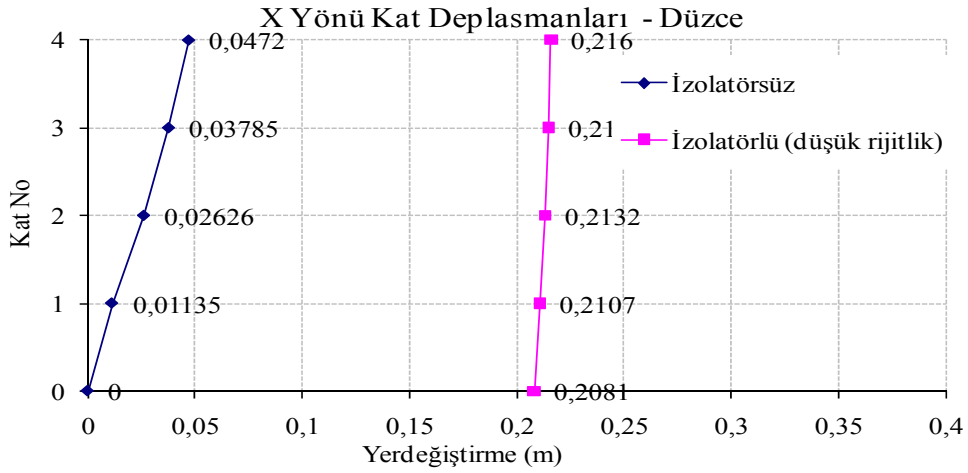
Şekil 4.6 4 Katlı betonarme yapı modeli (a) Ankastre mesnetli (b) İzolatörlü

İlk olarak yapı ankastre mesnetli olarak zaman tanım alanında seçilen deprem ivme kayıtları kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Daha sonra farklı rijitlik özellikli sönümleyiciler

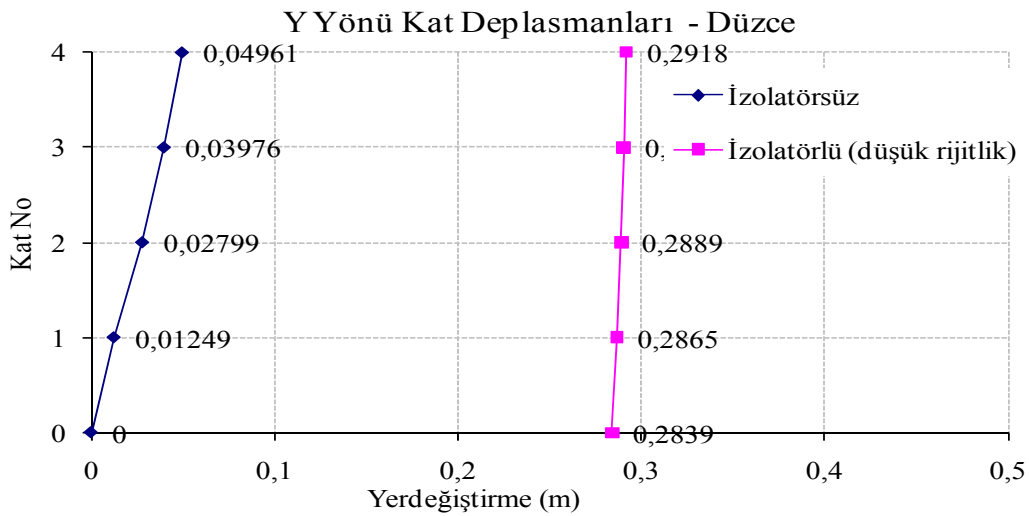
yapının temeline yerleştirilmiştir. Ayrıca izolatörlü yapıda giriş kata üst katlardaki ile aynı özelliklere sahip kiriş ve döşemeler de eklenmiştir (Şekil 4.6 b).

4.1.1 Düşük rijitlikli kauçuk izolatör (4 katlı yapı)

Şekil 4.7-4.8'de 4 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. İzolatörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolatörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi izolatörlü modelde yüksek yerdeğiştirme temel seviyesinde olduğu, üst katların neredeyse temele göre rijit hareket ettiği Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görülmektedir. Hangi durumun daha iyi olduğuna karar vermek için kat deplasmanlarına bakmak yanıltıcıdır.

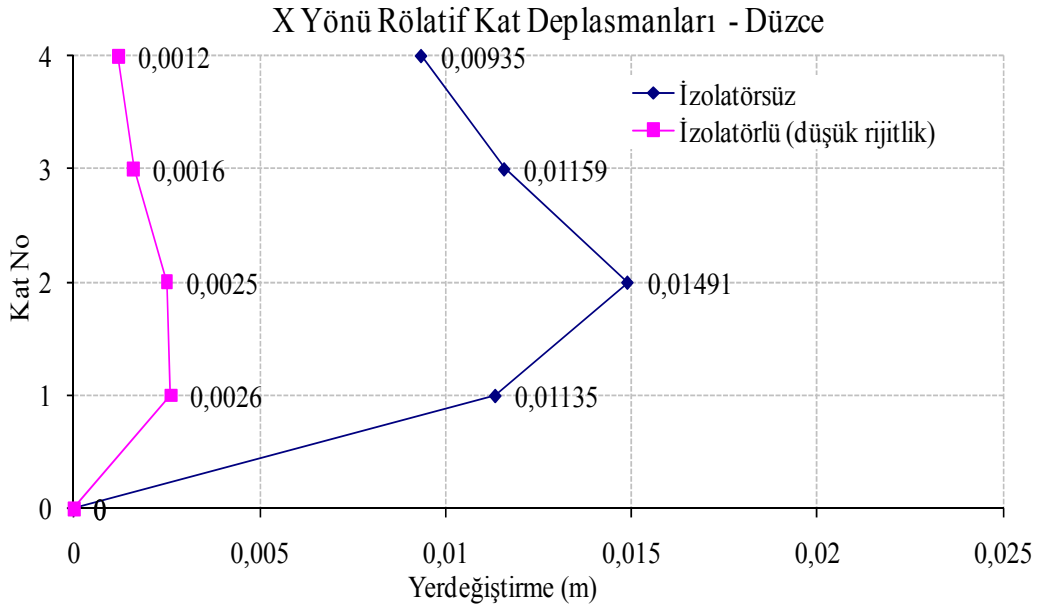


Şekil 4.7 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları

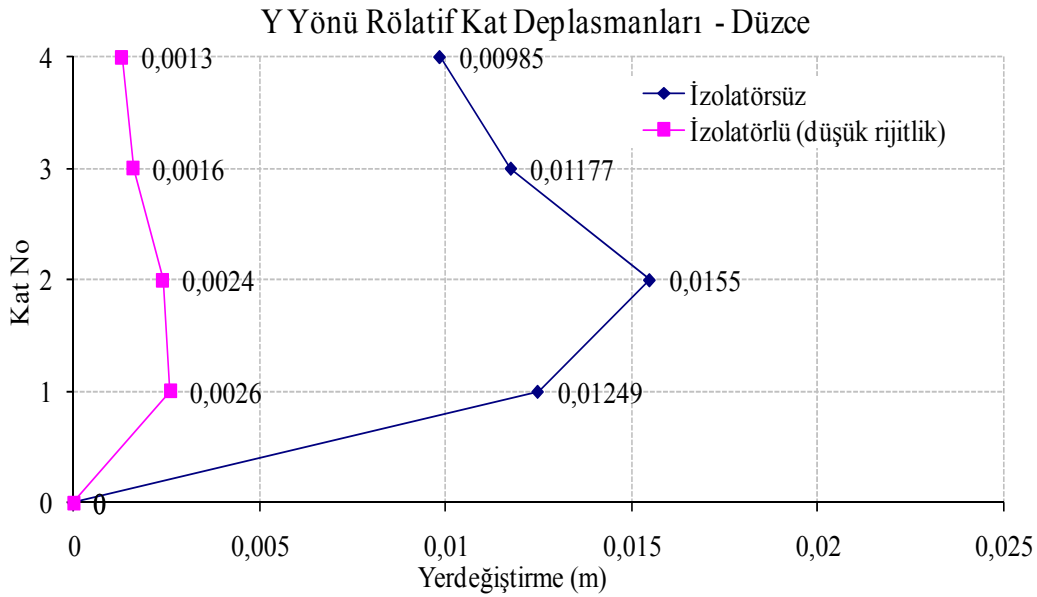


Şekil 4.8 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları

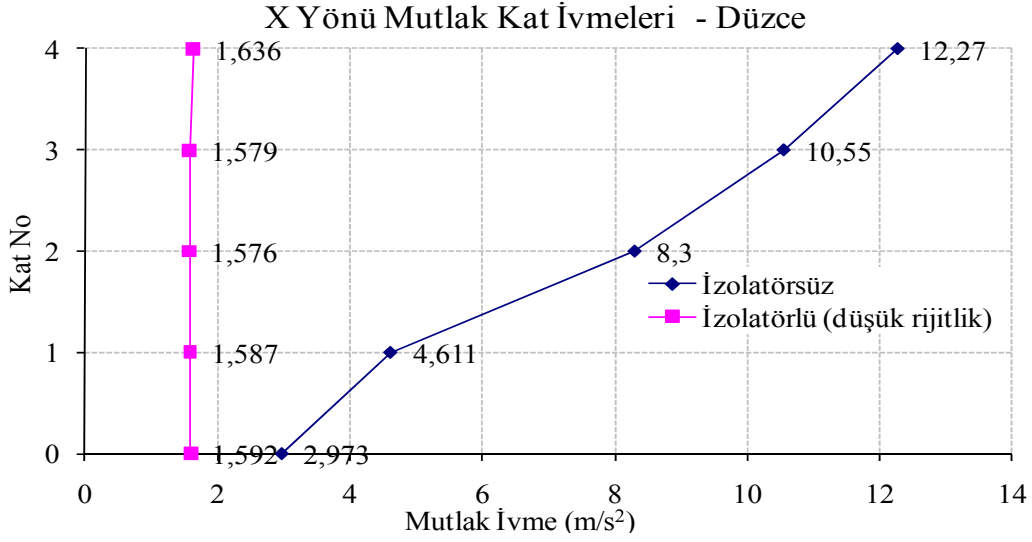
Şekil 4.9 - 4.10'da görüldüğü gibi 4 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Rölatif kat deplasmanları yapısal hasarı ifade eden en basit parametrelerdir. Rölatif deplasmanların azaltılması da arzu edilen bir durumdur. Yapıdaki elemanların davranışlarının elastik sınırı aşmaması açısından da rölatif deplasmanların az olması istenen bir durumdur.



Şekil 4.9 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

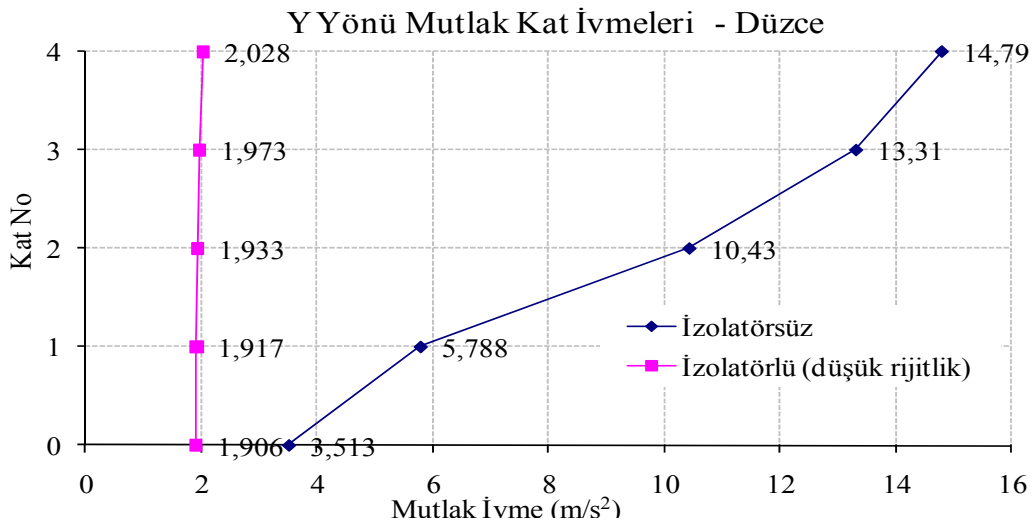


Şekil 4.10 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları



Şekil 4.11 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Katlardaki mutlak ivmeler yer hareketinden dolayı o kata gelen atalet kuvvetinin bir göstergesidir. Yani katlardaki mutlak ivmenin artması kata gelen deprem kuvvetinin artacağına işaret eder. Ayrıca katlardaki bu zararlı ivmenin azaltılması özellikle hassas malzemelerin bulunduğu yapılarda önem kazanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında; katlara gelen mutlak ivmelerin izolatörlerin yerleştirilmesiyle azaltılması önemli bir gelişmedir. Yapılan analizler sonucu 4 katlı model yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüleceği gibi izolatörlü durumda ciddi bir şekilde azaltılmıştır.

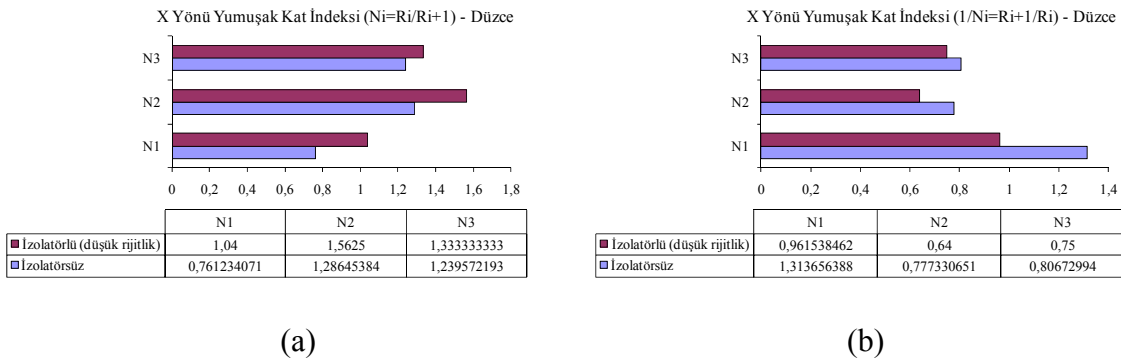


Şekil 4.12 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

Deprem yönetmeliklerinde yapıların davranışı zayıf kat ve yumuşak kat gibi bazı tanımlamalar ile sınırlandırılmaktadır. Deprem esnasında yapıdaki rölatif deplasmanların oranlarının büyümesi katlar arasında farklı davranışa sebep olmakta ve yumuşak diye tabir edilen durumu ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın bu aşamasında rölatif deplasmanların (R_i) oranları izolotörlü ve izolotörsüz hal için araştırılmıştır. Yumuşak kat indeksi (N_i) ve ($1/N_i$):

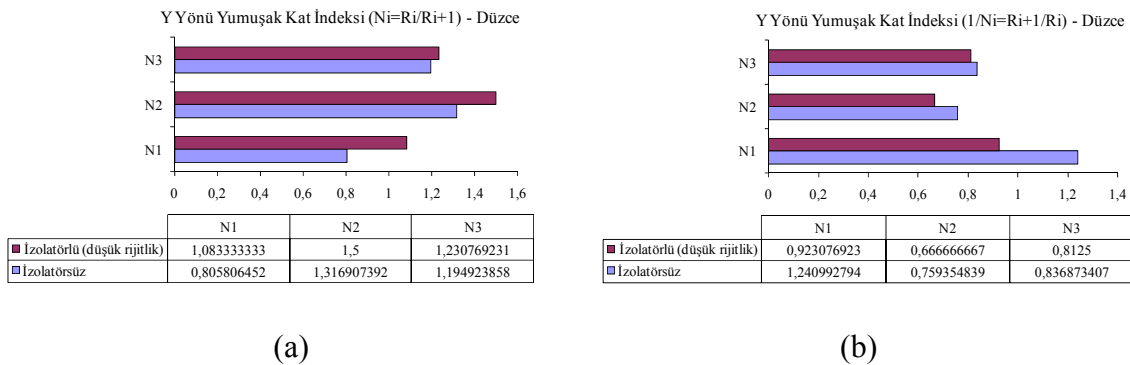
$$N_i = \frac{R_i}{R_{i+1}} \quad \frac{1}{N_i} = \frac{R_{i+1}}{R_i} \quad i=1, 2, 3 \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilebilir.



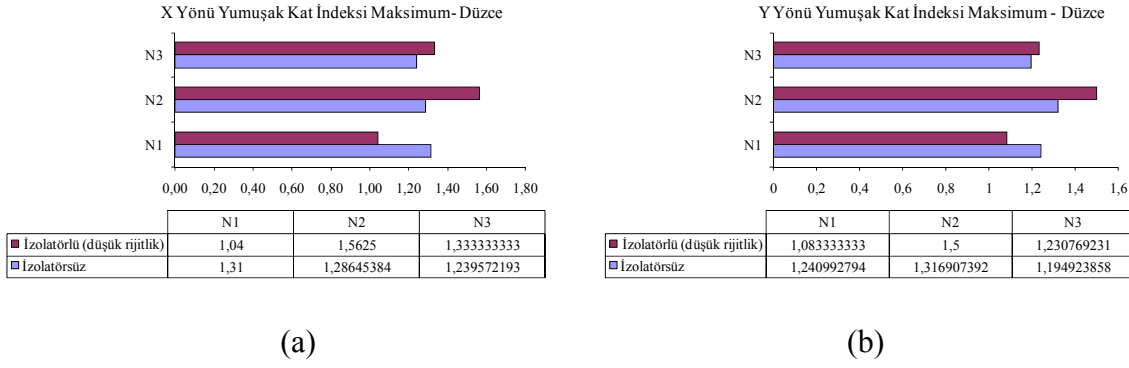
Şekil 4.13 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönu için yumuşak kat indeksi

Kat yüksekliklerinin farklı olması halinde R_i ve R_{i+1} değerleri kat yüksekliğine bölünerek deprem yönetmeliğinde ki gibi normalize edilebilir. Kullanılan modellerde kat yükseklikleri eşit olduğu için rölatif deplasmanlar kat yükseklikleri ile normalize edilmemiştir. Şekil 4.13(a)'da X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.13(b)'de R_{i+1}/R_i için grafikler izolotörlü ve izolotörsüz hale göre çizilmiştir. R_i/R_{i+1} durumunda izolotörlü hal, izolotörsüz hale göre daha büyük iken; R_{i+1}/R_i durumunda izolotörsüz hal daha yüksektir.



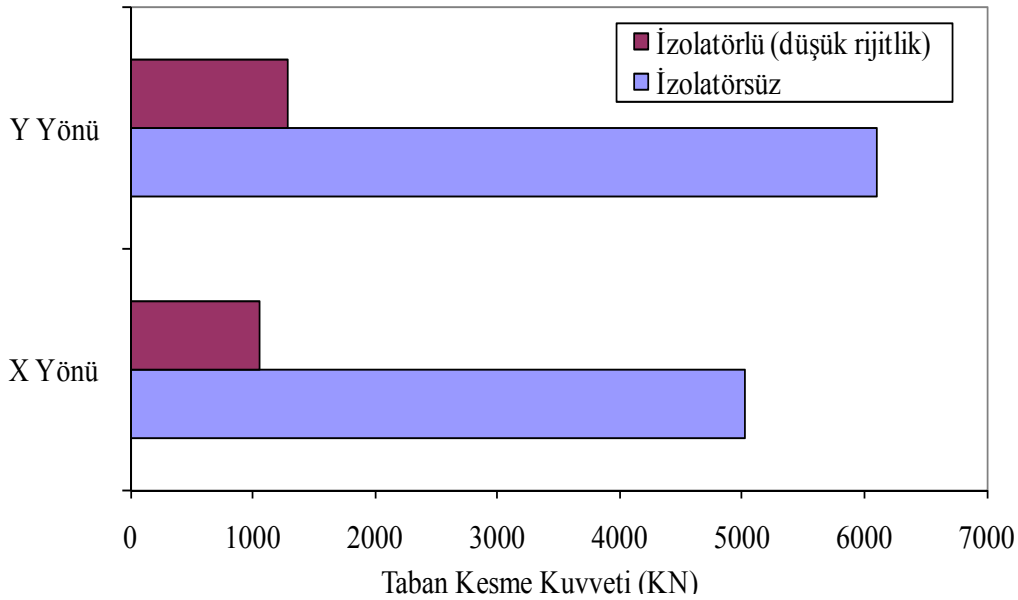
Şekil 4.14 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönu için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.14(a)-(b)'de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. X yönüne benzer bir durum burada da mevcuttur. Yönetmeliklerde herhangi ardışık iki katın rölatiflerinin oranları için yumuşak kat indeksi tanımlandığı için bu çalışmada hem R_i/R_{i+1} hem de R_{i+1}/R_i değerleri araştırılmış olup Şekil 4.14 (a)-(b)'de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir.

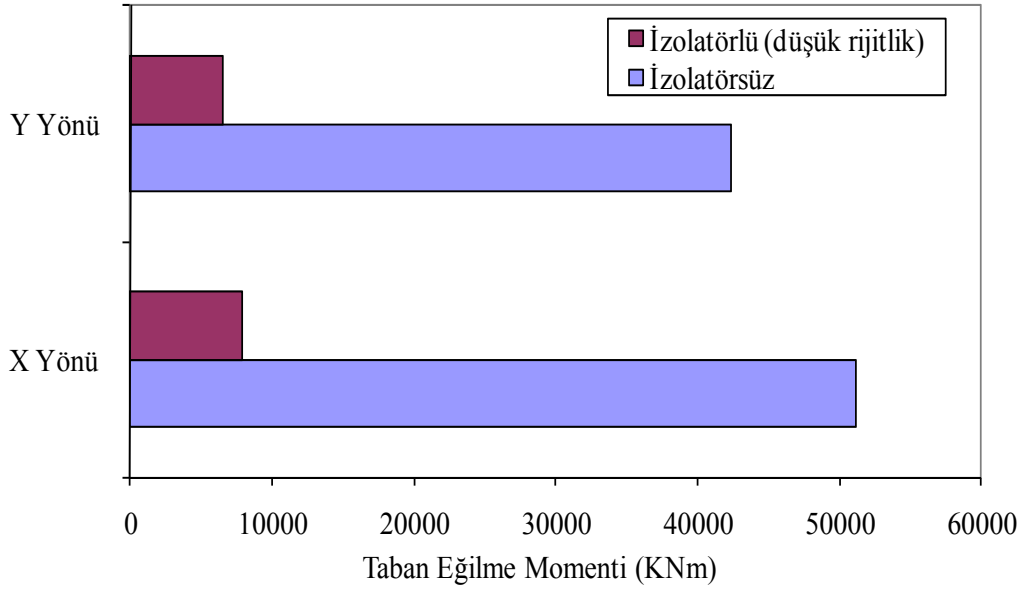


Şekil 4.15 İzolatörlü ve izolatsız yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

Şekil 4.15'den görülebileceği gibi alt kattaki rölatif deplasman oranlarına (R_2/R_1 ve R_1/R_2) göre izolatlü hal daha iyi performans gösterirken; üst katlarda (R_3/R_2 ve R_2/R_3) ve (R_4/R_3 ve R_3/R_4) izolatsız hal daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 4.16 İzolatörlü ve izolatsız yapının taban kesme kuvvetleri

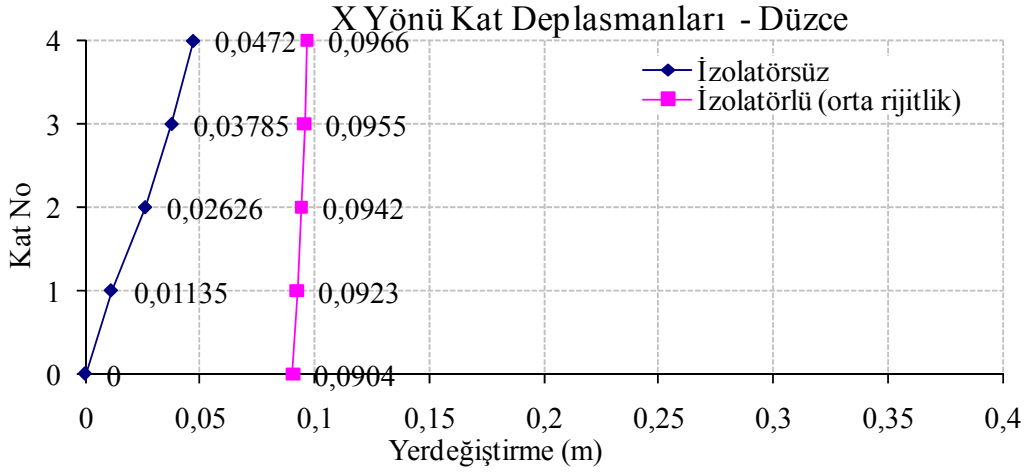


Şekil 4.17 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri

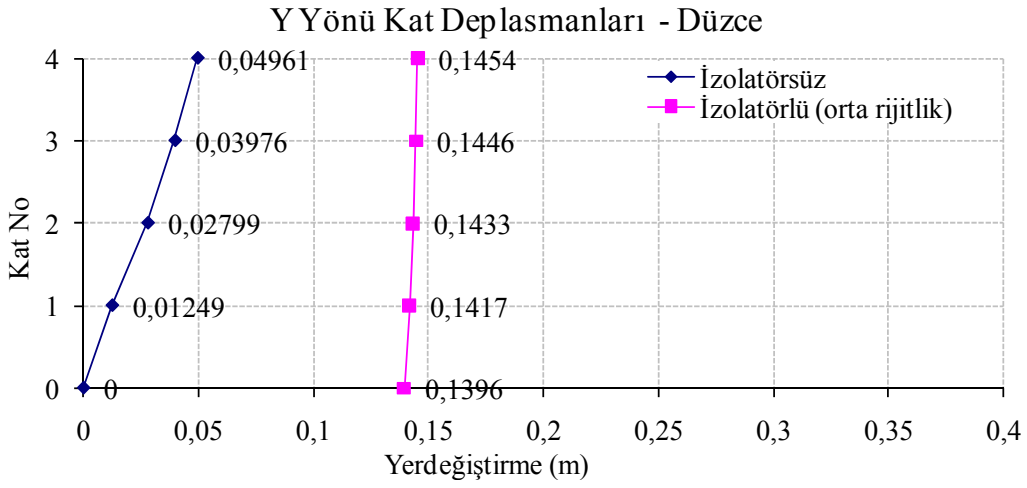
Yapılarda rölatif yer değiştirmelerin, bunların oranlarının ve mutlak ivmelerin tasarımdaki öneminden daha önce bahsedilmiş ve izolatörlü yapıda bu davranışların nasıl değiştiği grafikler ile gösterilmiştir. Kuvvete dayalı yapı tasarımında, kesitlere gelen kuvvetlerin malzemenin akma sınırlarını aşmaması arzu edilir. Bu amaç doğrultusunda izolatörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri ve taban eğilme momentleri incelenmiştir. Şekil 4.16’da görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.17’de taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiştir; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de ciddi manada azalttığı gözlenmiştir.

4.1.2 Orta rijitlikli kauçuk izolatör (4 katlı yapı)

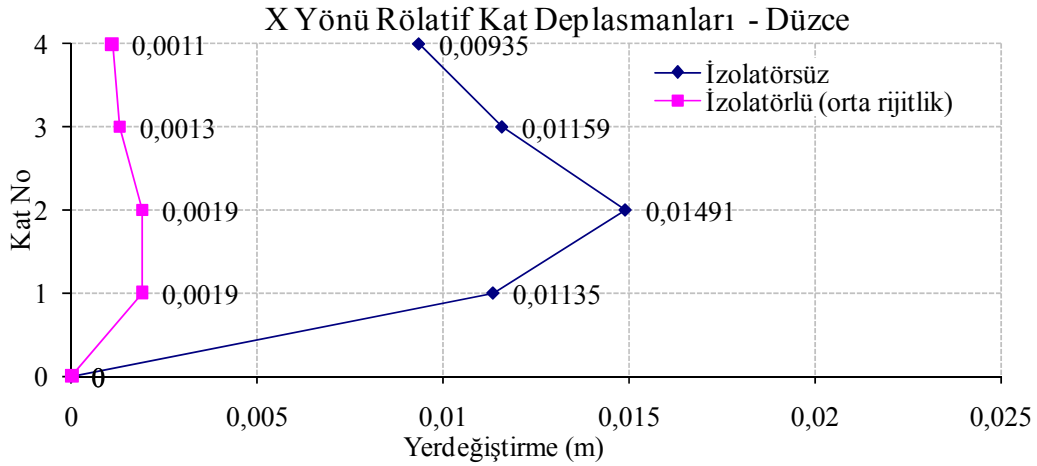
Şekil 4.18-4.19’da 4 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. İzolatörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolatörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi izolatörlü modelde yüksek yerdeğiştirme temel seviyesinde olduğu, üst katların neredeyse temele göre rijit hareket ettiği Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da görülmektedir. İzolatörlü durumda düşük sönümlüye göre kat deplasmanlarının dahada azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.18 İzolatörlü ve izolatsız yapının X yönü kat deplasmanları

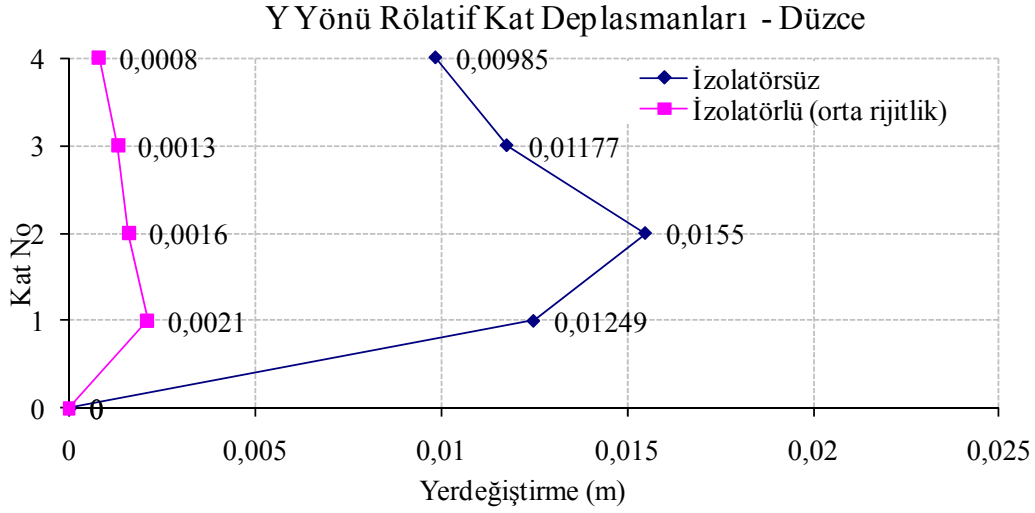


Şekil 4.19 İzolatörlü ve izolatsız yapının Y yönü kat deplasmanları

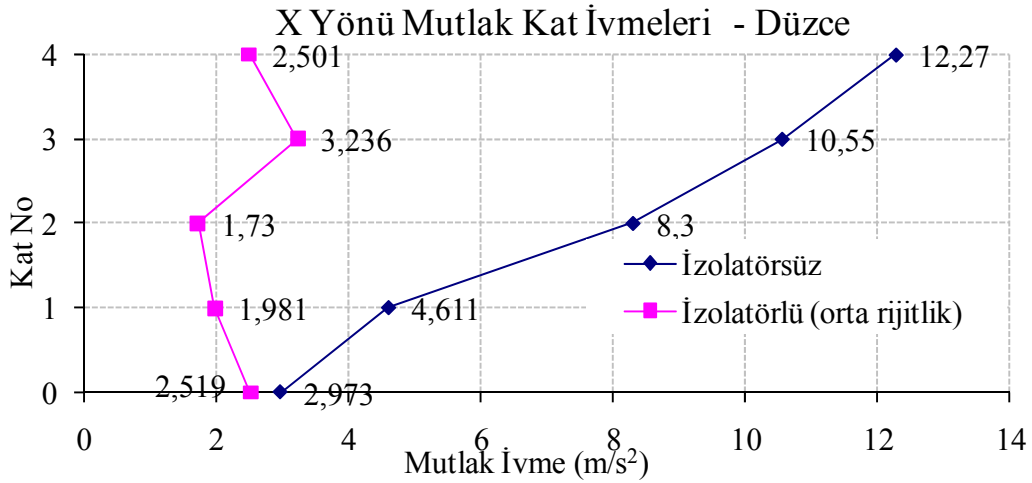


Şekil 4.20 İzolatörlü ve izolatsız yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

Şekil 4.20 - 4.21’de görüldüğü gibi 4 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Görülmektedirki izolatörler rölatif deplasmanlar üzerinde ciddi bir düşüğe sebep olmaktadır. Dahası düşük rijitlikli izolatörle karşılaştırıldığında rölatif deplasmanların dahada düştüğü gözlenmiştir.



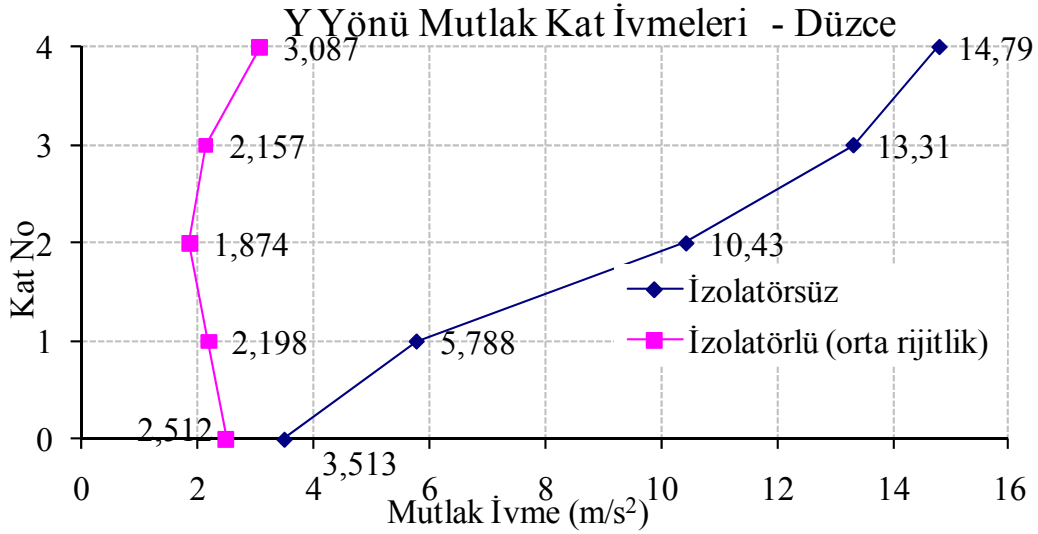
Şekil 4.21 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları



Şekil 4.22 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi

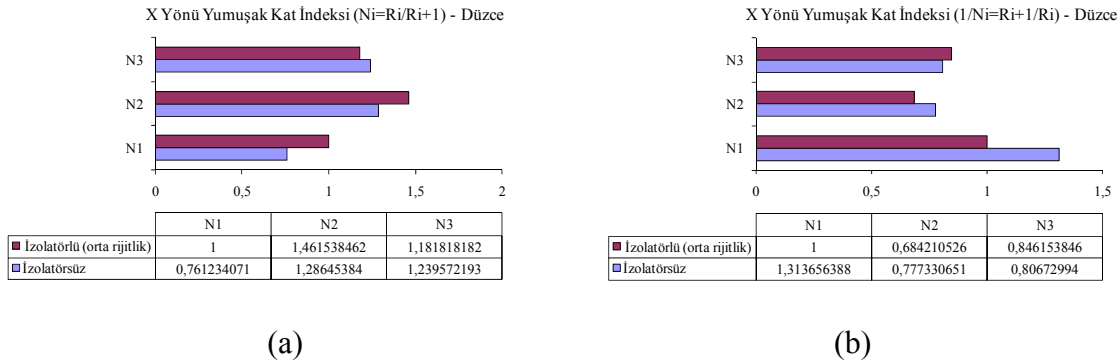
Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 4 katlı model yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de görüleceği gibi orta rijitlikli izolatörlü durumda azalmıştır. Bu azalım düşük rijitlikli izolatörlü ilk durumla karşılaştırıldığında, düşük rijitlikli izolatör durumunda kat mutlak

ivmelerinin daha çok düşürüldüğü gözlenmiştir. İzolatör rijitliğinde ki artış deplasmanlarda azalır. İzolatör rijitliğinde ki artış deplasmanlarda azalır. İzolatör rijitliğinde ki artış deplasmanlarda azalır.



Şekil 4.23 İzolatörlü ve izolatsız yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

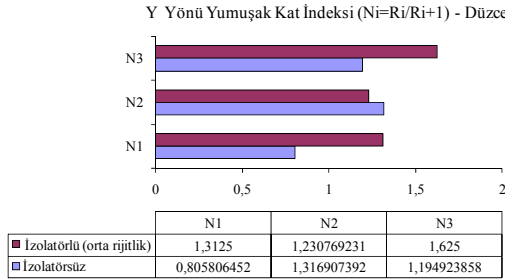
Denklemler 4.1 ile ifade edilen yumuşak kat indeksi N_i ve $1/N_i$ 'nin izolatörün orta rijitlikte olması durumunda ki değişimi Şekil 4.24'de görülmektedir.



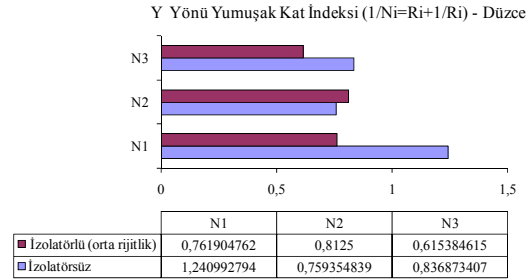
Şekil 4.24 İzolatörlü ve izolatsız yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.24(a)'da X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.24(b)'de R_{i+1}/R_i için grafikler izolatörlü ve izolatsız hale göre çizilmiştir. R_i/R_{i+1} durumunda N1 ve N2'de izolatörlü hal, izolatsız hale göre daha büyük iken; N3'de izolatörlü hal daha küçüktür. R_{i+1}/R_i durumunda izolatsız hal N3'de daha küçükken N1 ve N2'de daha büyüktür.

Şekil 4.25(a)-(b)'de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.25(a)'da izolatörlü halde N_1 ve N_3 daha büyük iken N_2 daha küçüktür. Şekil 4.25(b)'de izolatörlü halde N_1 ve N_3 daha küçük iken N_2 daha büyüktür.

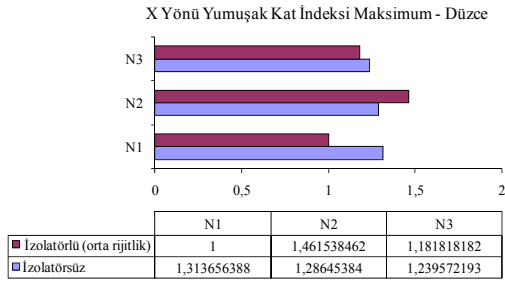


(a)

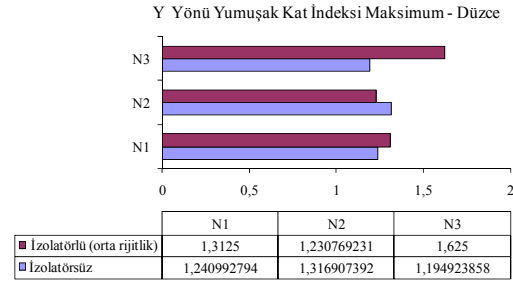


(b)

Şekil 4.25 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi



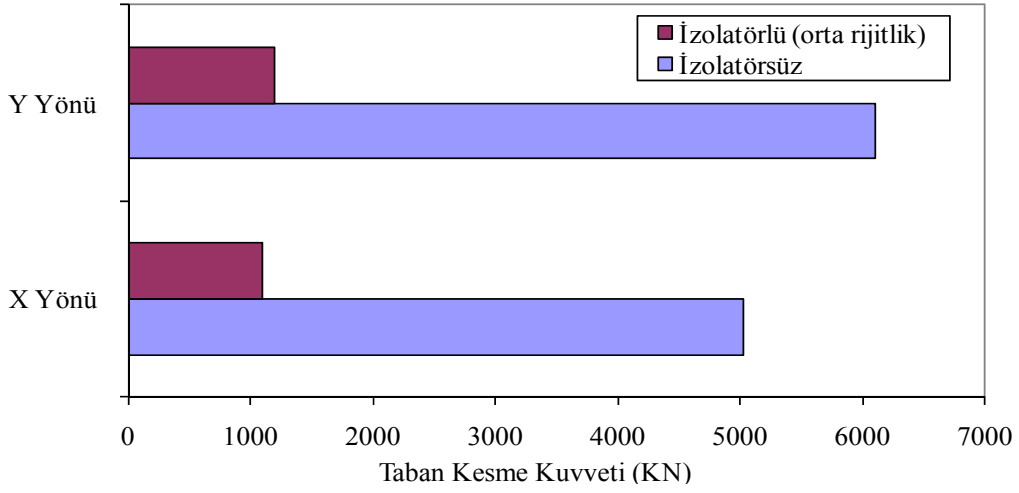
(a)



(b)

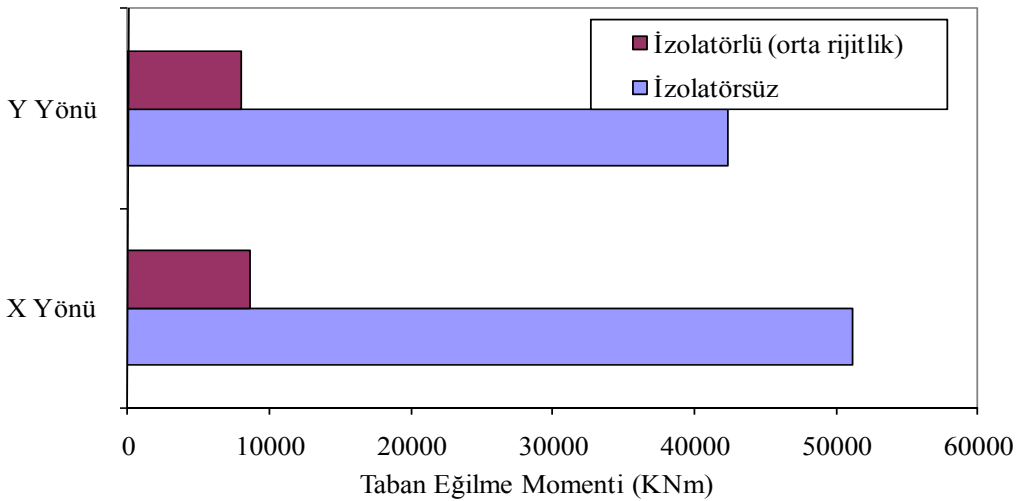
Şekil 4.26 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

Şekil 4.26 (a)-(b)'de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir. Şekil 4.26 (a)'ya göre N_1 ve N_3 izolatörlü hal için küçük iken, N_2 büyük çıkmıştır. Şekil 4.26 (b)'de Y yönü için N_1 ve N_3 izolatörlü hal için büyük iken N_2 'de küçük çıkmıştır. Burada esas olan bu değerlerin yönetmelikte verildiği gibi 2'den küçük olmasıdır. Diğer taraftan rölatif deplasmanların oranlarının 1'e yakın olması da ardışık rölatif deplasmanların değerlerinin birbirlerine yakın olduğunun bir göstergesidir. Verilen bu grafiklerdeki yumuşak kat indekslerinin 1'e yakın olması da arzu edilen bir durumdur.



Şekil 4.27 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri

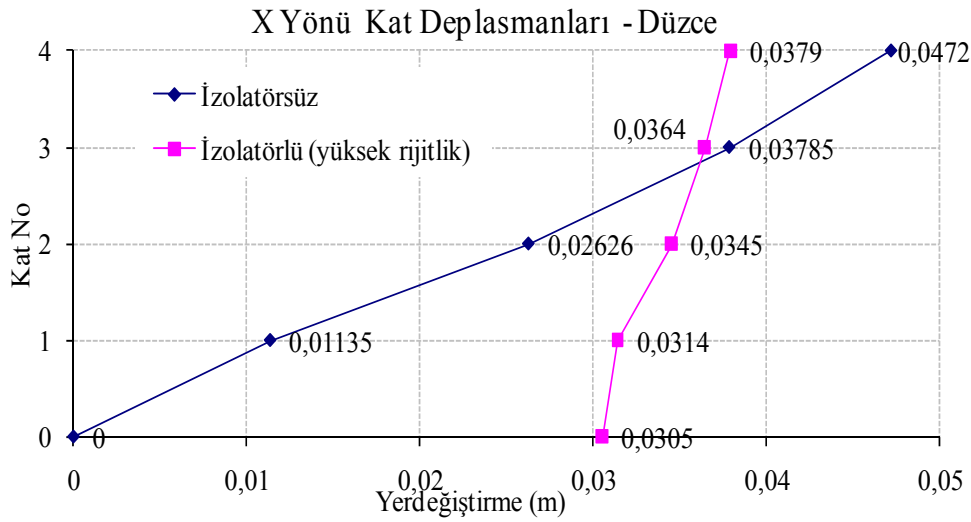
İzolatör rijitliği orta rijitlik alındıktan sonra yapılan hesaplar tekrarlanarak taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti tekrar hesaplanmıştır. Şekil 4.27’de görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.28’de taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiştir; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca düşük rijitlikli hal ile karşılaştırıldığında, orta rijitlikli izolatör durumunda taban kesme kuvveti ve taban eğilme momentinde biraz artma gözlenmiştir.



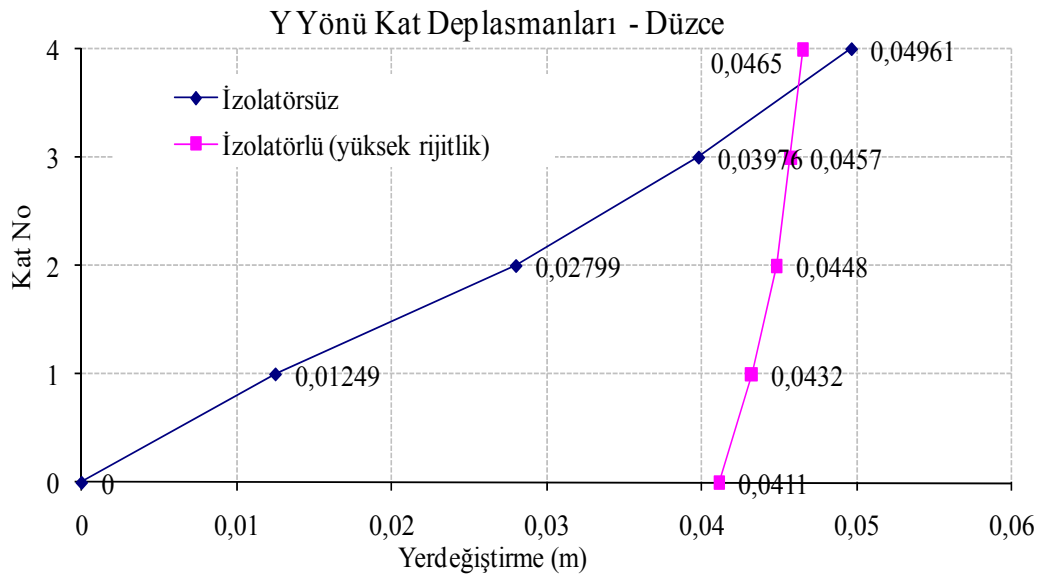
Şekil 4.28 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri

4.1.3 Yüksek rijitlikli kauçuk izolatör (4 katlı yapı)

Şekil 4.29-4.30'da 4 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. İzolatörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolatörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi izolatörlü modelde yüksek yerdeğiştirme temel seviyesinde olduğu, üst katların neredeyse temele göre rijit hareket ettiği Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da görülmektedir. İzolatörlü durumda düşük sönümlüye ve orta sönümlüye göre kat deplasmanlarının dahada azaldığı gözlenmiştir.

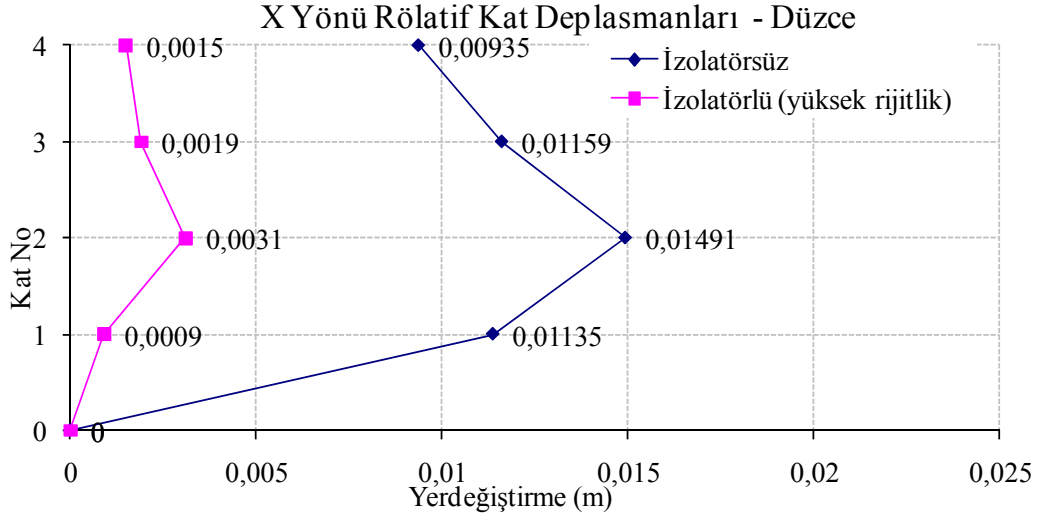


Şekil 4.29 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları

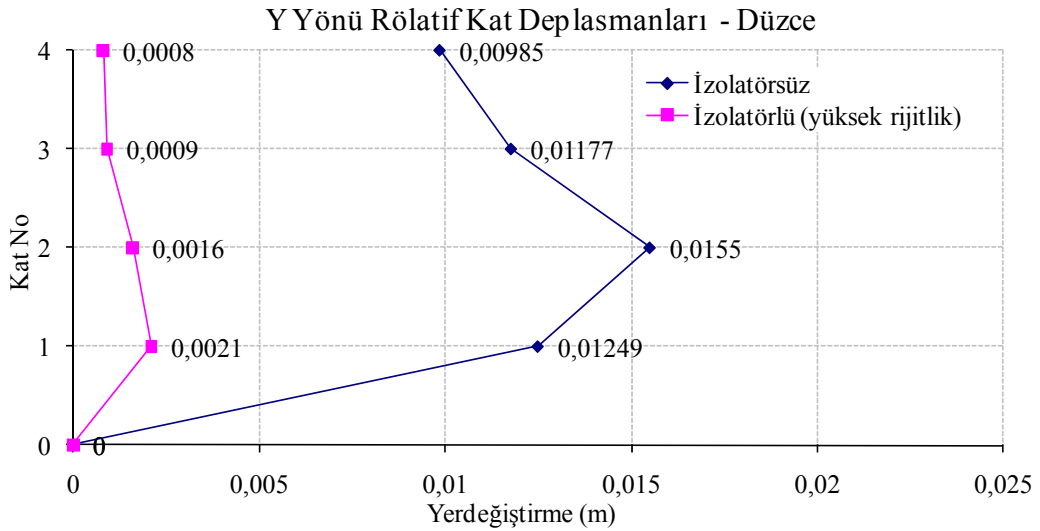


Şekil 4.30 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları

Şekil 4.31 - 4.32’de görüldüğü gibi 4 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Görülmektedirki izolatörler rölatif deplasmanlar üzerinde ciddi bir düşüğe sebep olmaktadır. Dahası düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolatörlü durum ile karşılaştırıldığında rölatif deplasmanların en düşük olduğu durum yüksek rijitlikli durumdur.



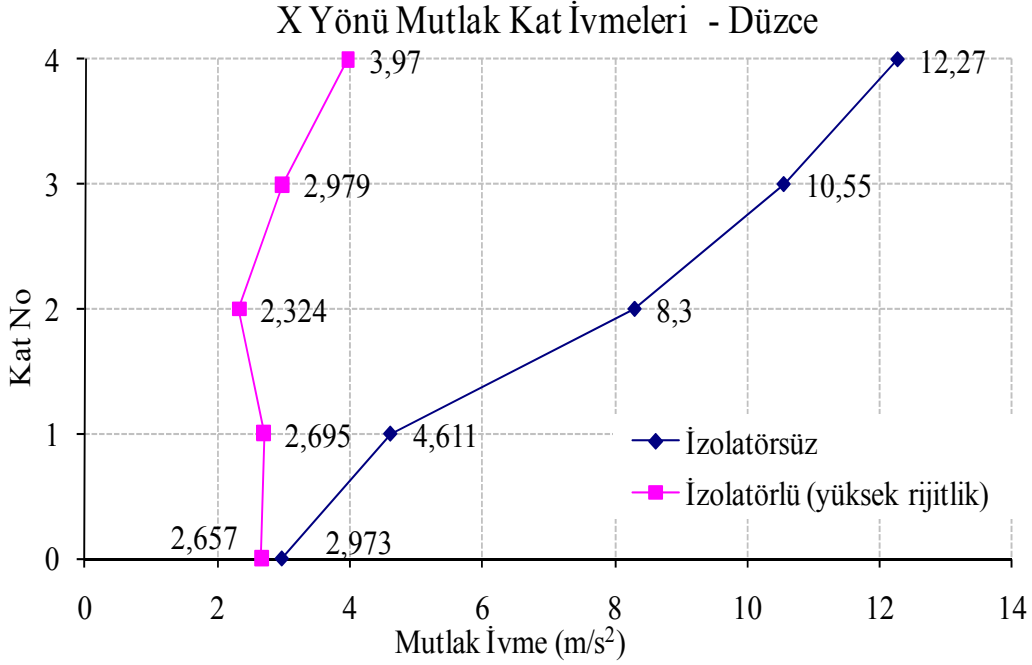
Şekil 4.31 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları



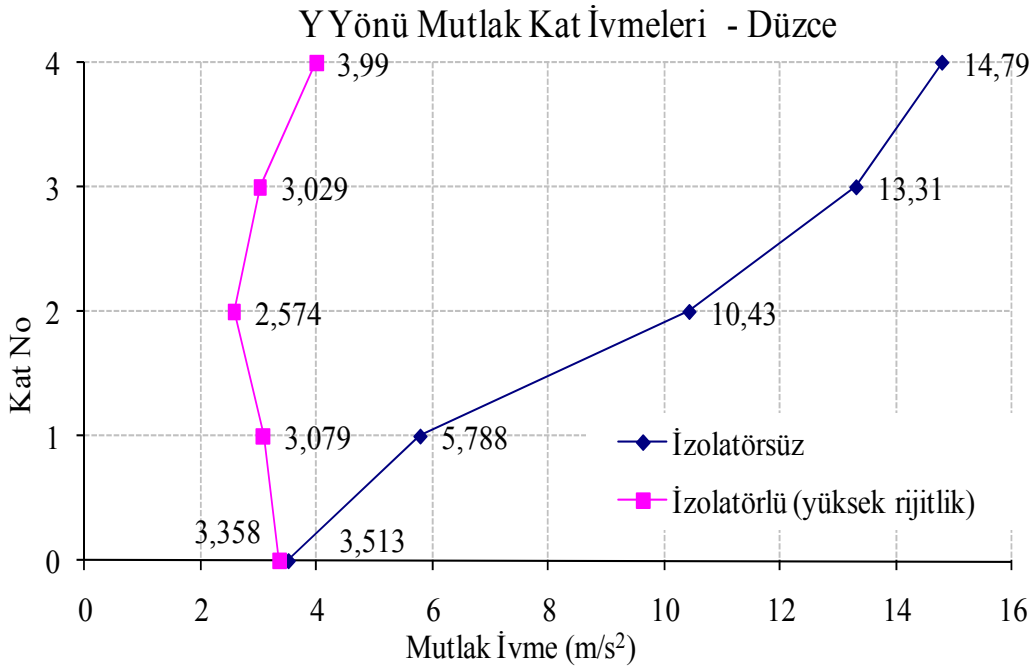
Şekil 4.32 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları

Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 4 katlı model

yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'de görüleceği gibi yüksek rijitlikli izolotörlü durumda azalmıştır. Bu azalım düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolotörlerle karşılaştırıldığında, düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolotörlerde kat mutlak ivmelerinin daha çok düşürüldüğü gözlenmiştir.

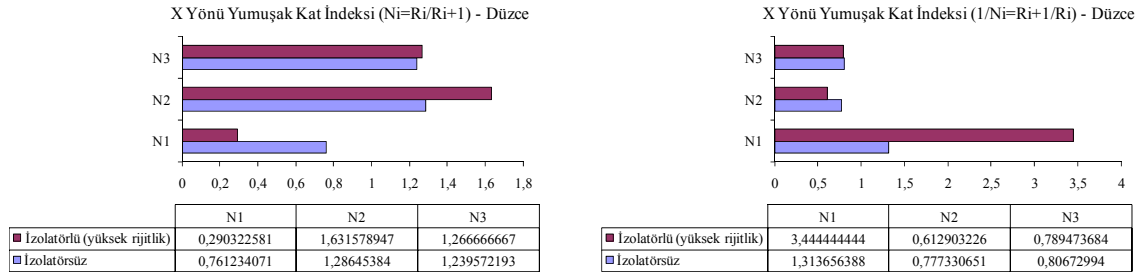


Şekil 4.33 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi



Şekil 4.34 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

Denklem 4.1 ile ifade edilen yumuşak kat indeksi N_i ve $1/N_i$ 'nin izolatörün orta rijitlikte olması durumunda ki değişimi Şekil 4.35'de görülmektedir.



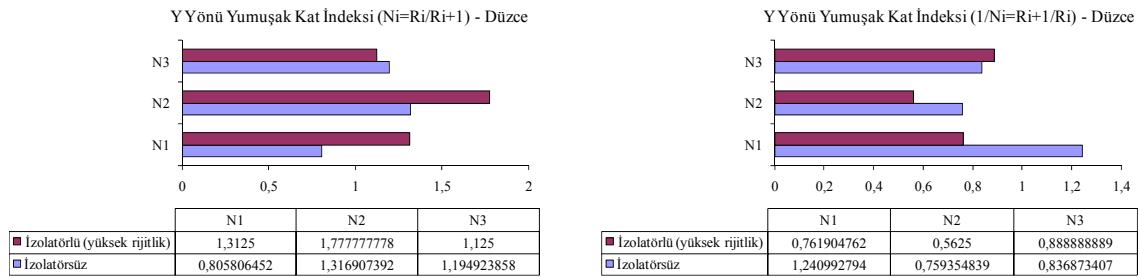
(a)

(b)

Şekil 4.35 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.35(a)'da X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.35(b)'de R_{i+1}/R_i için grafikler izolatörlü ve izolatörsüz hale göre çizilmiştir. Şekil 4.35(a)'da R_i/R_{i+1} durumunda N2 ve N3'de izolatörlü hal, izolatörsüz hale göre daha büyük iken; N1'de izolatörlü hal daha küçüktür. Şekil 4.35(b) R_{i+1}/R_i durumunda izolatörsüz hal N1'de daha küçükken N2 ve N3'de daha büyüktür.

Şekil 4.36(a)-(b)'de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.36(a)'da izolatörlü halde N2 ve N3 daha büyük iken N1 daha küçüktür. Şekil 4.36(b)'de izolatörlü halde N1 ve N2 daha küçük iken N3 daha büyüktür.

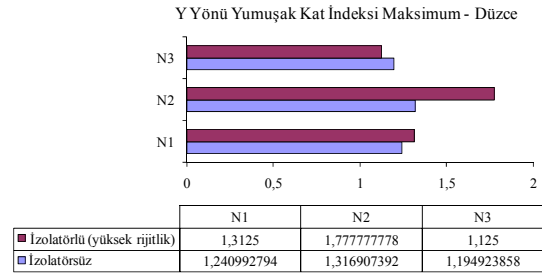
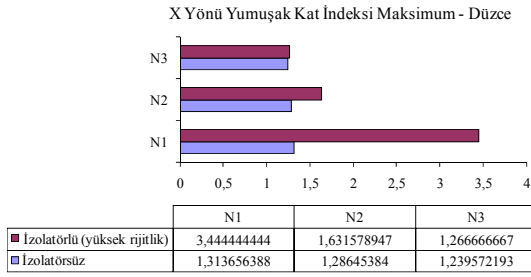


(a)

(b)

Şekil 4.36 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi

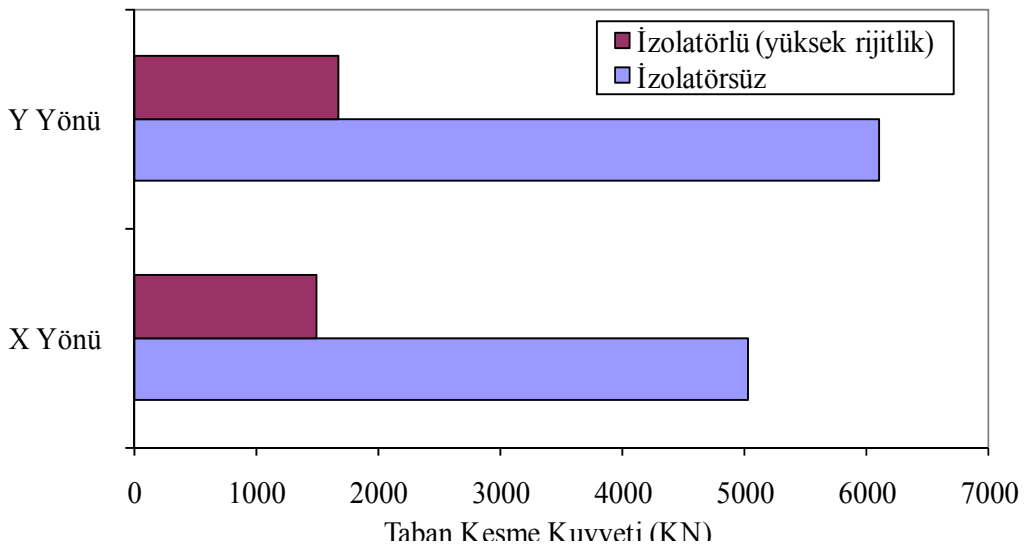
Şekil 4.37 (a)-(b)'de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir. Şekil 4.37 (a)'ya göre N1, N2 ve N3 izolatörlü hal için büyük çıkmıştır. Şekil 4.37 (b)'de Y yönü için N1 ve N2 izolatörlü hal için büyük iken N3'de küçük çıkmıştır.



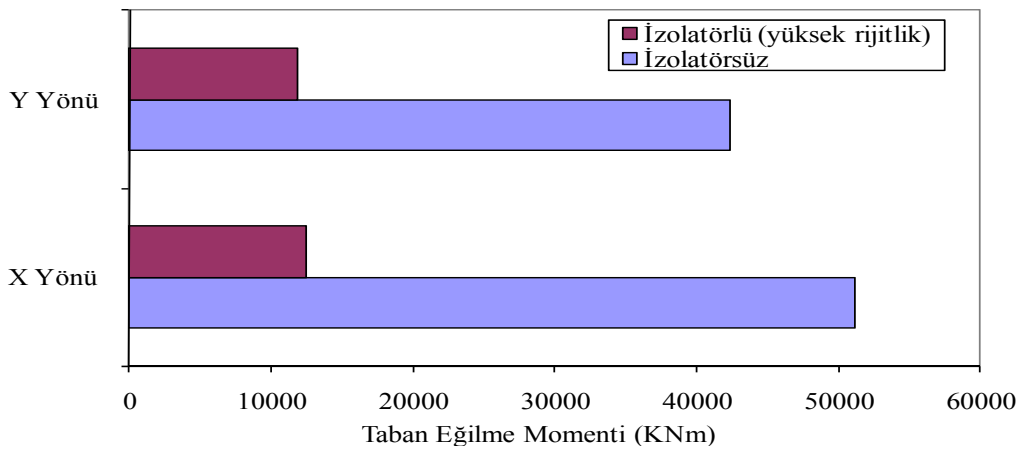
(a)

(b)

Şekil 4.37 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi



Şekil 4.38 İzolatörlü ve İzolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri

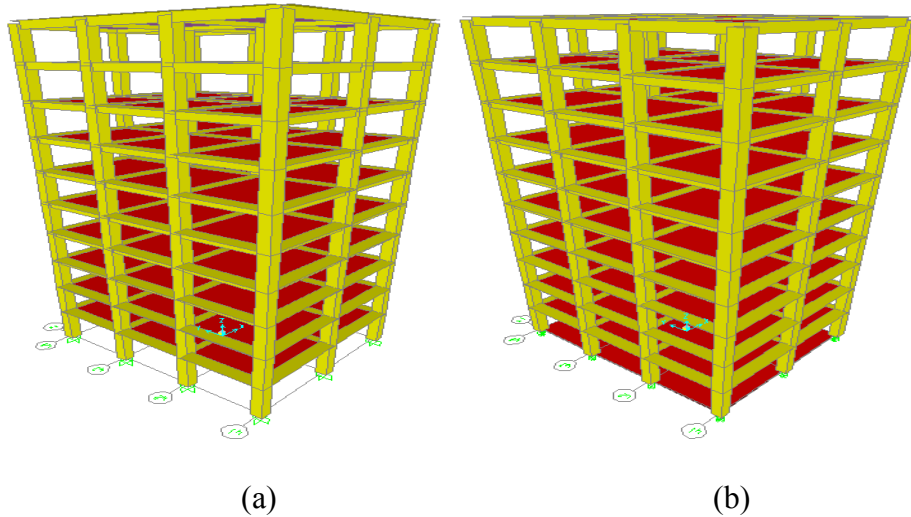


Şekil 4.39 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri

İzolatör rijitliği yüksek rijitlik alındıktan sonra yapılan hesaplar tekrarlanarak taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti tekrar hesaplanmıştır. Şekil 4.38’de görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.39’da taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiştir; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca düşük rijitlikli ve orta rijitlikli hal ile karşılaştırıldığında, yüksek rijitlikli izolatör durumunda taban kesme kuvveti ve taban eğilme momentinde biraz artma gözlenmiştir.

4.2 10 Katlı Model Yapı

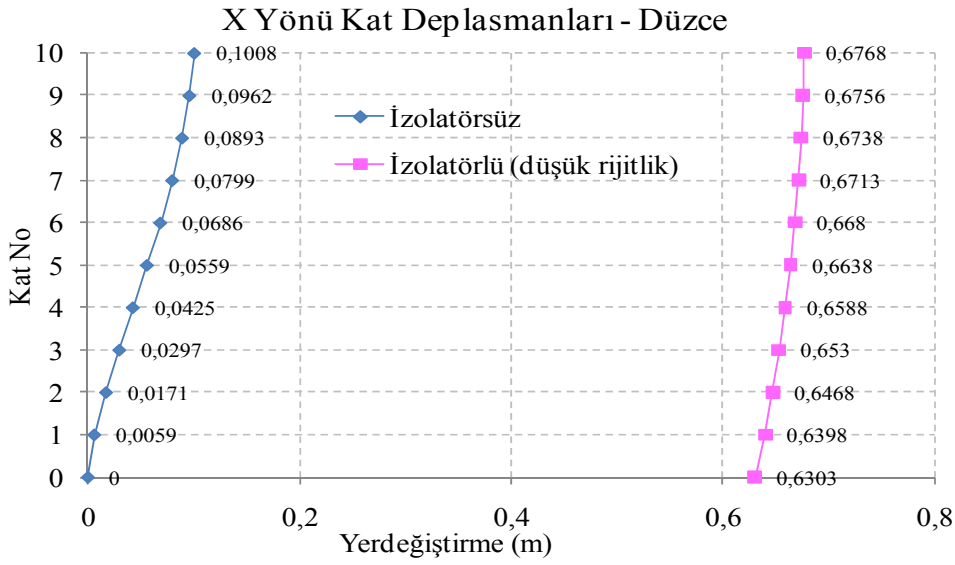
Çalışmanın bu aşamasında orta yükseklikteki yapıları karakterize etmesi açısından 10 katlı X yönünde iki (7,5m), Y yönünde üç açıklıklı (5m) Şekil 4.40 (a)’da ki betonarme yapı modeli seçilmiştir. On katlı betonarme yapının beton cinsi C30 seçilmiştir. Kolonlar 70X70 cm boyutlarındadır. Döşeme kalınlığı 15 cm’dir. Tüm kirişler 25X50 tablalı kiriş olarak seçilmiştir. Kat yüksekliği 3m’dir. Elastisite Modülü 3.10^7 kN/m² olarak seçilmiştir. İlk olarak yapı ankastre mesnetli olarak zaman tanım alanında seçilen deprem ivme kayıtları kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Daha sonra farklı rijitlik özellikli sönümleyiciler yapının temeline yerleştirilmiştir. Ayrıca izolatörlü yapıda giriş kata üst katlardaki ile aynı özelliklere sahip kiriş ve döşemeler de eklenmiştir (Şekil 4.40 b).



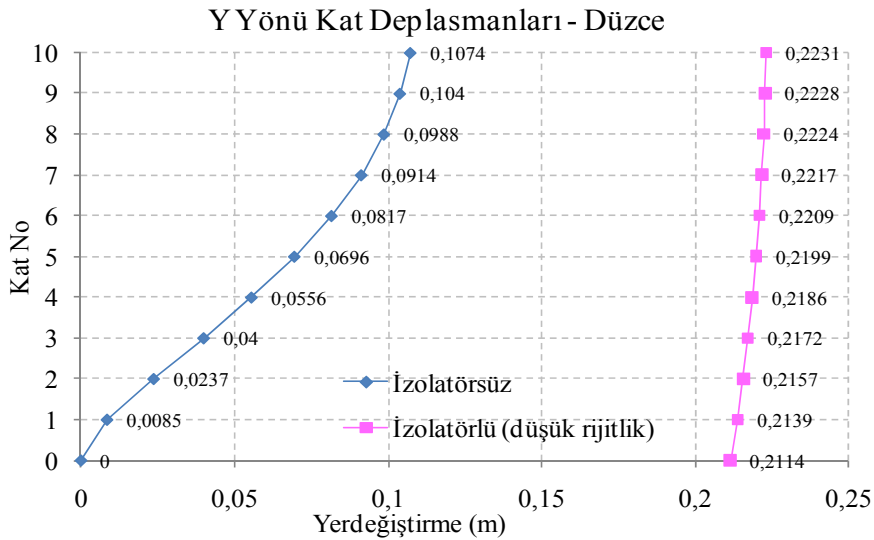
Şekil 4.40 10 Katlı betonarme yapı modeli (a) Ankastre mesnetli (b) İzolatörlü

4.2.1 Düşük rijitlikli kauçuk izolatör (10 katlı yapı)

Şekil 4.41-4.42’de 10 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. İzolatörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolatörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi izolatörlü modelde yüksek yerdeğiştirme temel seviyesinde olduğu, üst katların neredeyse temele göre rijit hareket ettiği görülmektedir. Taban seviyesindeki X yönü kat deplasmanları incelendiğinde 50 cm’yi geçtiği görülmüş olup, bu durumun yapının izolatörler üzerinden devrilme riskini ortaya çıkardığı için tavsiye edilmediği bilinmektedir.



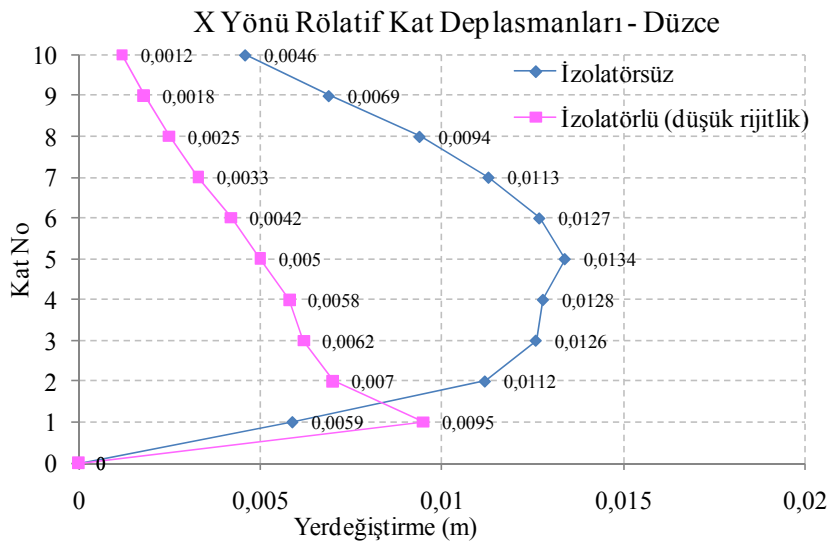
Şekil 4.41 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları



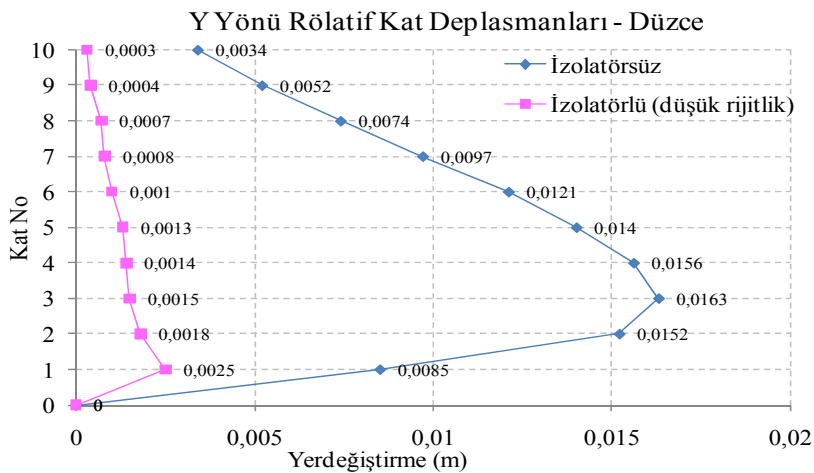
Şekil 4.42 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları

Şekil 4.42 incelendiğinde taban seviyesindeki yerdeğiştirmenin yaklaşık 21 cm olduğu görülmüş, 50 cm sınırına uzak olduğu için riskli bir durum arz etmediği tespit edilmiştir.

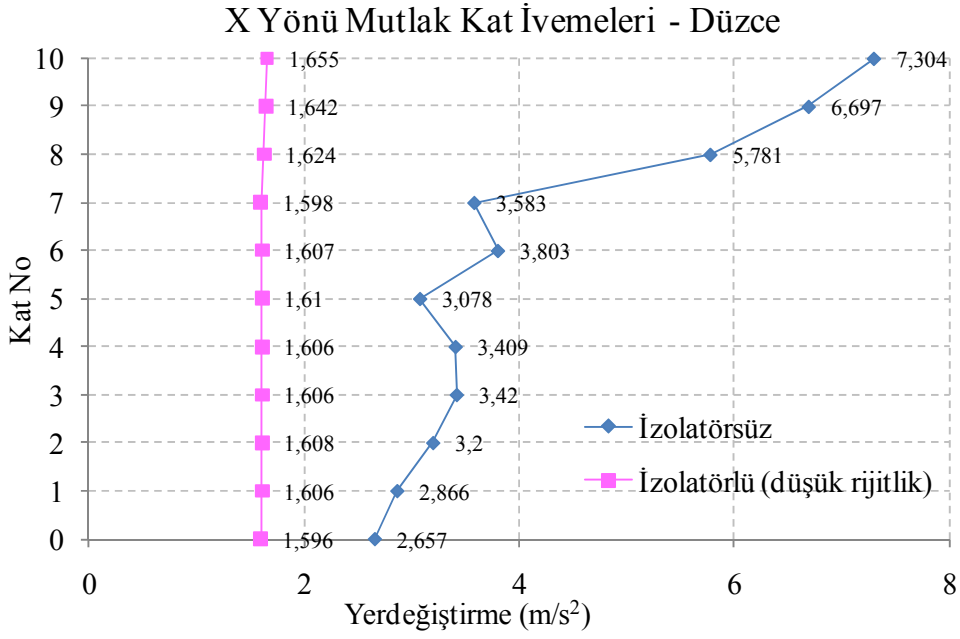
Şekil 4.43 - 4.44'de görüldüğu gibi 10 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. X yönü rölatif kat deplasmanlarına bakıldığında sadece ilk kat haricinde, Y yönü rölatif kat deplasmanlarının tamamına bakıldığında izolatórlü durumda rölatif deplasmanların, izolatórsüz duruma göre oldukça azaldığı görülmüştür. Yapısal davranışta rölatif deplasmanları azaltmak, yapısal hasarı ciddi biçimde azaltmaktadır. Bu açıdan izolatórlü durumun yapısal davranış açısından ciddi bir katkı verdiği söylenebilir.



Şekil 4.43 İzolatórlü ve izolatórsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

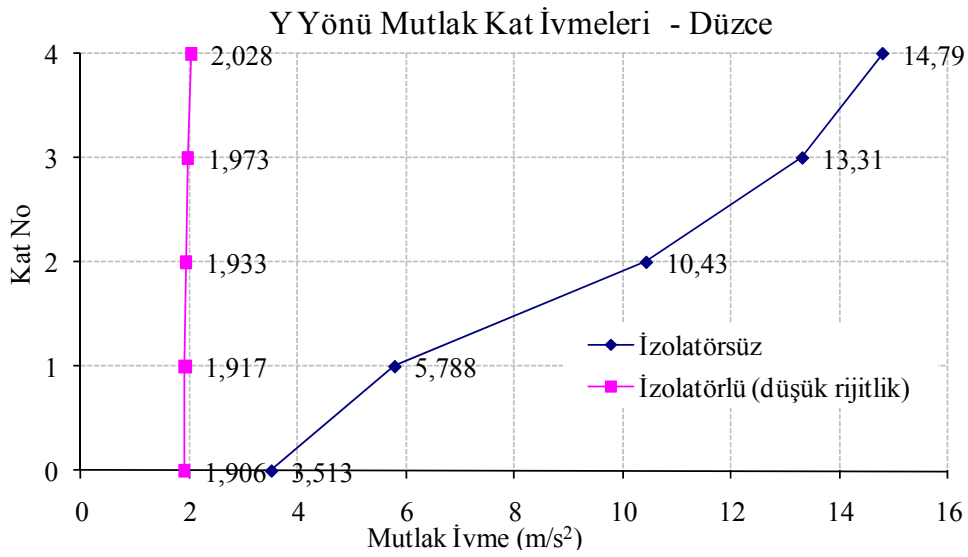


Şekil 4.44 İzolatórlü ve izolatórsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları



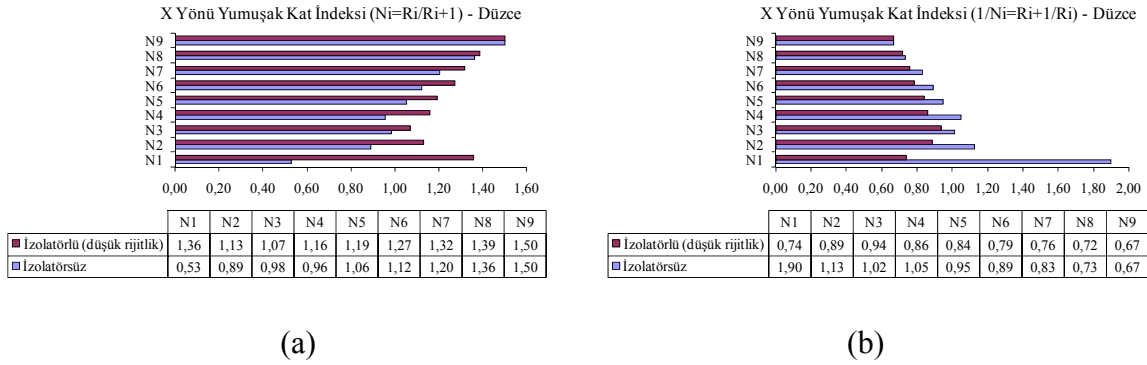
Şekil 4.45 İzolatörlü ve izolatsız yapının X yönü mutlak kat ivmesi

Şekil 4.45 ve Şekil 4.46 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 10 katlı model yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da görüleceği gibi izolatörlü durumda ciddi bir şekilde azaltılmıştır. İvmelerin izolatör eklenerek azaltılması, yapıya gelen deprem kuvvetlerinin ve zararlı titreşimlerin azaltılması manasına gelir. Bu açıdan da izolatörlerin yapısal davranışta olumlu etkileri görülmektedir.

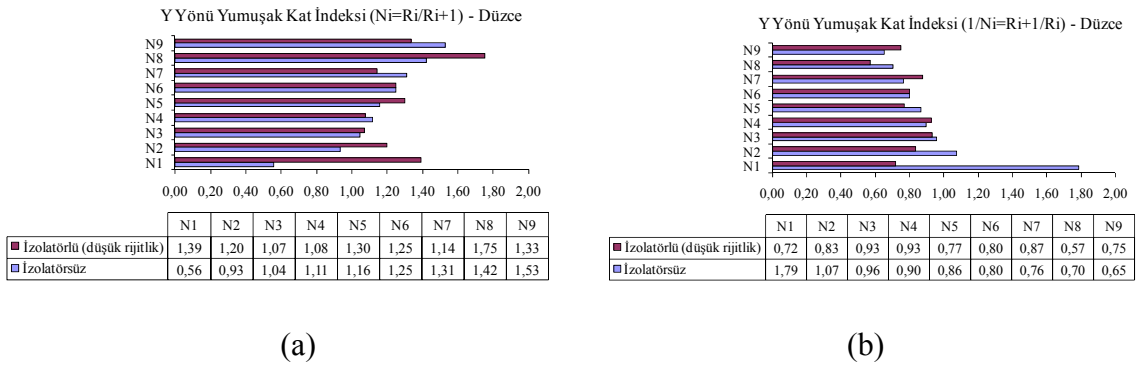


Şekil 4.46 İzolatörlü ve izolatsız yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

Şekil 4.47(a)'da X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.47(b)'de R_{i+1}/R_i için grafikler izolatörlü ve izolatörsüz hale göre çizilmiştir. R_i/R_{i+1} durumunda izolatörlü hal, izolatörsüz hale göre daha büyük iken; R_{i+1}/R_i durumunda izolatörsüz hal daha yüksek olup kat sayısı arttıkça izolatörlü hale yaklaşmaktadır. Bu oranların 1'e yakın olmasına göre incelendiğinde alt katlarda izolatörlü durum daha iyi iken, üst katlarda izolatörsüz durumun daha iyi olduğu görülmüştür. Özellikle alt katlarda rölatif deplasmanların büyük olduğu göz önüne alındığında bu bölgede izolatörlü durumun daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

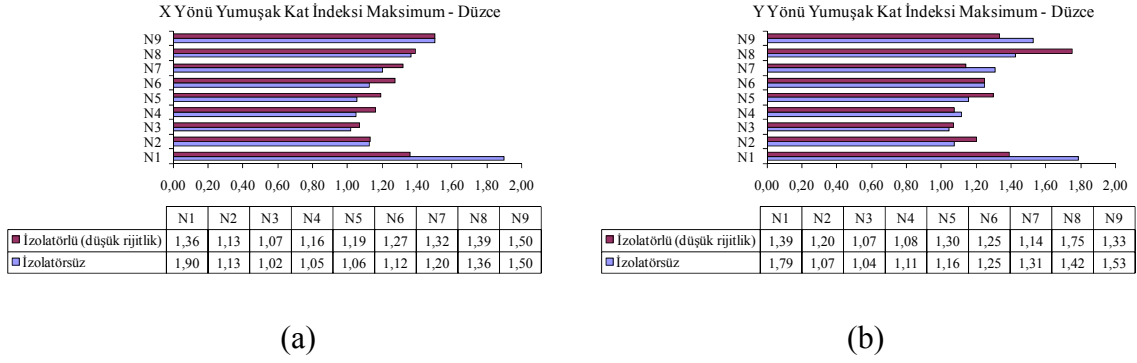


Şekil 4.47 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi



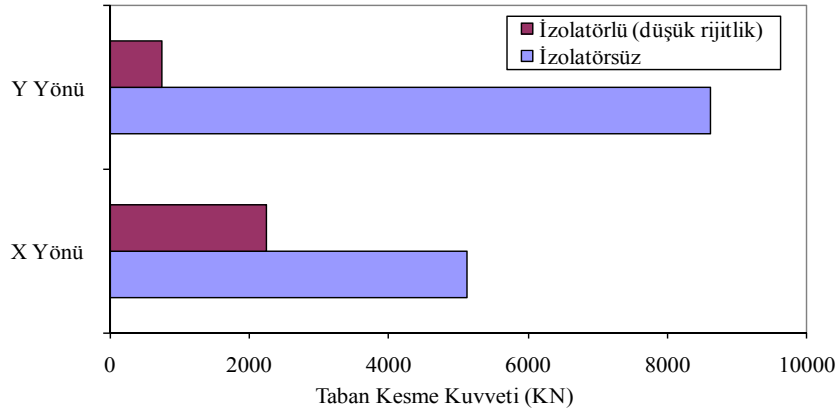
Şekil 4.48 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.48(a)-(b)'de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. X yönüne benzer bir durum burada da mevcuttur. Yönetmeliklerde herhangi ardışık iki katın rölatiflerinin oranları için yumuşak kat indeksi tanımlandığı için bu çalışmada hem R_i/R_{i+1} hem de R_{i+1}/R_i değerleri araştırılmış olup Şekil 4.49 (a)-(b)'de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir.

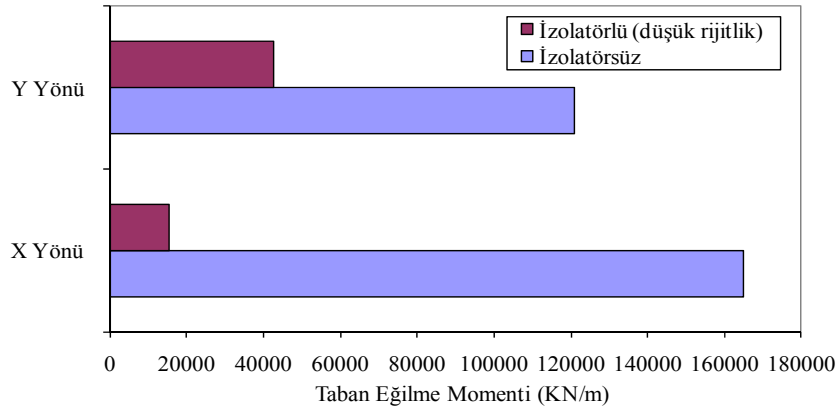


Şekil 4.49 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

Şekil 4.49'dan görülebileceği gibi alt kattaki rölatif deplasman oranlarına (R2/R1 ve R1/R2) göre izolotörlü hal daha iyi performans gösterirken; üst katlarda (R3/R2 ve R2/R3) ve (R4/R3 ve R3/R4) izolotörsüz hal daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 4.50 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban kesme kuvvetleri

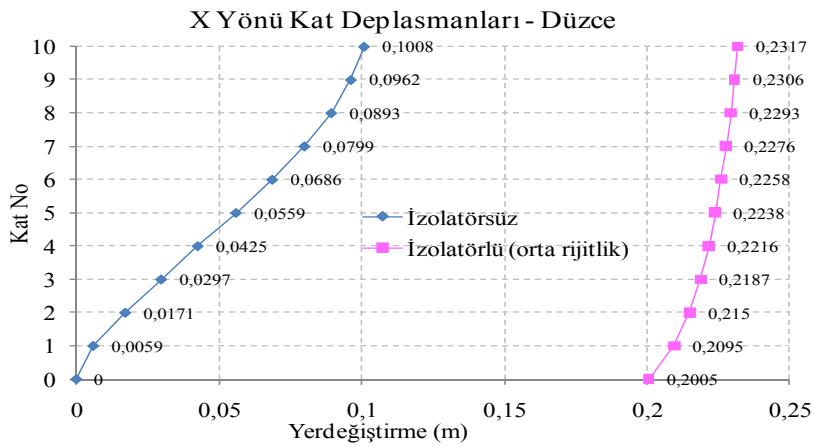


Şekil 4.51 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban eğilme momentleri

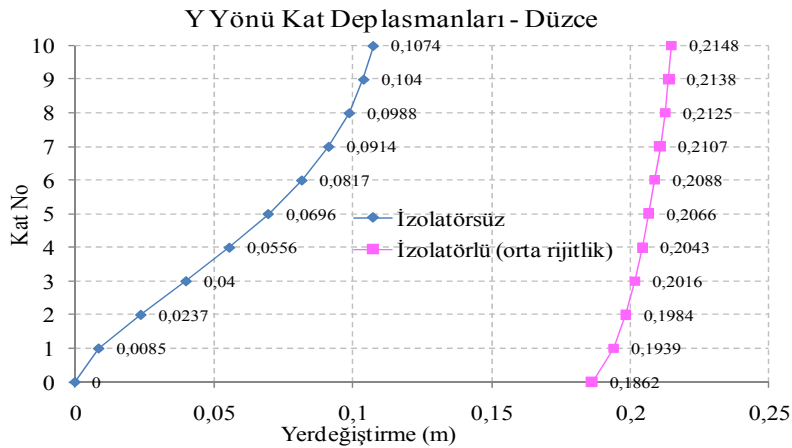
Şekil 4.50’de görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.51’de taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiş; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de ciddi manada azalttığı gözlenmiştir.

4.2.2 Orta rijitlikli kauçuk izolatör (10 katlı yapı)

Şekil 4.52-4.53’de 10 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. İzolatörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolatörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi izolatörlü modelde yüksek yerdeğiştirme temel seviyesinde olduğu, üst katların neredeyse temele göre rijit hareket ettiği Şekil 4.52 ve Şekil 4.53’de görülmektedir. İzolatörlü durumda düşük sönümlüye göre kat deplasmanlarının daha da azaldığı gözlenmiştir.

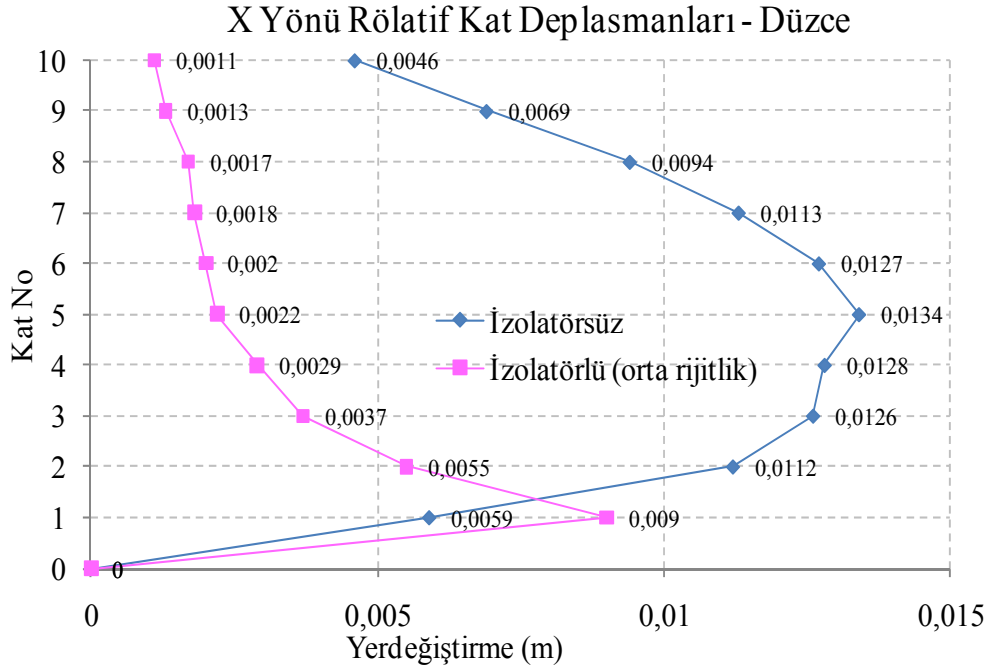


Şekil 4.52 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları

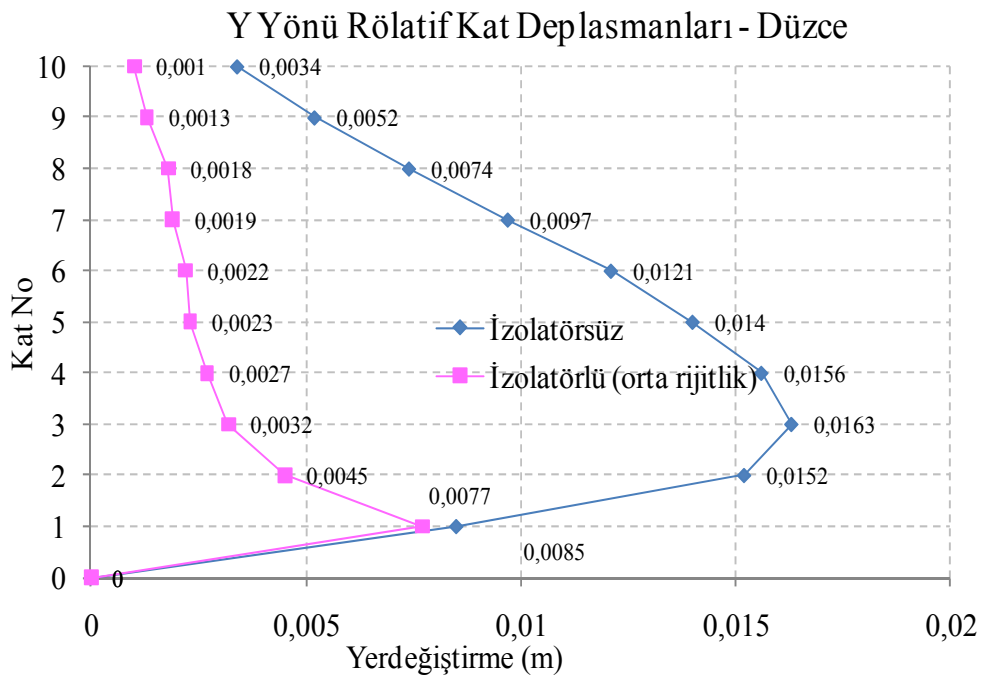


Şekil 4.53 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları

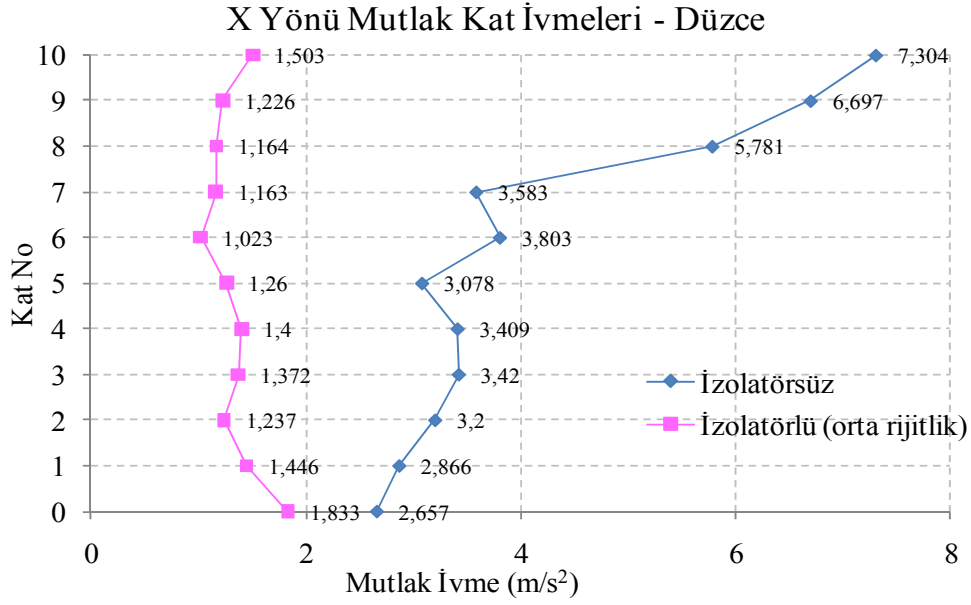
Şekil 4.54 - 4.55’de görüldüğü gibi 10 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Görülmektedir ki; izolatörler rölatif deplasmanlar üzerinde ciddi bir düşüğe sebep olmaktadır. Dahası düşük rijitlikli izolatörle karşılaştırıldığında rölatif deplasmanların dahada düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 4.54 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

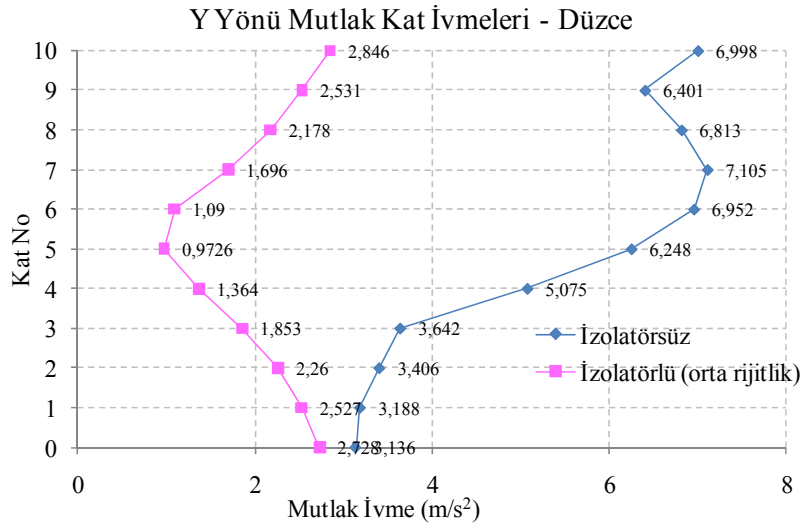


Şekil 4.55 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları



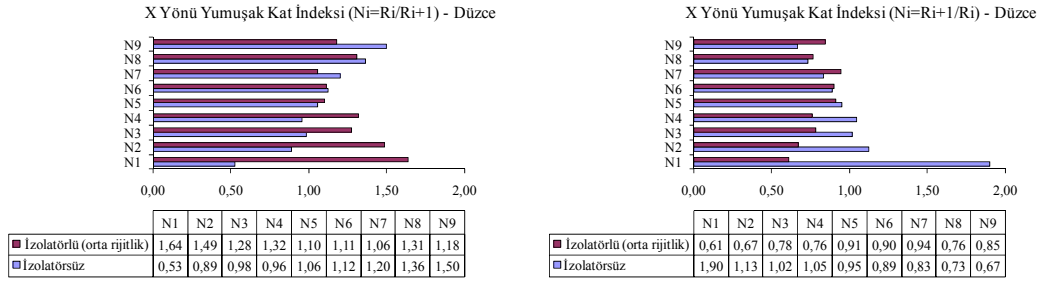
Şekil 4.56 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi

Şekil 4.56 ve Şekil 4.57 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 10 katlı model yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.56 ve Şekil 4.57'de görüleceği gibi orta rijitlikli izolatörlü durumda azalmıştır. Bu azalım düşük rijitlikli izolatörlü ilk durumla karşılaştırıldığında, düşük rijitlikli izolatör durumunda kat mutlak ivmelerinin daha çok düşürüldüğü gözlenmiştir. İzolatör rijitliğinde ki artış deplasmanlarda azalımı sebep olmakla beraber ivmelerde düşük rijitlikli izolatörlü duruma göre artışa sebep olmuştur.



Şekil 4.57 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

Denklem 4.1 ile ifade edilen yumuşak kat indeksi N_i ve $1/N_i$ 'nin izolatörün orta rijitlikte olması durumunda ki değişimi Şekil 4.58'de görülmektedir.



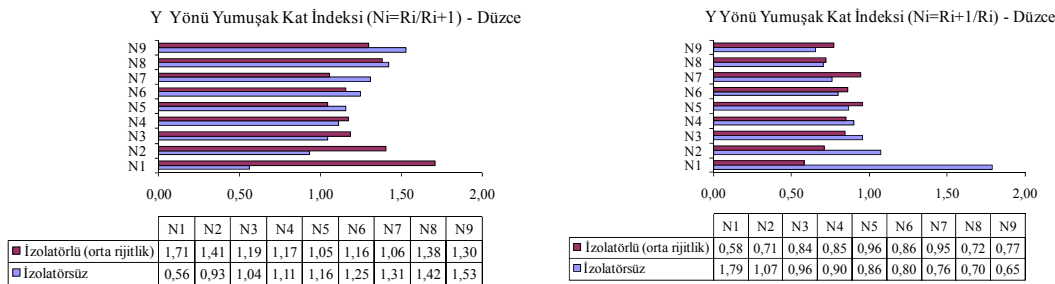
(a)

(b)

Şekil 4.58 İzolatörlü ve izolatorsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.58(a)'da X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.58(b)'de R_{i+1}/R_i için grafikler izolatorlü ve izolatorsüz hale göre çizilmiştir. R_i/R_{i+1} durumunda N1, N2, N3, N4 ve N5'de izolatorlü hal, izolatorsüz hale göre daha büyük iken; N6, N7, N8 ve N9'da izolatorlü hal daha küçüktür. R_{i+1}/R_i durumundaki hal R_i/R_{i+1} durumundaki hal ile aynıdır. Burada esas dikkat edilecek husus bu oranların 1'e yaklaşmasıdır. Bu açıdan bakıldığında bazı katlarda izolatorlü durum, bazı katlarda ise izolatorsüz durum öne çıkmaktadır.

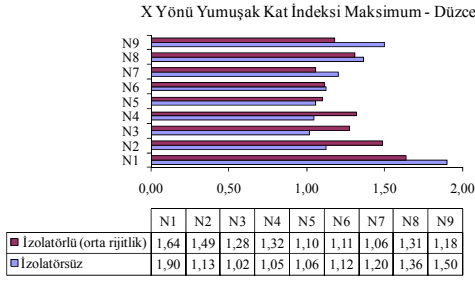
Şekil 4.59(a)-(b)'de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.59(a)'da izolatorlü halde N1, N2, N3 ve N4 daha büyük iken N5, N6, N7, N8 ve N9'da daha küçüktür. Şekil 4.59(b)'de izolatorlü hal ile Şekil 4.59(a)'da ki hal tersidir. N1, N5, N6, N7, N8, N9'da izolatorlü durum bire yakın iken, N2, N3, N4'de izolatorsüz durum bire yakındır.



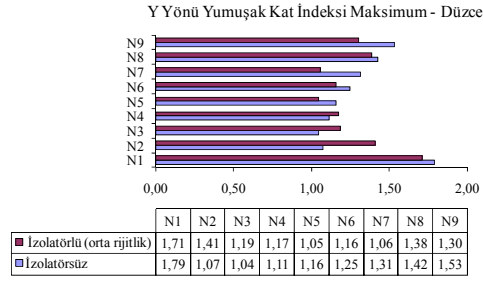
(a)

(b)

Şekil 4.59 İzolatörlü ve izolatorsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi



(a)

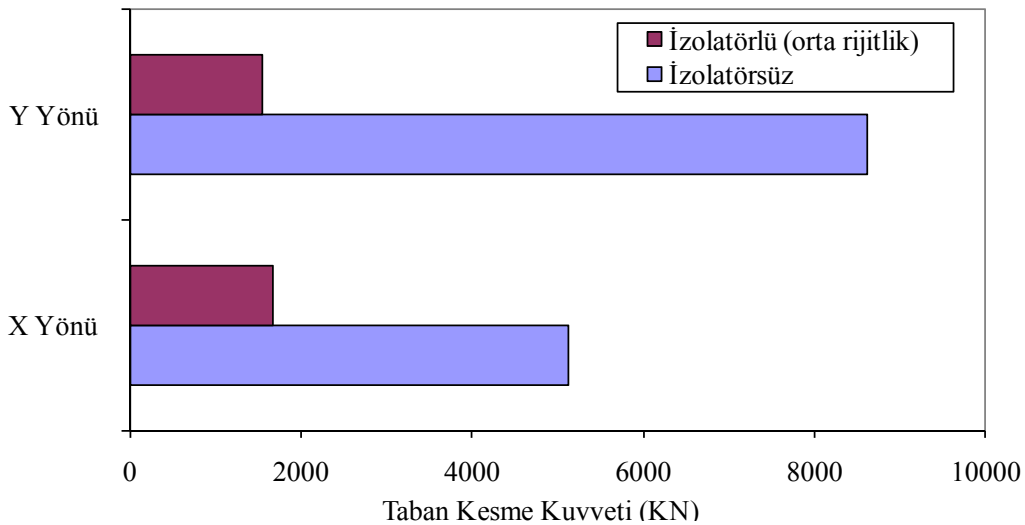


(b)

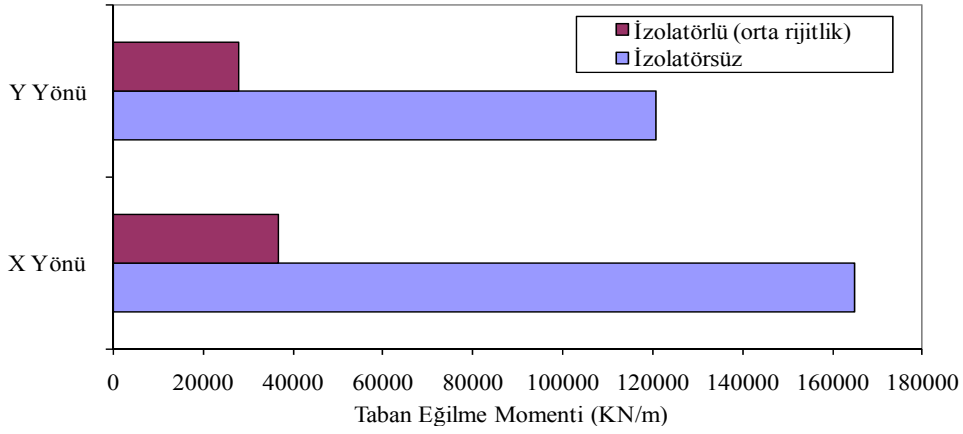
Şekil 4.60 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

Şekil 4.60 (a)-(b)'de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir. Şekil 4.60 (a)'ya göre N1, N3, N4 ve N5'de izolatörlü hal için büyük iken, N2, N6, N7, N8 ve N9'da küçük çıkmıştır. Şekil 4.60 (b)'de Y yönü için N2, N3 ve N4'de izolatörlü hal için büyük iken N1, N5, N6, N7, N8 ve N9'da küçük çıkmıştır. N_i ve $1/N_i$ 'lerin bire yakın olma durumları kattan kata değişmektedir.

İzolatör rijitliği orta rijitlik alındıktan sonra yapılan hesaplar tekrarlanarak taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti tekrar hesaplanmıştır. Şekil 4.61'de görüldüğü gibi, hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.62'de taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiş; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de azalttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.61 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri

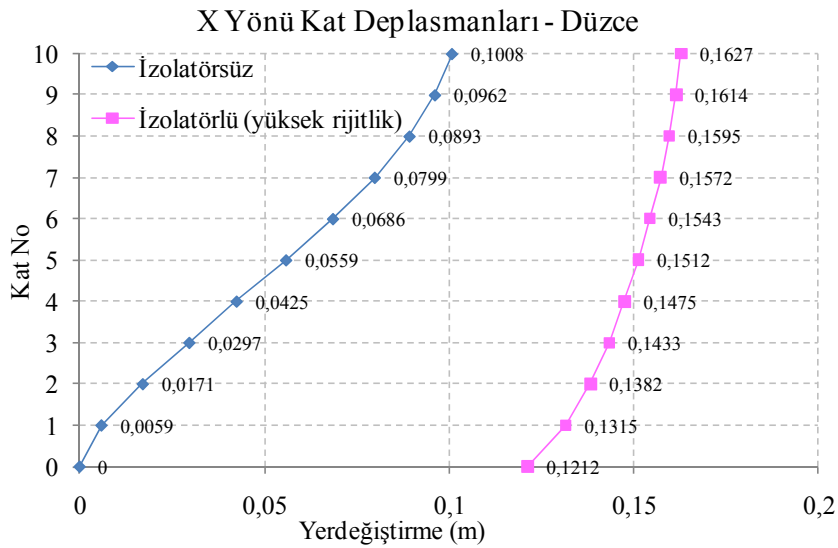


Şekil 4.62 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban eğilme momentleri

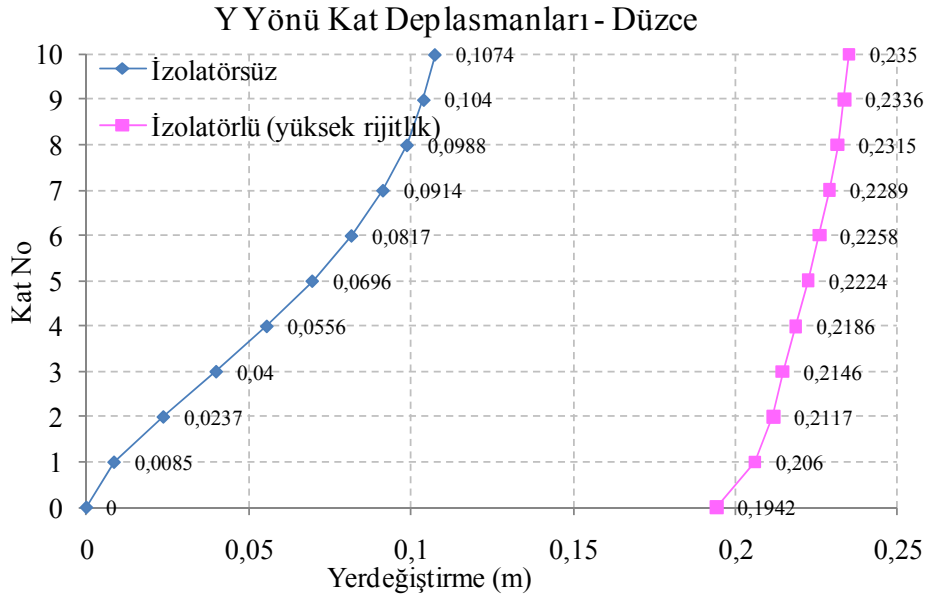
Orta rijitlikli izolotör kullanımı durumunda Y yönündeki taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti düşük rijitlikli duruma göre azalırken X yönündeki bu değerlerin arttığı görülmüştür.

4.2.3 Yüksek rijitlikli kauçuk izolotör (10 katlı yapı)

Şekil 4.63-4.64'de 10 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. İzolotörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolotörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi izolotörlü modelde yüksek yerdeğiştirme temel seviyesinde olduğu, üst katların neredeyse temele göre rijit hareket ettiği Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'de görülmektedir. İzolotörlü durumda düşük sönümlüye ve orta sönümlüye göre kat deplasmanlarının daha da azaldığı gözlenmiştir.

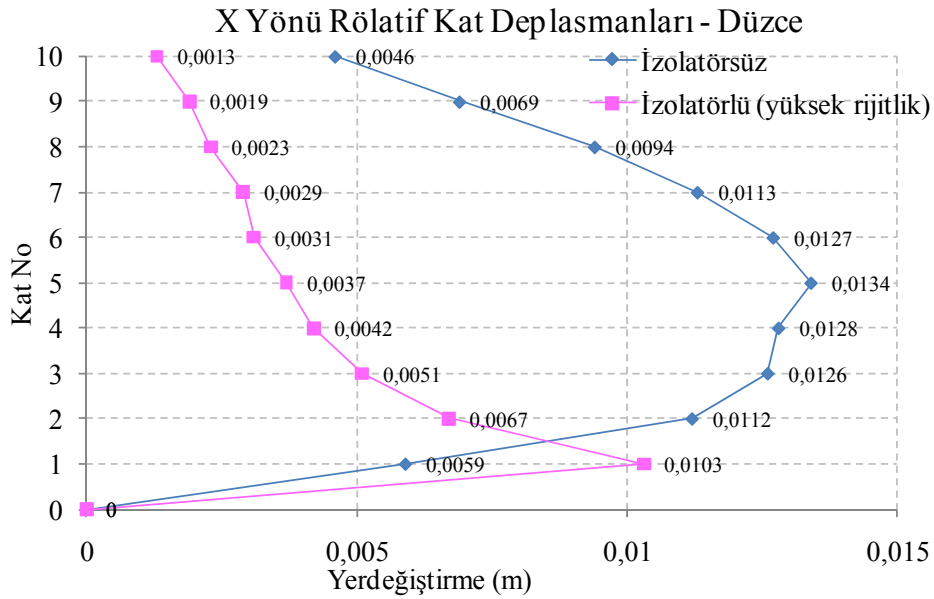


Şekil 4.63 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü kat deplasmanları

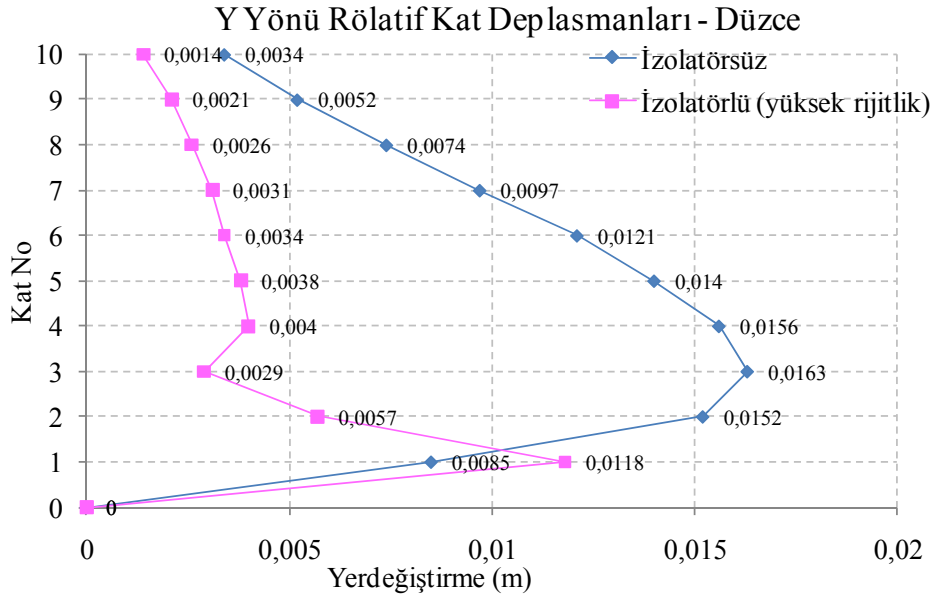


Şekil 4.64 İzolatörlü ve izolatsız yapının Y yönü kat deplasmanları

Şekil 4.65 - 4.66'da görüldüğü gibi 10 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Görülmektedir ki; izolatörler rölatif deplasmanlar üzerinde ciddi bir düşüğe sebep olmaktadır. Dahası düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolatörlü durum ile karşılaştırıldığında rölatif deplasmanların en düşük olduğu durum yüksek rijitlikli durumdur.

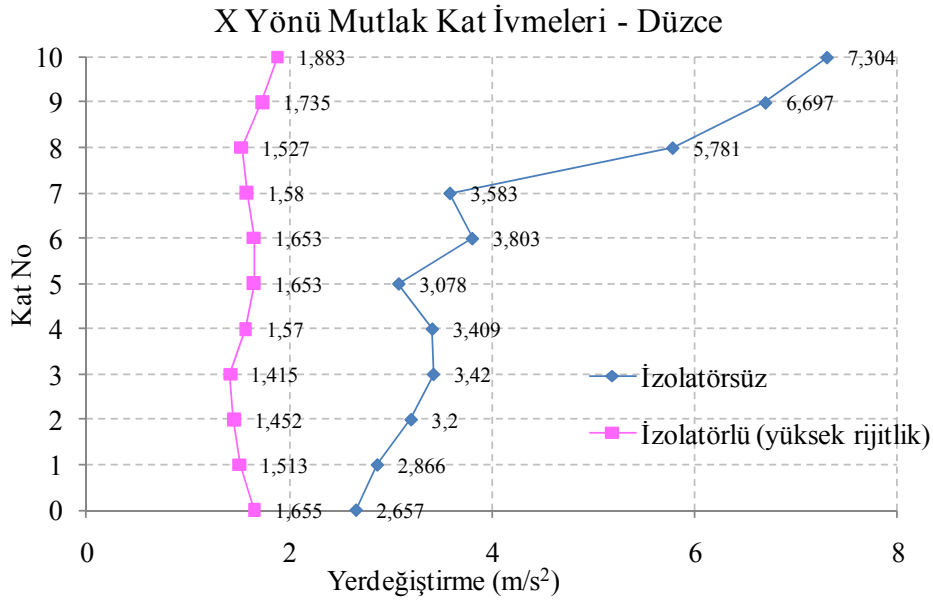


Şekil 4.65 İzolatörlü ve izolatsız yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

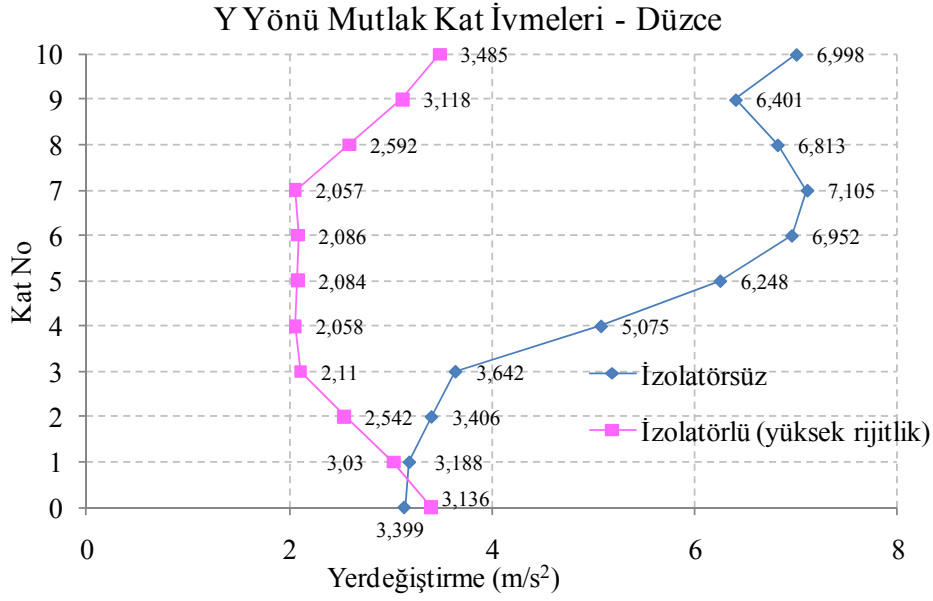


Şekil 4.66 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları

Şekil 4.67 ve Şekil 4.68 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 10 katlı model yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de görüleceği gibi yüksek rijitlikli izolotörlü durumda azalmıştır. Bu azalım düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolotörlerle karşılaştırıldığında, düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolotörlerde kat mutlak ivmelerinin daha çok düşürüldüğü gözlenmiştir.

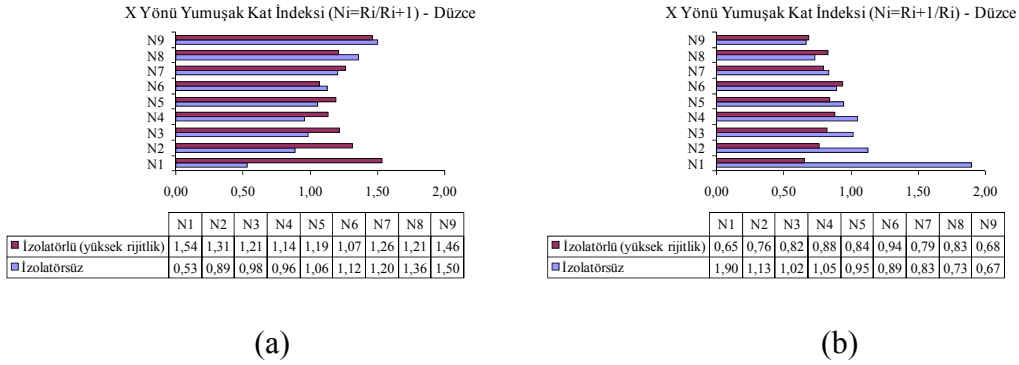


Şekil 4.67 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi



Şekil 4.68 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

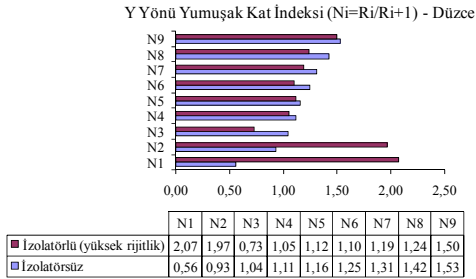
Denklem 4.1 ile ifade edilen yumuşak kat indeksi N_i ve $1/N_i$ 'nin izolotörün yüksek rijitlikte olması durumunda ki değişimi Şekil 4.69'da görülmektedir.



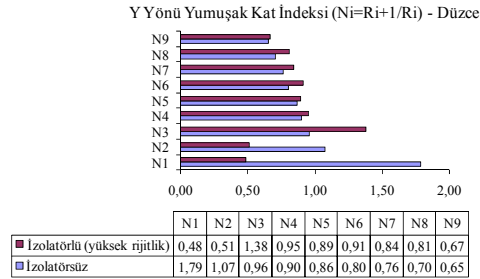
Şekil 4.69 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.69(a)'da X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.69(b)'de R_{i+1}/R_i için grafikler izolotörlü ve izolotörsüz hale göre çizilmiştir. Şekil 4.69(a)'da R_i/R_{i+1} durumunda N1, N2, N3, N4, N5 ve N7'de izolotörlü hal, izolotörsüz hale göre daha büyük iken; N6, N8 ve N9'da izolotörlü hal daha küçüktür. Şekil 4.69(b) R_{i+1}/R_i durumunda izolotörsüz hal N6, N8 ve N9'da daha küçükken N1, N2, N3, N4, N5 ve N7'de daha büyüktür. Ayrıca bire yakın olma durumlarında Şekil 4.69'dan gözlenebilir.

Şekil 4.70(a)-(b)'de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.70(a)'da izolatörlü halde N_1 ve N_2 daha büyük iken N_3 , N_4 , N_5 , N_6 , N_7 , N_8 ve N_9 'da daha küçüktür. Şekil 4.70(b)'de izolatörlü halde Şekil 4.70(a)'da ki durumun tersidir.

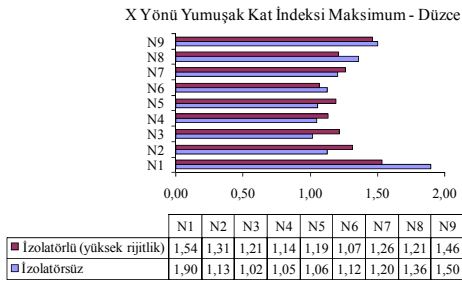


(a)

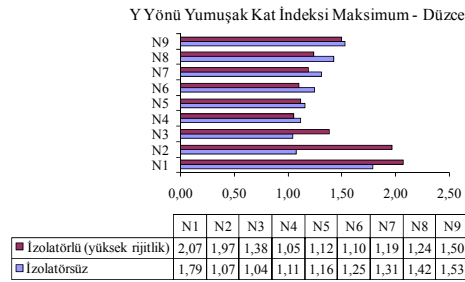


(b)

Şekil 4.70 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi



(a)



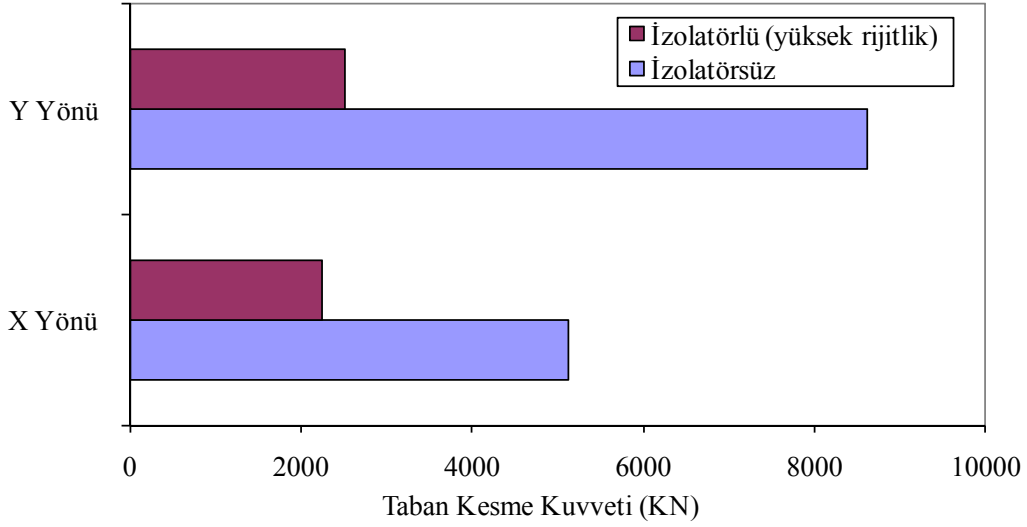
(b)

Şekil 4.71 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X ve Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

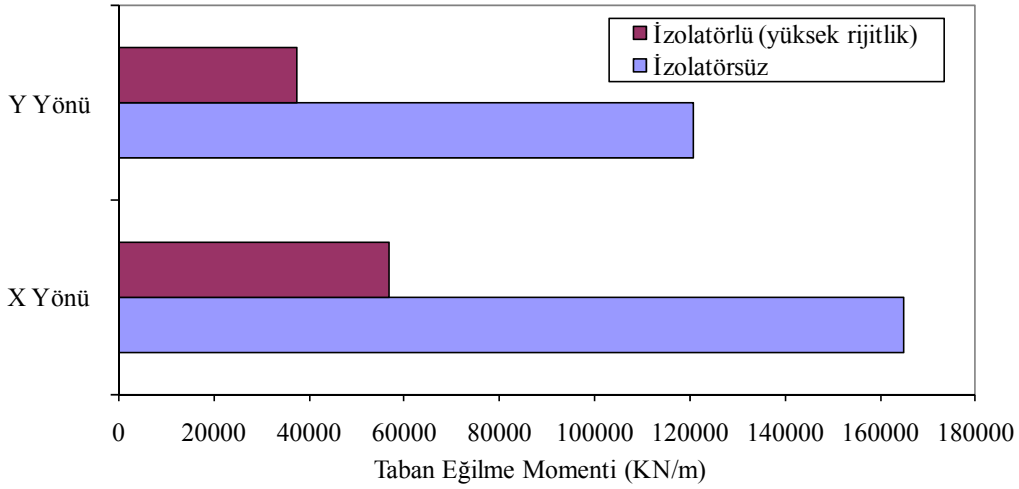
Şekil 4.71 (a)-(b)'de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir. Şekil 4.71 (a)'ya göre N_2 , N_3 , N_4 , N_5 ve N_7 'de izolatörlü hal için büyük iken N_1 , N_6 , N_8 ve N_9 'da küçük çıkmıştır. Şekil 4.71 (b)'de Y yönü için N_1 , N_2 ve N_3 'de izolatörlü hal için büyük iken N_4 , N_5 , N_6 , N_7 , N_8 ve N_9 'da küçük çıkmıştır.

İzolatör rijitliği yüksek rijitlik alındıktan sonra yapılan hesaplar tekrarlanarak taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti tekrar hesaplanmıştır. Şekil 4.72'de görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.73'de taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiş; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de azalttığı gözlenmiştir.

Ayrıca düşük rijitlikli ve orta rijitlikli hal ile karşılaştırıldığında, yüksek rijitlikli izolatör durumunda taban kesme kuvveti ve taban eğilme momentinde biraz artma gözlenmiştir.



Şekil 4.72 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri

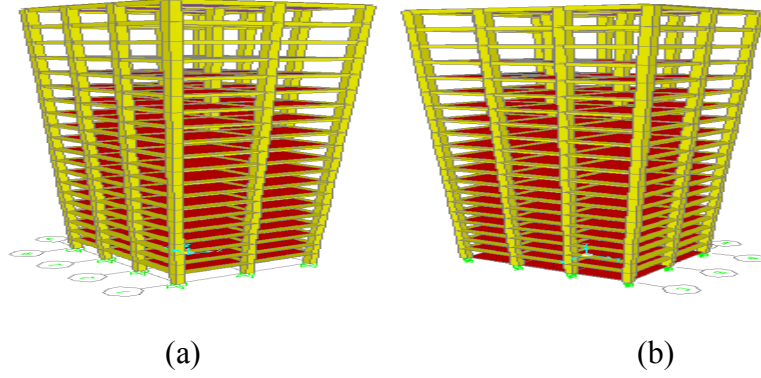


Şekil 4.73 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri

4.3 20 Katlı Model Yapı

Çalışmanın bu aşamasında çok katlı yapıları karakterize etmesi açısından 20 katlı X yönünde iki (7,5m), Y yönünde üç açıklıklı (5m) Şekil 4.74 (a)'da ki betonarme yapı modeli seçilmiştir. On katlı betonarme yapının beton cinsi C30 seçilmiştir. Kolonlar 70X70 cm boyutlarındadır. Döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Tüm kirişler 25X50 tablalı kiriş olarak

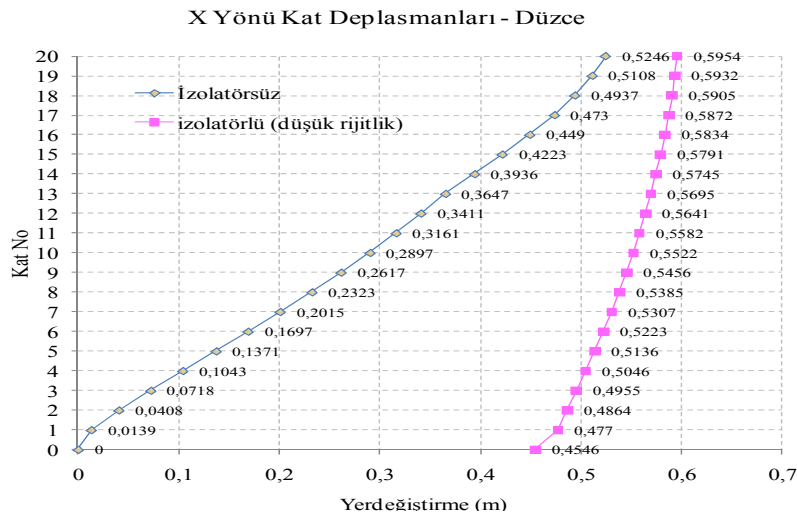
seçilmiştir. Kat yüksekliği 3m'dir. Elastisite Modülü 3.10^7 kN/m² olarak seçilmiştir. İlk olarak yapı ankastre mesnetli olarak zaman tanım alanında seçilen deprem ivme kayıtları kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Daha sonra farklı rijitlik özellikli sönümleyiciler yapının temeline yerleştirilmiştir. Ayrıca izolatörlü yapıda giriş kata üst katlardaki ile aynı özelliklere sahip giriş ve döşemeler de eklenmiştir (Şekil 4.74 b).



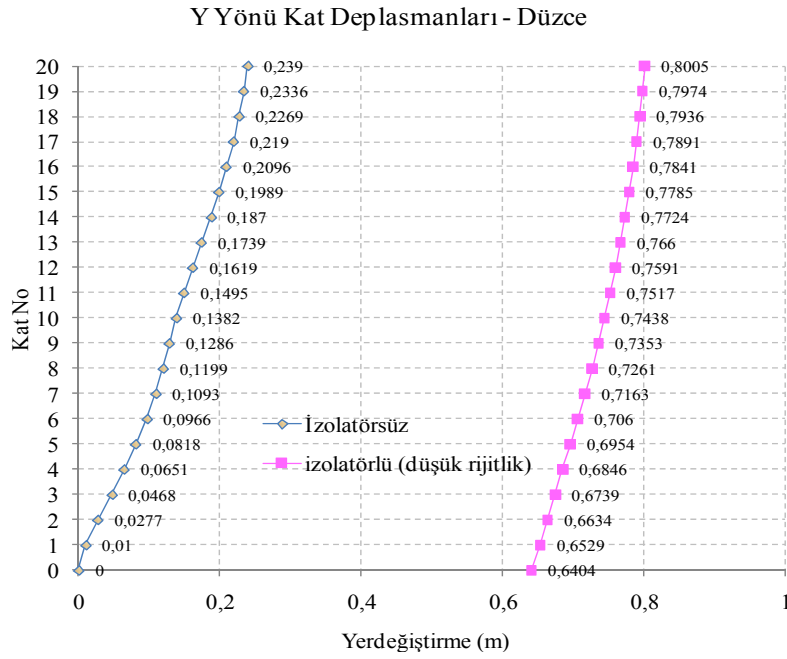
Şekil 4.74 20 Katlı betonarme yapı modeli (a) Ankastre mesnetli (b) İzolatörlü

4.3.1 Düşük rijitlikli kauçuk izolatör (20 katlı yapı)

Şekil 4.75-4.76'da 20 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. İzolatörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolatörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi izolatörlü modelde yüksek yerdeğiştirme temel seviyesinde olduğu, üst katların neredeyse temele göre rijit hareket ettiği Şekil 4.75 ve Şekil 4.76'da görülmektedir. Hem X hem de Y yönünde izolatörlü durumda taban seviyesindeki yerdeğiştirmelerin 50 cm'yi aştığı görülmüştür.

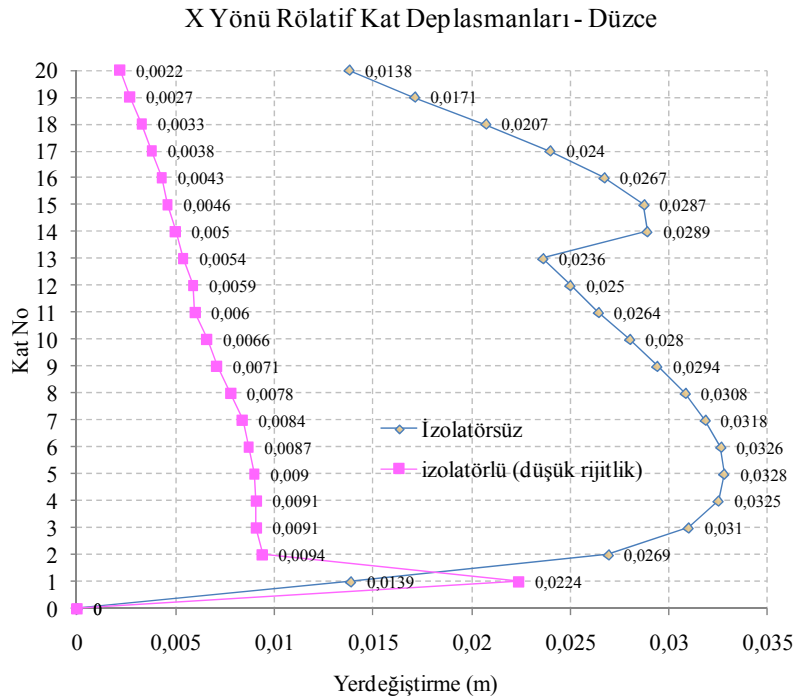


Şekil 4.75 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları



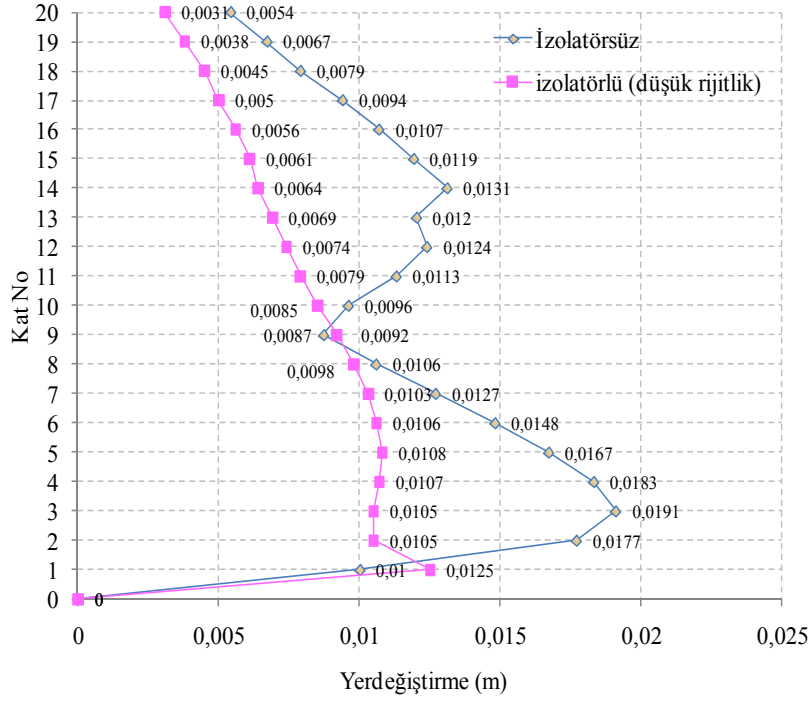
Şekil 4.76 İzolatörlü ve izolatsız yapının Y yönü kat deplasmanları

Şekil 4.77 - 4.78’de görüldüğü gibi 20 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Her iki yönde birinci kat ve sadece Y yönünde 9. kat dışında izolatlörlü durumun rölatif deplasmanları oldukça düşürdüğü görülmüştür.



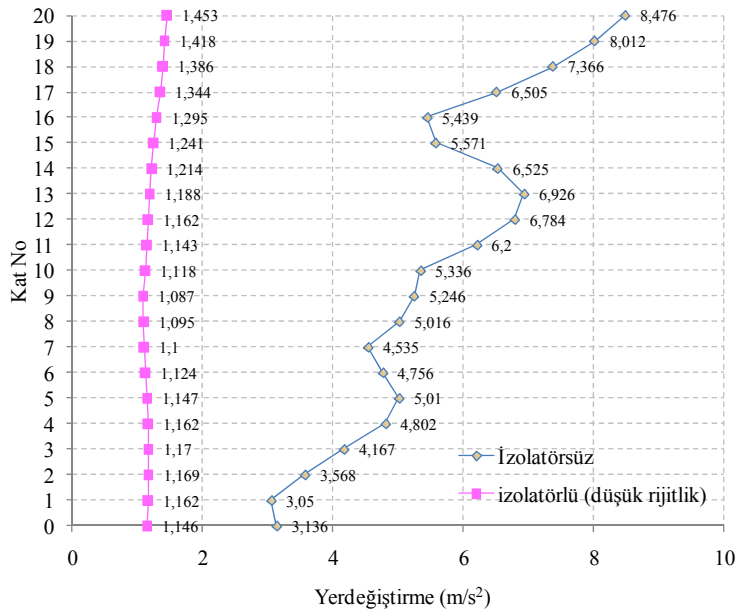
Şekil 4.77 İzolatörlü ve izolatsız yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

Y Yönü Rölatif Kat Deplasmanları - Düzce



Şekil 4.78 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları

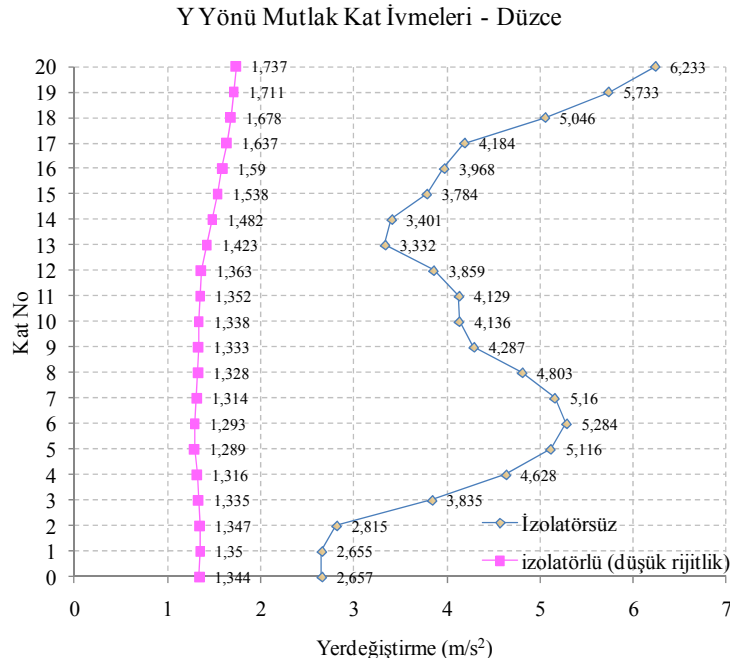
X Yönü Mutlak Kat İvmeleri - Düzce



Şekil 4.79 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi

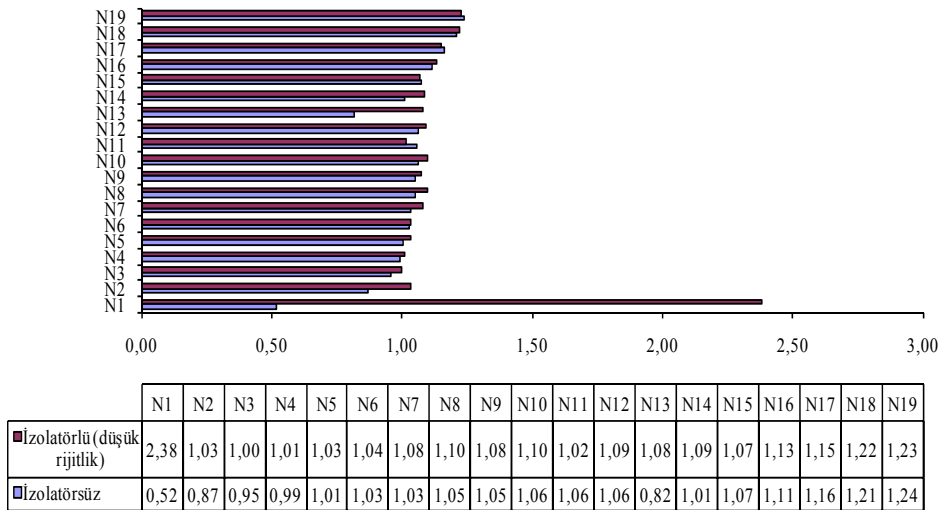
Şekil 4.79 ve Şekil 4.80 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 20 katlı model

yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.79 ve Şekil 4.80'de görüleceği gibi izolatörlü durumda ciddi bir şekilde azaltılmıştır.



Şekil 4.80 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

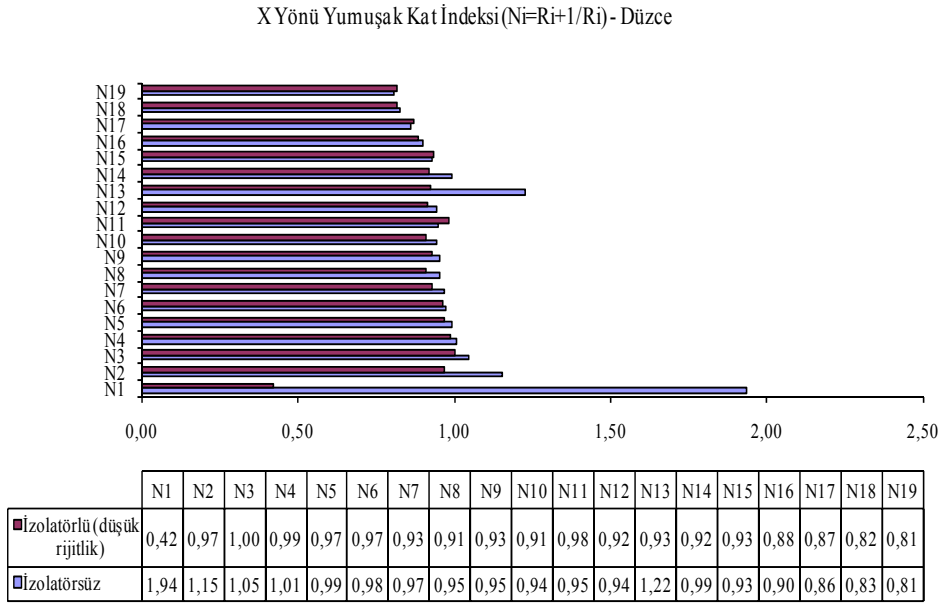
X Yönü Yumuşak Kat İndeksi (Ni=Ri/Ri+1) - Düzce



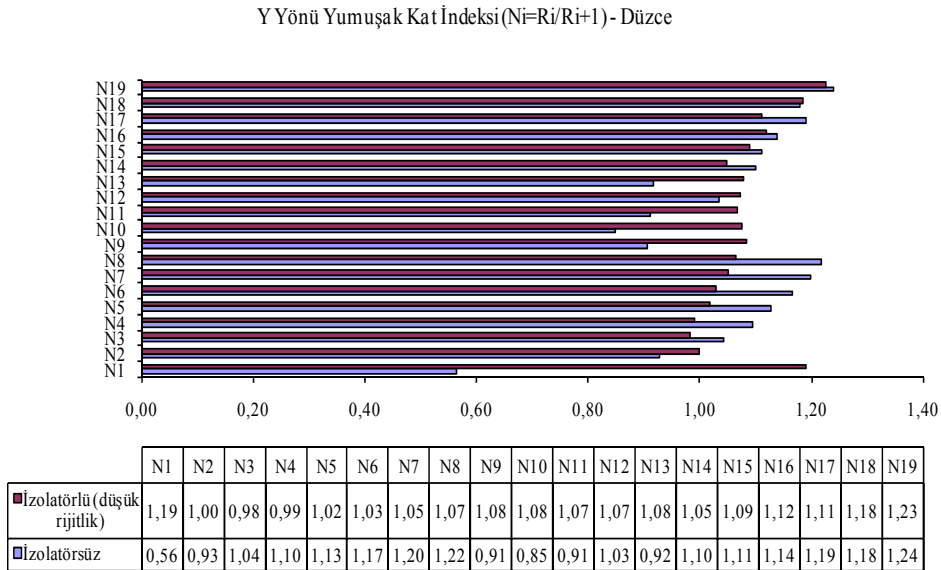
Şekil 4.81 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.81'de X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.82'de R_{i+1}/R_i için grafikler izolatörlü ve izolatörsüz hale göre çizilmiştir. R_i/R_{i+1} durumunda izolatörlü hal, izolatörsüz hale göre daha büyük iken; R_{i+1}/R_i durumunda izolatörsüz hal daha yüksek olup kat sayısı arttıkça izolatörlü

hale yaklaşmaktadır. Şekil 4.81’de izolotörlü durumun yumuşak kat indeksinin (N1) 2 değerini aştığı ve olumsuz bir durum ortaya çıkardığı görülmüştür.



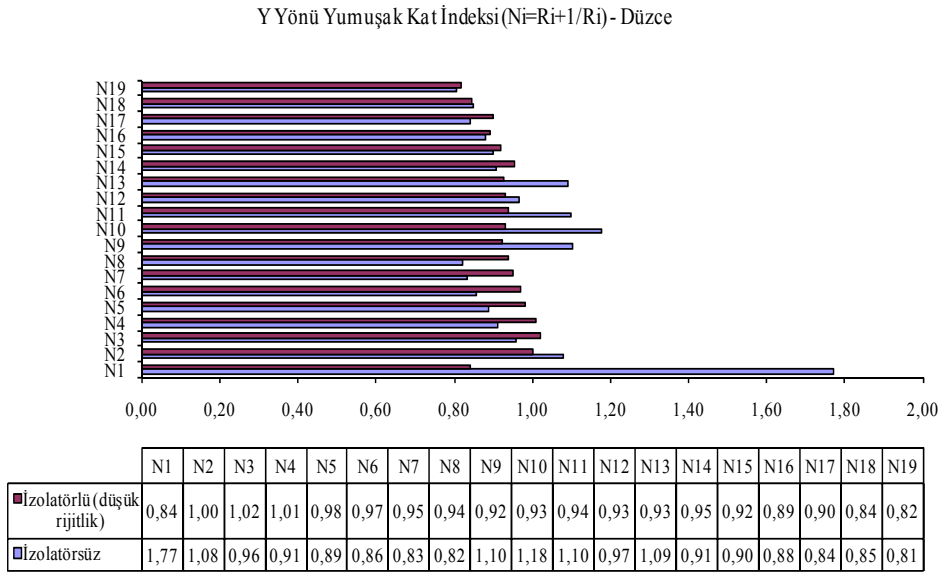
Şekil 4.82 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönu için yumuşak kat indeksi



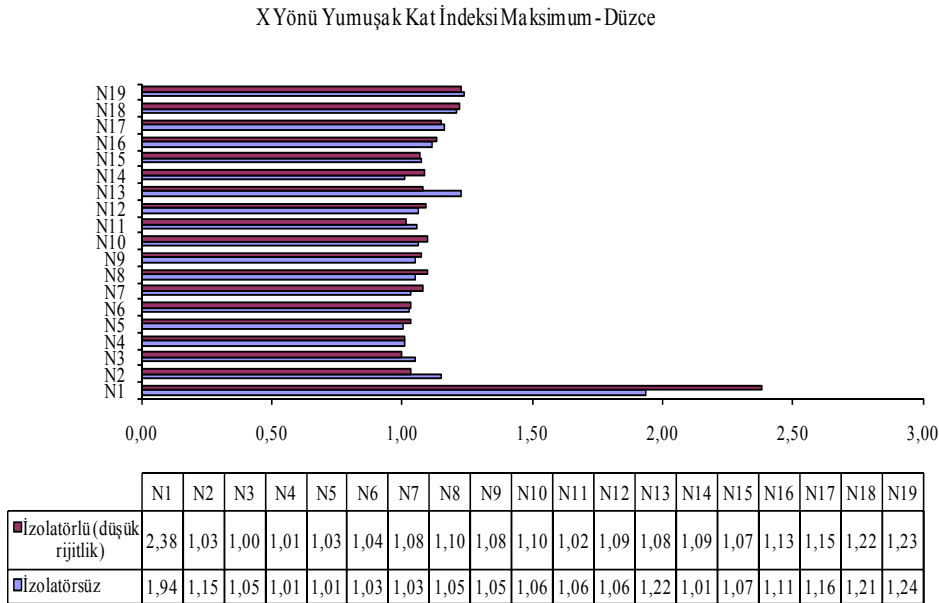
Şekil 4.83 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönu için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.83-Şekil 4.84’de Y yönu için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. X yönüne benzer bir durum burada da mevcuttur. Yönetmeliklerde herhangi ardışık iki katın rölatiflerinin oranları için yumuşak kat indeksi tanımlandığı için bu çalışmada hem R_i/R_{i+1} hem de R_{i+1}/R_i değerleri araştırılmış olup Şekil 4.85 ile Şekil 4.86’da X ve Y yönleri için bu değerlerin

maksimum olanları çizdirilmiştir. X yönünde izolatörlü durumda yumuşak kat indeksinin oldukça arttığı (>2) ve olumsuz bir durum ortaya çıkardığı görülmüştür.



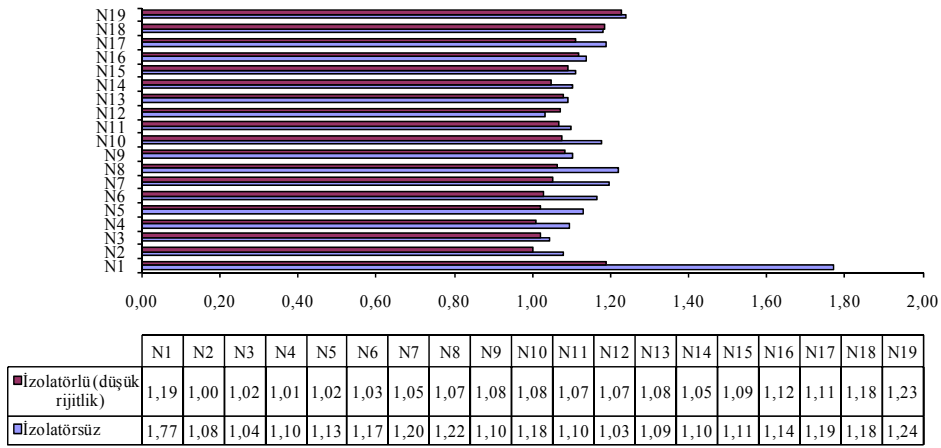
Şekil 4.84 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi



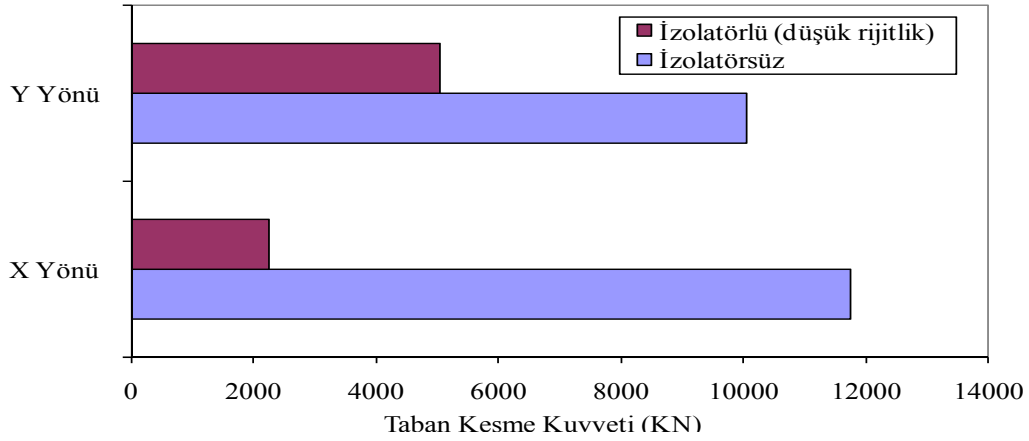
Şekil 4.85 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'dan görülebileceği gibi alt kattaki rölatif deplasman oranlarına (R2/R1 ve R1/R2) göre izolatörlü hal daha iyi performans gösterirken; üst katlarda (R3/R2 ve R2/R3) ve (R4/R3 ve R3/R4) izolatörsüz hal daha iyi performans göstermektedir.

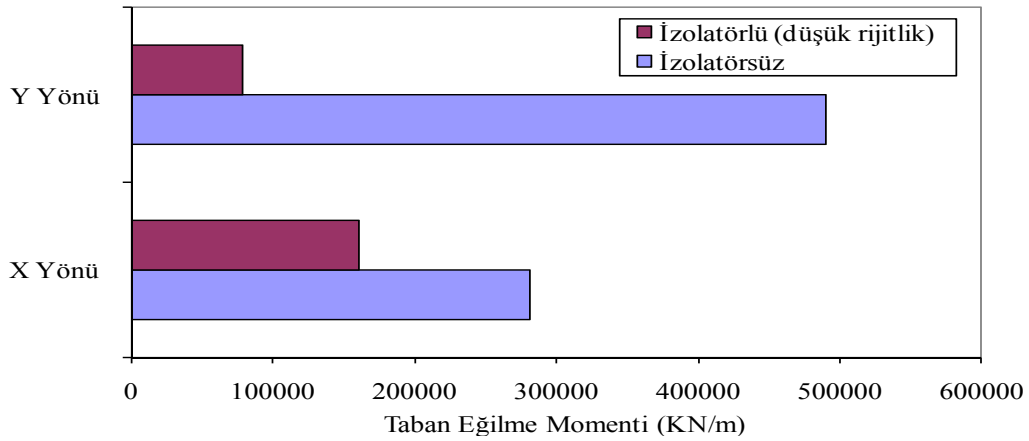
Y Yönü Yumuşak Kat İndeksi Maksimum - Düzce



Şekil 4.86 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi



Şekil 4.87 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban kesme kuvvetleri

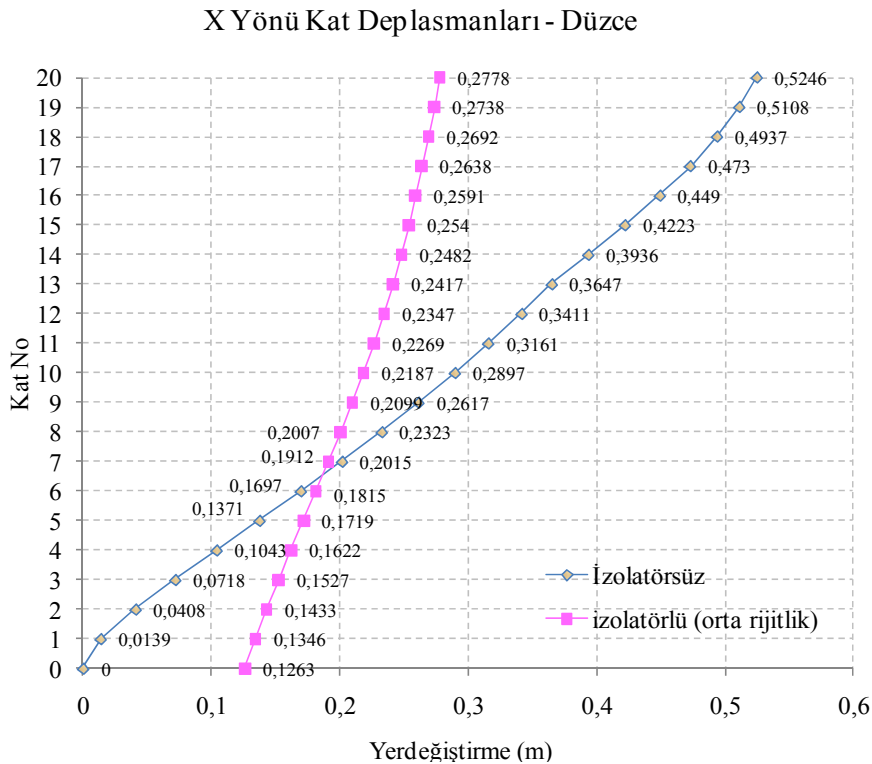


Şekil 4.88 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban eğilme momentleri

Şekil 4.87’de görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.88’de taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiş; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de ciddi manada azalttığı gözlenmiştir.

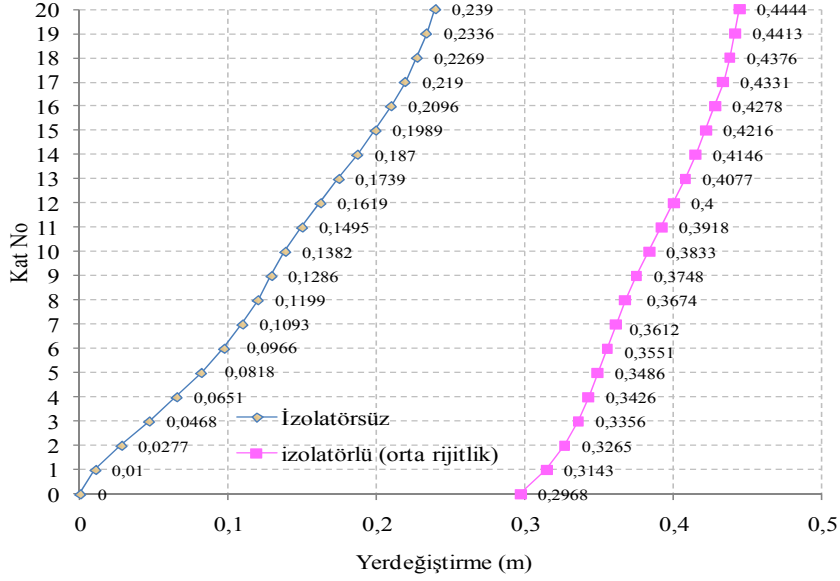
4.3.2 Orta rijitlikli kauçuk izolatör (20 katlı yapı)

Şekil 4.89-4.90’da 20 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. Orta rijitlikli izolatörlü durumda 7. kattan itibaren üst katlara doğru kat deplasmanları, izolatörsüz duruma göre daha az olduğu görülmektedir. Kat yüksekliğinin artması ile taban seviyesindeki yer değiştirmenin, az ve orta katlı yapılarla karşılaştırıldığında izolatörlü durumda azaldığı gözlenmiştir. Diğer iki yapı modelinden farklı olarak X yönü için 7. kattan sonra izolatörsüz duruma karşı gelen kat deplasmanları izolatörlü duruma karşı gelenlerden daha fazladır. Y yönü için izolatörlü durumun kat deplasmanları izolatörsüze göre daha fazladır. 20 katlı yapıda izolatör rijitliğinin artması kat deplasmanlarında ciddi bir azalıma sebep olmuştur.



Şekil 4.89 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları

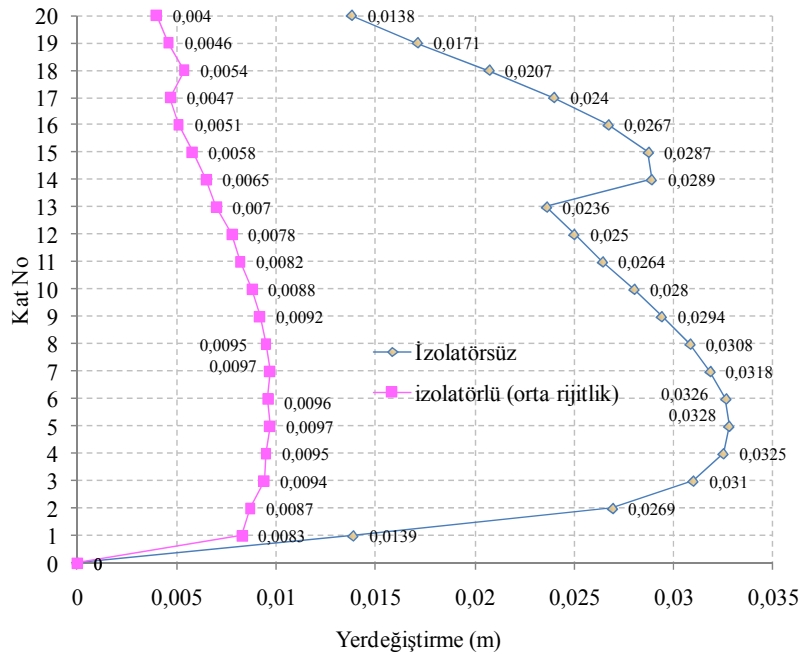
Y Yönü Kat Deplasmanları - Düzce



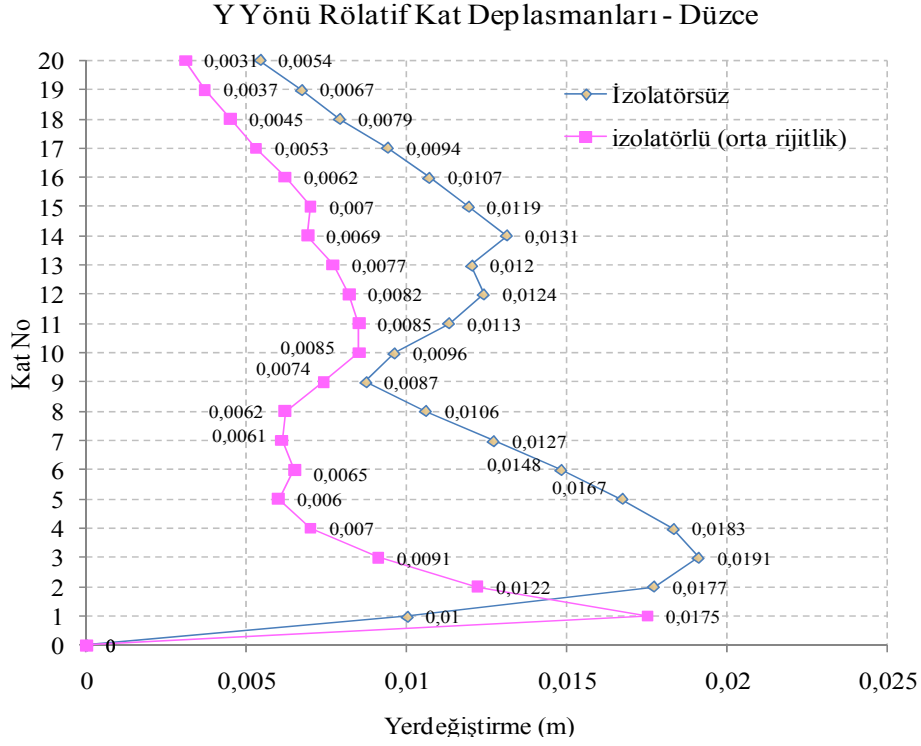
Şekil 4.90 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları

Şekil 4.91 - 4.92’de görüldüğü gibi 20 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Görülmektedirki izolotörler rölatif deplasmanlar üzerinde ciddi bir düşüğe sebep olmaktadır. Dahası düşük rijitlikli izolotörle karşılaştırıldığında X yönünde rölatif deplasmanların dahada düştüğü gözlenmiştir. Y yönünde ise rölatif deplasmanlarda bazı katlarda biraz arttığı gözlenmiştir.

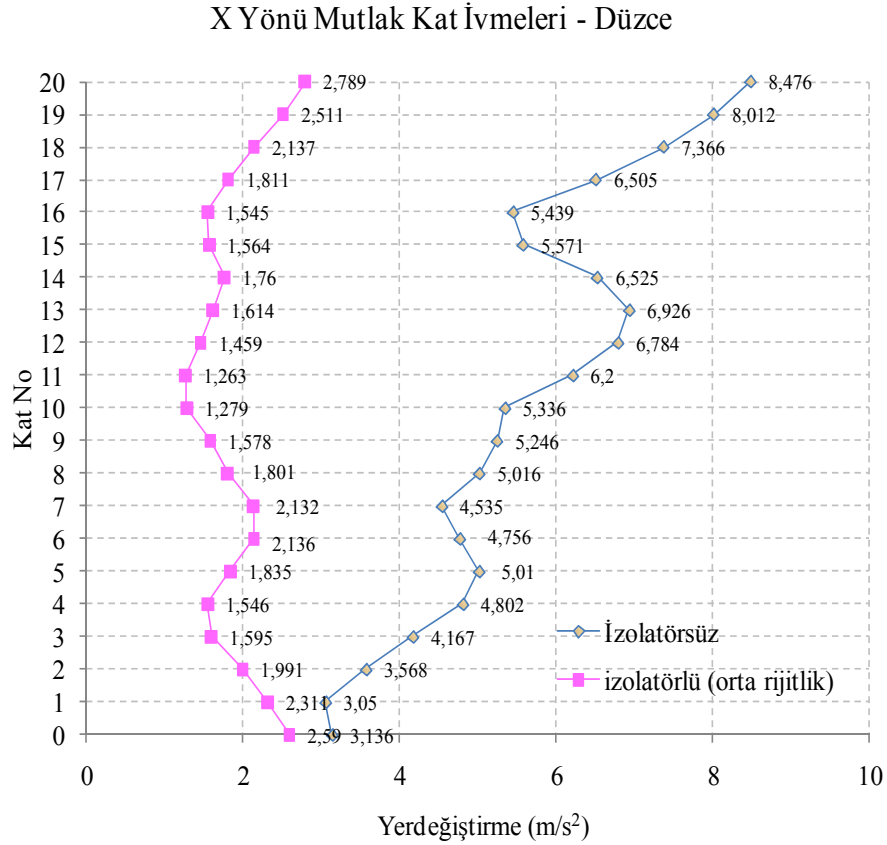
X Yönü Rölatif Kat Deplasmanları - Düzce



Şekil 4.91 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

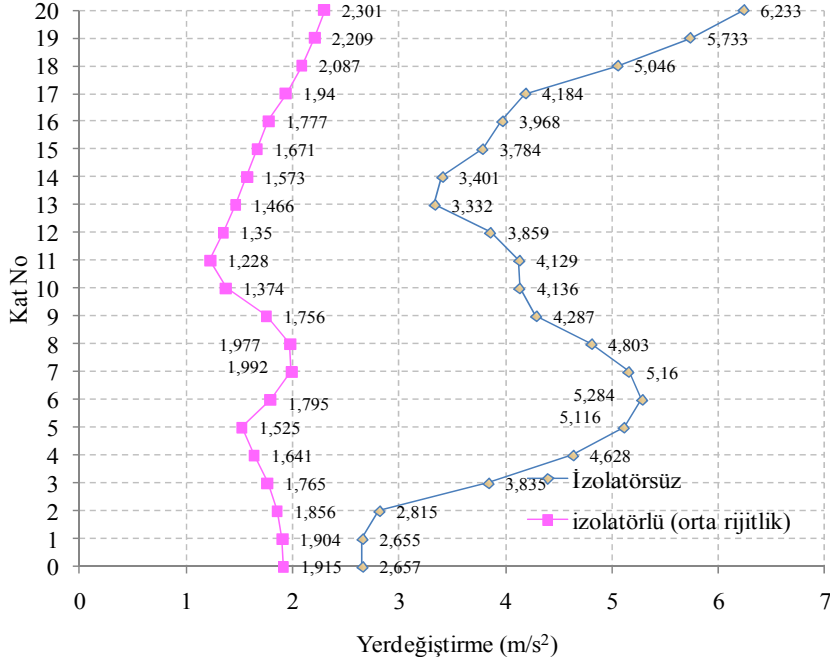


Şekil 4.92 İzolatörlü ve izolatsız yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları



Şekil 4.93 İzolatörlü ve izolatsız yapının X yönü mutlak kat ivmesi

Y Yönü Mutlak Kat İvmeleri - Düzce



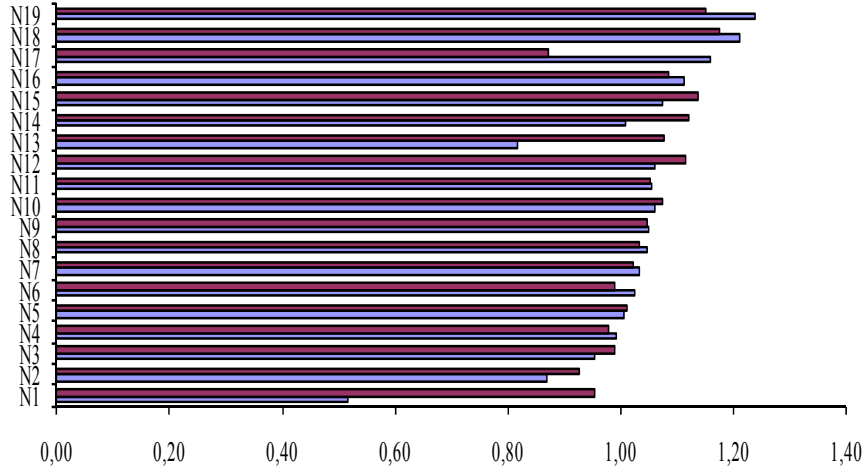
Şekil 4.94 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

Şekil 4.93 ve Şekil 4.94 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 20 katlı model yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.93 ve Şekil 4.94'de görüleceği gibi orta rijitlikli izolatörlü durumda azalmıştır. Bu azalım düşük rijitlikli izolatörlü ilk durumla karşılaştırıldığında, düşük rijitlikli izolatör durumunda kat mutlak ivmelerinin daha çok düşürüldüğü gözlenmiştir. İzolatör rijitliğinde ki artış deplasmanlarda azalıma sebep olmakla beraber ivmelerde düşük rijitlikli izolatörlü duruma göre artışa sebep olmuştur.

Denklem 4.1 ile ifade edilen yumuşak kat indeksi N_i ve $1/N_i$ 'nin izolatörün orta rijitlikte olması durumunda ki değişimi Şekil 4.95 ve Şekil 4.96'da görülmektedir.

Şekil 4.95'de X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.96'da R_{i+1}/R_i için grafikler izolatörlü ve izolatörsüz hale göre çizilmiştir. R_i/R_{i+1} durumunda N1, N2, N3, N4 ve N5'de izolatörlü hal, izolatörsüz hale göre daha büyük iken; N6, N7, N8 ve N9'da izolatörlü hal daha küçüktür. Bu oranların bire yakın olma durumları kattan kata değişmektedir. Burada dikkat edilecek husus, Şekil 4.96'da görüldüğü gibi N1'in izolatörsüz durumda 2'ye oldukça yaklaştığı, izolatörün bu oranı 1,05 değerine çektiği görülmektedir.

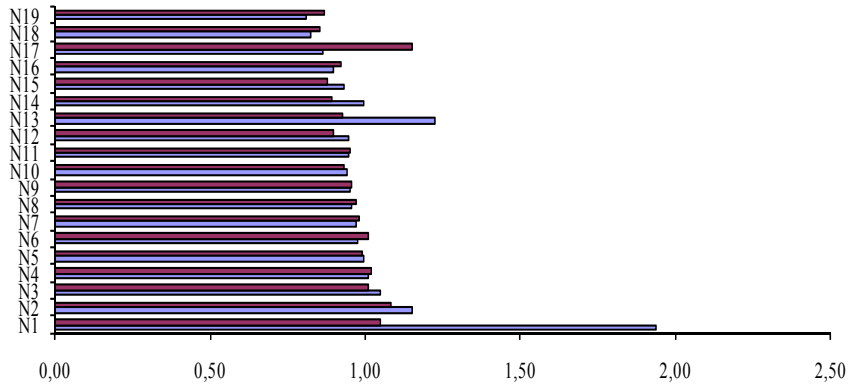
XYönü Yumuşak Kat İndeksi($N_i=R_i/R_{i+1}$)- Düzce



	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19
İzolotörlü (ortarijitlik)	0,95	0,93	0,99	0,98	1,01	0,99	1,02	1,03	1,05	1,07	1,05	1,11	1,08	1,12	1,14	1,09	0,87	1,17	1,15
İzolotörsüz	0,52	0,87	0,95	0,99	1,01	1,03	1,03	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	0,82	1,01	1,07	1,11	1,16	1,21	1,24

Şekil 4.95 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

XYönü Yumuşak Kat İndeksi($N_i=R_{i+1}/R_i$)- Düzce



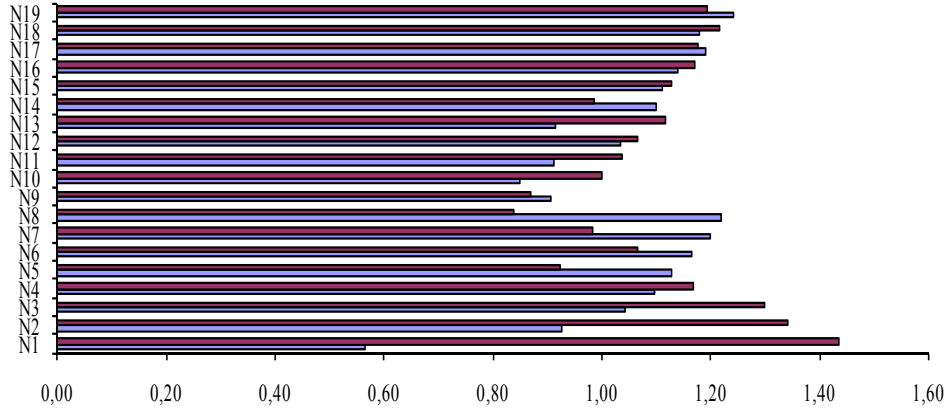
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19
İzolotörlü (ortarijitlik)	1,05	1,08	1,01	1,02	0,99	1,01	0,98	0,97	0,96	0,93	0,95	0,90	0,93	0,89	0,88	0,92	1,15	0,85	0,87
İzolotörsüz	1,94	1,15	1,05	1,01	0,99	0,98	0,97	0,95	0,95	0,94	0,95	0,94	1,22	0,99	0,93	0,90	0,86	0,83	0,81

Şekil 4.96 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.97 - Şekil 4.98'de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.97'de izolotörlü halde N1, N2, N3 ve N4 daha büyük iken N5, N6, N7, N8 ve N9'da daha küçüktür.

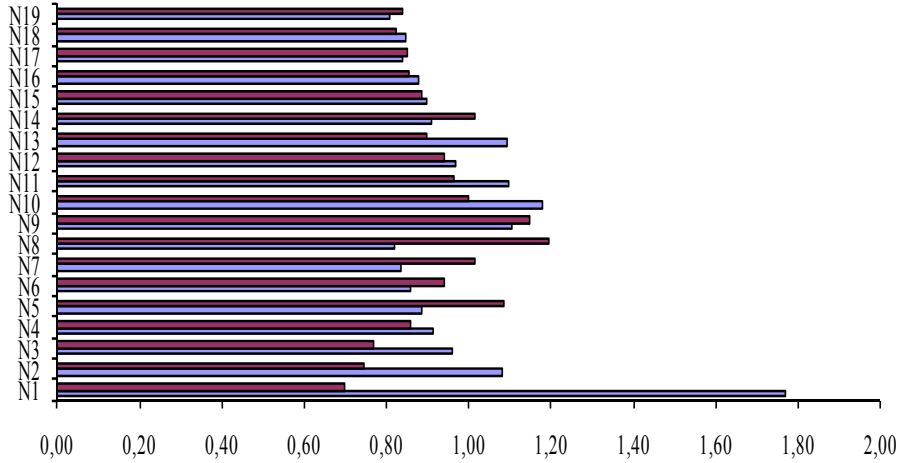
Şekil 4.98’de izolatörlü hal ile Şekil 4.97’de ki hal aynıdır. Şekil 4.98’de N1 izolatörsüz durumda 1,77 iken , izolatörün bu oranı 0,70 değerine çektiği görülmektedir.

YYönü Yumuşak Kat İndeksi ($N_i=R_i/R_{i+1}$)- Düzce



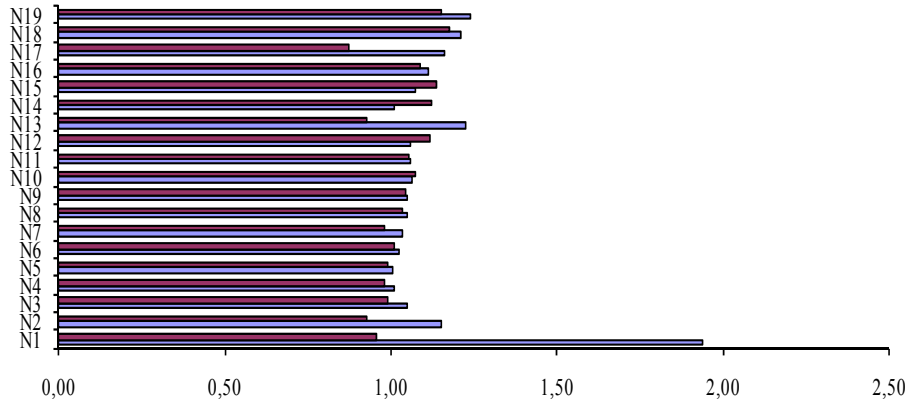
Şekil 4.97 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi

YYönü Yumuşak Kat İndeksi ($N_i=R_{i+1}/R_i$)- Düzce



Şekil 4.98 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi

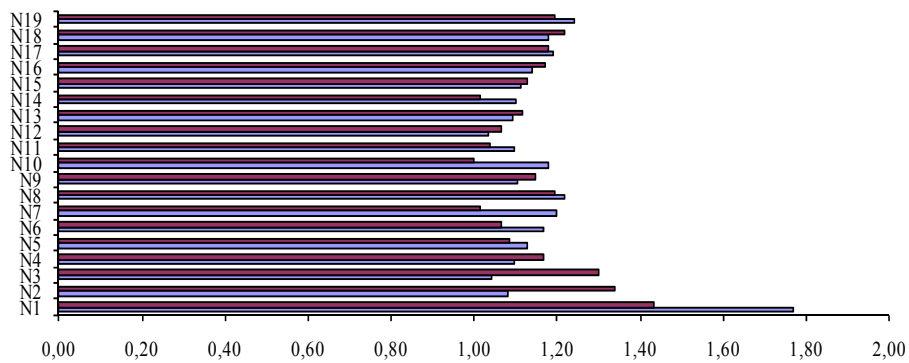
X Yönü Yumuşak Kat İndeksi Maksimum - Düzce



Şekil 4.99 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

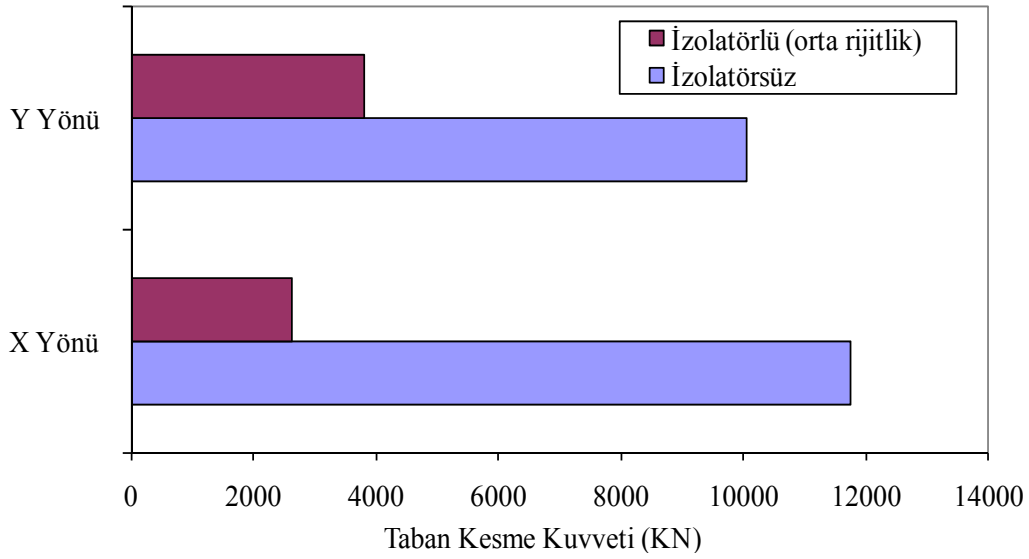
Şekil 4.99 ve Şekil 4.100’de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir. Şekil 4.99’a göre N1, N3, N4 ve N5’de izolatörlü hal için büyük iken, N2, N6, N7, N8 ve N9’da küçük çıkmıştır. Şekil 4.100’de Y yönü için N2, N3 ve N4’de izolatörlü hal için büyük iken N1, N5, N6, N7, N8 ve N9’da küçük çıkmıştır.

Y Yönü Yumuşak Kat İndeksi Maksimum - Düzce

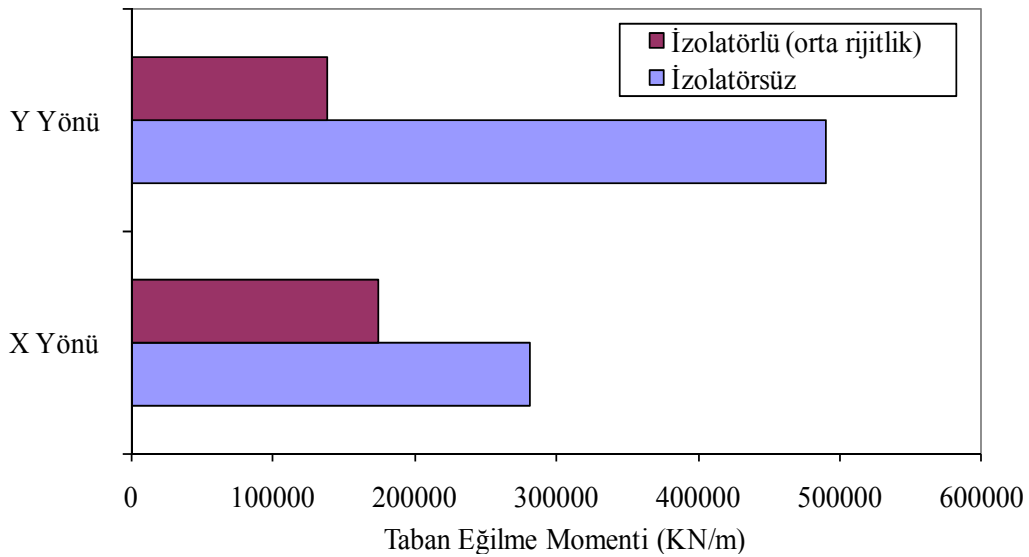


Şekil 4.100 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

İzolatör rijitliği orta rijitlik alındıktan sonra yapılan hesaplar tekrarlanarak taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti tekrar hesaplanmıştır. Şekil 4.101’de görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolotörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.102’de taban eğilme momentleri izolotörlü ve izolotörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiş; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de azalttığı gözlenmiştir. Düşük rijitlikli durum ile karşılaştırıldığında taban kesme kuvvetinde orta rijitlikte X yönünde biraz artış, Y yönünde ise ciddi bir azalma gözlenir iken, taban eğilme momentinde düşük rijitlikli duruma göre orta rijitlikli durumda her iki yönde de dikkate değer bir artış olmuştur.



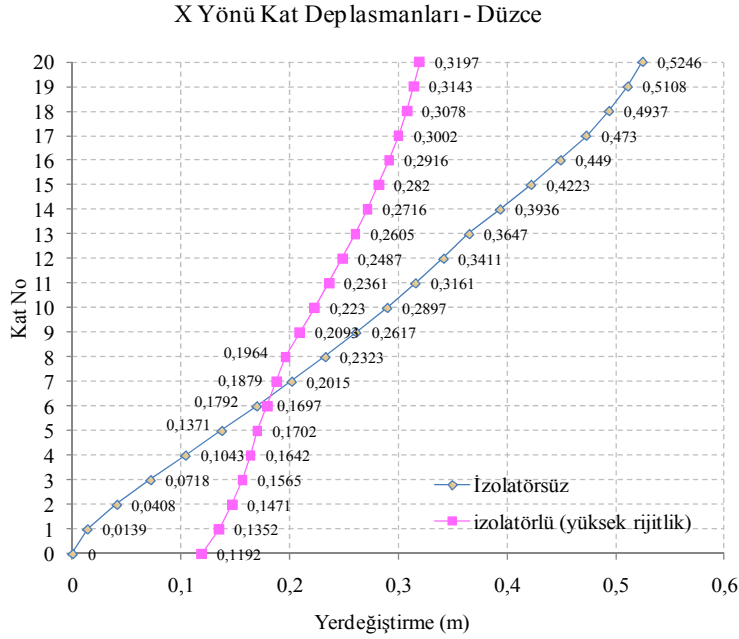
Şekil 4.101 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban kesme kuvvetleri



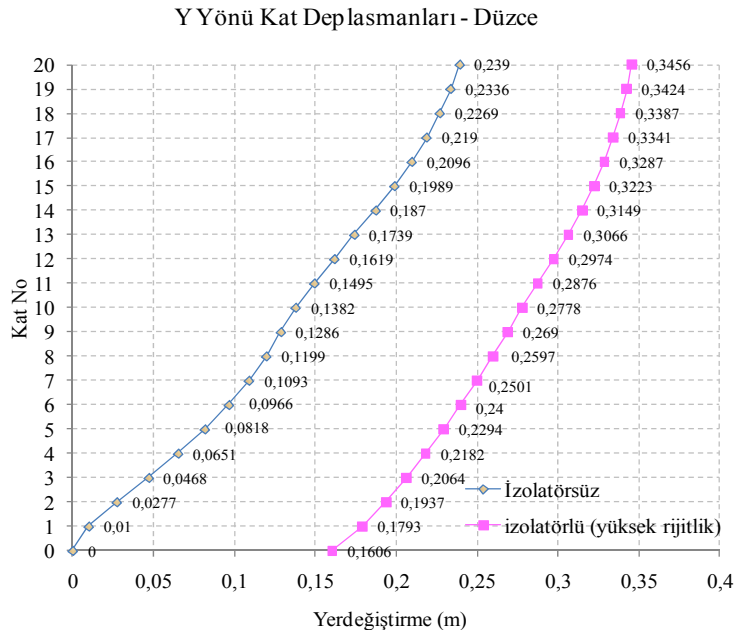
Şekil 4.102 İzolotörlü ve izolotörsüz yapının taban eğilme momentleri

4.3.3 Yüksek rijitlikli kauçuk izolatör (20 katlı yapı)

Şekil 4.103-4.104'de 20 katlı yapı modelinin X ve Y yönündeki kat seviyelerinde ki yer değiştirmeler görülmektedir. Yüksek rijitlikli izolatörlü durumda kat yer değiştirmeleri, izolatörsüz duruma göre daha fazla olduğu görülmektedir. İzolatörlü durumda düşük rijitlikli ve orta rijitlikli duruma göre kat deplasmanlarının daha da azaldığı gözlenmiştir.

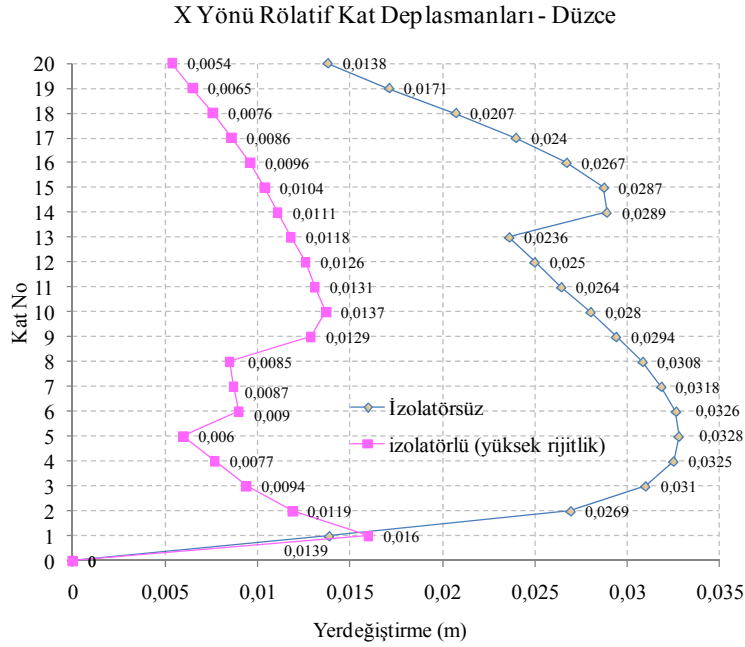


Şekil 4.103 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü kat deplasmanları

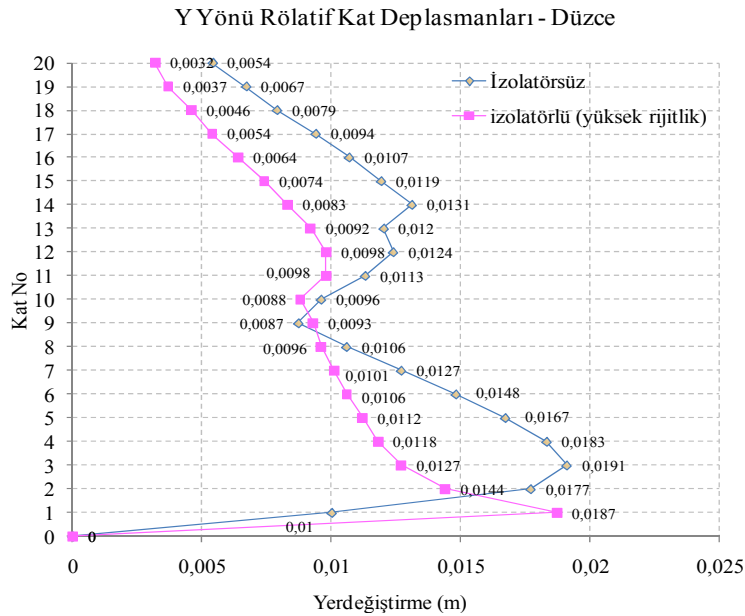


Şekil 4.104 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü kat deplasmanları

Şekil 4.105 - 4.106'da görüldüğü gibi 20 katlı yapının zaman tanım alanındaki hesapları sonucu X ve Y yönünde katlardaki maksimum rölatif kat deplasmanları çizilmiştir. Görülmektedirki izolatörler rölatif deplasmanlar üzerinde ciddi bir düşüğe sebep olmaktadır. Dahası düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolatörlü durum ile karşılaştırıldığında rölatif deplasmanların en büyük olduğu durum yüksek rijitlikli durumdur.

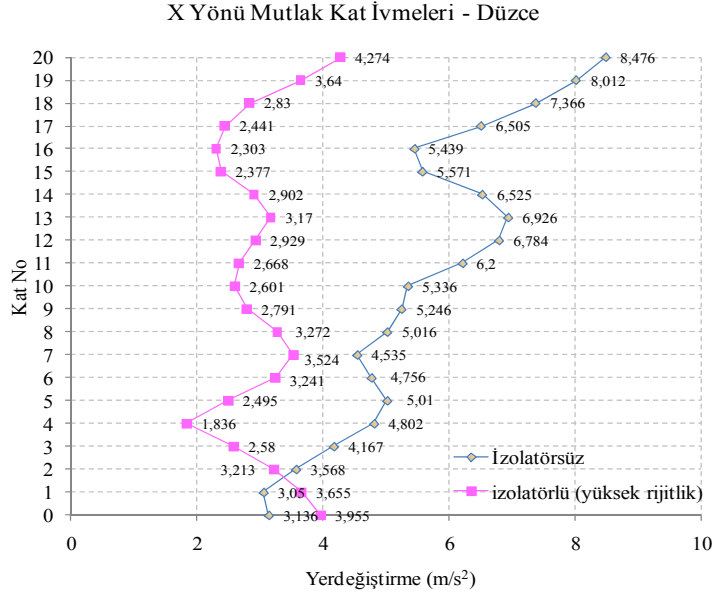


Şekil 4.105 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü rölatif kat deplasmanları

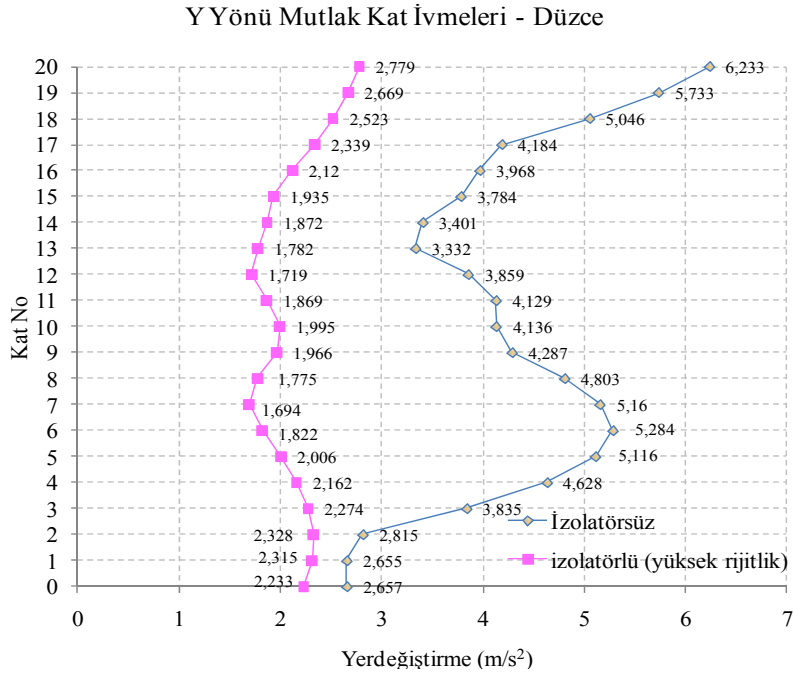


Şekil 4.106 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü rölatif kat deplasmanları

Şekil 4.107 ve Şekil 4.108 zaman tanım alanı hesapları sonucu bulunan, kat seviyelerine etki eden maksimum mutlak ivmeleri göstermektedir. Yapılan analizler sonucu 20 katlı model yapıda X ve Y yönünde bulunan kat seviyelerindeki mutlak ivmeler Şekil 4.107 ve Şekil 4.108’de görüleceği gibi yüksek rijitlikli izolatórlü durumda azalmıştır. Bu azalım düşük rijitlikli ve orta rijitlikli izolatórlerle karşılaştırıldığında, yüksek rijitlikli durumda, düşük rijitlikli ve orta rijitlikli duruma göre kat mutlak ivmelerinin daha çok arttığı gözlenmiştir.



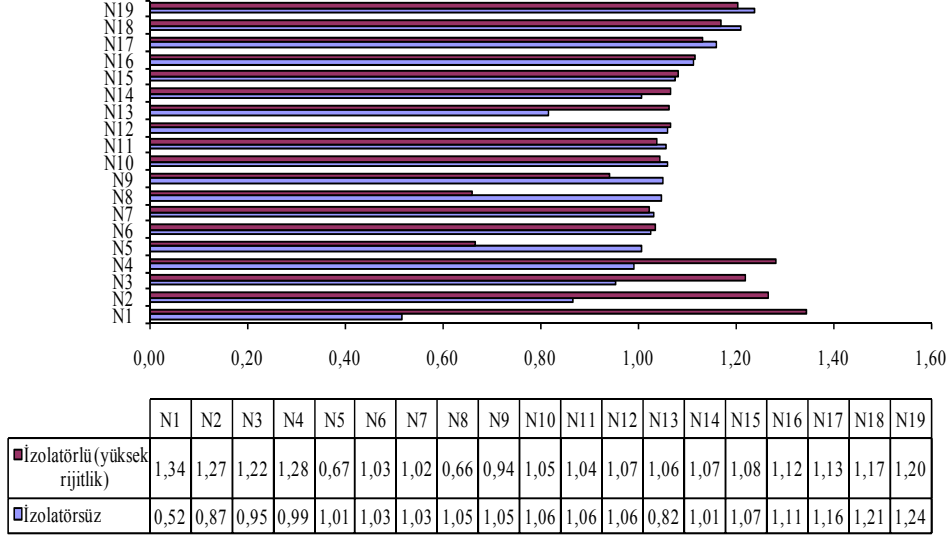
Şekil 4.107 İzolatórlü ve izolatórsüz yapının X yönü mutlak kat ivmesi



Şekil 4.108 İzolatórlü ve izolatórsüz yapının Y yönü mutlak kat ivmesi

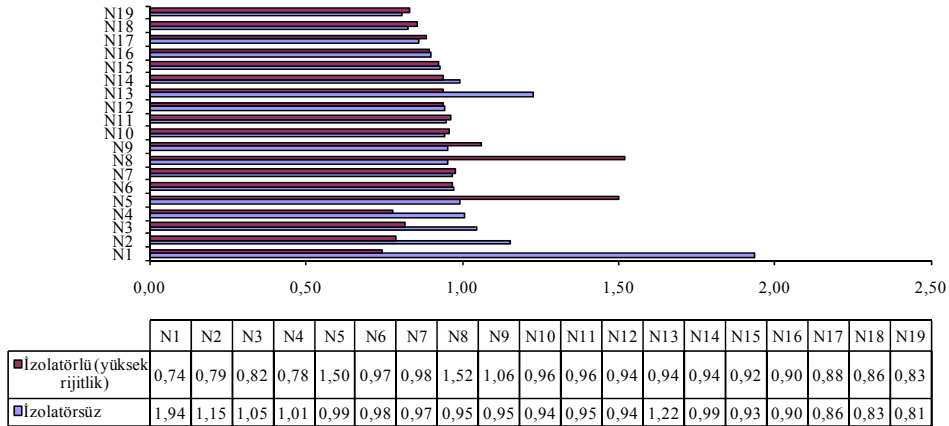
Denklem 4.1 ile ifade edilen yumuşak kat indeksi N_i ve $1/N_i$ 'nin izolatörün yüksek rijitlikte olması durumunda ki değişimi Şekil 4.109 ve Şekil 4.110'da görülmektedir.

X Yönü Yumuşak Kat İndeksi($N_i=R_i/R_{i+1}$)- Düzce



Şekil 4.109 İzolatörlü ve izolotörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

X Yönü Yumuşak Kat İndeksi($N_i=R_{i+1}/R_i$)- Düzce

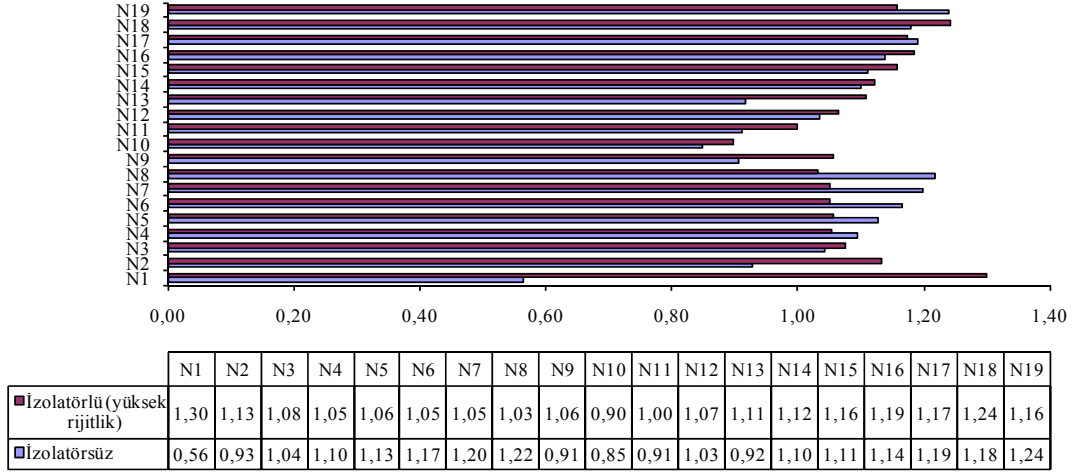


Şekil 4.110 İzolatörlü ve izolotörsüz yapının X yönü için yumuşak kat indeksi

Şekil 4.109 - Şekil 4.110'da X yönündeki R_i/R_{i+1} , Şekil 4.110'da R_{i+1}/R_i için grafikler izolotörlü ve izolotörsüz hale göre çizilmiştir. Şekil 4.109'da R_i/R_{i+1} durumunda N1, N2, N3, N4, N5 ve N7'de izolotörlü hal, izolotörsüz hale göre daha büyük iken; N6, N8 ve N9'da izolotörlü hal daha küçüktür. Şekil 4.110 R_{i+1}/R_i durumunda izolotörsüz hal N6, N8 ve N9'da daha küçükken N1, N2, N3, N4, N5 ve N7'de daha büyüktür.

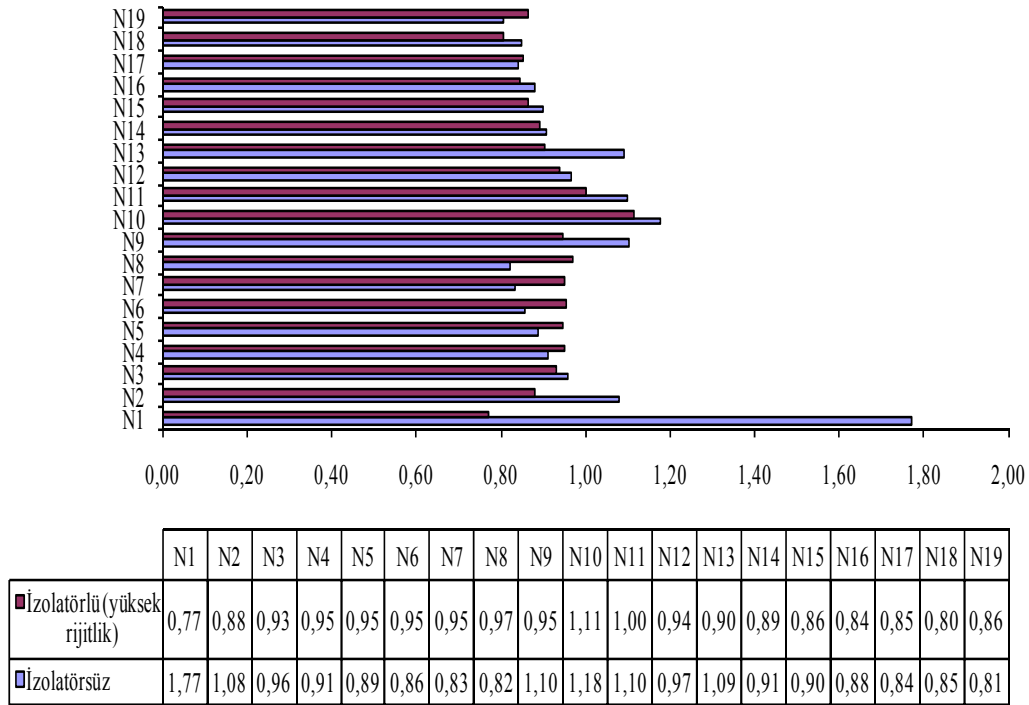
Şekil 4.111-Şekil 4.112’de Y yönü için N_i ve $1/N_i$ değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.111’de izolatörlü halde N1 ve N2 daha büyük iken N3, N4, N5, N6, N7, N8 ve N9’da daha küçüktür. Şekil 4.112’de izolatörlü halde Şekil 4.111’de ki durumun tersidir.

Y Yönü Yumuşak Kat İndeksi($N_i=R_i/R_{i+1}$) - Düzce



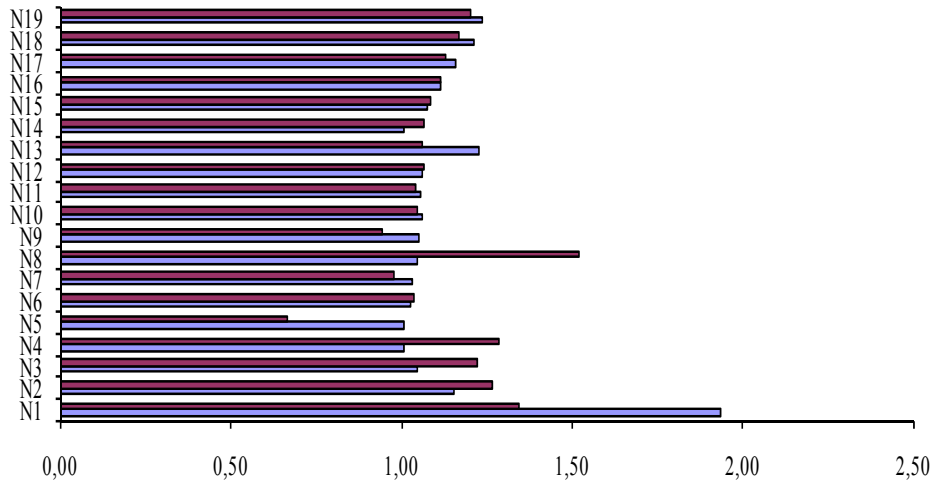
Şekil 4.111 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi

Y Yönü Yumuşak Kat İndeksi($N_i=R_{i+1}/R_i$) - Düzce



Şekil 4.112 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için yumuşak kat indeksi

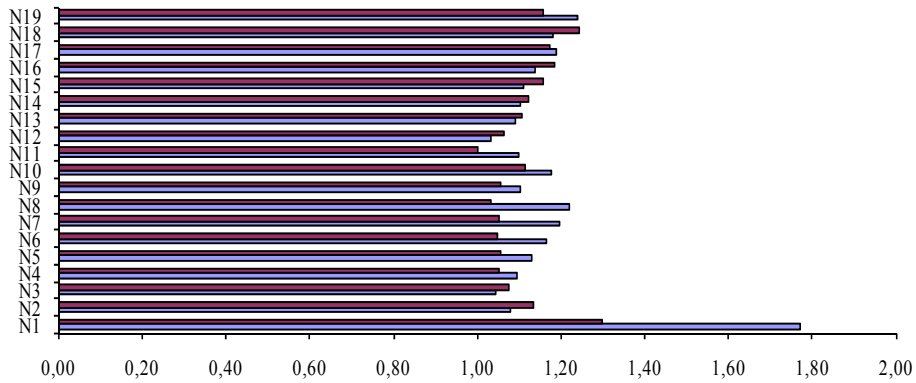
X Yönü Yumuşak Kat İndeksi Maksimum - Düzce



	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19
İzolatörlü (yüksek rijitlik)	1,34	1,27	1,22	1,28	0,67	1,03	0,98	1,52	0,94	1,05	1,04	1,07	1,06	1,07	1,08	1,12	1,13	1,17	1,20
İzolatörsüz	1,94	1,15	1,05	1,01	1,01	1,03	1,03	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,22	1,01	1,07	1,11	1,16	1,21	1,24

Şekil 4.113 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının X yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

Y Yönü Yumuşak Kat İndeksi Maksimum - Düzce

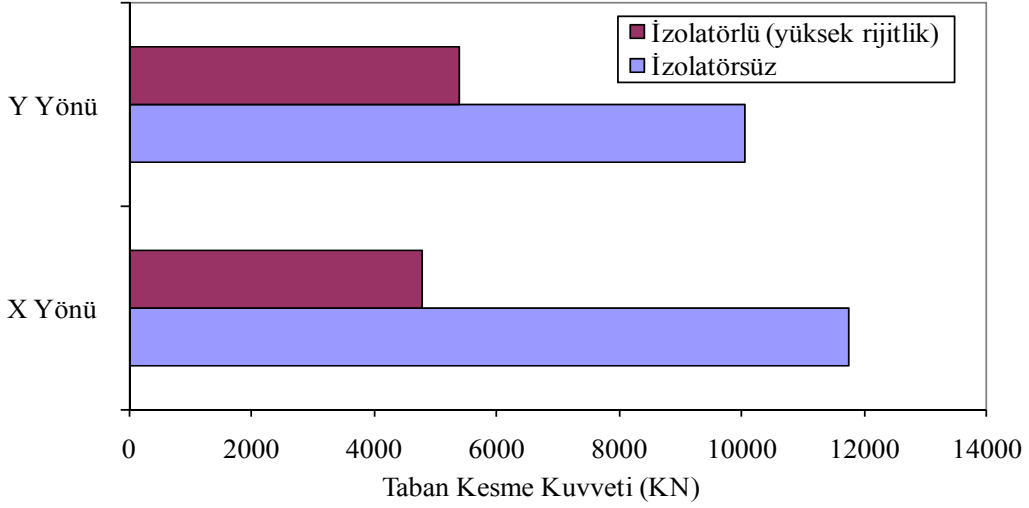


	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19
İzolatörlü (yüksek rijitlik)	1,30	1,13	1,08	1,05	1,06	1,05	1,05	1,03	1,06	1,11	1,00	1,07	1,11	1,12	1,16	1,19	1,17	1,24	1,16
İzolatörsüz	1,77	1,08	1,04	1,10	1,13	1,17	1,20	1,22	1,10	1,18	1,10	1,03	1,09	1,10	1,11	1,14	1,19	1,18	1,24

Şekil 4.114 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının Y yönü için maksimum yumuşak kat indeksi

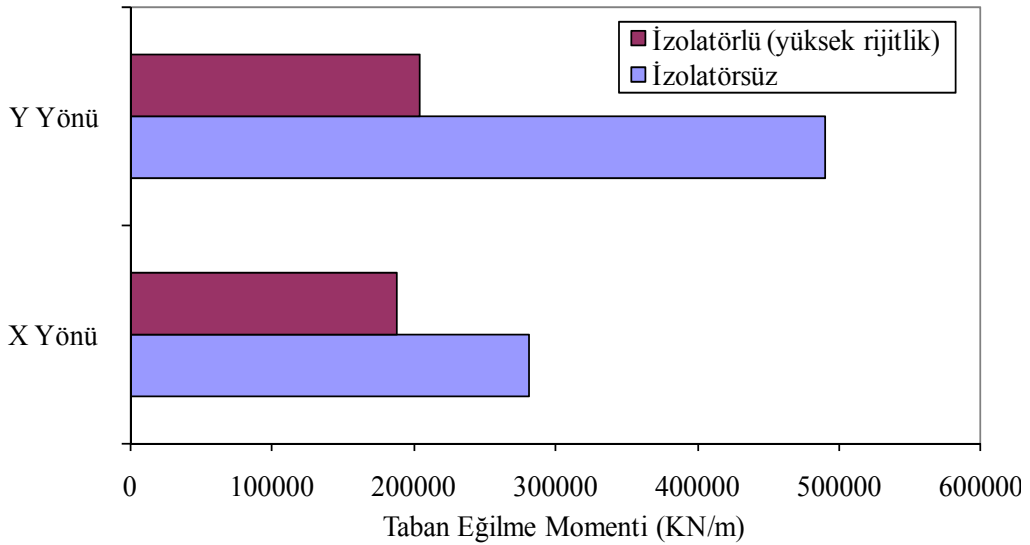
Şekil 4.113-Şekil 4.114'de X ve Y yönleri için bu değerlerin maksimum olanları çizdirilmiştir. Şekil 4.113'e göre N2, N3, N4, N5 ve N7'de izolatörlü hal için büyük iken N1,

N6, N8 ve N9'da küçük çıkmıştır. Şekil 4.114'de Y yönü için N1, N2 ve N3'de izolatörlü hal için büyük iken N4, N5, N6, N7, N8 ve N9'da küçük çıkmıştır. Ayrıca N1'in en alt katta 2 değerine yaklaştığı görülmüştür.



Şekil 4.115 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban kesme kuvvetleri

İzolatör rijitliği yüksek alındıktan sonra yapılan hesaplar tekrarlanarak, taban kesme kuvveti ve taban eğilme momenti tekrar hesaplanmıştır. Şekil 4.115'de görüldüğü gibi hem X hem de Y yönünde taban kesme kuvvetleri izolatörlü durumda oldukça azalmıştır. Şekil 4.116'da taban eğilme momentleri izolatörlü ve izolatörsüz durum için X ve Y yönünde ki değerleri çizilmiştir; izolatör yerleşiminin taban eğilme momentini de azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca düşük rijitlikli ve orta rijitlikli hal ile karşılaştırıldığında, yüksek rijitlikli izolatör durumunda taban kesme kuvveti ve taban eğilme momentinde biraz artma gözlenmiştir.



Şekil 4.116 İzolatörlü ve izolatörsüz yapının taban eğilme momentleri

BÖLÜM V

SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek sönümlü izolatörlerin seçilen 4, 10 ve 20 katlı betonarme yapıların sismik davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. SAP 2000 yapı analiz programı kullanılarak zaman tanım alanında yapılan analizlerde, Bolu-Düzce (KG-DB) deprem ivme kayıtları kullanılmış ve tanımlanan yapısal davranışların deprem esnasındaki maksimum değerleri incelenmiştir. Yapılan analizlerin bir kez daha ortaya çıkardığı en temel sonuç; çalışmada kullanılan yüksek sönümlü sismik taban izolatörlerinin yapısal davranışlar üzerinde ciddi katkısı olduğudur. Yapının yüksekliğinin artması ile izolatör kullanımında bazı kısıtlamalar ortaya çıkmaktadır.

İzolatör eklendikten sonra bulunacak yapı periyodu, ankastre durumdaki yapı periyodunun yaklaşık olarak 3s'den az olması beklenir [28]. Ayrıca izolatör seviyesindeki yer değiştirmelerin 50 cm'yi geçmemesi arzu edilir [27]. Eğer geçerse bu durumlarda yatayda viskoz sönümleyiciler veya yarı aktif sönüm elemanları kullanılabilir.

Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- İzolatörlerin yapıya eklenmesi yapının periyotlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır.
- İzolatör rijitliğinin artması, yapının periyodunda ki artışı azaltmaktadır.
- İzolatör rijitliğinin düşük seçilmesi durumunda, seçilen üç model için izolatörlü yapının periyodu 3 s sınırını ya zorlamakta yada aşmaktadır. Bu sebepten düşük rijitlikli izolatör seçilen model yapılar için uygun değildir.
- İzolatör rijitliğinin orta düzeyde seçilmesi az ve orta katlı yapılarda periyot açısından bakıldığında 3 s'yi aşmadığı fakat yüksek yapıda ilk iki periyodun 3 s'yi aştığı gözlenmiştir.
- Yüksek rijitlikli izolatör periyotlar açısından bakıldığında tüm modellerde kullanımında bir sakınca görülmemiştir. Fakat az katlı yapı davranış değerleri açısından düşük rijitlikli izolatörün daha iyi sonuç gösterdiği görülmektedir.
- Az, orta ve yüksek yapılarda kat yer değiştirmelerinin izolatörlü halde oldukça arttığı görülmektedir. Bunun sebebi özellikle izolatör seviyesindeki yüksek yer değiştirmelerdir. Bu yer değiştirmeler izolatör rijitliğindeki artış ile azalmaktadır.

- Rölatif kat deplasmanları açısından bakıldığında seçilen bütün modellerde izolatörsüz hale göre izolatörlü durumda rölatif kat deplasmanlarında ciddi azalmalar görülmüştür. İzolatör rijitliğindeki artış rölatif deplasmanlarda da artışa sebep olmaktadır.
- Katlardaki mutlak ivmeler açısından model yapıların davranışları incelendiğinde, bütün izolatör tiplerinin yapılara uygulanmasının mutlak ivmeleri düşürdüğü görülmüştür. İzolatörlü modeller kendi içerisinde rijitliklerine göre mutlak ivmeler açısından incelendiğinde, izolatör rijitliğindeki artışın mutlak ivmelerde de artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.
- Gerek taban kesme kuvvetleri gerekse taban eğilme momentleri açısından incelendiğinde izolatörlü durumlarda ciddi düşüşler gözlenmiştir. Tabandaki bu kuvvetlere göre izolatörlü durumlar karşılaştırıldığında, izolatör rijitliğinin artması, yapının tabanındaki kuvvetleri de artırmaktadır.
- Tanımlanan yumuşak kat indeksi açısından modeller incelendiğinde izolatörsüz halin bazen 2 değerine yaklaştığı veya geçtiği görülürken, izolatörlü durumlarda bu sınır aşılmamıştır. Ayrıca yumuşak kat indeksinin 1 değerine yakın olması durumu incelendiğinde bazen izolatörlü durum bazen de izolatörsüz durumun daha iyi olduğu görülmüştür.

Yapılan analizlerde sadece Bolu-Düzce (KG-DB) deprem ivme kayıtları kullanılmış ve bu dış etki altındaki yapısal davranış değerleri incelenerek sonuçlar yorumlanmıştır. Pratik uygulamalarda kullanılacak olan deprem veri sayısının artırılarak (en az 3 ayrı deprem verisi) hesapların yapılması daha sağlıklı olacaktır.

Bu çalışmada yüksek sönümlü izolatörlerin; az, orta ve yüksek yapıların Bolu-Düzce (KG-DB) depremi altındaki sismik davranışına etkileri araştırılmıştır. Ayrıca yüksek sönümlü izolatörlerin rijitliğindeki değişimin yapısal davranış üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Akgöner, A., Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve onarım-güçlendirme tekniklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [2] Pınarbaşı, S. ve Akyüz, U., Sismik izolasyon ve elastomerik yastık deneyleri, İMO Teknik Dergi, Ankara, 237, 3581-3598, 2005.
- [3] Özden, B., Ucuz ve Hafif Alternatif Sismik İzolasyon Teknikleri Dünya Bankası DM, İstanbul, 2003.
- [4] Ersavaş, T., Yapılarda sismik izolasyon, Yapı Dergisi, İstanbul, 223, 97-99, 2000.
- [5] Pekgökgöz, R., Yapı davranışının yarı-aktif yalıtım sistemleri kullanılarak bulanık mantık ile kontrolü, İTÜ Dergisi, İstanbul, 2, 81-92, 2006.
- [6] Aldemir, Ü. ve Aydın, E., Depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar, Türkiye Mühendislik Haberleri, İstanbul, 435, 81-89, 2005.
- [7] Celep, Z. ve Kumbasar, N., Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İkinci Baskı, İstanbul, 888, 1998.
- [8] Özcanlı, M., Sismik İzolasyon Sistemi, EMKE İnşaat LTD. İstanbul, 2004.
- [9] Coşkun, E., Sismik İzolasyon, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 2005.
- [10] Savaşçı, B., Sismik İzolasyon Sistemlerinde Yeni Bir Teknoloji Çapraz Raylı Sistemler İnşaat Mühendisleri Odası, Kocaeli, 2004.
- [11] Karabörk, T., Çok katlı betonarme yapılarda temel yalıtım sistemlerinin parametrik incelenmesi, TUBAV Bilim Dergisi, İstanbul, 2, 162-174, 2009.
- [12] Alli, H. ve Calayır, Y., Yapıların sismik izolasyonunda kayan modlu aktif kontrol yöntemi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, İstanbul, 3, 45-56, 2002.
- [13] Aydın, H. ve Ercan, E., Yapısal kontrol sistemleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, İzmir, 118, 28-32, 2004.
- [14] Deprem İzolatör Sistemleri, Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2006.
- [15] Ateş, Ş. ve Dumanoglu, A., A., Kauçuk Mesnetli Binaların Dinamik Analizi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 2003.
- [16] Housner, G. W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F. and J.T.P.. Structural Control: Past, Present and Future, Journal of Engineering Mechanics, Yao, 897-971, 1997.

- [17] Soong, T.T. and Constantinou, M.C., *Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering*, Springer-Verlag, New York, 1994.
- [18] Soong, T.T. and Dargush, G.F., *Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering*, John Willey&Sons, New York, 1997.
- [19] Whittaker, A.S., Bertero, V.V., Thompson, C.L. and Alonso, L.J., *Seismic Testing of Steel Plate Energy Dissipation Devices*, *Earthquake Spectra*, 7, 563-604, 1991.
- [20] Pall, A.S. and Marsh, C., *Response of Friction Damped Braced Frames*, *J. of Struct. Div.*, ASCE, 108(6), 1313-1323, 1982.
- [21] Shen, K.L. and Soong T.T., *Modeling of Viscoelastic Dampers for Structural Application*, *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 121(6), 694-701, 1995.
- [22] Chang, K.C., Chen, S.J., Hsu, C.J., Chou, F.P. and Lai, M.L., *Inelastic Seismic Behavior of a Three-Story Steel Frame With Added Viscoelastic Dampers*, *Proc. First World Conf. on Struct. Control*, 2, TP3-117-TP3-126, 1994.
- [23] Crosby, P., Kelly, J.M. and Singh, J.P., *Utilizing Viscoelastic Dampers in Seismic Retrofit of a Thirteen-Story Steel Framed Building*, *Proc.*, ASCE Struct. Congr. XII, 2, 1286-1291, 1994.
- [24] Soong, T., *Active Structural Control: Theory and Practice*, Longman Scientific & Technical, John Willey & Sons, 1990.
- [25] Bakioglu, M. and Aldemir U, A. *New Numerical Algorithm for Sub-Optimal Control of Earthquake Excited Structures*, *Int. J. For Numerical Methods in Engineering*, 50(12), 2601-2616, 2001.
- [26] Gavin, H.P. and Aldemir, U., , *Behavior and Response of Auto-Adaptive Seismic Isolation,*” *Proc. 3rd U.S.-Japan Cooperative Research Program in Urban Earthquake Disaster Mitigation*, 120-128, Seattle WA, USA, 2001.
- [27] Mill Rd., *Uniform Building Code*, International Conference of Building Officials, 5360, California, 90601, USA, May, 1985.
- [28] Tezcan, S., S. ve Cimilli, S., *Seismic Base Isolation*, İstanbul, June, 2002.

