



**MEVCUT BETONARME YAPILARIN  
GÜÇLENDİRİLMESİNDE SİSMİK İZOLASYON  
KULLANILMASI**

**Sezer YİĞİT**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE SİSMİK  
İZOLASYON KULLANILMASI**

**Sezer YİĞİT**  
(ORCID: 0000-0002-2458-0308)

Dr. Öğr. Üye. Serkan SAĞIROĞLU  
(ORCID: 0000-0001-7248-3409)  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

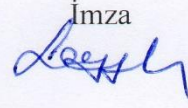
BURSA 2019

## TEZ ONAYI

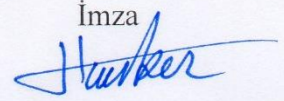
Sezer YİĞİT (ORCID: 0000-0002-2458-0308) tarafından hazırlanan “MEVCUT BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE SİSMİK İZOLASYON KULLANILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üye. Serkan SAĞIROĞLU  
(ORCID: 0000-0001-7248-3409)

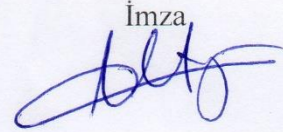
**Başkan :** Dr. Öğr. Üye. Serkan SAĞIROĞLU  
(ORCID: 0000-0001-7248-3409)  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye :** Doç.Dr. Hakan T. TÜRKER  
(ORCID: 0000-0001-5820-0257)  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye :** Dr. Öğr. Üye. Altuğ YAVAŞ  
(ORCID: 0000-0002-2619-8671)  
Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

..../..../..../



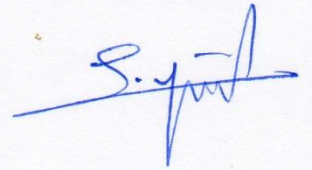
**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

04/09/2019

Sezer YİĞİT



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MEVCUT BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE SİSMİK İZOLASYON KULLANILMASI

**Sezer YİĞİT**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üye. Serkan SAĞIROĞLU

Bu çalışmada 1975 deprem yönetmeliği kullanılarak tasarlanmış ve mevcut olduğu varsayılan bir bina ele alınarak performans analizi yapılmıştır. Performans seviyesi göçme çıkan mevcut yapı için iki farklı güçlendirme yöntemi önerilmiştir. Birinci yöntemde mevcut yapı elemanlarının boyutlarının artırılması ve yeni yapısal elemanlar eklenmesi önerilmiştir. İkinci yöntemde ise yapıyı zeminden gelen titreşimlerden yalıtım amacıyla sismik izolatör kullanımı önerilmiştir. Bu yöntemde yapının bodrum kat kolonlarının önce mantolanarak boyutlarının büyütülmesi, daha sonra bu kolonların askıya alınarak kesilmesi ve kesik kısımlara sismik izolatör monte edilmesi önerilmiştir. Her bir güçlendirme yönteminin uygulandığı yapı tekrar performans analizine tabi tutularak güçlendirmeden sonraki performans seviyesi belirlenmiştir. Her iki güçlendirmenin neticesinde de yapıda can güvenliği performans seviyesi görülmüştür. Tüm performans analizlerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır. Mevcut binaya ve iki güçlendirme alternatifine ait periyotlar, kat kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri, görelî kat öteleme oranları kıyaslanarak iki güçlendirme yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır. Son olarak iki güçlendirme yöntemine ait maliyetler çıkarılarak maliyet kıyaslaması yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** : Güçlendirme, Sismik izolasyon, Performans analizi, Maliyet analizi

## **ABSTRACT**

Post Graduate Thesis

### **USE OF SEISMIC ISOLATION FOR RETROFIT OF EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

**Sezer YİĞİT**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Dr. Serkan SAĞIROĞLU

In this study, a performance analysis was performed on a building which is assumed to be existed and was designed by using 1975 earthquake code. Two different retrofitting methods were proposed for the existing structure that has a performance level of collapse. In the first method, it proposed to increase the dimensions of the existing structural elements and to add new structural elements. In the second method, the use of seismic isolator was recommended to isolate the structure from the ground vibrations. In this method it was proposed to enlarge the dimensions of the basement floor columns of the structure first, then suspend these columns and install the seismic isolators to the cut parts. The structures which retrofit methods were applied were subjected to performance analysis again and the performance levels after retrofit were determined. As a result of both retrofit method, life safety performance level was observed in the structure. In all performance analyses, nonlinear time history analysis technique is used. The comparison of the two retrofitting methods was done by comparing the periods, floor shear forces, floor displacements and story drift ratios of the existing building and the two retrofit alternatives. Finally, the costs of the two retrofitting methods were compared.

**Key words:** Retrofit, seismic isolation, performance analysis, cost analysis



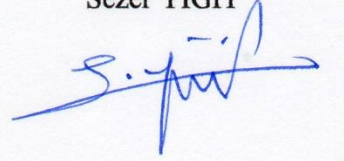
## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince deęerli yardım ve katkılarıyla beni yűnlendiren tez danıőmanım Dr. Őęr. Ŭye. Serkan SAęİROęLU'na ve yűksek Lisans űęrenimim sűresince kendilerinden almıő olduęum dersler sayesinde bana műhendislik bakıő açısı kazandıran dięer tűm deęerli hocalarıma en içten teőekkűr dileklerimi sunarım.

Doęduęum gűnden bu yana yanımda olan, her ne olursa olsun desteklerini ve sevgisini eksik etmeyen canım aileme teőekkűrlerimi ve saygılarımı sunarım.

Haziran 2019

Sezer YİğİT



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	2
2.1. Kaynak Araştırması.....	2
2.2. Sismik Tasarımda Enerji Yaklaşımı.....	5
2.2.1. Geleneksel yaklaşım .....	6
2.2.2. Yeni yaklaşım.....	8
2.3. Geleneksel Güçlendirme Yöntemi .....	8
2.3.1. Kolonların mantolanması .....	9
2.3.2. Perde ekleme .....	11
2.4. Sismik İzolasyon (Yeni Yaklaşım) .....	13
2.4.1. Elastomerik (Kauçuk) mesnetli sistemler .....	15
2.4.2. Sürtünme esaslı kayıcı mesnetli sistemler.....	18
2.5. Ülkemizde Sismik İzolasyon İle Güçlendirme Uygulamaları .....	18
2.5.1. Antalya Havalimanı .....	18
2.5.2. Büyük Tarabya Oteli .....	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Bina Bilgi Düzeyi.....	23
3.2. Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliği .....	23
3.3. Sargılı ve Sargısız Beton Modeli .....	24
3.4. Donatı Çeliği Modeli .....	26
3.5. Birim Şekildeğiştirme Sınırları ve Plastik Mafsal Boyu.....	27
3.6. Kesme Kuvveti Etkisi .....	28
3.7. Depremde Bina Performansının Belirlenmesi İçin Kullanılacak Yöntemler.....	29
3.7.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi .....	30
3.7.2. Artımsal mod birleştirme yöntemi .....	30
3.7.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi .....	31



3.8. Tasarım Spektrumu .....	31
3.9. Yer Hareketi İvmesinin Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi .....	33
3.10. Kesit Hasar Bölgeleri .....	36
3.11. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi .....	36
3.12. A1 Burulma Düzensizliği.....	38
3.13. Görelî Kat Ötelenmesi.....	38
3.14. Kenetlenme Boyu.....	39
3.15. Yapılara ait malzeme modelinin oluşturulması.....	40
3.16. Analizlerde Kullanılacak Yer Hareketi İvmelerinin Seçilmesi.....	41
3.17. İzolatör Tasarımı .....	45
3.18. Mevcut Yapının Modellenmesi.....	46
3.18.1. Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğinin tanımlanması.....	48
3.18.2. Kiriş için birim şekildeğiştirme örnek hesabı .....	49
3.18.3. Kolon için birim şekildeğiştirme örnek hesabı .....	50
3.18.4. Elemanların kesme kuvveti kontrolü .....	51
3.19. Geleneksel Güçlendirme Yöntemi .....	53
3.19.1. Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması .....	55
3.19.2. Perde için birim şekildeğiştirme örnek hesabı .....	56
3.19.3. Elemanların kesme kuvveti kontrolü .....	58
3.20. Yenilikçi Güçlendirme Yöntemi .....	59
3.20.1. Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması .....	61
3.20.2. Kenetlenme boyu hesabı .....	61
3.20.3. Mantolanan kolonlar için birim şekildeğiştirme örnek hesabı.....	62
3.20.4. Sürtünlmeli sarkaç tipi izolatör karakteristik özellikleri.....	62
3.20.5. Elemanların kesme kuvveti kontrolü .....	70
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	72
4.1. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü .....	72
4.2. Mevcut Yapı Analiz Sonucu .....	73
4.3. Geleneksel Yöntem İle Güçlendirilen Yapıya Ait Analiz Sonucu.....	76
4.4. Yenilikçi Yöntem ile Güçlendirilen Yapıya Ait Analiz Sonucu.....	79
4.5. Yapıların Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	81
4.6. Maliyet Analizi.....	85
5. SONUÇ .....	86
KAYNAKLAR .....	87

ÖZGEÇMİŞ .....90



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Enerjinin korunumu prensibi .....	5
Şekil 2.2 Viskoz ve histerik sönüm durumunda kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	6
Şekil 2.3 Depolanan enerjinin arttırılması .....	7
Şekil 2.4 Örnek enerji dağılım grafiği .....	7
Şekil 2.5 Sönümlenen enerji miktarını arttırmak .....	8
Şekil 2.6 Yapıya gelen enerji miktarını azaltmak .....	8
Şekil 2.7 Kolon mantolama.....	9
Şekil 2.8 Mevcut donatı ile ilave donatıların birlikte çalışması.....	10
Şekil 2.9 Örnek mantolama işlemi ve donatı sürekliliğinin sağlanması .....	10
Şekil 2.10 Fretli kolonlara mantolama işlemi .....	11
Şekil 2.11 İlave perde uygulaması .....	12
Şekil 2.12 Perde taşıyıcı sistem ile mevcut taşıyıcı sistemin bağlantısı .....	13
Şekil 2.13 Ankastre mesnetli yapı ile taban izolasyonlu yapının deprem anındaki hareketi.....	14
Şekil 2.14 Ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu yapı arasındaki ivme-periyot ilişkisi .....	14
Şekil 2.15 Düşük sönümlü kauçuk izolatör kesiti.....	15
Şekil 2.16 Sistemin serbest cisim diyagramı ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	16
Şekil 2.17 Yüksek sönümlü kauçuk izolatör.....	16
Şekil 2.18 Sistemin serbest cisim diyagramı ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	16
Şekil 2.19 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kesiti .....	17
Şekil 2.20 Sistemin serbest cisim diyagramı ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	17
Şekil 2.21 Sürtünmeli sarkaç izolatör tipleri.....	18
Şekil 2.22 Kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	18
Şekil 2.23 Antalya Havalimanı .....	19
Şekil 2.24 Perde duvarlar altına yerleştirilen kayıcı mesnetler.....	20
Şekil 2.25 Merdiven ve bağlandığı perde elemanın sismik yalıtımı.....	20
Şekil 2.26 Büyük Tarabya oteli.....	21
Şekil 2.27 Büyük Tarabya oteli planı.....	21
Şekil 2.28 a) kolon mantolama, b) İzolatör boşluğu bırakılan kolon.....	22
Şekil 2.29 İzolatörlerin kolonlara monte edilmiş hali .....	22
Şekil 3.1 Sergili ve sargısız beton modeli.....	26
Şekil 3.2 Donatı çeliği modeli .....	26
Şekil 3.3 Kesit hasar bölgeleri .....	36
Şekil 3.4 A1 Burulma düzensizliği. ....	38
Şekil 3.5 Sargısız ve sargılı beton modeli.....	40
Şekil 3.6 Donatı çeliği modeli.....	41
Şekil 3.7 RSN577 (Taiwan -1986) yer ivmesi kaydı .....	41
Şekil 3.8 RSN577 (Taiwan -1986) ölçeklenmiş yer ivmesi kaydı.....	42
Şekil 3.9 RSN740 (Loma Prieta – 1990) yer ivmesi kaydı.....	42
Şekil 3.10 RSN740 (Loma Prieta – 1990) ölçeklenmiş yer ivmesi kaydı .....	42
Şekil 3.11 RSN1000 (Northridge – 1994) yer ivmesi kaydı.....	43
Şekil 3.12 RSN1000 (Northridge – 1994) ölçeklenmiş yer ivmesi kaydı .....	43
Şekil 3.13 Tasarım ivme spektrumu.....	43
Şekil 3.14 RSN577 (Taiwan -1986) kaydı ivme spektrumu ve tasarım spektrumu.....	44

Şekil 3.15 RSN740 (Loma Prieta – 1990) kaydı ivme spektrumu ve tasarım spektrumu .....	44
Şekil 3.16 RSN1000 (Northridge – 1994) kaydı ivme spektrumu ve tasarım spektrumu .....	44
Şekil 3.17 Tasarım spektrumu ve 3 deprem kaydının ortalama ivme spektrumları.....	45
Şekil 3.18 Mevcut yapı 3 boyutlu görünümü.....	46
Şekil 3.19 Mevcut yapı 1. kat planı.....	47
Şekil 3.20 1-1 aksı üzerinde seçilen S101 kolonu ve K102 kirişi.....	48
Şekil 3.21 Kesit 3 .....	49
Şekil 3.22 Kesit 3 plastik mafsalları.....	50
Şekil 3.23 S101 kolon kesiti.....	50
Şekil 3.24 S101 kolonu plastik mafsalları.....	51
Şekil 3.25 X ekseninde eğilme için P-M etkileşim diyagramı .....	51
Şekil 3.26 Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 3 boyutlu görünümü ..	54
Şekil 3.27 Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 1.kat planı.....	54
Şekil 3.28 Örnek hesap yapılacak P129-P134 perdeleri .....	55
Şekil 3.29 P129 ve P134 perde kesiti.....	57
Şekil 3.30 P129-P134 Perdesi lifli mafsalları .....	57
Şekil 3.31 Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 3 boyutlu görünümü .....	59
Şekil 3.32 Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 1.kat planı.....	60
Şekil 3.33 S102 Mantolanan kolon kesiti .....	62
Şekil 3.34 Çift sürtünme yüzeyli kayıcı izolatör görünümü .....	62
Şekil 3.35 Geçici lineer izolatör tanımı.....	63
Şekil 3.36 Düşey yük kombinasyon tanımlama .....	63
Şekil 3.37 Analiz sonucu periyot değerleri .....	64
Şekil 3.38 1,4G+1,6Q kombinasyonu ile izolatörlere gelen eksenel yük .....	64
Şekil 3.39 G+0,3Q kombinasyonu ile izolatörlere gelen eksenel yük .....	65
Şekil 3.40 Türkiye Deprem Tehlike Haritası .....	66
Şekil 3.41 İzolatör kuvvet-yerdeğiştirme bilgilerinin tanımlanması .....	67
Şekil 3.42 Periyot değerleri.....	68
Şekil 3.43 İzolatör Kuvvet-Yerdeğiştirme Bilgilerinin tanımlanması .....	69
Şekil 4.1 RSN577 (Taiwan -1986) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	74
Şekil 4.2 RSN740 (Loma Prieta – 1990) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	74
Şekil 4.3 RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	75
Şekil 4.4 RSN577 (Taiwan -1986) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	77
Şekil 4.5 RSN740 (Loma Prieta – 1990) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	77
Şekil 4.6 RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	77
Şekil 4.7 RSN577 (Taiwan -1986) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	79
Şekil 4.8 RSN740 (Loma Prieta – 1990) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	79



Şekil 4.9 RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkitilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar.....	80
Şekil 4.10 Yapılara ait periyotlar .....	82
Şekil 4.11. X yönüne ait maksimum kat kesme kuvvetleri.....	82
Şekil 4.12. Y yönüne ait maksimum kat kesme kuvvetleri.....	82
Şekil 4.13. X yönüne ait kat yerdeğiştirmeleri.....	84
Şekil 4.14. X yönüne ait görelî kat yerdeğiştirme oranları .....	84
Şekil 4.15. Y yönüne ait kat yerdeğiştirmeleri.....	84
Şekil 4.16. Y yönüne ait görelî kat yerdeğiştirme oranları .....	85



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Donatı çeliği karakteristik özellikleri.....	26
Çizelge 3.2 Etkin Yer İvmesi Katsayısı, $A_0$ .....	32
Çizelge 3.3 Bina Önem Katsayısı, $I$ .....	32
Çizelge 3.4 Spektrum karakteristik periyotları, $T_A$ ve $T_B$ .....	33
Çizelge 3.5 Kenetlenme boyu .....	39
Çizelge 3.6 Analizde kullanılan deprem ivme kayıtları.....	41
Çizelge 3.7 Mevcut yapıya ait bilgiler .....	47
Çizelge 3.8 Mevcut yapı kolon ortalama etkin eğilme rijitlikleri .....	48
Çizelge 3.9 Kesit 3'e ait plastik eğrilik ve dönme sınırları .....	49
Çizelge 3.10 Kesit 3'e ait akma momentleri .....	49
Çizelge 3.11 S101 Kolonuna ait plastik dönme ve eğrilik sınırları .....	50
Çizelge 3.12 Kiriş kesit bilgileri ve malzeme bilgileri .....	51
Çizelge 3.13 Kolon kesit bilgileri ve malzeme bilgileri .....	52
Çizelge 3.14 Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait bilgiler .....	55
Çizelge 3.15 Kolonlar ve perdelerle ait ortalama etkin kesit rijitlikleri.....	56
Çizelge 3.16 P129- P134 Perdesine ait toplam plastik dönme ve eğrilik sınırları.....	57
Çizelge 3.17 Perde kesiti ve malzeme bilgileri.....	58
Çizelge 3.18 Yapılara ait bilgileri .....	60
Çizelge 3.19 Kolonların ortalama etkin eğilme rijitlikleri .....	61
Çizelge 3.20 S102 Mantolu kolona ait plastik dönme ve eğrilik sınırları.....	62
Çizelge 3.21 İzolatör özellikleri .....	63
Çizelge 3.22 Hesaplama da kullanılacak parametreler .....	66
Çizelge 3.23 İzolatör karakteristik özellikleri .....	66
Çizelge 3.24 İzolatör Kuvvet-Yerdeğiştirme ( Yükleme Döngüsü) bilgileri.....	67
Çizelge 3.25 Hesaplama da kullanılacak parametreler .....	68
Çizelge 3.26 İzolatör karakteristik özellikleri .....	69
Çizelge 3.27 İzolatör kuvvet-yerdeğiştirme ( Yükleme Döngüsü) bilgileri .....	69
Çizelge 3.28 Kolon kesit ve malzeme bilgileri .....	70
Çizelge 4.1 Mevcut yapının x doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü .....	72
Çizelge 4.2 Mevcut yapının y doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü .....	72
Çizelge 4.3 Geleneksel yöntem uygulanan yapının x doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü.....	72
Çizelge 4.4 Geleneksel yöntem uygulanan yapının y doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü.....	73
Çizelge 4.5 Yenilikçi yöntem uygulanan yapının x doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü.....	73
Çizelge 4.6 Yenilikçi yöntem uygulanan yapının y doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü.....	73
Çizelge 4.7 X ve Y yönü kolon ve kiriş hasar durumları.....	75
Çizelge 4.8 X ve y yönü hasar bölgesine göre kolonların kesme kuvvetine katkısı ve gevrek hasar gören elemanlar.....	76
Çizelge 4.9 X ve Y yönü kolon, perde ve kiriş hasar durumları .....	78
Çizelge 4.10 X ve Y yönü kolon ve kiriş hasar durumları.....	80
Çizelge 4.11 Mevcut yapı x doğrultusuna ait görel i kat ötelemesi kontrolü .....	82
Çizelge 4.12 Mevcut yapı y doğrultusuna ait görel i kat ötelemesi kontrolü .....	83

Çizelge 4.13 Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapı x doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü.....	83
Çizelge 4.14 Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapı y doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü.....	83
Çizelge 4.15 Yenilikçi yöntem ile güçlendirilmiş yapı x doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü.....	83
Çizelge 4.16 Yenilikçi yöntem ile güçlendirilmiş yapı y doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü.....	84
Çizelge 4.17 Geleneksel ve Yenilikçi güçlendirme yöntemlerine ait maliyet analizi ....	85



## 1. GİRİŞ

Büyük çoğunluğu deprem bölgesi olan Türkiye’ de mevcut yapıların deprem kuvvetlerini karşılamada ne kadar zayıf olduğu yaşanan depremler sonucunda görülmüştür. Mevcut yapıların tasarlandıkları dönemdeki yönetmeliklere uygunsuzluğu, işçilik ve malzeme kalitesindeki yetersizlik gibi sebeplerden dolayı deprem etkilerini karşılayamayacak düzeyde olmaları insan hayatı açısından tehlike oluşturmaktadır. Depremin meydana getireceği hasarı minimize etmek için mevcut yapıların gözden geçirilmesi ve yetersiz görülenlerin güçlendirilmesi gerekmektedir (Yılmaz 2008).

Hedeflenen performans hedefini sağlamak için mevcut binaların kapasitesinin artırılmasında yapısal elemanların mantolanması veya yeni taşıyıcı sistem elemanları eklenmesi uygulanmakta olan geleneksel güçlendirme yöntemleri arasındadır. Yeni eklenen yapısal elemanlar veya mantolanan elemanlar, yapının rijitliğini ve dayanımını arttırmakta, ancak yapının hâkim doğal titreşim periyodunu azaltmaktadır. Artan rijitlikle beraber katlarda görülen ivmeler de artmaktadır. Artan kat ivmeleri yapısal hasara neden olabilir.

Binaların kapasitesini arttırmak yerine yapıya gelen sismik etkiyi azaltarak da istenen performans hedefini sağlamak mümkün olabilir. Bu yöntem bina temeli ile üst yapı arasına yatay esneklik sağlayan deprem izolatörleri eklenmesi ile uygulanan yenilikçi bir güçlendirme yöntemidir. Bu güçlendirme yönteminin uygulanması ile yapının dayanımı değişmez iken, hâkim olduğu doğal titreşim periyodu artmaktadır.

Günümüzde şiddetli depremlerin etkisinden sonra, önemli yapıların hemen kullanım performans düzeyini karşılaması isteniyorsa, deprem izolatörleri kullanmak akıllara gelen ilk yöntemdir. Okul, hastane, itfaiye, polis karakolu, haberleşme merkezi ve nükleer enerji santralleri gibi hasarları hayati tehdit oluşturan veya tarihi eser bakımından önem arz eden müze vb. yapılar önemli yapı sınıfına girmektedir.

Ülkemizde sismik izolasyonla güçlendirmeye örnek olarak Tarabya otelinin ve Antalya Havalimanı uluslararası dış hatlar terminalinin güçlendirilmesi verilebilir (Şengel ve ark. 2009). Yurt dışında San Francisco’da bulunan City Hall ve Oakland City Hall binaları sismik izolasyon ile güçlendirme yöntemine örnektir (Gökhan 2009).



## **2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Sismik izolatör ile tasarlanan yapıların, periyot, yerdeğiştirme, taban kesme kuvveti, görelî kat ötelenmesi, yapısal ve yapısal olmayan hasar, şekildeğiştirmeye bağı performans talebi, deprem anındaki davranışı vb. birçok parametreyi nasıl değıştirdiğı merak konusu olmuştur. Aşağıda bu parametrelerin dikkate alındığı çalışmalar verilmiştir.

### **2.1. Kaynak Araştırması**

Kaptan (2013) tarafından dört katlı düzlem bir çerçeve ankastre mesnetli olarak, ayrıca sismik izolatör ile beraber viskoz sönümleyici cihazlar eklenerek ayrı ayrı modellenip analiz edilmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Eşdeğer deprem yükü ve zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemleri kullanılmıştır. Kıyaslama sonucu sismik izolatör ve viskoz sönümleyici cihazlar eklenen yapıların, ankastre mesnetli yapıya göre periyot değıerleri artmış, deplasman, ivme ve taban kesme kuvvetleri azalmıştır.

Nassani ve Abdulmajeed (2015) tarafından yapılan çalışmada izolatör çeşitlerine değınilmiş ve planda düzenli ve düzensiz olmak üzere 5 katlı iki yapı modeli temeli ankastre mesnet ve taban izolatörü kullanılarak analizleri yapılmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Taban izolasyonu kullanılan yapıların ankastre mesnetli yapılara göre periyot değıerleri artmış, taban kesme kuvvetleri azalmıştır. Düzensiz binalar üzerinde sismik izolasyon kullanılması performans açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

Shaikh ve Murnal (2015) tarafından yapılan çalışmada üç katlı bina, ankastre mesnetli ve farklı seviyelere yerleştirilmiş taban izolasyonu ile modellenip, zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemi kullanılarak analizleri yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Taban izolasyonu ile modellenen yapıların ankastre mesnetli yapıya göre periyot değıerleri artmış, ivme ve yerdeğiştirme değıerleri azalmıştır.

Ganji ve Kazem (2017) tarafından 5, 10 ve 15 katlı çelik yapılar ankastre mesnetli olarak, ayrıca viskoz sönümleyici ve sismik izolatör cihazlar eklenerek ayrı ayrı modellenip, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu sismik izolatör ve viskoz sönümleyici

cihazlar eklenen yapıların, ankastre mesnetli yapıya göre periyot değerleri artmış, deplasman, ivme ve taban kesme kuvvetleri azalmıştır.

Singh ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada Bodrum + 6 kattan oluşan bir yapı çelik çapraz elemanlar ve sismik izolatör ile ayrı ayrı modellenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemi kullanılmış ve analiz sonucunda periyot, taban kesme kuvveti gibi parametreler kıyaslanmıştır. Sismik izolatör ile modellenen yapı, çelik çapraz elemanlar kullanılan yapıya göre periyot değeri artmış ve taban kesme kuvveti azalmıştır.

Kamrawa (2015) tarafından yapılan çalışmada sismik izolasyonun tanımı, çeşitleri (kauçuk izolatör, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, sürtünmeli sarkaç izolatör, viskoz sönümleyici, visko-elastik sönümleyici vb.), çalışma prensibi, avantajları ve dezavantajları hakkında bilgiler verilmiştir.

Dın ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada Bodrum + 9 kattan oluşan ve plan geometrisi bakımından L, T ve kare şeklinde üç tip çelik bir yapı, temeli ankastre mesnet ve taban izolatörü kullanılarak modellenip, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile analizleri yapılmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Taban izolasyonu kullanılan yapıların ankastre mesnetli yapılara göre periyot değerleri artmış, taban kesme kuvvetleri azalmıştır. Düzensiz binalar üzerinde sismik izolasyon kullanılması performans açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

Ghodke ve Admane (2015) tarafından 5 katlı simetrik bir yapı ankastre mesnetli ve taban izolasyonu ile modellenip, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi seçilerek analizleri yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Taban izolasyonu ile modellenen yapıların ankastre mesnetli yapıya göre periyot değerleri artmış, ivme ve yerdeğiştirme değerleri azalmıştır.

Khannavar ve Kolhar (2016) tarafından yapılan çalışmada planda ve düşey olarak düzensiz olan 4 farklı 10 katlı betonarme bina ankastre mesnet ve taban izolatörü kullanılarak modellenmiştir. Taban izolasyonu olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmış ve izolatör tasarımının da UBC97 yönetmeliğinden faydalanılmıştır. Eşdeğer deprem yükü ve tepki spektrumu yöntemleri kullanılarak analiz yapılmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Taban izolasyonu kullanılan yapıların ankastre mesnetli yapılara göre

periyot değerleri artmış, taban kesme kuvvetleri azalmıştır. Düzensiz binalar üzerinde sismik izolasyon kullanılması performans açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

Hassan ve Pal (2017) tarafından 5 katlı bir bina, ankastre mesnetli ve taban izolasyonu ile modellenip, zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem seçilerek analizleri yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Taban izolasyonu ile modellenen yapıların ankastre mesnetli yapıya göre periyot değerleri artmış, ivme ve yerdeğiştirme değerleri azalmıştır.

Han (2017) tarafından Çin'deki Lushan halk hastanesi ile eski Luskan halk hastanesi ankastre mesnetli olarak, ayrıca sismik izolatör ile beraber viskoz sönümleyici cihazlar eklenerek ayrı ayrı modellenip analiz edilmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu sismik izolatör ve viskoz sönümleyici cihazlar eklenen yapıların, ankastre mesnetli yapıya göre periyot değerleri artmış, deplasman, ivme ve taban kesme kuvvetleri azalmıştır.

Melkumyan ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada Ermenistan'daki 5 katlı taş apartman ve 3 katlı taş okul binasının tabanına yerleştirilen izolatörlerin montajı anlatılmıştır. Romanya'daki Lasi belediye binasının ankastre tabanlı ve sismik izolatör tabanlı modelleri oluşturulup, analizleri yapılmış ve detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Romanya'da geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş 4 adet yapı seçilmiş ve Lasi belediye binası ile maliyet kıyaslaması yapılmıştır. Sismik izolatör ile güçlendirme maliyeti, geleneksel güçlendirme maliyetine kıyasla daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Hasan (2016) tarafından yapılan çalışmada Chittagong Tıp Fakültesi yan hastane binasının üç boyutlu modeli kurulmuş ve doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda hastane binasının yetersiz olduğu ve güçlendirilmesi gerektiği saptanmıştır. Üç boyutlu model taban izolasyonu ile modellenip, Bangladeş ulusal bina yönetmeliği 1993'e göre performans analizi yapılmış ve hastane binası güvenli hale geldiği görülmüştür.

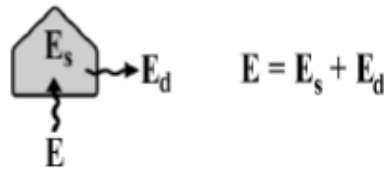
Ayhan (2006) tarafından yapılan çalışmada 4 katlı ve 10 katlı iki yapı, klasik güçlendirme ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörle güçlendirme yöntemleri uygulanmıştır. 8 ayrı deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem seçilerek analizleri yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Taban izolasyonu ile modellenen yapıların ankastre mesnetli yapıya göre periyot değerleri artmış, taban kesme kuvveti, ivme ve

yerdeğiştirme değerleri azalmıştır. Klasik güçlendirme maliyetinin, izolatör ile güçlendirme maliyetine göre daha avantajlı olduğu görölmüştür.

Literatürde mantolama ve perde ekleme gibi klasik güçlendirme yöntemlerinin sismik izolatörle yapılan yenilikçi güçlendirme yöntemleri ile kıyaslamasının zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılan performans analizi ile yapılmış örnekleri yok denecek kadar azdır. Literatürdeki mevcut kıyaslamalarda performans analizi için doğrusal olmayan statik itme analizi (pushover) yöntemi daha çok kullanılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılan çalışmalarda ise performans analizi yapılmamış, sadece sistemin taban kesme kuvveti, ivme, deplasman, periyot gibi parametreler ile ilgili kıyaslamalar yapılmıştır. Bu tezde mevcut olduğu varsayılan bir yapı, yenilikçi yöntem (sismik izolatörler) ve geleneksel yöntem (ilave perde ekleme ve kolon mantolama) ile ayrı ayrı güçlendirilip, performans analizleri yapılmıştır. Yapısal davranışı daha gerçekçi tahmin edebilmek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır. Analizde kullanılan ivme kayıtları yapının bulunduğu konum ve zemin şartlarına göre seçilip, ölçeklendirme işlemi yapılmıştır. Analiz sonucunda her iki güçlendirme yöntemi neticesinde elde edilen eleman ve kat seviyesinde hasar durumları ile birlikte bina performans seviyeleri karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte maliyet analizi yapılmış ve kat kesme kuvvetleri, yerdeğiştirmeler, görel kat öteleme oranları, periyot vb. parametreler kıyaslanmıştır.

## 2.2. Sismik Tasarımda Enerji Yaklaşımı

Depreme dayanıklı yapı tasarımı denince akla ilk olarak yapı elemanlarında oluşacak kuvvetler ve yerdeğiştirmeler gelmektedir. Aslında deprem içerisinde enerji barındıran bir doğal afettir. Yapıda oluşan kuvvetlerin ve yerdeğiştirmeler depremin enerjisi ile ortaya çıkmaktadır (Özpalanlar 2004).



şekil 2.1 Enerjinin korunumu prensibi (Özpalanlar 2004)



Enerjinin korunumu prensibine göre, depremin enerjisi ( $E$ ); yapının içerisinde depolanan enerji ( $E_s$ ) ile sönmölen enerji ( $E_d$ )' nin toplamına eşittir. Burada;

$E$ : Yapıya gelen toplam deprem enerjisidir.

$E_s$ : Yapının elastik sınırlar dâhilinde içerisinde depoladığı enerjidir.

Yapı bu depolamayı, gelen deprem enerjisini kinetik enerji ( $E_k$ ) ve elastik gerilme enerjisine ( $E_e$ ) çevirerek yapar.

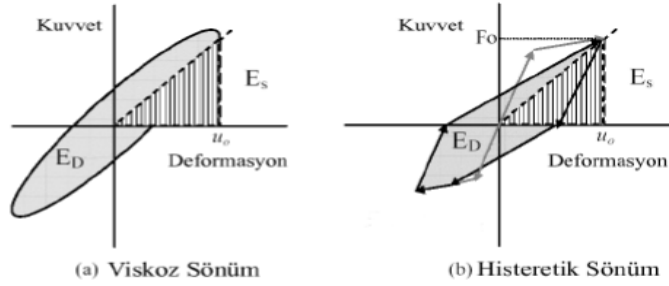
$$E_s = E_k + E_e \quad (2.1)$$

$E_d$ : Yapı tarafından sönmölen enerjiyi ifade eder. Viskoz sönmö ( $E_v$ ) ve histerik sönmö ( $E_h$ ) birleşimi olarak ortaya çıkar.

$$E_d = E_v + E_h \quad (2.2)$$

Viskoz sönmö, moleküllerin birbirine sürtünmesi ile oluşan ısı, havanın viskozitesi, taşıyıcı olmayan elemanların katkısı vb. durumlarda elde edilen sönmö olarak ifade edilmektedir.

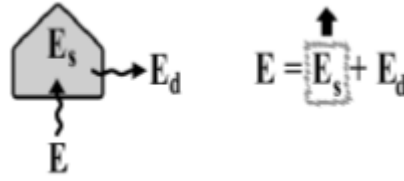
Histerik sönmö, yapıda oluşan çatlaklar, plastik mafsallar, eğilme, ezilme, donatının akması vb. durumlarda elde edilen sönmö olarak ifade edilmektedir (Özpalanlar 2004).



**Şekil 2.2** Viskoz ve histerik sönmö durumunda kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Özpalanlar 2004)

### 2.2.1. Geleneksel yaklaşım

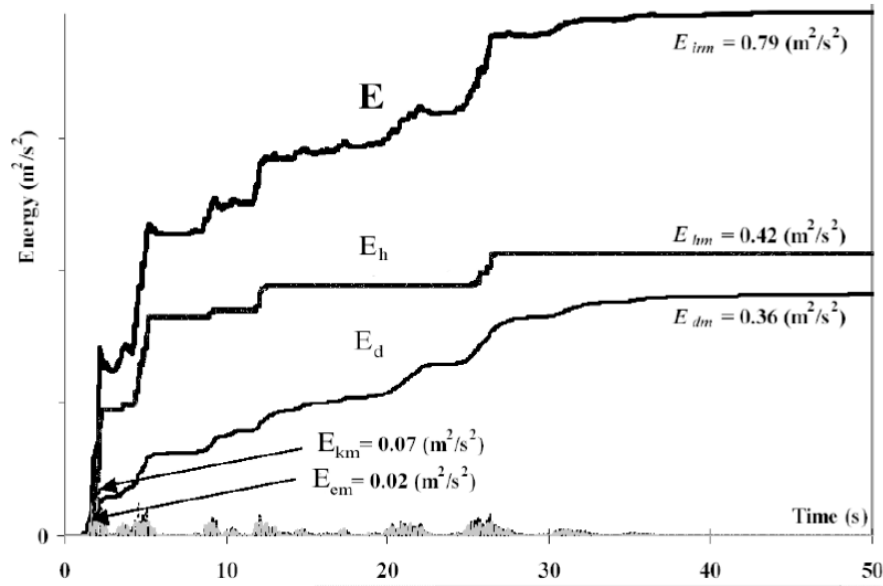
Yapının gelen deprem kuvvetine karşı hasar görmeyecek biçimde güçlendirilmek istenirse yapısal elemanların dayanımının artırılması gerekmektedir. Dayanımın artması ile yapıda depolanan enerjiyi ( $E_s$ ) arttırmış oluruz (Özpalanlar 2004).



**Şekil 2.3** Depolanan enerjinin arttırılması (Özpalanlar 2004)

Tüm yapılar viskoz tipi sönümlenme kapasitesi ile tasarlanmaktadır. Çelik yapılarda sönüm oranı  $\zeta=0.02$ , betonarme yapılar da ise  $\zeta=0.05$  alınmaktadır. Şiddetli deprem oluşması durumunda, yapı elastik ötesi sınıra geçebilir, yapısal elemanlarda plastik mafsallar oluşabilir. Bu durumda histerik sönüm devreye girer (Özpalanlar 2004).

Şekil 2.4’de El Centro depremi sırasında %5 sönümlü betonarme bir yapının enerji dağılım grafiği verilmiştir. Yapı elastik sınırların ötesinde bir davranış gösterdiğinde, histerik sönüm değerinin ön planda olduğu gözükmektedir.

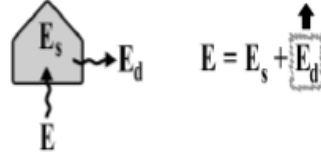


**Şekil 2.4** Örnek enerji dağılım grafiği (Özpalanlar 2004)

Günümüzde yapılar histerik sönüm kullanılarak tasarlanmaktadır. Bu durumda yapısal elemanlar elastik ötesi bir davranış göstermektedir. Bu davranış süneklik olarak da adlandırılır. Elastik ötesi davranış gösteren yapılarda kalıcı hasarlar meydana gelmekte ve deprem sonrasında can güvenliği sağlansa bile kullanım dışı kalmaktadır. Bu durum ekseriyette yüksek maliyetlerle güçlendirme işlemi gerektirmektedir.

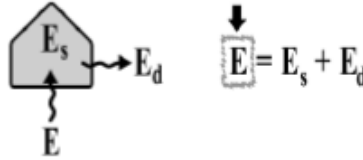
### 2.2.2. Yeni yaklaşım

Yapısal hasarları minimuma indirmek için histerik sönüm oranının da düşük olması gerekmektedir. Yapıların enerji depolama kapasitesi kadar sönümlenen enerji miktarını arttırmakta mümkündür. Yapılarda kullanılacak enerji sönümleyiciler vasıtasıyla viskoz sönüm oranı artırılarak, histerik sönüm katkısı minimuma inmektedir (Özpalanlar 2004).



Şekil 2.5 Sönümlenen enerji miktarını arttırmak (Özpalanlar 2004)

Enerji korunumu prensibine göre yapıda depolanan enerji veya sönüm enerjisini azaltmak veya arttırmak yerine yapıya gelecek olan deprem enerjisini azaltmakta mümkündür. Yapıya yerleştirilecek olan deprem izolatörleri sayesinde, deprem enerjisinin büyük bir kısmı izolatörün yatay esnekliği ile absorbe edilmektedir (Özpalanlar, 2004).



Şekil 2.6 Yapıya gelen enerji miktarını azaltmak (Özpalanlar 2004)

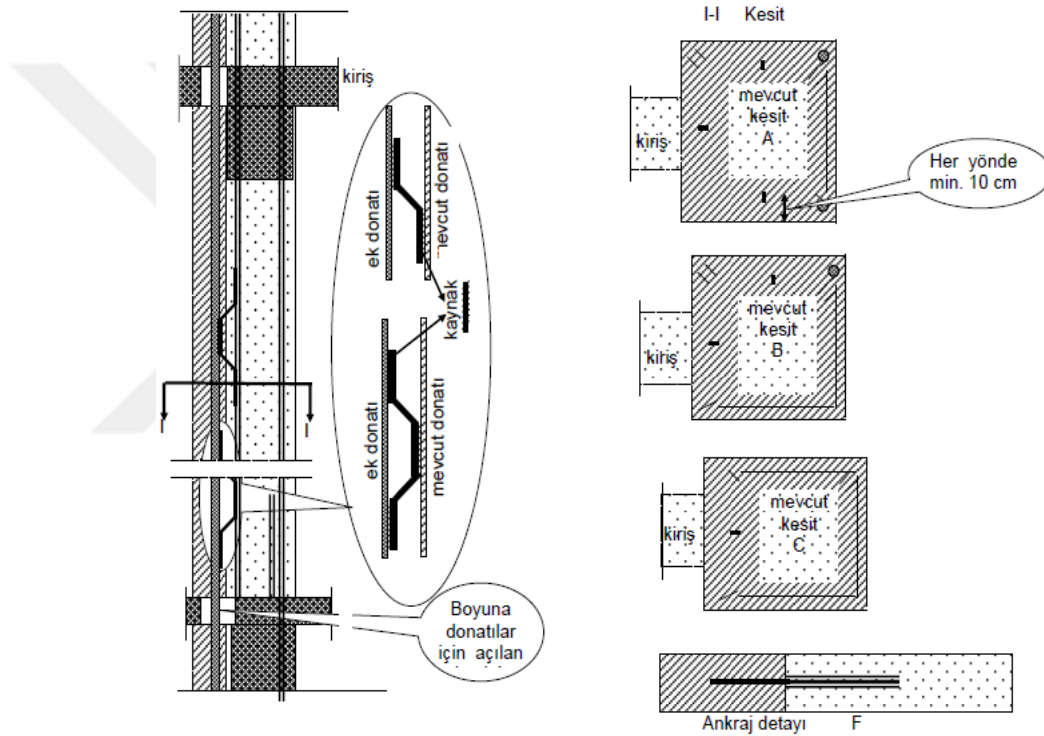
### 2.3. Geleneksel Güçlendirme Yöntemi

Yapısal elemanların (döşeme, kiriş, kolon, perde ve temel) güçlendirilme işlemi yapılırken, birbirleri arasındaki uyuma dikkat edilmelidir. Örneğin kirişler üzerinde yapılan güçlendirme işleminde maksimum donatı oranı aşılmamalıdır. Aksi takdirde donatının akması önlenmiş olur ve betonda ezilmeler meydana gelebilir. Kirişin taşıma kapasitesinin aşırı fazla olması durumunda ise güçlü kiriş zayıf kolon durumu da ortaya çıkabilir. Bu çalışmada mevcut yapıya uygulanan geleneksel güçlendirme yöntemi olarak perde ekleme ve kolon mantolama işlemleri uygulanmıştır. Bu sebeple sadece bu iki yöntem aşağıda açıklanmıştır.

### 2.3.1. Kolonların mantolanması

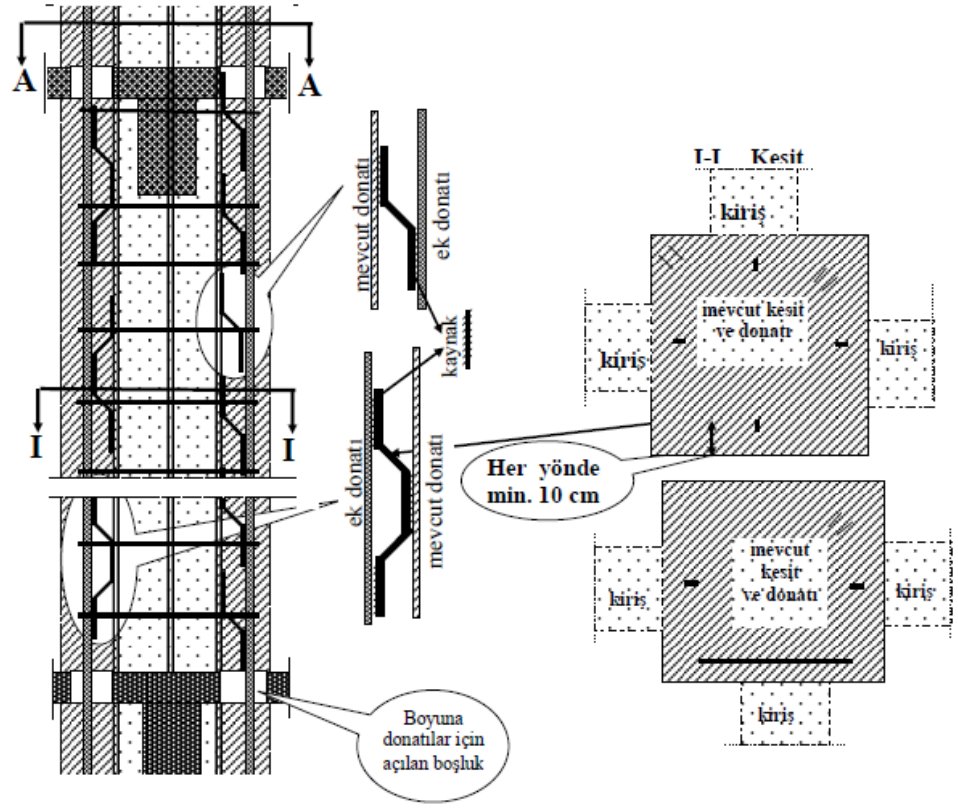
Yapının plan durumuna göre kolonlara 1, 2, 3 veya 4 tarafından mantolama yapılabilir. Mantolama kalınlığı en az 10 cm olmalıdır. Mantolama işlemi yapılırken aşağıdaki maddelere dikkat edilmelidir.

- Kullanılacak donatı ve beton sınıfı mevcut donatı ve beton sınıfına eşit veya yüksek olmalıdır.
- Kolon donatıları, kolon yüzünden itibaren ankraji iyi yapılmalı ve bulunduğu kattan bir sonraki kata donatı sürekliliği sağlanmalıdır (Şekil 2.7) (Atmaca 2013).

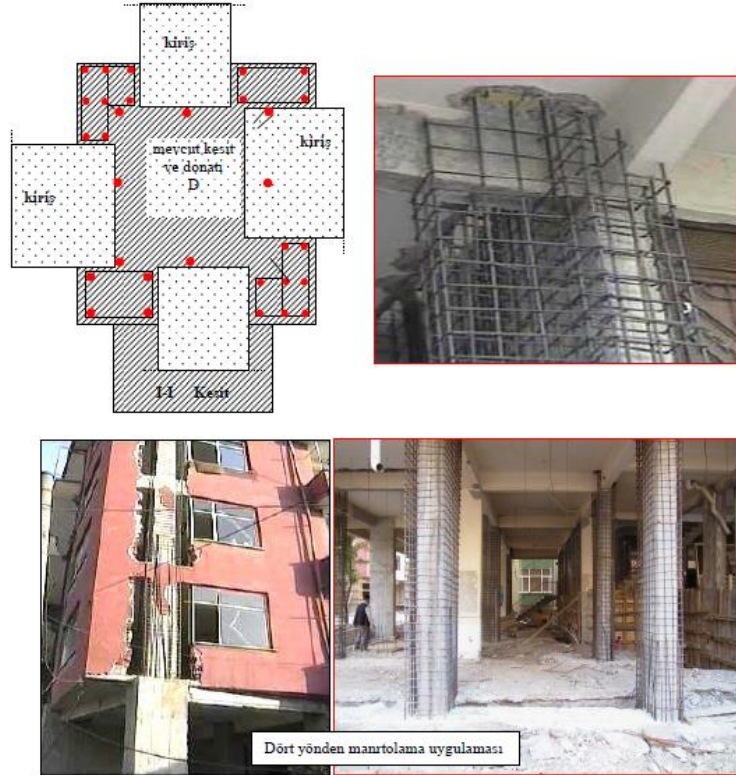


Şekil 2.7 Kolon mantolama (Atmaca 2013)

- DBYBHY'e (2007) göre birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılması kiriş yüksekliğinin iki katı alınmalıdır. Birleşim bölgesi hesap sonucunda olumsuz bir durum olmadığı takdirde etriye aralığı süneklik düzeyi yüksek yapılarda; kiriş yüksekliğini 1/4'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 15 cm'yi, süneklik düzeyi normal yapılarda; kiriş yüksekliğinin 1/3'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 10 katını ve 15 cm'yi geçmemeli ve minimum etriye çapı 8mm olmalıdır.
- Ek donatı ve betonun, mevcut donatı ve beton ile birlikte çalışması kesinlikle sağlanmalıdır (Şekil 2.8) (Atmaca 2013).

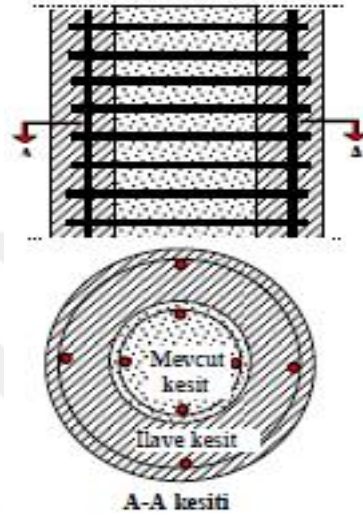


Şekil 2.8 Mevcut donatı ile ilave donatıların birlikte çalışması (Atmaca 2013)



Şekil 2.9 Örnek mantolama işlemi ve donatı sürekliliğinin sağlanması (Atmaca 2013)

- Kolonların mantolama işleminden önce kolon paspayı sıyırma işlemi yapılmalıdır.
- Fretli kolonlara mantolama işlemi kolonun tüm çevresini saracak şekilde yapılır. Dikdörtgen kolonlarda olduğu gibi 1, 2, 3 veya 4 tarafını mantolama olanağı yoktur (Şekil 2.10) (Atmaca 2013).



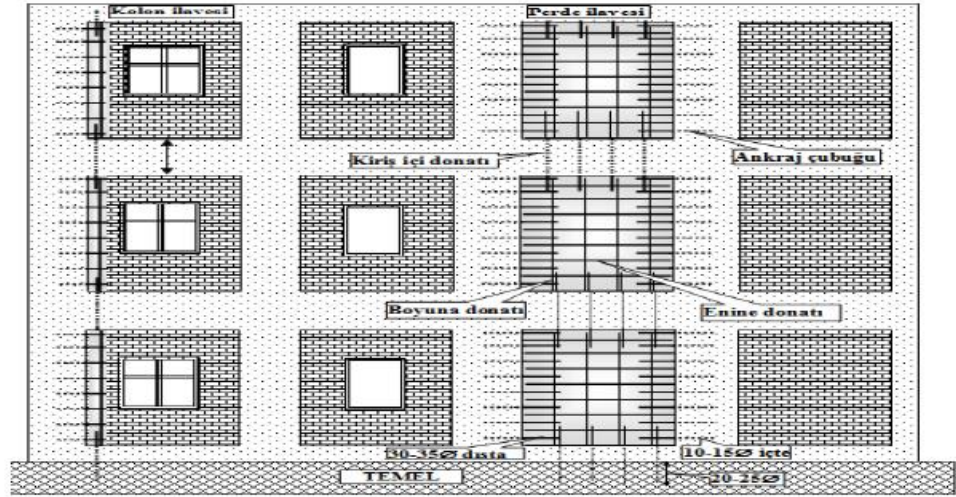
Şekil 2.10 Fretli kolonlara mantolama işlemi (Atmaca 2013)

### 2.3.2. Perde ekleme

Betonarme yapıların yatay yüklere karşı dayanımını arttırmak için ilave perdeler eklenir. Bu işlem sırasında aşağıdaki maddelere dikkat edilmelidir.

- İlave perdeler yapının rijitlik merkezini kütle merkezinden uzaklaştırmaması için simetrik yerleştirilmelidir. Aksi takdirde burulma düzensizliği ortaya çıkacaktır
- Perde ile mevcut taşıyıcı sistem birleşimlerinin iyi yapılmalıdır. Perdenin yapı yüksekliği boyunca sürekliliğin sağlanması gerekmektedir (Şekil 2.11) (Atmaca 2013).





**Şekil 2.11** İlave perde uygulaması (Atmaca 2013)

Mevcut yapıların yanal rijitliğini arttırmak için akla gelen ilk yöntem genellikle ilave perde uygulamasıdır. Yaşanan büyük depremlerden sonra yapılan güçlendirme işlemlerine baktığımızda ilave perde ile güçlendirme yönteminin çoğunlukta olduğu gözükmemektedir.

Yeni perde taşıyıcı sistemin mevcut taşıyıcı sistem elemanları ile bağlantıların iyi olması için kenetlenme boyu kadar filizler ekilmelidir (Şekil 2.12) (Atmaca 2013).



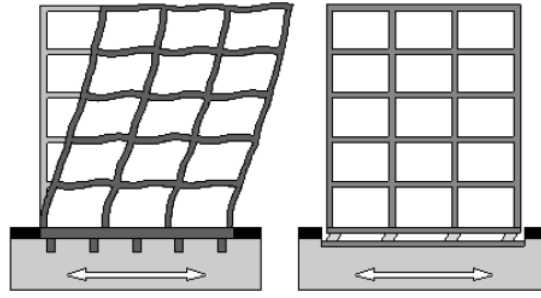
**Şekil 2.12** Perde taşıyıcı sistem ile mevcut taşıyıcı sistemin bağlantısı (Atmaca, 2013)

#### **2.4. Sismik İzolasyon (Yeni Yaklaşım)**

Sismik izolasyon, temel ile üst yapı arasında bir süreksizlik oluşturmak ve böylece gelen yer hareketi ivmesinin üst yapıya azaltılarak aktarılmasını sağlamaktır. Sıklıkla kullanılan iki tip izolasyon sistemi vardır. Bunlar elastomer esaslı ve sürtünlü sarkaç tipi izolasyon sistemleridir. Binalarda kullanılan sismik izolasyon birimleri çoğunlukla aşağıda belirtilen maddeleri sağlamalıdır.

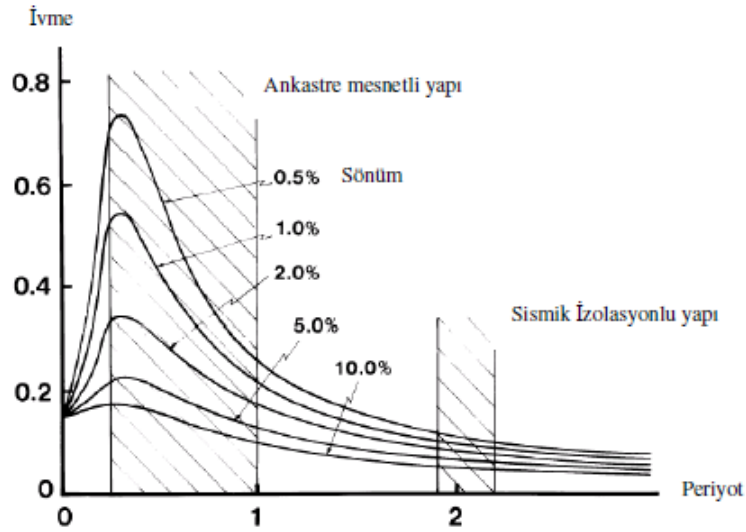
- Çok yumuşak zemin alanları dışında, talep spektrumu ve yapı periyodunu arttırmak için yeterli yatay esnekliğe sahip olmalıdır.
- Sismik izolatörün, yerdeğiştirmeyi sınırlandırmak için yeterli enerji yayma kapasitesi bulunmalıdır.
- Sismik izolatörün, gelen yükler altında yeterli düşey rijitliği bulunmalıdır (Adjou ve Haddadou, 2015).





**Şekil 2.13** Ankastr mesnetli yapı ile taban izolasyonlu yapının deprem anındaki hareketi (Yücesoy 2005)

Sismik izolasyonun yapı temeli ile üst yapı arasına konması ile yapının periyodu artmakta ve depremin hakim olduğu periyottan uzaklaşması ile rezonans etkisi ortadan kalkmış olur. Bu sebeple tasarım spektrumunun azalan bölgesine geldiğinden yapıya etki eden ivmeler azalır, üst yapı rijit bir ötelenme gösterir, görel kat ötelemeleri sınırlanmış olur (Şekil 2.14) (Gökhan 2009).



**Şekil 2.14** Ankastr mesnetli ve taban izolasyonlu yapı arasındaki ivme-periyot ilişkisi (Yücesoy 2005)

İzolatörlerin uygulanabilmesi için bazı hususlara dikkat edilmelidir. Bu hususlar, yapı çevresinde izolatörün yerdeğiştirme kapasitesi kadar bir boşluk bırakılmalı ve bu yerdeğiştirme anında tesisat bağlantılarında hasar olmaması için tesisat malzemeleri esnek olmalıdır.

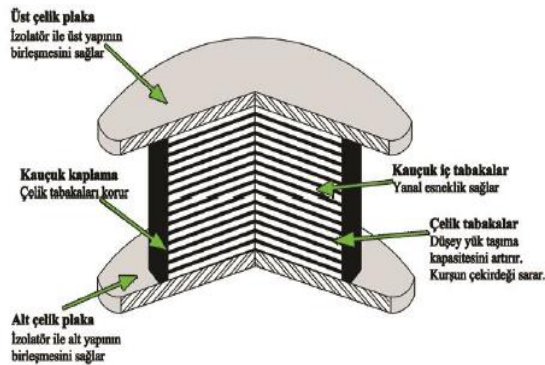
Sismik izolasyon ile güçlendirme işlemi yapılırken, yapıda büyük değişiklikler yapmaya ve güçlendirme esnasında yapıda fonksiyon kayıplarına gerek kalmaz. Özellikle tarihi binaların mimarisini bozmadan güçlendirme işlemi uygulanmasına olanak sağlar (Gökhan 2009).

#### 2.4.1. Elastomerik (Kauçuk) mesnetli sistemler

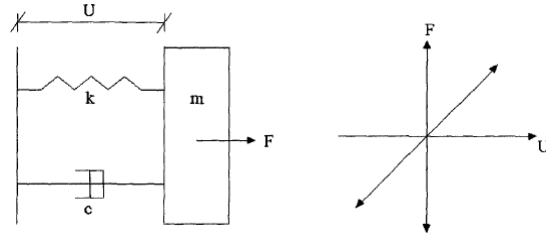
Elastomerik kauçuk mesnetler 3'e ayrılır. Bunlar, düşük sönümlü, yüksek sönümle ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatördür.

1) Düşük sönümlü kauçuk izolatör: Şekil 2.15'te görüldüğü gibi düşük sönümlü kauçuk izolatörün altında ve üstünde kalın çelik plakalar bulunmaktadır. Kalın çelik plakaların arasına ince çok sayıda kauçuk malzemesi ve çelik saclar yerleştirilir. Çelik saclar aksenal yük altında, kauçuğun yanal deformasyonunu önler ve düşeyde rijit bir davranış göstermesini sağlar. Çelik sacların yatay rijitliğe herhangi bir katkısı yoktur.

Yatay esneklik kauçuk malzemesi tarafından sağlanır. Bu sebeple kesme ve burulma kuvvetleri kontrol edilmelidir. İzolatörün yüksekliği arttıkça burulma etkileri ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple izolatör yüksekliği, çapın yarısı ile sınırlandırılmıştır. Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin yerdeğiştirme ve kuvvet ilişkisi birbirine bağlı doğrusal bir davranış gösterir (Şekil 2.16). Bu izolatörlerin tek dezavantajı, sönüm derecesi düşük olduğundan genellikle ek sönümleyici cihazlara gereksinim duyulmaktadır (Yücesoy 2005).



Şekil 2.15 Düşük sönümlü kauçuk izolatör kesiti (Kök 2014)

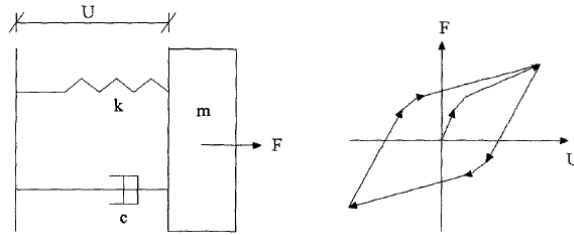


**Şekil 2.16** Sistemin serbest cisim diyagramı ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Baştuğ 2004)

2) Yüksek sönümlü kauçuk izolatör: Düşük sönümlü izolatörlerden farkı, sönüm oranının ekstra karbon blok, yağ ve reçine gibi dolgu elemanlarıyla artırılmasıdır (Şekil 2.17). Diğer bir fark ise kuvvet ve yerdeğiştirme davranışı ne viskoz nede histerik bir davranış gösterir, ikisinin arasındadır (Şekil 2.18). %100 kayma şekil değiştirmelerinde sönüm miktarı %10-20 mertebelerine çıkmaktadır (Yücesoy 2005).



**Şekil 2.17** Yüksek sönümlü kauçuk izolatör (Yücesoy 2005)

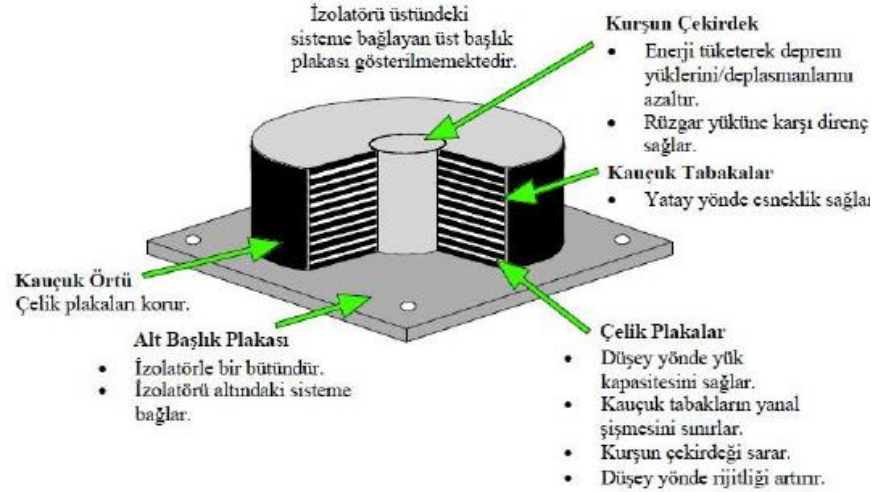


**Şekil 2.18** Sistemin serbest cisim diyagramı ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Baştuğ 2004)

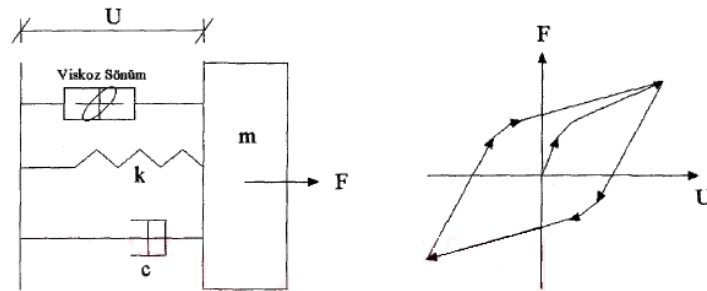
3) Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör: Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler model olarak düşük sönümlü kauçuk izolatörlere benzemektedir. Merkezine bir ya da iki adet kurşun yerleştirilmesi sönüm oranını arttırmaktadır. Kurşun çekirdek elastomerde açılan delikten daha büyük tutularak, aksenal yük altında deliğe yerleştirilir ve böylece birbirine çok iyi

kenetlenmiş olur. Kurşun çekirdeğin yaklaşık akma dayanımı 10 MPa' dır. Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi yüksek sönümlü kauçuk izolatörle benzerdir (Şekil 2.20).

Kauçuk üretimi şu şekilde gerçekleştirilir. Vulkanizasyon saf kauçuğu plastik halden elastik hale dönüştüren kimyasal bir işlemdir. Vulkanizasyon işlemi kauçuk dayanımını, esnekliğini (elastisite), solventlere( çözücü) dayanıklılığını ve ısı değişikliklerine karşı direncini belirler. Günümüzde vulkanizasyon, saf kauçuğa sülfür, peroksit ve ürethan eklenerek, yüksek basınç ve sıcaklık etkisi ile yapılır. Karbon siyahı eklenerek kauçuğun sertliği, rijitliği, kopma uzaması, yorulma ve gevşeme özellikleri değiştirilir (Yücesoy 2005).



Şekil 2.19 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kesiti (Kök 2014)



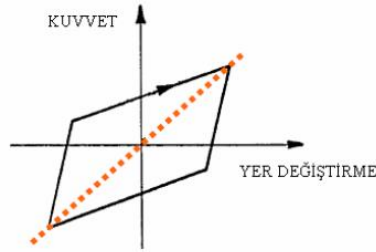
Şekil 2.20 Sistemin serbest cisim diyagramı ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Baştuğ 2004)

## 2.4.2. Sürtünme esaslı kayıcı mesnetli sistemler

Sürtünme esaslı izolatörlerin yer değiştirme becerisi iki paslanmaz çelik levha arasına yerleştirilen sürtünme katkısı az kompozit malzeme ile kaplı kayıcının hareket etmesi ile sağlanır. Kısaca bir sarkaç hareketinden faydalanarak yapıya gelen deprem enerjisini sürtünme kuvvetiyle azalması veya tamamının ortadan kalkması prensibine dayanır. İzolatörün periyodu, konkav (içbükey) eğrilik çapına bağlıdır. Bu sebeple yapı kütlesi artsa bile izolatör periyodu değişmez. Tek eğri yüzeyli, çift eğri yüzeyli ve üç eğri yüzeyli yalıtım birimleri bulunmaktadır (Şekil 2.21) (Yücesoy 2005).



Şekil 2.21 Sürtünmeli sarkaç izolatör tipleri (Şadan 2017)



Şekil 2.22 Kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Ayhan 2006)

## 2.5. Ülkemizde Sismik İzolasyon İle Güçlendirme Uygulamaları

### 2.5.1. Antalya Havalimanı

1.Dış hatlar terminal binası 22 uçak ve 4000 yolcu kapasitesine sahiptir. Yolcuların terminal ve uçaklara giriş çıkış işlemi 8 adet bağımsız köprü ve 12 adet körük sistemi sayesinde sağlanmaktadır. 23000 m<sup>2</sup> alana sahip havalimanı 3 katlı olarak inşa edilmiştir. 56000 m<sup>2</sup> toplam kapalı alana sahip, 18 m yüksekliğinde ve 5 bloktan oluşmaktadır. 5 cm'lik dilatasyon derzi bırakılarak 16 bağımsız bölmeye ayrılmıştır (Kök 2014).



**Şekil 2.23** Antalya Havalimanı (Kök 2014)

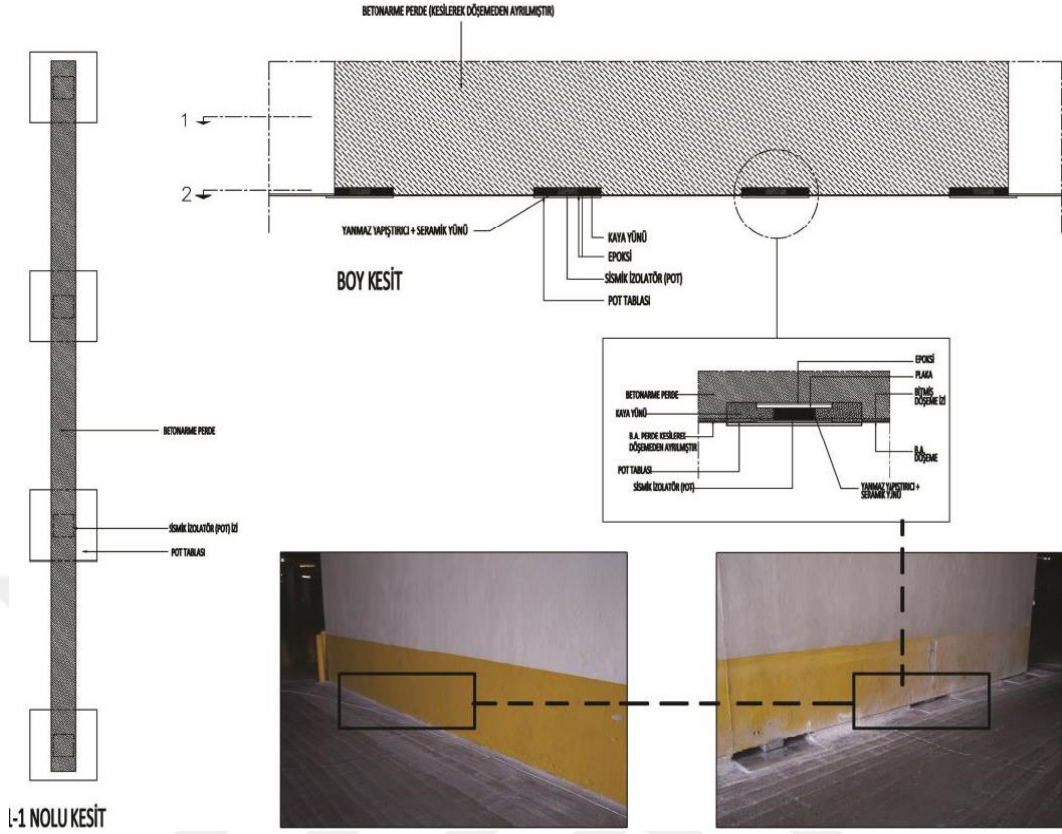
Antalya Havalimanı 1. Dış Hatlar Terminali'nin bulunduğu konum neticesinde 1975 deprem yönetmeliği ve o dönemki deprem haritasına bakıldığında 4. Derece deprem bölgesine girmektedir. Yapının 1996 yılında tasarımı yapılmış ve 1998 yılında inşaatı tamamlanmıştır. İlerleyen yıllarda yeni yönetmeliklere göre performans değerlendirilmesi yapılmış ve yapının güçlendirilmesi gerektiği kanısına varılmıştır.

Yapıda 7 tip 357 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolator kullanılmıştır. FEMA 356 standardına göre üretilmiş ve UBC97 standardına göre Alga-Milano laboratuvarında testleri yapılmıştır. Yapıda bulunan betonarme perde duvarların altına Türkiye'de üretilen kayıcı mesnetler yerleştirilmiştir.

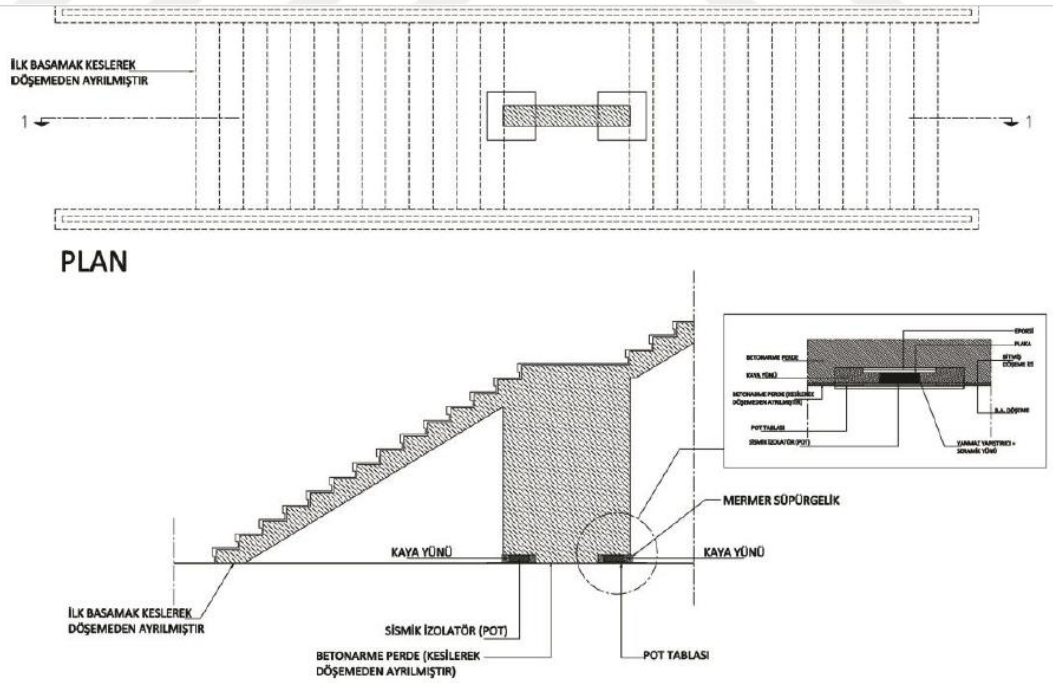
Kolonların yanlarından inen yağmur iniş boruları ve tesisat boruları, deprem anında kırılmamaları için kesilmiş ve izolatorün yerdeğiştirme kapasitesi kadar esneklik sağlayacak malzemeler takılmıştır. Dilatasyon derzleri ile ayrılan bölümler birleştirilmiştir.

Yapının izolator ile güçlendirme işlemi, mimari değişikliklere de sebebiyet vermiştir.. Örneğin merdivenlerin izolator yerdeğiştirmesini engellememesi için düşey bağlantısı kesilmiş. Merdivenin bağlandığı elemanların altına kauçuk izolator eklenmiştir (Kök 2014).





Şekil 2.24 Perde duvarlar altına yerleştirilen kayıcı mesnetler (Kök 2014)



Şekil 2.25 Merdiven ve bağlandığı perde elemanın sismik yalıtımı (Kök 2014)

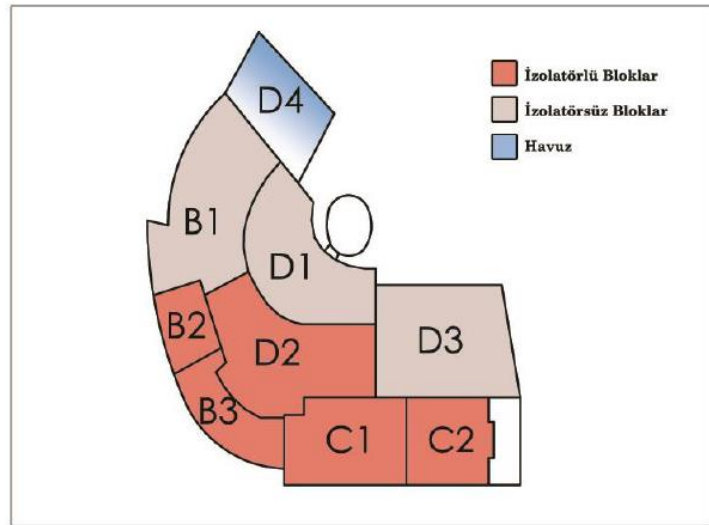
### 2.5.2. Büyük Tarabya Otelı

Büyük Tarabya Otelı 1966 yılında İstanbul’da inşa edilmiştir. 11389 m<sup>2</sup> oturma alanına sahiptir. 14 katlı 2 blok, 12 katlı 2 blok, 4 katlı 4 blok ve havuz bölümü ile beraber toplam 40960 m<sup>2</sup> alana sahiptir (Kök 2014).



Şekil 2.26 Büyük Tarabya oteli (Kök 2014)

Otel 1961 öncesi deprem şartnamesi ve 1949 tarihli deprem tehlikesini gösteren haritaya göre tasarlanmıştır. 2002 yılında yapılan incelemelerde yapının o dönemki şartnameye göre performans analizi yapılmış ve tehlike arz ettiği için kullanıma kapatılmıştır. Yapının yüksek katlı blokları (B2, B3, C1, C2 ve D1) sismik izolasyon ile, az katlı diğer blokları ise (B1, D1 ve D3) geleneksel güçlendirme yöntemi ile güçlendirilmiştir (Kök 2014).



Şekil 2.27 Büyük Tarabya oteli planı (Kök 2014)



Yapıda 139 adet sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler zemin kat kolonlar arasına yerleştirilmiştir. Otelin temeli ve zemin koşullarının kötü olması sebebiyle zemin iyileştirmesi ve temel güçlendirme işlemi de yapılmıştır. İzolatör ile güçlendirme işlemi yapılan bloklarda kolonlar mantolanarak taşıma kapasitesi arttırılmıştır. Deprem derzi bulunan bloklar, sarsıntı sırasında beraber hareket etmeleri için birleştirilmiştir (Kök 2014).



a)



b)

**Şekil 2.28** a) kolon mantolama, b) İzolatör boşluğu bırakılan kolon (Kök 2014)



**Şekil 2.29** İzolatörlerin kolonlara monte edilmiş hali (Kök 2014)

Tarabya Otelin güçlendirme projesinde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depreminde yapının hemen kullanım performans hedefini, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan şiddetli depremde ise can güvenliği performans seviyesini sağlaması hedeflenmiştir (Kök 2014).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde 5 kattan oluşan mevcut bir yapının deprem kuvveti sırasında performansının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen mevcut yapının güçlendirme tasarımı ilkeleri tanımlanmıştır.

Deprem hesabında izlenecek yol aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- 1) Binadan bilgi toplanması
- 2) Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesi
- 3) Sargılı ve sargısız beton modellerinin oluşturulması
- 4) Donatı çeliği modelinin oluşturulması
- 5) Elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasitelerinin belirlenmesi
- 6) Taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasitelerinin belirlenmesi
- 7) Depremde bina performansının belirlenmesi için kullanılacak hesap yönteminin seçilmesi
- 8) Bina deprem performansının belirlenmesi

#### 3.1. Bina Bilgi Düzeyi

Mevcut bina STA4CAD v13.1 (2015) yazılım programı ile Türkiye Deprem Yönetmeliği 1975'e göre analiz edilmiş ve tasarımda minimum donatı oranı kullanılarak donatılandırılmıştır. Bu sebeple malzeme özellikleri ve betonarme detayları mevcuttur. Bu durumda DBYBHY (2007) 7.2.6'ya göre performans analizinde kullanılacak bina bilgi düzeyi "kapsamlı" olarak belirlenmiş ve DBYBHY (2007) 7.2.16'ya göre bilgi düzeyi katsayısı 1,0 alınmıştır.

#### 3.2. Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliği

Modellemede kesit rijitlikleri DBYBHY (2007) 7.14.13'te tanımlanan eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  için verilen aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kirişlerde: } (EI)_e = 0,4 (EI)_o \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} &\text{Kolon ve perdelerde,} \\ N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0,10 \text{ olması durumunda: } (EI)_e &= 0,4 (EI)_o \\ N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0,40 \text{ olması durumunda: } (EI)_e &= 0,8 (EI)_o \end{aligned} \quad (3.2)$$

$N_D$  deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan aksenal kuvvet,  $A_c$  kolon veya perdenin brüt kesit alanı,  $f_{cm}$  mevcut beton dayanımını ifade etmektedir.

### 3.3. Sargılı ve Sargısız Beton Modeli

Eğilme analizi için kullanılan malzeme modeli DBYBHY (2007) Bilgilendirme Eki 7.B'ye göre aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Şekil 3.1).

DBYBHY (2007) 7.6'ya göre beton modeli “ Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile performans değerlendirmesinde, başkaca bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, sargılı ve sargısız beton için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır.

a. Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  $f_c$ , basınç birim şekildeğiştirmesi  $\epsilon_c$ 'nin fonksiyonu olarak aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} \chi^r}{r-1+\chi^r} \quad (3.3)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı  $f_{cc}$  ile sargısız beton dayanımı  $f_{co}$  arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad \lambda_c = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1,254 \quad (3.4)$$

Buradaki  $f_e$  etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması alınabilir:

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad f_{ey} = k_{ey} \rho_y f_{yw} \quad (3.5)$$

Bu bağıntılarda  $f_{yw}$  enine donatının akma dayanımını,  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  ilgili doğrultudaki enine donatıların hacimsel oranlarını,  $k_e$  ise aşağıda tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (3.6)$$

Burada  $a_i$  kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı,  $b_o$  ve  $h_o$  göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını,  $s$  düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı,  $A_s$  ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Denklem 3.3'deki normalize edilmiş beton birim şekildeğiştirmesi  $\chi$  ve  $r$  değişkenine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$\chi = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad \epsilon_{cc} = \epsilon_{co}[1+5(\lambda_c-1)] \quad \epsilon_{co} \approx 0,002 \quad (3.7)$$

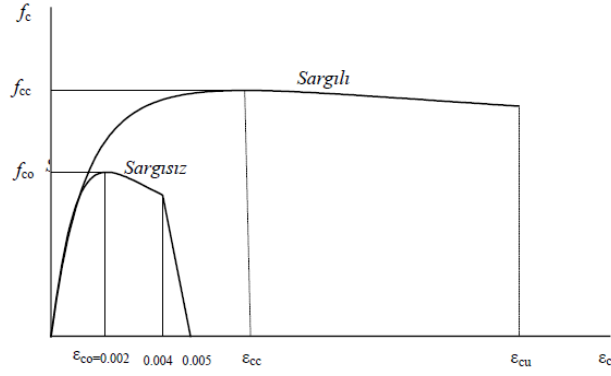
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad E_c \approx 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (3.8)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi  $\epsilon_{cu}$  aşağıda verilmiştir:

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 \rho_s y_w \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.9)$$

Burada  $\rho_s$  toplam enine donatının hacimsel oranını ( dikdörtgen kesitlerde  $\rho_s = \rho_x + \rho_y$  ),  $\epsilon_{su}$  enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesini göstermektedir.

Sargılı beton için verilen Denklem 3.3,  $\epsilon_c = 0,004$ 'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı  $f_e = 0$  ve buna bağlı olarak Denklem 3.4'den  $\lambda_c = 1$  olacağından Denklem 3.7 ve Denklem 3.8'de  $f_{cc} = f_{co}$  ve  $\epsilon_{cc} = \epsilon_{co}$  alınacaktır.  $\epsilon_c = 0,005$ 'de  $f_c = 0$  olarak tanımlanır.  $0,004 < \epsilon_c \leq 0,005$  aralığında gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi doğrusaldır” şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 3.1 Sargılı ve sargısız beton modeli (DBYBHY 2007)

### 3.4. Donatı Çeliği Modeli

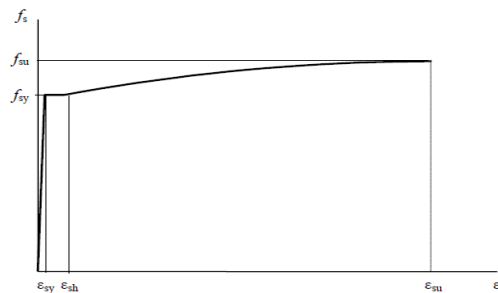
DBYBHY (2007) 7.6'ya göre donatı çeliği modeli “ Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır (Şekil 3.2).

$$\begin{aligned}
 f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
 f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
 f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Donatı çeliğinin elastiklik modülü  $E_s = 2 \cdot 10^5$  MPa'dır. S220 ve S420 kalitesindeki donatı çeliklerine ait diğer bilgiler Çizelge 3.1'den alınabilir” şeklinde ifade edilmektedir.

Çizelge 3.1 Donatı çeliği karakteristik özellikleri

Kalite	$f_{sy}$ (MPa)	$\varepsilon_{sy}$	$\varepsilon_{sh}$	$f_{su}$ (MPa)
S220	220	0,0011	0,011	275
S420	420	0,0021	0,008	550



Şekil 3.2 Donatı çeliği modeli (DBYBHY 2007)

### 3.5. Birim Şekildeğiştirme Sınırları ve Plastik Mafsal Boyu

DBYBHY (2007) 7.6.9.2'ye göre yığılı plastik davranış alıntılanarak aşağıda verilmiştir.

“Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğişmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN}=0,0035 \quad (\epsilon_s)_{MN}=0,010 \quad (3.11)$$

a) “Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğişmesi üst sınırları:”

$$(\epsilon_{cg})_{GV}=0,0035+0,01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,0135 \quad (\epsilon_s)_{GV}=0,040 \quad (3.12)$$

b) “Kesit göçme sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğişmesi üst sınırları:”

$$(\epsilon_{cg})_{GC}=0,004+0,014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,018 \quad (\epsilon_s)_{GV}=0,060 \quad (3.13)$$

“Gözönüne alınan enine donatıların DBYBHY (2007) 3.2.8'e göre “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş olması zorunludur” .

DBYBHY (2007) 7.6.4.1'e göre “plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşittir”. Plastik eğrilikler ( $\Phi_p$ ) ile plastik dönmeler ( $\Theta_p$ ) arasında aşağıdaki ilişki geçerlidir (DBYBHY, 2007).

$$\Phi_p = \Theta_p / L_p \quad (3.14)$$

$\Phi_p$  Plastik eğrilik,  $\Theta_p$  plastik dönme değerini ifade etmektedir.

### 3.6. Kesme Kuvveti Etkisi

Türk Standardı 500 8.1'e göre kesme kuvveti etkisi alıntılanarak aşağıda açıklanmıştır.

“Betonarme yapı elemanlarında eğilme momenti ile birlikte etkiyen kesme kuvvetlerinin oluşturduğu asal çekme gerilmeleri, beton ve uygun kesme donatısı ile karşılanacak, asal basınç gerilmelerinin de gövdede ezilme oluşturmayacak bir düzeyde tutulması sağlanacaktır. Betonarme bir kesitin kesmede çatlama dayanımı, daha kesin hesaba gerek duyulmadığı durumlarda, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir. Bu denklemde  $N_d$  çekmede de basınçta da pozitif alınacaktır”.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right) \quad (3.15)$$

“Denklemde, eksenel basınç durumunda  $\gamma = 0.07$ , eksenel çekme durumunda ise  $\gamma = -0.3$  alınacaktır. Güvenilir bir yöntem kullanılarak ve gövde beton kesit alanı temel alınarak hesaplanan eksenel çekme gerilmesi, 0,5 MPa'dan küçükse,  $\gamma = 0$  alınabilir. Yukarıdaki denklemde  $N_d$  tasarım eksenel kuvveti,  $\gamma$  çatlama dayanımına eksenel kuvvet etkisini yansıtan katsayı,  $A_c$  gövde kesiti beton alanı,  $f_{ctd}$  beton tasarım eksenel çekme dayanımı ile tanımlanmaktadır”.

Kesme güvenliği için aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$\begin{aligned} V_d &\leq V_r \\ V_d &\leq 0,22 f_{cd} b_w d \end{aligned} \quad (3.16)$$

Yukarıdaki denklemde,  $V_d$  tasarım kesme kuvveti,  $V_r$  kesitin kesme dayanımıdır. Yukarıdaki denklemde,  $f_{cd}$  beton tasarım basınç dayanımı,  $b_w$  eleman gövde genişliği ve  $d$  ise daydalı yüksekliği tanımlamaktadır. Kesitin kesme dayanımı, beton katkısı ( $V_c$ ) ve kesme donatısı katkısının ( $V_w$ ) toplanması ile elde edilir (TS 500 2000).

$$V_r = V_c + V_w \quad (3.17)$$

Genel olarak, beton katkısı Denklem 3.18'den hesaplanır.

$$V_c = 0,8 V_{cr} \quad (3.18)$$

Kesme donatısı katkısı Denklem 3.19'dan hesaplanır.

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad (3.19)$$

Yukarıdaki denklemde,  $A_{sw}$  kesme donatısı toplam kesit alanını,  $s$  etriye aralığı,  $f_{ywd}$  enine donatı tasarım akma kuvvetini ve  $d$  ise faydalı yüksekliği tanımlamaktadır.

Kirişlerde kesmede çatlama dayanımı Denklem 3.20'ye göre hesaplanacaktır (TS 500 2000).

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d \quad (3.20)$$

Perde kesitlerinde kesme dayanımı,  $V_r$  denklem 3.21 ile hesaplanacaktır.

$$V_r = A_{ch} (0,65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad (3.21)$$

Yukarıdaki denklemde,  $A_{ch}$  boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının brüt en kesit alanı,  $\rho_{sh}$  perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranını tanımlamaktadır.

Perde kesitleri için  $V_e$  tasarım kesme kuvveti aşağıdaki koşulları sağlamalıdır (DBYBHY 2007).

$$\begin{aligned} V_e &\leq V_r \\ V_e &\leq 0,22 A_{ch} f_{cd} \end{aligned} \quad (3.22)$$

### 3.7. Depremde Bina Performansının Belirlenmesi İçin Kullanılacak Yöntemler

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır (DBYBHY 2007).

DBYBHY (2007) kapsamında yer alan doğrusal olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. Bu yöntemlerin tanımları DBYBHY (2007)'den alıntılanarak aşağıda verilmiştir.



### 3.7.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

“Birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait kümülatif değerler ve son adımda deprem istemine karşılık gelen maksimum değerler hesaplanır. Bu yöntem uygulanabilmesi için binada toplam kat adedi 8’i aşmamalı, burulma düzensizliği katsayısı ( $\eta_{bi}$ ), 1,4’den küçük olmalı ve deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait kütle oranı 0,70’den büyük olmalıdır.”

### 3.7.2. Artımsal mod birleştirme yöntemi

“Yukarıda anlatılan artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin aksine artımsal mod birleştirme yönteminin uygulama alanları çok daha geniştir. Artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi’nde, taşıyıcı sistem deprem davranışının sadece birinci (deprem doğrultusunda hakim) doğal titreşim modundaki davranıştan ibaret olduğu varsayılır. Bu nedenle yöntemin uygulama alanı, çok katlı olmayan ve deprem doğrultusuna göre planda simetrik veya simetriğe yakın olan binalarla sınırlıdır. Bu koşullara uymayan binalarda uygulanmak üzere birden fazla titreşim modunun gözönüne alındığı çok sayıya itme analizi yöntemi önerilmiş ise de, bu yöntemlerin büyük bölümü taşıyıcı sistemin global dayanım ve deformasyon kapasitelerinin belirlenmesi ile yetinmektedir. Tanımlanan belirli bir depremin etkisi altında performans değerlendirmesi için gerekli olan istem büyüklüklerini elde etmeyi amaçlayan yöntemlerin sayısı çok sınırlıdır.”

“Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi’nde her bir plastik kesitin oluşumunda tüm modların katkıları gözönüne alınabilmekte; plastik dönmeler ile iç kuvvet istemleri, itme analizi dışında ek analizlere gerek kalmaksızın doğrudan elde edilmektedir.”

“Artımsal mod birleştirme ile itme analizi’nde, ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında adım adım doğrusal elastik davranış esas alınır. Modal ölçeklendirme ile monotonik olarak arttırılan modal yerdeğiştirmeler gözönüne alınarak, her adımda mod birleştirme kurallarının uygulandığı bir doğrusal davranış spektrum analizi gerçekleştirilir. Bu analizin sonuçlarından yararlanılarak, adım sonunda sistemde

oluşan elastik kesit belirlenir; yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme, iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.”

### 3.7.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

“Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi’nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Böylece, kabul edilen deprem hareketi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemi sayısal olarak çözümlenerek, doğrusal davranışta olduğu gibi, sistemin bütün elastik ve plastik şekildeğiştirmeleri, yerdeğiştirmeleri ve kesit iç etkileri zamana bağlı olarak bulunur. Sistemdeki plastik mafsallarda dönmesi ve beton ile donatının birim uzama / kısalma talepleri belirlenir. Çözümün en kapsamlı olduğu bu yöntemde, kabullerin çok sayıda olması sonuçların yorumlanmasında özenli olmayı gerektirir” (DBYBHY 2007).

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi’nin uygulamak için uygun yer ivmesi kayıtlarının seçilmesi gerekmektedir. Uygun yer ivmesi kayıtlarını seçebilmek için yapının bulunduğu konum ve zemin şartlarına göre tasarım spektrumunu oluşturmalıdır.

### 3.8. Tasarım Spektrumu

DBYBHY (2007) 2.4’e göre deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan *Spektral İvme Katsayısı*,  $A(T)$ , Denklem 3.23 ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan *Elastik İvme Spektrumu* ‘nun ordinatı olan *Elastik Spektral İvme*,  $S_{ae}(T)$ , *Spektral İvme Katsayısı* ile yerçekimi ivmesi  $g$ ’nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$\begin{aligned} A(T) &= A_0 I S(T) \\ S_{ae}(T) &= A(T) g \end{aligned} \quad (3.23)$$

Denklem 3.23’de yer alan *Etkin Yer İvmesi Katsayısı*,  $A_0$ , Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

**Çizelge 3.2** Etkin Yer İvmesi Katsayısı,  $A_0$

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Denklem 3.23’de yer alan *Bina Önem Katsayısı*, I, Çizelge 3.3’de tanımlanmıştır.

**Çizelge 3.3** Bina Önem Katsayısı, I

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<b>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</b> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
<b>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</b> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1,4
<b>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</b> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
<b>4. Diğer binalar</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1,0

Denklem 3.23’de yer alan *Spektrum Katsayısı*,  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ ’ye bağlı olarak Denklem 3.24 ile hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1,5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S(T) &= 2,5 & (T_A < T \leq T_B) \\ S(T) &= 2,5 \left(\frac{T}{T_A}\right)^{0,8} & (T_B < T) \end{aligned} \quad (3.24)$$

Denklem 3.24'deki *Spektrum karakteristik periyotları*,  $T_A$  ve  $T_B$ , DBYBHY (2007) Bölüm 6'da Tablo 6.2 ile tanımlanan yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 3.4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Spektrum karakteristik periyotları,  $T_A$  ve  $T_B$

<b>Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı</b>	<b><math>T_A</math> (saniye)</b>	<b><math>T_B</math> (saniye)</b>
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

### **3.9. Yer Hareketi İvmesinin Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi**

DBYBHY (2007) 2.9.2'ye göre “Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde gözönüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar aşağıda verilen koşulları sağlamalıdır.

- (a)- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- (b)- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_{0g}$ 'den daha küçük olmayacaktır.
- (c)- Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod  $T_1$ 'e göre  $0,2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyodlar için DBYBHY (2007) 2.4'te tanımlanan  $S_{ae}(T)$  elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri DBYBHY (2007) Denk.(2.13) ile hesaplanacaktır” ifadeleri ile açıklanmaktadır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan

hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır (DBYBHY 2007).

Ölçekleme işlemi yapılırken tek bir deprem kaydı için genel yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem, “en küçük kareler tekniği kullanılarak, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır” (Fahjan, 2006). Ölçekleme işlemi için aşağıda verilen formüller ve adımlar kullanılmıştır.

$$| \text{Fark} | = \int_{T_A}^{T_B} [\alpha S_a^{\text{gerçek}}(T) - S_a^{\text{hedef}}(T)]^2 dT \quad (3.25)$$

Burada;

$S_a^{\text{hedef}}$  : Hedef ivme davranış spektrumu

$S_a^{\text{gerçek}}$  : Kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu

$\alpha$  : Doğrusal ölçekleme katsayısı

$T$  : Salınımın periyodu

$T_A$  : Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı

$T_B$  : Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı

Fark miktarının küçülmesi için “Fark” fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır:

$$\min | \text{Fark} | \Rightarrow \frac{d | \text{Fark} |}{d\alpha} = 0 \quad (3.26)$$

Denklem 3.25’deki “Fark” fonksiyonunun  $d\alpha$ ’ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir. Denklem 3.25’deki integraller ayrık forma çevrilerek  $T_A$ ’dan  $\Delta T$  artımlarla  $T_B$ ’ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülür. Buradaki  $\Delta T$  periyot adım miktarıdır. Böylece, Denklem 3.27 elde edilir:

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T) S_a^{\text{hedef}}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T))^2} \quad (3.27)$$

Bu çalışmada kullanılan ivme kayıtlarının ölçekleme işlemi aşağıdaki maddelere göre yapılmıştır.

1. PEER veri bankasında bulunan kayıtlar büyüklük, faylanma mekanizması ve zemin koşulları gibi özelliklere göre listelenmiştir.
2. Seismosignal (2018 ) yazılım programı ile ivme kayıtlarının her bir bileşeni için ivme spektrumları oluşturulmuştur.
3. Bölüm 3.7.3.1'e göre tasarım spektrumu oluşturulmuş ve ivme kayıtlarının spektrumu ile birlikte Denklem 3.27'ye göre ölçekleme katsayısı ( $\alpha$ ) hesaplanmıştır.
4. Ölçekleme katsayıları  $\alpha$ , 20'den büyük ve 1/20'den küçük olan kayıtlar elenmiştir.
5. İvme kayıtlarının spektrumları ölçekleme katsayısı ile çarpılmış ve tasarım spektrumu ile örtüştürülmüştür. Bu kayıtların DBYBHY (2007) 2.9.1(a), 2.9.1(b), 2.9.1(c)'de verilen şartları sağlamayan kayıtlar elenmiştir.
6. Her bir kayıt için tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş kayda ait ivme spektrumunun genlikleri arasındaki farklar,  $T_A=0,01$  saniye ile  $T_B=4$  saniye periyot aralığında, Denklem 3.28'de verilen "Toplam Göreceli Hata" formülü hesaplanmıştır:

$$| \text{Toplam Göreceli Hata} | = \sum_{T=T_A}^{T_B} \left| \frac{(\alpha S_a^{\text{gerçek}}(T) - S_a^{\text{hedef}}(T))}{S_a^{\text{hedef}}(T)} \right| \quad (3.28)$$

7. Bulunan "Toplam Göreceli Hata" Denklem 3.29'da yerine yerleştirilerek hata miktarı yüzde olarak bulunmuştur:

$$| \text{Oransal Göreceli Hata (\%)} | = \frac{1}{k} | \text{Toplam Göreceli Hata} | \times 100 \quad (3.29)$$

Burada;

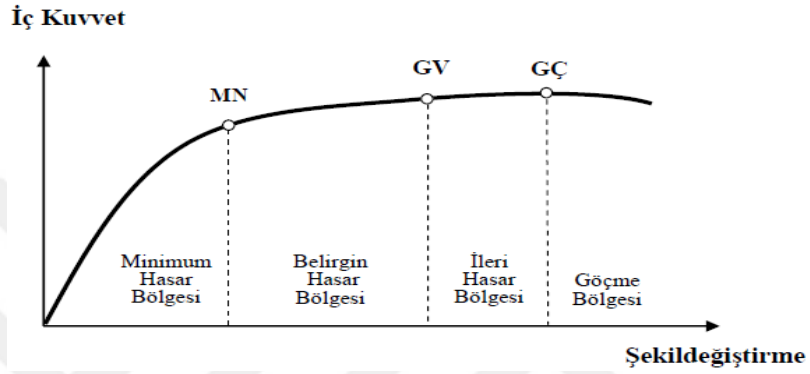
k kaydın ivme spektrumu çizdirilirken kullanılan periyot adım ( $\Delta T$ ) sayısıdır.

$$k = \frac{(T_B - T_A)}{\Delta T} \quad (3.30)$$

8. Kayıtların ölçekleme katsayıları ( $\alpha$ ) ve "Oransal Göreceli Hata (%)" en küçük olan ilk 10 kayıt alınmış ve bunlardan tasarım spektrumuyla en iyi eşleşen 3 kayıt seçilmiştir (Fahjan 2006).

### 3.10. Kesit Hasar Bölgeleri

DBYBHY (2007) 7.3.2'ye göre kesit hasar bölgeleri “Kritik kesitlerin hasarı MN’ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar” şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Kesit hasar bölgeleri (DBYBHY 2007)

### 3.11. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Bina deprem performanslarına ait tanımlar DBYBHY (2007)’den alıntılanarak aşağıda verilmiştir.

“1) Hemen Kullanım Performans Düzeyi: Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesaplar sonucunda kirişlerin en fazla %10’u Belirgin Hasar Bölgesi’ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi’ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir.”

“2) Can Güvenliği Performans Düzeyi: Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmesi kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir:

a) Herhangi Bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil ( yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak

üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıda (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.

b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetli toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden DBYBHY 2007 Denk.(3.3)'ün sağladığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).”

“3) Göçme Öncesi Performans Düzeyi: Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sistemlerde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.

b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden DBYBHY 2007 Denk. (3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.”

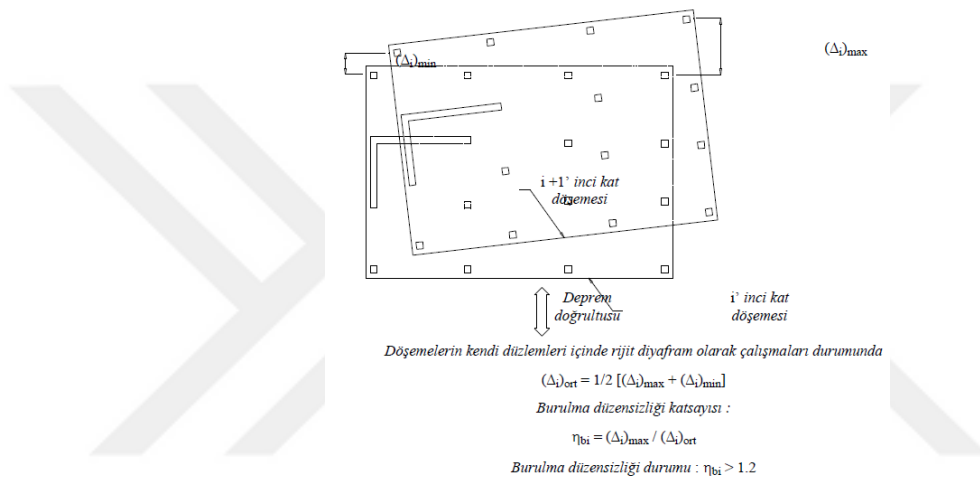
“4) Göçme Durumu: Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.”



### 3.12. A1 Burulma Düzensizliği

DBYBHY (2007)'ye göre burulma düzensizliği “Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{bi}$ 'nin 1,2'den büyük olması durumudur” şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 3.4) (DBYBHY 2007).

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} > 1,2 \quad (3.31)$$



Şekil 3.4 A1 Burulma düzensizliği (DBYBHY 2007).

### 3.13. Görel Kat Ötelenmesi

Görel kat ötelenmesi DBYBHY (2007)'den alıntılanarak aşağıda açıklanmıştır.

“Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görel kat ötelenmesi,  $\Delta_i$  Denklem 3.32 ile elde edilecektir”.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.32)$$

“Denklem 3.32’de  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , her bir deprem doğrultusu için binanın  $i$ 'inci ve  $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir”.

“Her bir deprem doğrultusu için, binanın  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görel kat ötelenmesi,  $\delta_i$ , Denklem 3.33 ile elde edilecektir”.

$$\delta_{i,} = R * \Delta_i \quad (3.33)$$

“Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i’inci katındaki kolon veya perdelerde, Denklem 3.33 ile hesaplanan  $\delta_i$  etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri  $(\delta_i)_{max}$ , Denklem 3.34’de verilen koşulu sağlayacaktır” (DBYBHY 2007).

$$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i} \leq \frac{0,02}{R} \quad (3.34)$$

### 3.14. Kenetlenme Boyu

Kenetlenme boyunun genel anlamı, bu boydan daha kısa boyda bırakılırsa, donatı sınırlanarak çıkar, daha uzun bir boyda bırakılırsa, fazladan donatı kullanılacak ve ekonomik olmayacaktır.

TS 500’e göre, donatı konumuyla ilgili Konum II de bulunan donatılar;

- Eğimi yatayla  $45^0 - 90^0$  arasında olan donatılar
- Kesit yüksekliğinin alt yarısında bulunan donatılar
- Beton üst yüzünden itibaren 300 mm’den daha uzakta olan donatılar olarak verilmektedir.

Konum I olarak ise Konum II de bulunmayan tüm donatıların konumları belirtilmektedir (Doğangün 2013).

**Çizelge 3.5** Kenetlenme boyu

	Nervürlü Donatı			
	$\emptyset < 32 \text{ mm}$		$\emptyset \geq 32 \text{ mm}$	
	Düz	Kancalı	Düz	Kancalı
Konum I	$1,4 * \ell_b$	$1,05 * \ell_b$	$\frac{140}{132 - \emptyset} \ell_b$	$\frac{105}{132 - \emptyset} \ell_b$
Konum II	$1,0 * \ell_b$	$0,75 * \ell_b$	$\frac{100}{132 - \emptyset} \ell_b$	$\frac{75}{132 - \emptyset} \ell_b$

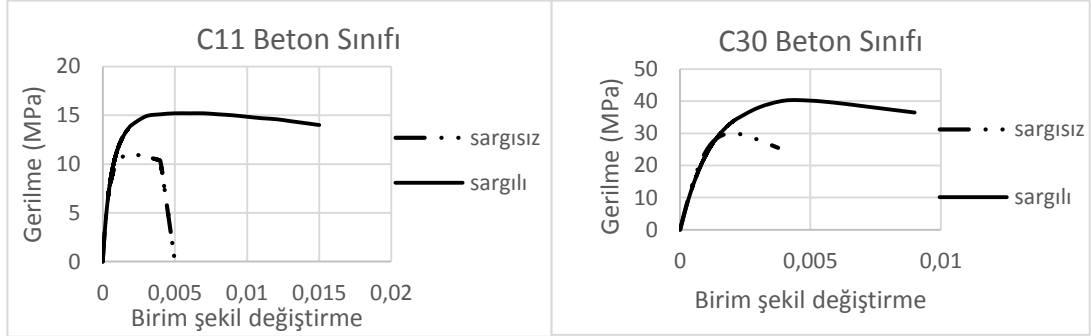
$$\ell_b \geq (0,12 * \frac{f_{yd}}{f_{cta}} \emptyset) \quad (3.35)$$

$$\ell_b \geq 20\emptyset$$

### 3.15. Yapılara ait malzeme modelinin oluşturulması

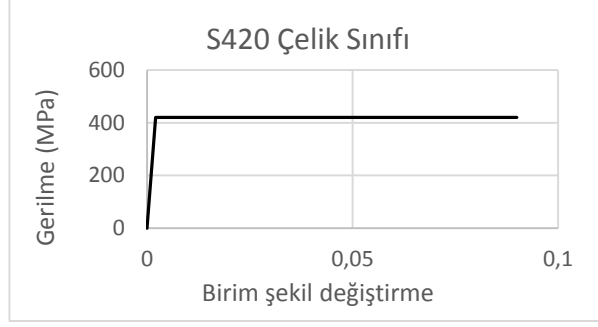
Bölüm 3.3 ve 3.4’de bahsedilen denklemlerden faydalanarak mevcut yapı, geleneksel ve yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapılara ait malzeme modelleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Hesap sonucu;

- C11 beton sınıfı için sargısız beton, ezilme birim kısalması  $\epsilon_c=0,004$ , dağılma birim kısalması  $\epsilon_c=0,005$ , maksimum gerilmeye karşılık gelen beton birim kısalması  $\epsilon_{co}=0,002$ , beton dayanımı  $f_{co}=11$  MPa alınmıştır. Sargılı beton, maksimum gerilmeye karşılık gelen beton birim kısalması  $\epsilon_{cc}=0,00594$  maksimum birim şekil değiştirmesi  $\epsilon_{cu}=0,0154$  ve beton dayanımı  $f_{cc}=15,29$  MPa alınmıştır (Şekil 3.5).
- C30 beton sınıfı için sargısız beton, ezilme birim kısalması  $\epsilon_c=0,004$ , dağılma birim kısalması  $\epsilon_c=0,005$ , maksimum gerilmeye karşılık gelen beton birim kısalması  $\epsilon_{co}=0,002$ , beton dayanımı  $f_{co}=30$  MPa alınmıştır. Sargılı beton, maksimum gerilmeye karşılık gelen beton birim kısalması  $\epsilon_{cc}=0,00357$  maksimum birim şekil değiştirmesi  $\epsilon_{cu}=0,009$  ve beton dayanımı  $f_{cc}=40,02$  MPa alınmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Sargısız ve sargılı beton modeli

- Çelikte pekleşme başlangıcındaki birim uzama  $\epsilon_{sh}=0,008$ , kopma birim uzaması  $\epsilon_{su}=0,09$  çelik akma dayanımı  $f_{sy}=420$  MPa, pekleşme olmadığı varsayılarak çelik kopma dayanımı  $f_{su}=420$  MPa alınmıştır (Şekil 3.6).



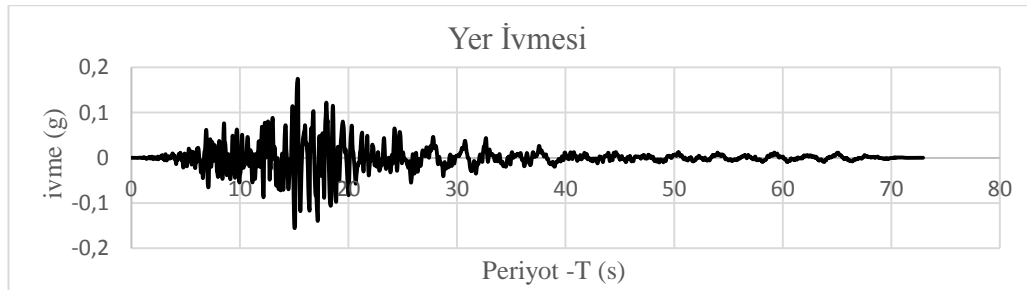
**Şekil 3.6** Donatı çeliği modeli

### 3.16. Analizlerde Kullanılacak Yer Hareketi İvmelerinin Seçilmesi

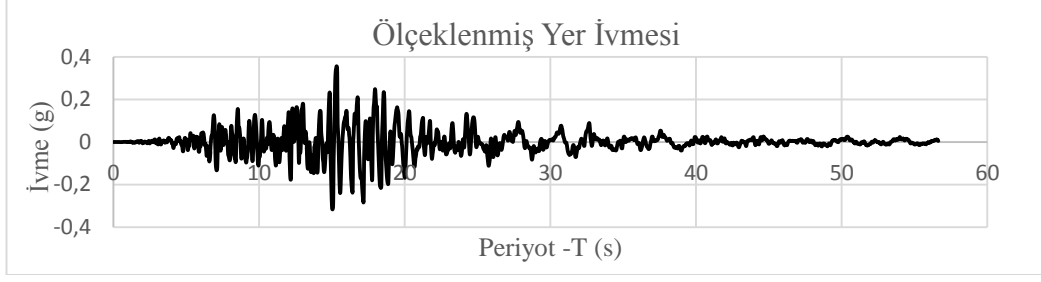
Mevcut yapı, geleneksel ve yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıların analizinde kullanılmak üzere, Bölüm 3.7.3’de değinilen kurallar çerçevesinde üç adet deprem ivme kaydı bulunmuştur. Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER 2006) veri bankasından bulunan ivme kayıtları Çizelge 3.6’da verilmiştir. Deprem ivme kayıtlarının ölçeklendirme işlemi, Bölüm 3.9’da anlatıldığı şekilde uygulanmıştır.

**Çizelge 3.6** Analizde kullanılan deprem ivme kayıtları

Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Büyükölçüm	Ölçekleme katsayısı ( $\alpha_{AT}$ )
RSN577	Taiwan (45)	14.11.1986	30 Smart1 O01	45O01EW	7,3	2,64
RSN740	Loma Prieta	18.10.1990	Anderson Dam (L Abut)	ADL340	6,93	5,82
RSN1000	Northridge	17.01.1994	LA Pico & Sentous	PIC90	6,69	4,54

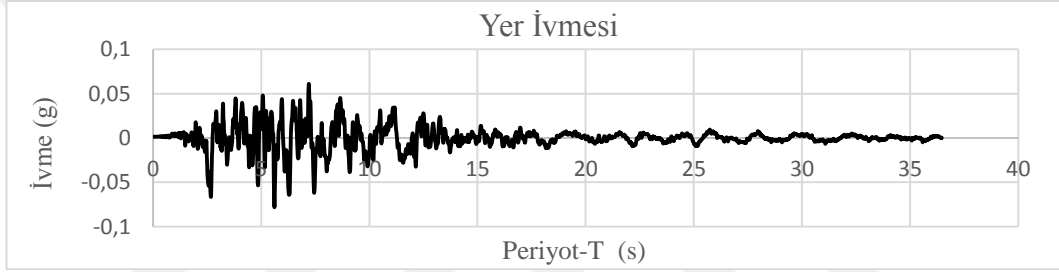


**Şekil 3.7** RSN577 (Taiwan -1986) yer ivmesi kaydı

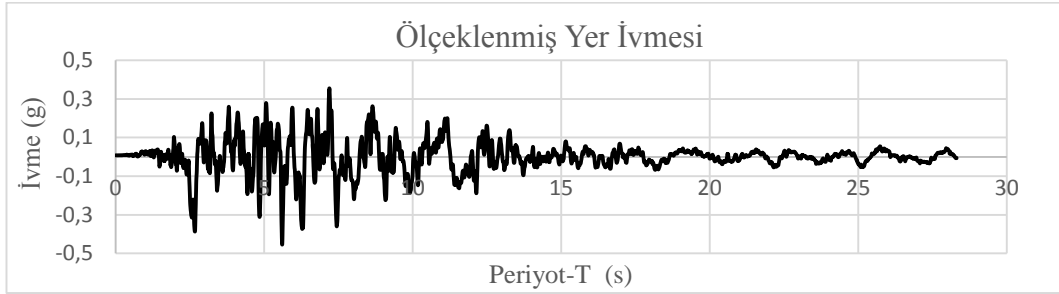


**Şekil 3.8** RSN577 (Taiwan -1986) ölçeklenmiş yer ivmesi kaydı

RSN577 (Taiwan -1986) ivme kaydındaki maksimum pik ivme 0,119g, minimum pik ivme ise -0,125g' dir (Şekil 3.7). Ölçekleme işlemi ardından maksimum pik ivme 0,313g, minimum pik ivme ise -0,331g'ye yükselmiştir (Şekil 3.8).

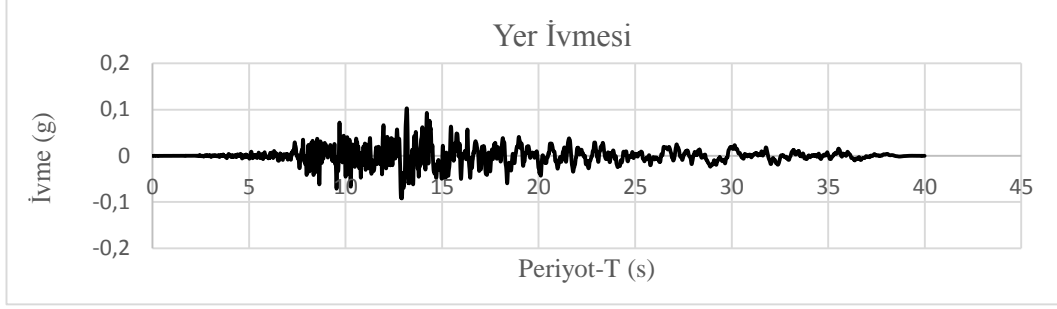


**Şekil 3.9** RSN740 (Loma Prieta – 1990) yer ivmesi kaydı

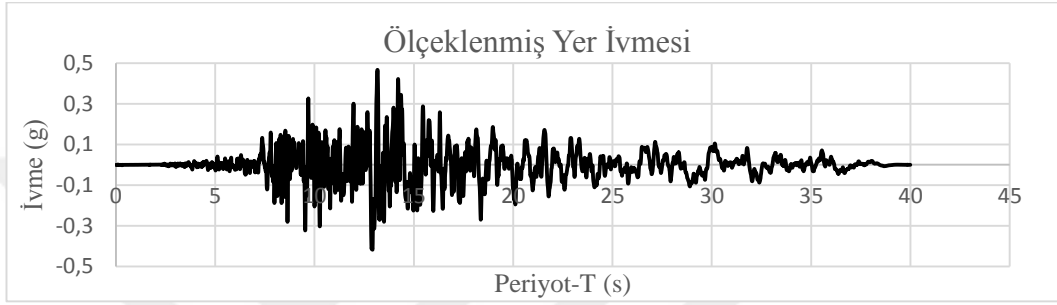


**Şekil 3.10** RSN740 (Loma Prieta – 1990) ölçeklenmiş yer ivmesi kaydı

RSN740 (Loma Prieta – 1990) ivme kaydında ki maksimum pik ivme 0,061g, minimum pik ivme ise -0,078g' dir (Şekil 3.9). Ölçekleme işlemi ardından maksimum pik ivme 0,355g, minimum pik ivme ise -0,454g'ye yükselmiştir (Şekil 3.10).

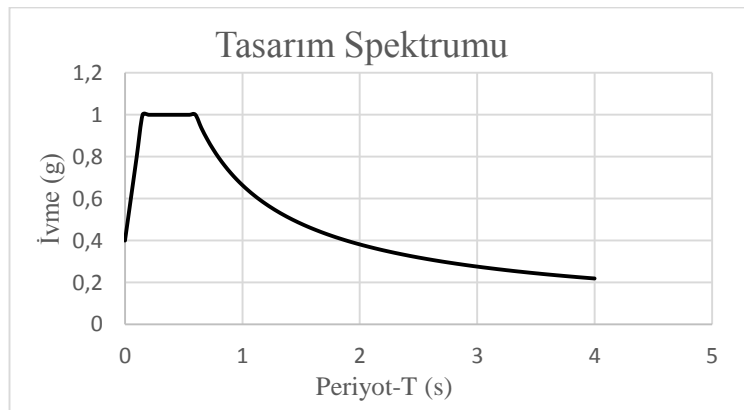


**Şekil 3.11** RSN1000 (Northridge – 1994) yer ivmesi kaydı



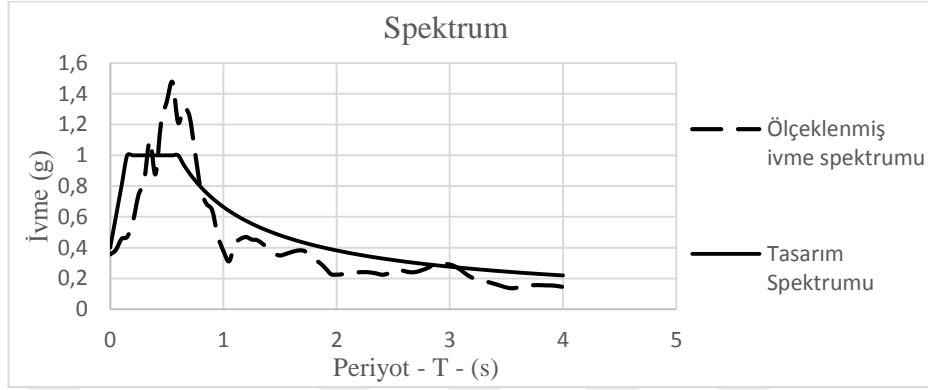
**Şekil 3.12** RSN1000 (Northridge – 1994) ölçeklenmiş yer ivmesi kaydı

RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kaydında ki maksimum pik ivme 0,103g, minimum pik ivme ise -0,092g' dir (Şekil 3.11). Ölçekleme işlemi ardından maksimum pik ivme 0,468g, minimum pik ivme ise -0,418g'ye yükselmiştir (Şekil 3.12). Şekil 3.15 ile 3.17 arasındaki grafiklerde ölçekleme katsayısı ile çarpılan ivme kayıtlarının spektruma dönüştürülmüş şekli ve tasarım spektrumu ile ilişkisi sunulmuştur.

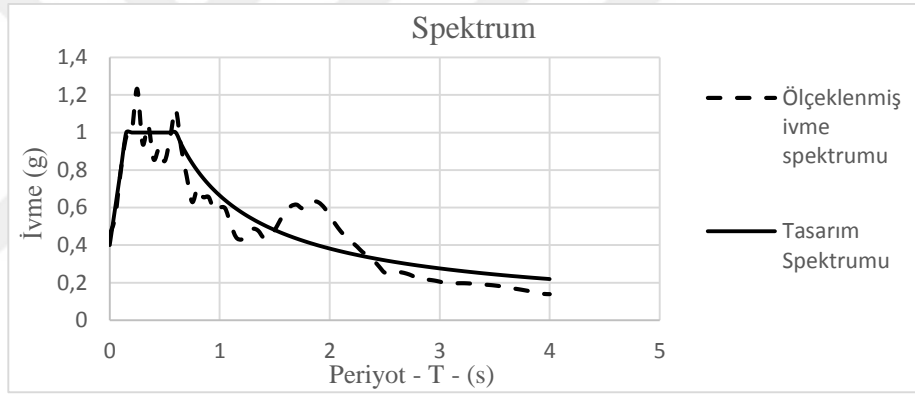


**Şekil 3.13** Tasarım ivme spektrumu

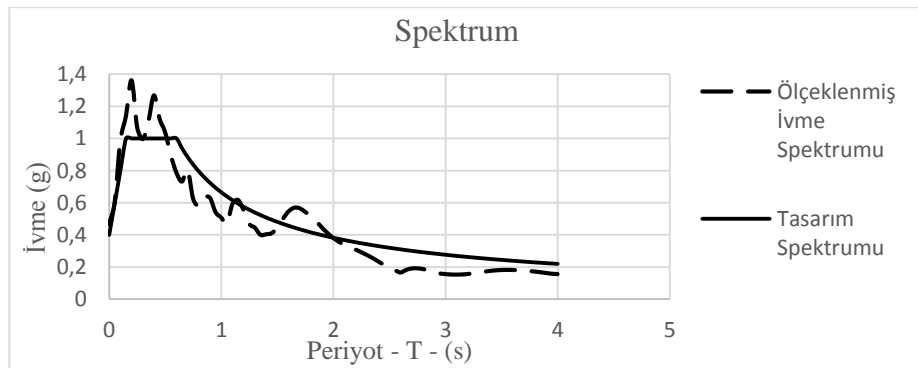
Mevcut yapının zemin sınıfı Z3 ve bina önem katsayısı (I) 1.0'dır. Bu bilgiler dâhilinde Denklem 3.23 ve 3.24'den faydalanarak yapılan hesap sonucu tasarım spektrumu Şekil 3.13'te verilmiştir.



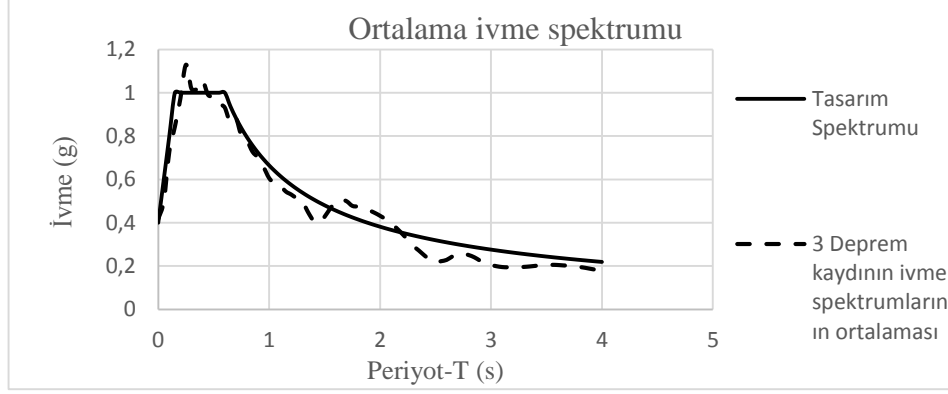
Şekil 3.14 RSN577 (Taiwan -1986) kaydı ivme spektrumu ve tasarım spektrumu



Şekil 3.15 RSN740 (Loma Prieta - 1990) kaydı ivme spektrumu ve tasarım spektrumu



Şekil 3.16 RSN1000 (Northridge - 1994) kaydı ivme spektrumu ve tasarım spektrumu



Şekil 3.17 Tasarım spektrumu ve 3 deprem kaydının ortalama ivme spektrumları

### 3.17. İzolatör Tasarımı

Aşağıda izolatörlerin tasarımı için esas alınan formüller verilmiştir.

- Maksimum tasarım deplasmanı Denklem 3.36' da verilmiştir.

$$D_M = \frac{g}{4\pi^2} * \frac{S_{M1} T_M}{B_M} \quad (3.36)$$

Burada;

$S_{M1}$ : Maksimum depremin %5 sönümlü elastik spektrumda  $T=1$  s için spektral ivme değeri

$T_M$ : Maksimum deprem düzeyinde efektif periyot

$B_M$ : Maksimum deprem düzeyi için efektif sönüm oranına bağlı olan spektrum azaltma katsayısıdır.

$$B_M = \frac{1}{0,25(1-\ln\beta_{eff})} \quad (3.37)$$

$$\eta = \frac{1}{B_M}$$

- Efektif sönüm oranı Denklem 3.38'de verilmiştir.

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} * \frac{\mu}{\mu + (\frac{D_M}{R})} \quad (3.38)$$

- Maksimum deprem düzeyi için efektif periyot Denklem 3.39' da verilmiştir.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_M g}} \quad (3.39)$$



Burada;

$K_M$ : Maksimum deprem düzeyi için efektif rijitlik

$W$ : İzolatör üzerine gelen ağırlığıdır.

- Maksimum deprem düzeyi için efektif rijitlik Denklem 3.40' da verilmiştir.

$$K_M = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D_M} \quad (3.40)$$

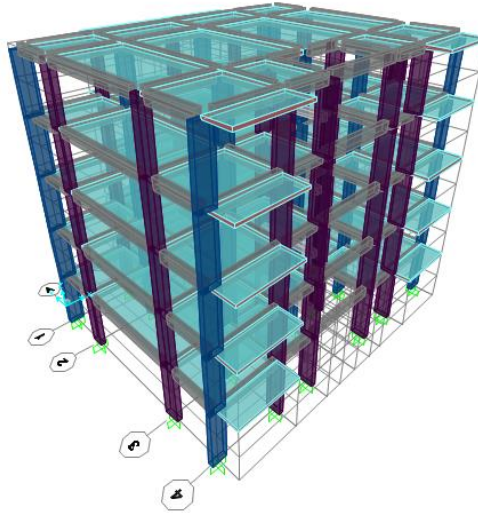
- Tasarım kuvveti ve etkin akma dayanımı Denklem 4.41 ve 4.42'de verilmiştir (ASCE 7-10 2010).

$$V_b = k_M * D_M \quad (3.41)$$

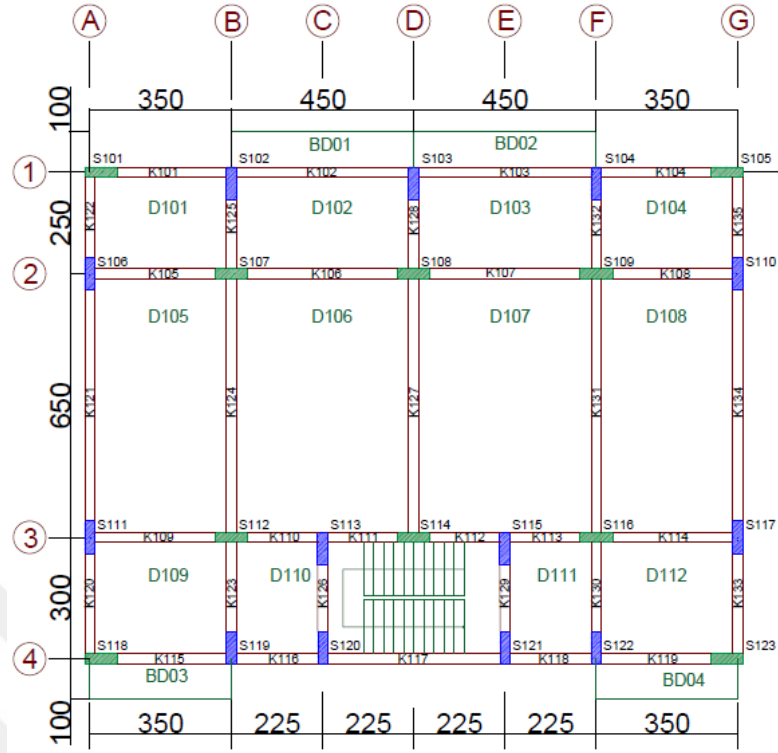
$$F_y = \mu * W \quad (3.42)$$

### 3.18. Mevcut Yapının Modellenmesi

Mevcut yapıya ait 3 boyutlu görünümü ve 1.kat planı sırasıyla Şekil 3.18 ve 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.18 Mevcut yapı 3 boyutlu görünümü



Şekil 3.19 Mevcut yapı 1. kat planı (ölçüler cm birimindedir.)

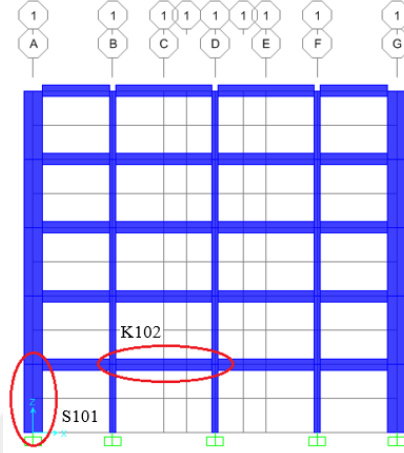
Mevcut yapıya ait bilgiler Çizelge 3.7'de sunulmuştur.

Çizelge 3.7 Mevcut yapıya ait bilgiler

Kolon Boyutları	25x80 cm ve 80x25 cm
Kiriş Boyutları	25x50 cm
Perde Boyutları	Mevcut değil
Döşeme Kalınlığı	15 cm
Beton Sınıfı	C11 ( $f_{cm}=11$ MPa)
Donatı Çeliği	S420 ( $f_{ym}=420$ MPa)
Beton Elastisite Modülü, [ $E_c$ ]	24750 MPa
Donatı Çeliği Elastisite Modülü, [ $E_s$ ]	200000 MPa
Deprem Bölgesi	1. Derece
Bina Önem Katsayısı, [I], (konut)	1
Yerel Zemin Sınıfı	Z3
Kat Yüksekliği	3 m
Kat Adedi	5
Ölü Yük (G)	1,0 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) odalar	2,0 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) merdiven	3,5 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) balkon	5,0 kN/m <sup>2</sup>

### 3.18.1. Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğinin tanımlanması

Şekil 3.20’de 1-1 aksı verilmiştir. 1-1 aksı üzerinde örnek olarak seçilen S101 kolonu ve K102 kirişi için etkin eğilme rijitliği hesaplanmıştır.



Şekil 3.20 1-1 aksı üzerinde seçilen S101 kolonu ve K102 kirişi

K102 kirişi için Denklem 3.1’e göre çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği  $0,4 (EI)_o$ ’dır. S101 kolonu için DBYBHY (2007) 2.6’ya göre  $G+0,3Q$  düşey yük birleşimi ile SAP2000 v20.0 (2018) yazılım programında hesaplanan düşey yük ( $N_D$ ) = 277202 N’dur. Kolon boyutu 250x800 mm’dir.  $A_c=(250*800)=200000 \text{ mm}^2$ ’dir. Mevcut beton dayanımı ( $f_{cm}$ )=11 N/mm<sup>2</sup>’dir.

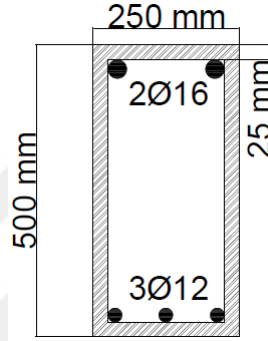
Denklem 3.2’ye göre  $N_D / (A_c f_{cm})$  oranı  $277202 / (200000*11)=0,12$  bulunmuştur. Bu değer 0,1’den büyük ve 0,4’den küçük olduğu için ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılmış ve enterpolasyon sonucu 0,44 bulunmuştur. Tüm kolonlara aynı işlemler uygulanmış ve katlara göre alınan ortalama etkin eğilme rijitlikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Mevcut yapı kolon ortalama etkin eğilme rijitlikleri

Katlar	$(EI)_o$
1	0,62
2	0,54
3	0,47
4	0,41
5	0,4

### 3.18.2. Kiriş için birim şekildeğiştirme örnek hesabı

Şekil 3.21’de gösterilen K102 kirişi sol mesnet ucu için örnek bir hesap yapılmıştır. Xtract v3.0.8 (2004) yazılım programı ile Şekil 3.5 ve 3.6’da hesaplanan malzeme modelleri kullanılarak bir eksenli eğilme analizi yapılmıştır. Mevcut yapıdaki tüm kirişler 50 cm yüksekliğe sahiptir. Bölüm 3.5’de değinildiği gibi  $L_p$  boyu  $0,5 / 2=0,25$  m olarak alınmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Kesit 3

Örnek olarak Şekil 3.21’de verilen kiriş kesitine ait moment-eğrilik analizi sonucu Çizelge 3.9’da verilen hasar sınır değerleri bulunmuştur. Çizelge 3.10’da aynı kesite ait pozitif ve negatif akma momentleri verilmiştir.

Çizelge 3.9 Kesit 3’e ait plastik eğrilik ve dönme sınırları

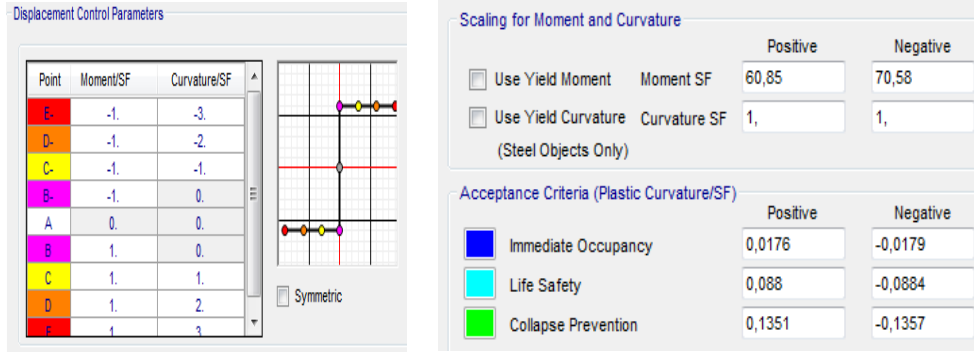
KESİT 3	Pozitif Plastik Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	Pozitif Plastik Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)	Negatif Plastik Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	Negatif Plastik Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)
MN	0,0176	0,0044	-0,0179	-0,0045
GV	0,0880	0,0220	-0,0884	-0,0221
GÇ	0,135	0,0338	-0,136	-0,0339

MN: Kesit minimum hasar sınırı, GV: Kesit güvenlik sınırı, GÇ: Kesit göçme sınırı

Çizelge 3.10 Kesit 3’e ait akma momentleri

Pozitif Akma Momenti	60,85 kNm
Negatif Akma Momenti	70,58 kNm

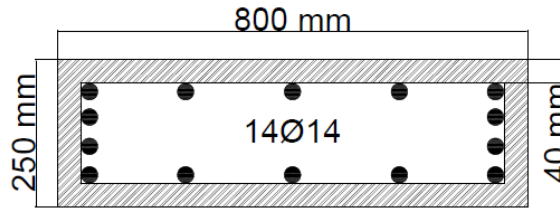
Çizelge 3.9 ve 3.10’da bulunan değerlerin SAP2000 (2018) programına tanımlama işlemi Şekil 3.22 de verilmiştir..



Şekil 3.22 Kesit 3 plastik mafsal tanımı

### 3.18.3. Kolon için birim şekildeğiştirme örnek hesabı

Şekil 3.23’de gösterilen S101 kolonu için örnek bir hesap yapılmıştır. Xtract v3.0.8 (2004) yazılım programı ile şekil 3.5 ve 3.6’da hesaplanan malzeme modelleri kullanılarak iki eksenli eğilme analizi yapıldı. Plastik mafsal boyu ( $L_p$ ),  $M_x$  moment yönünde kesit yüksekliği(h) 25 cm olduğundan 12,5 cm,  $M_y$  moment yönün de kesit yüksekliği(h) 80 cm olduğundan 40 cm alınmıştır. Örnek olarak Şekil 3.23’de verilen kolon kesitine ait moment-eğrilik analizi sonucu Çizelge 3.11’de verilen hasar sınır değerleri bulunmuştur.



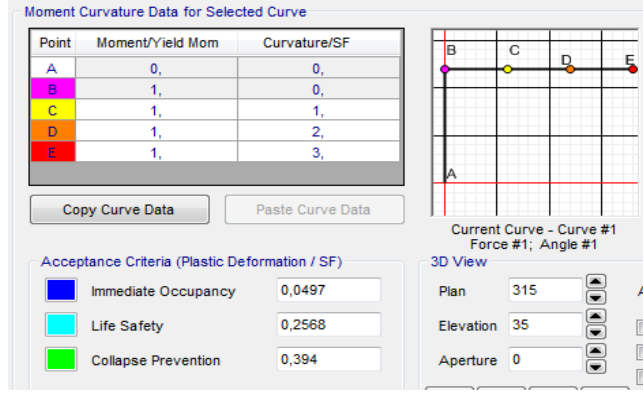
Şekil 3.23 S101 kolon kesiti

Çizelge 3.11 S101 Kolonuna ait plastik dönme ve eğrilik sınırları

S101 KOLON	$M_x$ Plastik Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	$M_x$ Plastik Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)	$M_y$ Plastik Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	$M_y$ Plastik Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)
MN	0,0123	0,0015	0,0497	0,0199
GV	0,0608	0,0076	0,257	0,103
GÇ	0,0782	0,0098	0,394	0,157

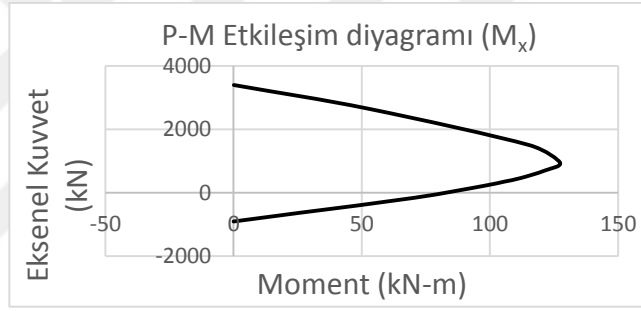
MN: Kesit minimum hasar sınırı, GV: Kesit güvenlik sınırı, GÇ: Kesit göçme sınırı

Çizelge 3.11’de bulunan değerlerin SAP2000 (2018) programına tanımlama işlemi şekil 3.24’de verilmiştir.



Şekil 3.24 S101 kolonu plastik mafsals tanımları

Yapılacak olan deprem analizinde örnek kolonun x ve y eksenleri etrafındaki eğilme için aksel yük-moment etkileşimi analizi yapılmıştır. Şekil 3.25’de x eksen etrafındaki eğilme için doğrusallaştırılmış etkileşim diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.25 X eksen etrafındaki eğilme için P-M etkileşim diyagramı

#### 3.18.4. Elemanların kesme kuvveti kontrolü

K102 kirişi için örnek kesme kuvveti kontrolü için bilgiler Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Kiriş kesit bilgileri ve malzeme bilgileri

Kiriş genişliği ( $b_w$ )	250 mm
Kiriş yüksekliği ( $h$ )	500 mm
Kiriş faydalı yükseklik ( $d$ )	460 mm
Beton tasarım aksel çekme dayanımı ( $f_{ctd}$ )	0,85
Etriye aralığı ( $s$ )	200 mm
Enine donatı tasarım akma dayanımı ( $f_{ywd}$ )	365 MPa
Beton tasarım basınç dayanımı ( $f_{cd}$ )	7,3 MPa

- Denklem 3.20’ye göre kiriş kesmede çatlama dayanımı;

$$V_{cr} = 0,65 \cdot 0,85 \cdot 250 \cdot 460 = 63537,5 \text{ N'dur.}$$

- Denklem 3.19'a göre kesme donatısı katkısı;

$$V_w = \frac{2\pi \cdot 8^2}{200} * 365 * 460 = 84395,75 \text{ N'dur.}$$

- Denklem 3.17 ve 3.18'e göre kesitin kesme dayanımı;

$$V_r = 0,8 * 63537,5 + 84395,75 = 135225,7 \text{ N'dur.}$$

K102 kirişine deprem analizi sonucu x doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_d = 66969 \text{ N'dur.}$

K102 kirişine deprem analizi sonucu y doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_d = 31130 \text{ N'dur.}$

- Denklem 3.16'ya göre kesme güvenliği kontrolü

X doğrultusu;

$$V_d = 66969 \leq V_r = 135225,7 \sqrt{\text{sağladı.}}$$

$$V_d = 66969 \leq 0,22 * 7,3 * 250 * 460 = 184690 \sqrt{\text{sağladı.}}$$

Y doğrultusu;

$$V_d = 31130 \leq V_r = 135225,7 \sqrt{\text{sağladı.}}$$

$$V_d = 31130 \leq 0,22 * 7,3 * 250 * 460 = 184690 \sqrt{\text{sağladı.}}$$

S101 kolonu için örnek kesme kuvveti kontrolü için bilgiler Çizelge 3.13'de verilmiştir.

**Çizelge 3.13** Kolon kesit bilgileri ve malzeme bilgileri

Kolon genişliği ( $b_w$ )	250 mm
Kolon yüksekliği ( $h$ )	800 mm
Kolon faydalı yükseklik ( $d$ )	745 mm
Beton tasarım eksenel çekme dayanımı ( $f_{ctd}$ )	0,85
Etriye aralığı ( $s$ )	200 mm
Enine donatı tasarım akma dayanımı ( $f_{ywd}$ )	365 MPa
Beton tasarım basınç dayanımı ( $f_{cd}$ )	7,3 MPa
Tasarım eksenel kuvveti ( $N_d$ )	469433 N
Çatlama dayanımına eksenel kuvvet etkisini yansıtan katsayı ( $\gamma$ )	0,07
Gövde kesiti beton alanı ( $A_c$ )	200000 mm <sup>2</sup>

- Denklem 3.15'e göre kolon kesmede çatlama dayanımı;

$$V_{cr} = 0,65 * 0,85 * 250 * 745 * (1 + 0,07 * \frac{469433}{200000}) = 119810,27 \text{ N'dur.}$$

- Denklem 3.18'e göre kesme donatısı katkısı;

$$V_w = \frac{2\pi \cdot 8^2}{200} * 365 * 745 = 136684,4 \text{ N'dur.}$$

- Denklem 3.16 ve 3.17'ye göre kesitin kesme dayanımı;

$$V_r = 0,8 * 119810,27 + 136684,4 = 232532,6 \text{ N'dur.}$$

S101 kolonuna deprem analizi sonucu x doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_d = 210587 \text{ N'dur.}$

S101 kolonuna deprem analizi sonucu y doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_d = 109876 \text{ N'dur.}$

- Denklem 3.15'e göre kesme güvenliği kontrolü

X doğrultusu;

$$V_d = 210587 \leq V_r = 232532,6 \sqrt{\text{(sağladı.)}}$$

$$V_d = 210587 \leq 0,22 * 7,3 * 250 * 745 = 299117,5 \sqrt{\text{(sağladı.)}}$$

Y doğrultusu;

$$V_d = 109876 \leq V_r = 232532,6 \sqrt{\text{(sağladı.)}}$$

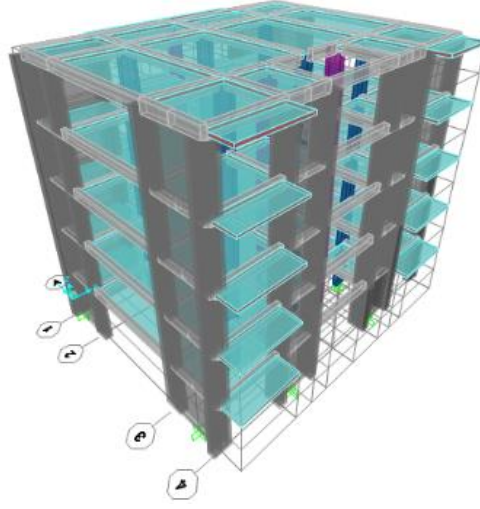
$$V_d = 109876 \leq 0,22 * 7,3 * 250 * 745 = 299117,5 \sqrt{\text{(sağladı.)}}$$

Örnek hesap işlemleri diğer kolonlar ve kirişler için de yapılmıştır.

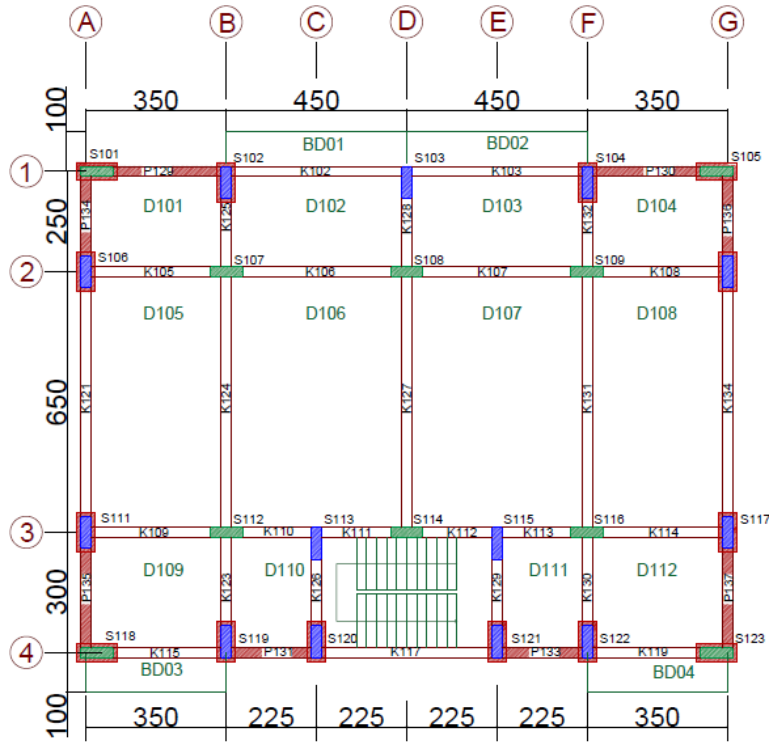
### 3.19. Geleneksel Güçlendirme Yöntemi

Bu bölümde geleneksel güçlendirme yöntemi olarak mevcut yapıya perde elemanlar eklenmiş ve perde elemanların birleştiği kolonlar mantolanarak güçlendirilmiştir. Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 3 boyutlu görünümü ve 1.kat planı sırasıyla Şekil 3.26 ve 3.27'de verilmiştir.





Şekil 3.26 Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 3 boyutlu görünümü



Şekil 3.27 Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 1.kat planı (ölçüler cm birimindedir.)

Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait bilgiler Çizelge 3.14'te sunulmuştur.

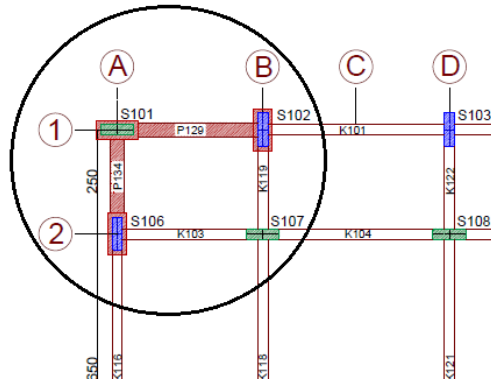
**Çizelge 3.14** Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait bilgiler

Kolon Boyutları	25x80 cm / 80x25 cm / 45x100 cm
Kiriş Boyutları	25x50 cm
Perde Boyutları	25x350 cm / 25x250 cm / 25x300 cm / 25x225 cm
Döşeme Kalınlığı	15 cm
Beton Sınıfı	C11 ( $f_{cm}=11$ MPa) / C30 ( $f_{cm}=30$ MPa)
Donatı Çeliği	S420 ( $f_{ym}=420$ MPa)
Beton Elastisite Modülü, [ $E_c$ ]	24750 MPa / 32000 MPa
Donatı Çeliği Elastisite Modülü, [ $E_s$ ]	200000 MPa
Deprem Bölgesi	1. Derece
Bina Önem Katsayısı, [ $I$ ], (konut)	1
Yerel Zemin Sınıfı	Z3
Kat Yüksekliği	3 m
Kat Adedi	5
Ölü Yük (G)	1,0 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) odalar	2,0 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) merdiven	3,5 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) balkon	5,0 kN/m <sup>2</sup>

### 3.19.1. Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması

S101, S102, S106 kolonlarının ve P129, P134 perdelerinin birlikte sergileyecekleri davranışı elde edebilmek için bu elemanlar birlikte “L” şeklinde modellenmiştir (Şekil 3.28).

P129-P134 Perdeleri için DBYBHY (2007) Denklem 2.6’ya göre  $G+0,3Q$  düşey yük birleşimi ile SAP2000 v20.0 (2018) programında hesaplanan düşey yük ( $N_D$ ) =1954645 N’dur. Perde alanı  $A_c=(250*3500+250*2500)=1500000$  mm<sup>2</sup>’dir. Mevcut beton dayanımı ( $f_{cm}$ )=30 N/mm<sup>2</sup>’dir.



Denklem 3.2'ye göre  $N_D / (A_c f_{cm})$  oranı  $1954645 / (1500000*30)=0,054$  bulunmuştur. Bu değer 0,1'den küçük olduğu için etkin eğilme rijitliği 0,4  $(EI)_o$  alınmıştır.

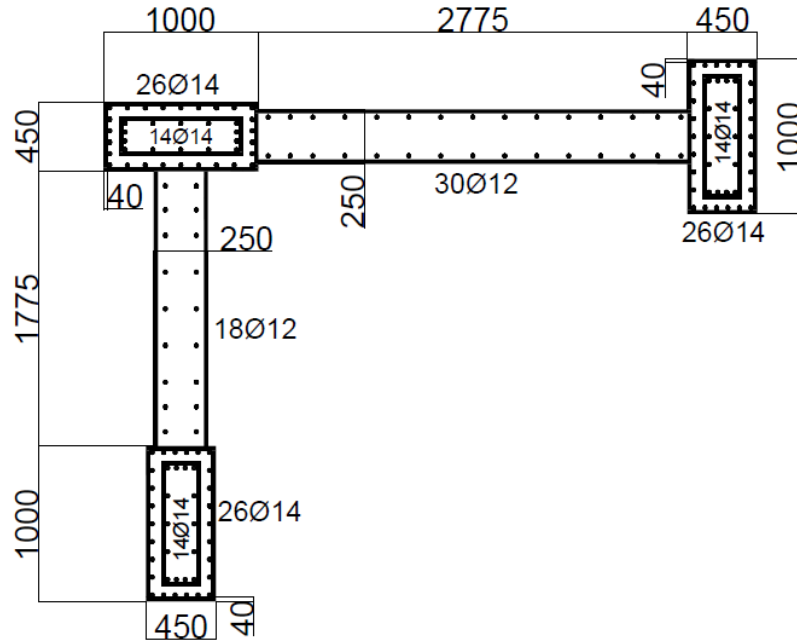
Tüm kolonlar ve perdeler aynı işlem uygulanmış ve katlara göre alınan ortalama etkin kesit rijitlikleri Çizelge 3.15'de verilmiştir.

**Çizelge 3.15** Kolonlar ve perdeler için ortalama etkin kesit rijitlikleri

Katlar	Kolon $(EI)_o$	Perde $(EI)_o$
1	0,43	0,40
2	0,41	0,40
3	0,40	0,40
4	0,40	0,40
5	0,40	0,40

### 3.19.2. Perde için birim şekil değiştirme örnek hesabı

Şekil 3.29'da verilen perde kesiti için örnek bir hesap yapılmıştır. Xtract v3.0.8 (2004) yazılım programı ile Şekil 3.5 ve 3.6'da hesaplanan malzeme modelleri kullanılarak iki eksenli eğilme analizi yapılmıştır. Plastik mafsallı boyu P129-P134 L perdesi x doğrultusunda 3,5 m, y doğrultusunda 2,5 m uzunluğa sahiptir. Plastik mafsallı boyu iki yöndeki uzunlukların ortalaması  $3 / 2=1,5$  m olarak alınmıştır. Şekil 3.29'da verilen perde kesitine ait moment-eğrilik analizi sonucu Çizelge 3.16'da verilen hasar sınır değerleri bulunmuştur. P129 ve P134 perde kesitinin ölçü birimi milimetre alınmıştır (Şekil 3.29).

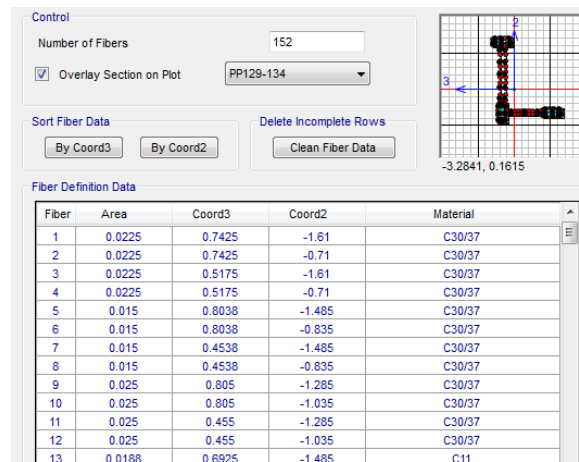


Şekil 3.29 P129 ve P134 perde kesiti (ölçüler mm birimindedir.)

Çizelge 3.16 P129- P134 Perdesine ait toplam plastik dönme ve eğrilik sınırları

P129-P134 Perde	$M_x$ Toplam Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	$M_x$ Toplam Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)	$M_y$ Toplam Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	$M_y$ Toplam Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)
MN	0,0033	0,0049	0,0027	0,0040
GV	0,01305	0,0196	0,0106	0,0159
GÇ	0,01959	0,0294	0,0158	0,0237

MN: Kesit minimum hasar sınırı, GV: Kesit güvenlik sınırı, GÇ: Kesit göçme sınırı



Şekil 3.30 P129-P134 Perdesi lifli mafsal tanımı

Şekil 3.30’da SAP2000 v20.0 (2018) yazılım programına perde kesitini liflere ayırarak tanımlama işlemi gösterilmiştir.

### 3.19.3. Elemanların kesme kuvveti kontrolü

P129 ve P134 L perdesi için örnek kesme kuvveti kontrolü için bilgiler Çizelge 3.17’de verilmiştir.

**Çizelge 3.17** Perde kesiti ve malzeme bilgileri

P129 perde genişliği ( $b_{w1}$ )	250 mm
P129 perde yüksekliği ( $h_1$ )	3500 mm
P134 perde genişliği ( $b_{w2}$ )	250 mm
P134 perde yüksekliği ( $h_2$ )	2500 mm
Beton tasarım aksenal çekme dayanımı ( $f_{ctd}$ )	1,25
Etriye aralığı (s)	100 mm
Enine donatı tasarım akma dayanımı ( $f_{ywd}$ )	365 MPa
Beton tasarım basınç dayanımı ( $f_{cd}$ )	20 MPa
Gövde kesiti beton alanı ( $A_{ch}$ )	1500000 mm <sup>2</sup>
Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı ( $\rho_{sh}$ )	0,004

- Denklem 3.21’e göre perde kesitinin kesme dayanımı

$$V_r = 1500000 * (0,65 * 1,25 + 0,004 * 365) = 3419262 \text{ N'dur.}$$

P129 ve P134 L perdesi deprem analizi sonucu x doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_e = 2616161 \text{ N'dur.}$

P129 ve P134 L perdesi deprem analizi sonucu y doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_e = 2056089 \text{ N'dur.}$

- Denklem 3.22’ye göre kesme güvenliği kontrolü;

X doğrultusu

$$V_e = 2616161 \leq V_r = 3419262 \checkmark (\text{sağladı.})$$

$$V_d = 2616161 \leq 0,22 * 1500000 * 20 = 6600000 \checkmark (\text{sağladı.})$$

Y doğrultusu

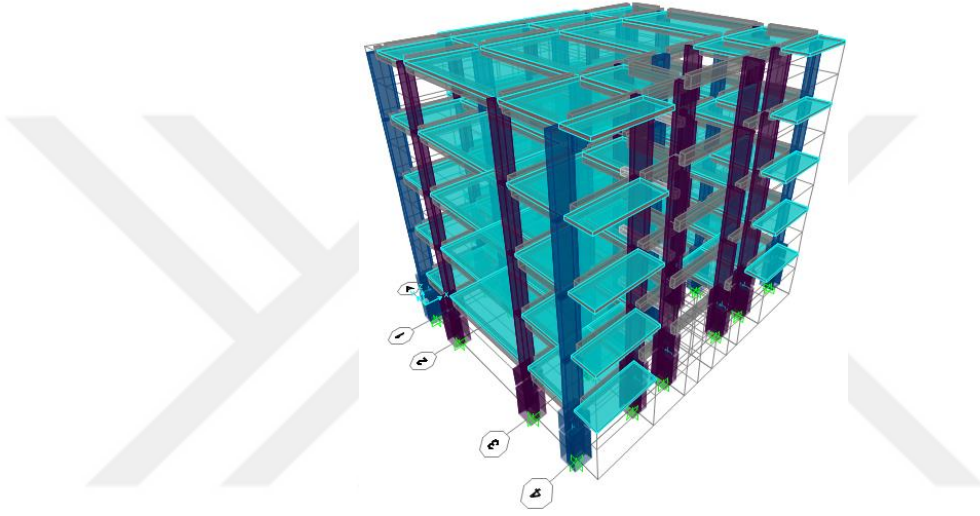
$$V_e = 2056089 \leq V_r = 3419262 \checkmark (\text{sağladı.})$$

$$V_d = 2056089 \leq 0,22 * 1500000 * 20 = 6600000 \checkmark (\text{sağladı.})$$

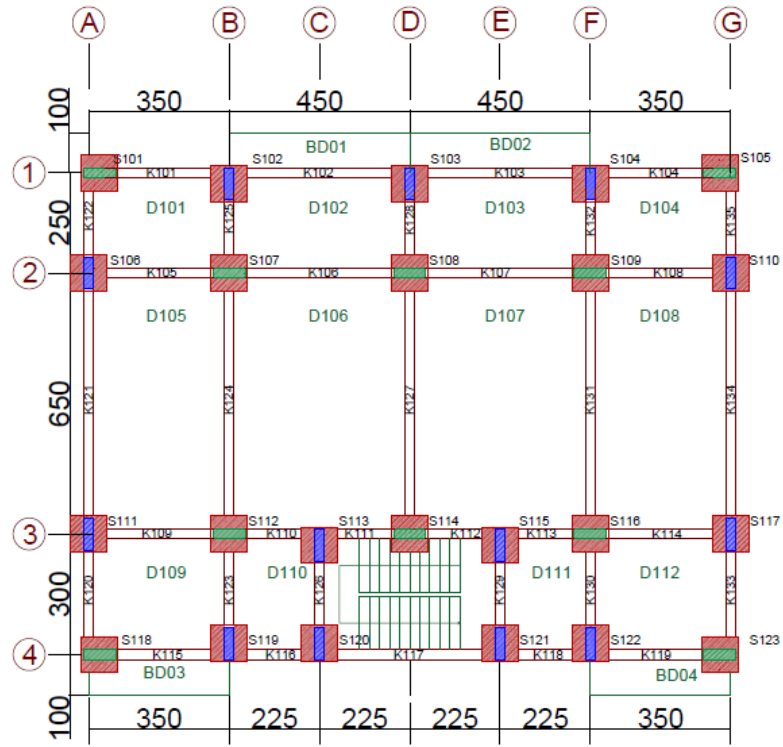
Örnek hesap işlemleri diğer kolonlar, perdeler ve kirişler için de yapılmıştır.

### 3.20. Yenilikçi Güçlendirme Yöntemi

Bu bölümde mevcut yapının 1. katında bulunan tüm kolonlar sürtünmeli sarkaç izolatörün montaj olabilmesi için mantolanarak kesit boyutları 100x100 cm' ye yükseltilmiştir. Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 3 boyutlu görünümü ve 1.kat planı sırasıyla Şekil 3.31 ve 3.32'de verilmiştir.



**Şekil 3.31** Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 3 boyutlu görünümü



**Şekil 3.32** Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait 1.kat planı (ölçüler cm birimindedir.)

Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıya ait bilgiler Çizelge 3.18’de sunulmuştur.

**Çizelge 3.18** Yapılara ait bilgileri

Kolon Boyutları	25x80 cm / 80x25 cm / 100x100 cm
Kiriş Boyutları	25x50 cm
Perde Boyutları	Mevcut değil
Döşeme Kalınlığı	15 cm
Beton Sınıfı	C11 ( $f_{cm}=11$ MPa) / C30 ( $f_{cm}=30$ MPa)
Donatı Çeliği	S420 ( $f_{ym}=420$ MPa)
Beton Elastisite Modülü, [ $E_c$ ]	24750 MPa / 32000 MPa
Donatı Çeliği Elastisite Modülü, [ $E_s$ ]	200000 MPa
Deprem Bölgesi	1. Derece
Bina Önem Katsayısı, [I], (konut)	1
Yerel Zemin Sınıfı	Z3
Kat Yüksekliği	3 m
Kat Adedi	5
Ölü Yük (G)	1,0 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) odalar	2,0 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) merdiven	3,5 kN/m <sup>2</sup>
Hareketli Yük (Q) balkon	5,0 kN/m <sup>2</sup>

### 3.20.1. Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması

S102 kolonu için DBYBHY (2007) Denklem 2.6'ya göre G+0,3Q düşey yük birleşimi ile SAP2000 v20.0 (2018) programında hesaplanan düşey yük ( $N_D$ ) =533105 N'dur. Kolon mantolanan alan  $A_c=(1000*1000-250*800)=800000 \text{ mm}^2$ 'dir. Mevcut kolonun alanı  $A_c=(250*800)=200000 \text{ mm}^2$ 'dir Mevcut beton dayanımı ( $f_{cm}$ )=11 N/mm<sup>2</sup>'dir. Mantolanan kolon beton dayanımı ( $f_{cm}$ )=30 N/mm<sup>2</sup>'dir.

Denklem 3.2'ye göre  $N_D / (A_c f_{cm})$  oranı  $533105 / ((800000*30)+(200000*11))=0,012$  bulundu. Bu değer 0,1'den küçük olduğu için etkin eğilme rijitliği 0,4 ( $EI$ )<sub>o</sub> alınmıştır.

Tüm kolonlara aynı işlem uygulanmış ve katlara göre alınan ortalama etkin eğilme rijitlikleri Çizelge 3.19'da verilmiştir.

**Çizelge 3.19** Kolonların ortalama etkin eğilme rijitlikleri

Katlar	(EI) <sub>o</sub>
1	0.40
2	0.54
3	0.47
4	0.41
5	0.40

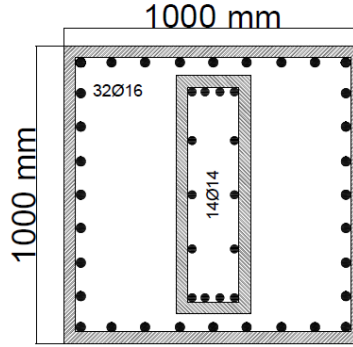
### 3.20.2. Kenetlenme boyu hesabı

İzolatörler temel seviyesinin 1,8 m yukarısına yerleştirilmiştir. İzolatör seviyesinin üzerinde kalan kolon donatılarının boyu 1,0 m'dir. Kolon donatıları Çizelge 3.5'e göre konum I'de bulunmaktadır. Donatı Çapı (Ø) 16 mm, ve düz donatı olduğu için Çizelge 3.5'e'a göre kenetlenme boyu 1,4 ile çarpılmıştır.

- $\ell_b=1000\text{mm} \geq 1,4*(0,12*\frac{365}{1,25}*16) = 785 \text{ mm} \checkmark$  sağladı.
- $\ell_b=1000\text{mm} \geq 20*16 = 320 \text{ mm} \checkmark$  sağladı.



### 3.20.3. Mantolanan kolonlar için birim şekildeğiştirme örnek hesabı



Şekil 3.33 S102 Mantolanan kolon kesiti

Şekil 3.33’de verilen kolon kesiti için örnek bir hesap yapılmıştır. Xtract v3.0.8 (2004) yazılım programı ile Şekil 3.5 ve 3.6’da hesaplanan malzeme modelleri kullanılarak iki eksenli eğilme analizi yapılmıştır. Plastik mafsal boyu ( $L_p$ ),  $M_x$  moment ve  $M_y$  moment yönünde kesit yüksekliği ( $h$ ) 100 cm olduğundan 50 cm alınmıştır (Şekil 3.33). Şekil 3.33’de verilen kolon kesitine ait moment-eğrilik analizi sonucu Çizelge 3.20’de verilen hasar sınır değerleri bulunmuştur.

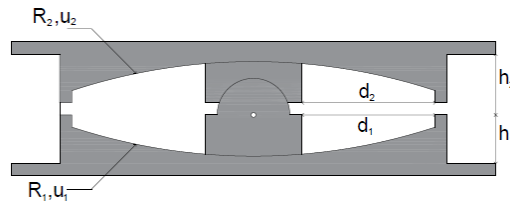
Çizelge 3.20 S102 Mantolu kolona ait plastik dönme ve eğrilik sınırları

S102 Mantolanan Kolon	$M_x$ Plastik Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	$M_x$ Plastik Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)	$M_y$ Plastik Eğrilik ( $\Phi_p$ ) (rad/m)	$M_y$ Plastik Dönme ( $\Theta_p$ ) (rad)
MN	0,0106	0,0053	-0,0105	-0,0052
GV	0,0521	0,026	-0,0515	-0,0257
GÇ	0,0564	0,028	-0,0639	-0,0320

MN: Kesit minimum hasar sınırı, GV: Kesit güvenlik sınırı, GÇ: Kesit göçme sınırı

### 3.20.4. Sürtünmeli sarkaç tipi izolatör karakteristik özellikleri

Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörün kesit görünümü Şekil 3.34’de sunulmuştur.



Şekil 3.34 Çift sürtünme yüzeyli kayıcı izolatör görünümü

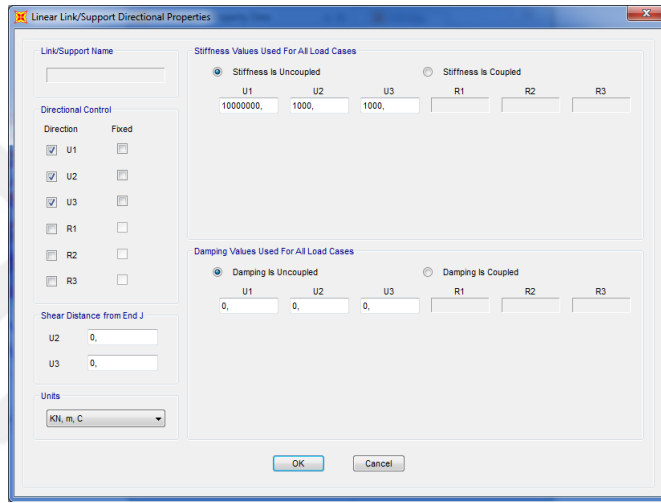
**Çizelge 3.21** İzolatör özellikleri

Dinamik Sürtünme Katsayısı ( $\mu_1 = \mu_2$ )	$2,5 * (N_{sd} / N_{ed})^{-0,834}$
İzolator Eğrilik Yarıçapı ( $R_1 = R_2$ )	2300 mm
Kayıcılık birim 'in yüksekliği ( $h_1 = h_2$ )	50 mm
$\lambda_{alt} / \lambda_{üst}$	0,8 / 1,6
İzolator Adedi (n)	23

İzolatore ait özellikler Çizelge 3.21 'de verilmiştir

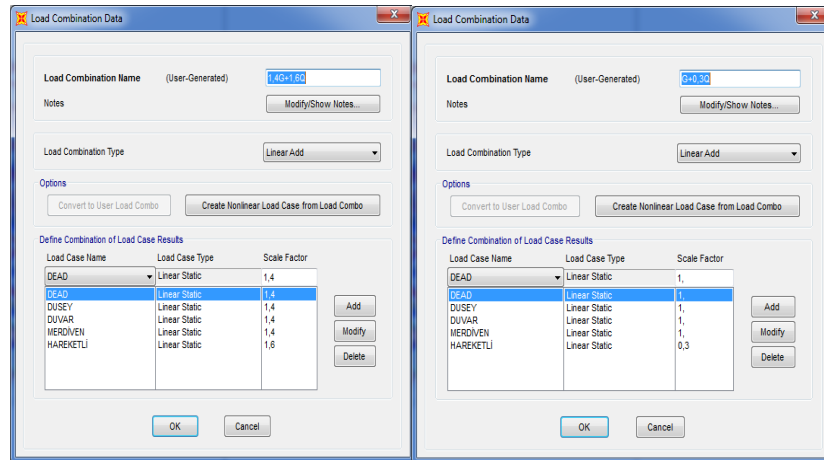
İzolator tasarımı için aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

1) Sap2000 modelinde lineer izolator özelliği geçici olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 3.35** Geçici lineer izolator tanımlama

2) Ön boyutlandırma için SAP2000 (2018) programına düşey yük kombinasyonu tanımlanmıştır.



**Şekil 3.36** Düşey yük kombinasyonu tanımlama

Model doğru kuruldu ise yük kombinasyonu ile yapılan modal analiz sonucu ilk 2 mod birbirinin aynısı olmalıdır.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
MODAL	Mode	1	1,666409	0,60009290...	3,77049489...	14,2166317...
MODAL	Mode	2	1,660551	0,60220986...	3,78379619...	14,3171136...

Şekil 3.37 Analiz sonucu periyod değerleri

3) Maksimum statik yük bulundu ve maksimum deprem yüküne eşit kabul edildi ( $N_{st} = N_{ed}$ ). Yani depremden gelecek maksimum deprem yükünün 1,4G + 1,6Q kombinasyonu ile eşit olduğu varsayılmıştır.

Link Text	LinkElem Text	Station Text	OutputCase	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
FP01	FP01	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-429,208	-0,078	0,074	0	0,011	-0,011
FP02	FP02	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-871,984	-0,104	-0,159	0	-0,0238	-0,0156
FP03	FP03	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-1144,144	-3,885E-05	-0,275	0	-0,0412	-5,828E-06
FP04	FP04	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-872,08	0,104	-0,159	0	-0,0238	0,0156
FP05	FP05	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-429,098	0,078	0,074	0	0,011	0,011
FP06	FP06	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-918,77	-0,292	0,269	0	0,0404	-0,0436
FP07	FP07	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-1616,696	-0,034	0,812	0	0,1218	-0,0052
FP08	FP08	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-1779,839	3,774E-05	0,955	0	0,1432	5,661E-06
FP09	FP09	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-1616,596	0,034	0,811	0	0,1217	0,0052
FP10	FP10	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-918,638	0,291	0,269	0	0,0403	0,0437
FP11	FP11	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-964,108	-0,345	-0,215	0	-0,0322	-0,0511
FP12	FP12	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-1415,211	0,101	-0,64	0	-0,0959	0,0152
FP13	FP13	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-886,995	-0,0006821	0,043	0	0,0084	-0,000102
FP14	FP14	I-End	1,4G+1,6Q	Combination	-1016,366	-0,001475	-1,776	0	-0,2664	-0,000221

Şekil 3.38 1,4G+1,6Q kombinasyonu ile izolatlara gelen aksel yük

Şekil 3.38’de görüldüğü gibi maksimum deprem yükü ( $N_{ed}$ ) 1779,84 kN’ dur.

4) Sismik ağırlığa eşit kombinasyon da ( $G + 0,3Q$ ) izolator üzerine gelen yükler ( $N_{sd}$ ) hesaplanmıştır.

Link Text	LinkElem Text	Station Text	OutputCase	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
FP01	FP01	I-End	G+0,3Q	Combination	-285	-0,049	0,043	0	0,0064	-0,0074
FP02	FP02	I-End	G+0,3Q	Combination	-535,093	-0,061	-0,067	0	-0,0101	-0,0095
FP03	FP03	I-End	G+0,3Q	Combination	-667,765	-0,833E-05	-0,119	0	-0,0178	-4,249E-06
FP04	FP04	I-End	G+0,3Q	Combination	-535,161	0,061	-0,068	0	-0,0101	0,0092
FP05	FP05	I-End	G+0,3Q	Combination	-284,921	0,05	0,043	0	0,0064	0,0074
FP06	FP06	I-End	G+0,3Q	Combination	-592,809	-0,17	0,159	0	0,0238	-0,0254
FP07	FP07	I-End	G+0,3Q	Combination	-986,251	-0,017	0,426	0	0,0639	-0,0026
FP08	FP08	I-End	G+0,3Q	Combination	-1076,195	2,146E-05	0,494	0	0,074	3,22E-06
FP09	FP09	I-End	G+0,3Q	Combination	-986,179	0,017	0,425	0	0,0638	0,0026
FP10	FP10	I-End	G+0,3Q	Combination	-592,716	0,17	0,158	0	0,0237	0,0254
FP11	FP11	I-End	G+0,3Q	Combination	-620,328	-0,198	-0,12	0	-0,018	-0,0296
FP12	FP12	I-End	G+0,3Q	Combination	-871,792	0,058	-0,335	0	-0,0503	0,0087
FP13	FP13	I-End	G+0,3Q	Combination	-570,272	-0,002288	0,032	0	0,0048	-0,000343
FP14	FP14	I-End	G+0,3Q	Combination	-649,344	-0,001052	-0,932	0	-0,1399	-0,000157

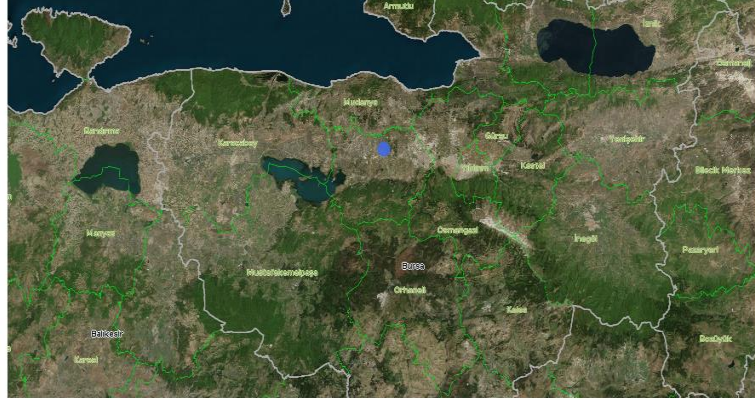
**Şekil 3.39** G+0,3Q kombinasyonu ile izolatörlere gelen eksenel yük

Gelen eksenel kuvvetlerin (P) toplamı yapının ağırlığını (W) verir. Yapı ağırlığı (W) = 14082 kN'dur.

5)  $N_{ed} = 1779,84$  KN kabulü ile her izolatöre gelen  $N_{sd} / N_{ed}$  hesaplanmıştır.

Çizelge 3.21'de verilen dinamik sürtünme katsayısı ( $\mu = 2,5 * (N_{sd} / N_{ed})^{-0,834}$ ) her izolatör için hesaplanmıştır. Hesaplanan dinamik sürtünme katsayılarının ortalaması sistemin eşdeğer sürtünme kuvveti olmaktadır. Yapılan hesaplar sonucu  $\mu_{ort} = 0,067$  bulunmuştur. İzolatör tasarım hesaplarında Çizelge 3.21'de verilen azaltma katsayısı ( $\lambda_{alt}=0,8$ ) kullanılmıştır. Bu durumda azaltılmış sürtünme katsayısı ( $\mu_{azl.} = 0,8 * 0,067 = 0,054$ 'dür.

Denklemler 3.36'da bulunan  $S_{M1}$  (Maksimum depremin %5 sönümlü elastik spektrumunda  $T=1$  s için spektral ivme) değeri AFAD (2018) Türkiye deprem tehlike haritasından yapının koordinatları girilerek alınmıştır. Şekil 3.40'da görüldüğü üzere  $S_{M1} = S_{D1} = 0,747$  bulunmuştur.



### Çıktılar

$$S_S = 1.944$$

$$S_1 = 0.498$$

$$S_{DS} = 2.333$$

$$S_{D1} = 0.747$$

**Şekil 3.40** Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018 )

**Çizelge 3.22** Hesaplama için kullanılacak parametreler

Dinamik Sürtünme Katsayısı ( $\mu_{ort}$ )	0,067
Azaltılmış dinamik Sürtünme Katsayısı ( $\mu_{azl.}$ )	0,054
Yapı ağırlığı (W)	14082 kN
Başlangıç deplasman tahmini ( $\Delta$ )	0,4 m
$S_{M1}$ (Maksimum depremin %5 sönümlü elastik spektrumda T=1 sn için spektral ivme)	0,747

6) Çizelge 3.21 ve 3.22’de verilen değerler baz alınarak Denklem 3.36 ile 3.42 arasındaki formüller kullanılarak izolatör karakteristik özellikleri bulunmuştur. Hesaplamaya başlarken, başlangıç yerdeğiştirme tahmini  $\Delta=0,4m$  kabul edilmiştir. Daha sonra  $\Delta=D_m$  eşitliği sağlanana kadar hesaplar tekrarlanmıştır.

**Çizelge 3.23** İzolatör karakteristik özellikleri

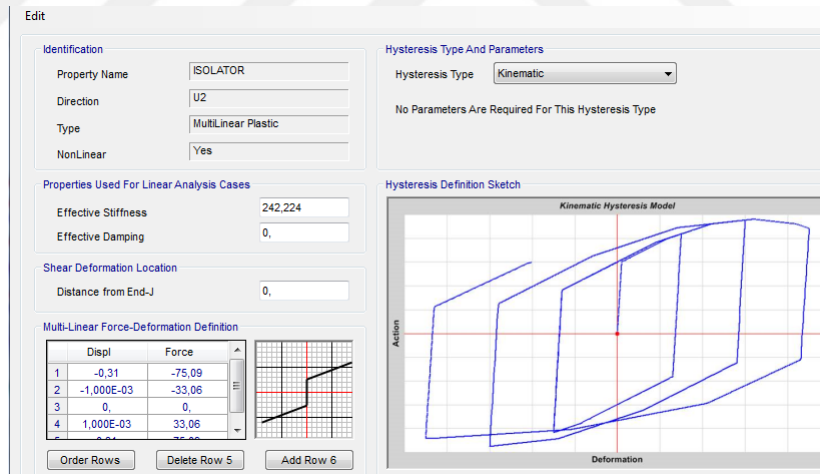
$\Delta$ (m)	$K_{mtop}$ (kN/m)	$T_{eff}$ (s)	$B_{eff}$ (%)	$\eta$	$D_m$ (m)
0,400	5024,679	3,358	27,429	0,555	0,346
0,346	5319,348	3,264	29,704	0,537	0,325
0,325	5460,335	3,222	30,694	0,529	0,317
0,317	5524,481	3,203	31,126	0,526	0,313
0,313	5553,032	3,195	31,314	0,525	0,311
0,311	5565,619	3,191	31,397	0,524	0,310
<b>0,310</b>	<b>5571,145</b>	<b>3,189</b>	<b>31,433</b>	<b>0,524</b>	<b>0,310</b>

- Toplam efektif rijitlik ( $K_{Mtop}$ ) = 5571,145 kN/m'dir.
  - Tek bir izolatöre ait efektif rijitlik değeri ( $K_M$ ) =  $\frac{(KMtop)}{n} = \frac{5571,145}{23} = 242,224$  kN/m'dir
- n: Yapıda kullanılan izolatör adedi
- Denklem 3.41'e göre Dayanım ( $V_b$ ) =  $242,224 * 0,310 = 75,09$  kN bulunmuştur.
  - Denklem 3.42'ye göre toplam etkin akma dayanımı ( $F_y$ )<sub>toplam</sub> =  $14082 * 0,054 = 760,43$  kN' dur.
  - Etkin akma dayanımı ( $F_y$ ) =  $\frac{760,43}{23} = 33,06$  kN' dur.

İzolator tasarımında hesaplanan kuvvet-yerdeğiştirme bilgileri Çizelge 3.24'de verilmiştir (ASCE 7-10 2010).

**Çizelge 3.24** İzolatör Kuvvet-Yerdeğiştirme (Yükleme Döngüsü) bilgileri

Efektif Rijitlik ( $K_M$ )	242,224 kN/m
Dayanım ( $V_b$ )	75,09 kN
Etkin Akma Dayanımı ( $F_y$ )	33,06 kN
Yerdeğiştirme ( $D_M$ )	0,310 m



**Şekil 3.41** İzolatör kuvvet-yerdeğiştirme bilgilerinin tanımlanması

Çizelge 3.24'de verilen değerlerin SAP2000 v20.0 (2018) programında tanımlanmasının ardından modal analiz yapılmış ve çıkan periyot değerleri Şekil 3.42'de verilmiştir. Şekil 3.42'de görüldüğü üzere 1.moda ait periyot değeri 3,249 saniyedir. Bu değer Çizelge 3.23'de hesaplanan efektif periyoda ( $T_{eff}$ ) yakın çıkmaktadır.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
MODAL	Mode	1	3,249361	0,30775284...	1,93366814...	3,73907249...
MODAL	Mode	2	3,233728	0,30924056...	1,94301578...	3,77531032...
MODAL	Mode	3	3,021037	0,33101218...	2,07981091...	4,32561343...

**Şekil 3.42** Periyot değerleri

7) İzolatör tasarımı için hesaplar yapılırken DBYBHY (2007) 7.8.1(b)'ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, tasarım spektrumunun ordinatlarının yaklaşık 1,5 katı olarak kabul edilmektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır (DBYBHY 2007).

Yukarıdaki bilgi dikkate alınarak deprem ivme kayıtları 1,5 ile çarpılmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda 3 ivme kaydının bir izolatör üzerinde oluşturduğu maksimum düşey yük bulunmuştur. Bulunan bu düşey yük bizim 3.adım da kabul ettiğimiz varsayılan  $N_{ed}$  değerimiz yerine geçecektir.

- Bulunan  $N_{ed}$  değerimiz 2268,45 kN'dur.

8) Yukarıda bulunan  $N_{ed}$  değerine göre 4. ve 5. adımlarımız tekrarlanmış ve hesaplamada kullanılacak parametreler Çizelge 3.25' de verilmiştir.

**Çizelge 3.25** Hesaplama da kullanılacak parametreler

Dinamik Sürtünme Katsayısı ( $\mu_{ort}$ )	0,082
Azaltılmış dinamik Sürtünme Katsayısı ( $\mu_{azl.}$ )	0,0656
Yapı ağırlığı (W)	14082 kN
Başlangıç deplasman tahmini ( $\Delta$ )	0,4 m
$S_{M1}$ (Maksimum depremin %5 sönümlü elastik spektrumda $T=1$ sn için spektral ivme)	0,747

9) Çizelge 3.21 ve 3.25' de verilen değerler baz alınarak Denklem 3.36 ile 3.42 arasındaki formüller kullanılarak tekrar izolatör karakteristik özellikleri bulunmuştur. Hesaplamaya başlarken, başlangıç yerdeğiştirme tahmini  $\Delta=0,4m$  kabul edilmiştir. Daha sonra  $\Delta=D_m$  eşitliği sağlanana kadar hesaplar tekrarlanmıştır.

**Çizelge 3.26** İzolatör karakteristik özellikleri

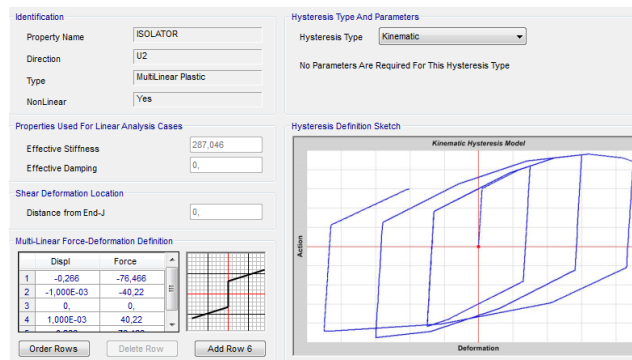
$\Delta$ (m)	$K_{m\text{top}}$ (kN/m)	$T_{\text{eff}}$ (s)	$B_{\text{eff}}$ (%)	$\eta$	$D_m$ (m)
0,400	5442,132	3,227	30,569	0,530	0,318
0,318	6042,052	3,063	34,235	0,505	0,287
0,287	6352,646	2,987	35,831	0,495	0,274
0,274	6501,003	2,953	36,534	0,491	0,269
0,269	6569,372	2,937	36,846	0,489	0,267
0,267	6600,379	2,930	36,985	0,488	0,266
<b>0,266</b>	<b>6601,262</b>	<b>2,930</b>	<b>36,989</b>	<b>0,488</b>	<b>0,266</b>

- Toplam efektif rijitlik ( $K_{M\text{top}}$ ) = 6601,262 kN/m'dir.
- Tek bir izolatör efektif rijitlik değeri ( $K_M$ ) =  $\frac{(K_{M\text{top}})}{n} = \frac{6601,262}{23} = 287,01$  kN/m'dir  
n: Yapıda kullanılan izolatör adedi
- Denklem 3.41'e göre Dayanım ( $V_b$ ) =  $287,01 \cdot 0,266 = 76,35$  kN bulunmuştur.
- Denklem 3.42'ye göre toplam etkin akma dayanımı ( $F_y$ )<sub>toplam</sub> =  $14082 \cdot 0,0656 = 923,78$  kN'dur.
- Etkin akma dayanımı ( $F_y$ ) =  $\frac{923,78}{23} = 40,16$  kN'dur.

İzolatör tasarımı yukarıda yapılan işlemlerle tamamlanmıştır. Analizde kullanılacak izolatör kuvvet-yerdeğiştirme bilgileri Çizelge 3.27'de verilmiştir.

**Çizelge 3.27** İzolatör kuvvet-yerdeğiştirme (Yükleme Döngüsü) bilgileri

Efektif Rijitlik ( $K_M$ )	287,07 kN/m
Dayanım ( $V_b$ )	76,46 kN
Etkin Akma Dayanımı ( $F_y$ )	40,22 kN
Yerdeğiştirme ( $D_M$ )	0,266 m



**Şekil 3.43** İzolatör Kuvvet-Yerdeğiştirme Bilgilerinin tanımlanması



Üst yapının performans değerlendirmesi için hesaplar yapılırken DBYBHY (2007) 7.8.1'e göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, tasarım spektrumunun ordinatlarının yaklaşık 1 katı olarak kabul edilmiştir.

Yukarıdaki bilgi doğrultusunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizi yönteminde kullanılacak ivme kayıtları, yukarıdaki 7. Adımdaki gibi 1,5 ile çarpılmayıp, olduğu gibi alınmıştır.

### 3.20.5. Elemanların kesme kuvveti kontrolü

S102 mantolanan kolon için örnek kesme kuvveti kontrolü için bilgiler Çizelge 3.28'de verilmiştir.

**Çizelge 3.28** Kolon kesit ve malzeme bilgileri

Kolon genişliği ( $b_{w1}$ )	1000 mm
Kolon yüksekliği ( $h_1$ )	1000 mm
Kolon faydalı yükseklik ( $d_1$ )	945 mm
Kolon genişliği ( $b_{w2}$ )	250 mm
Kolon yüksekliği ( $h_2$ )	800 mm
Kolon faydalı yükseklik ( $d_2$ )	745 mm
Beton tasarım eksenel çekme dayanımı ( $f_{ctd}$ )	1,25
Etriye aralığı ( $s$ )	100 mm
Enine donatı tasarım akma dayanımı ( $f_{ywd}$ )	365 MPa
Beton tasarım basınç dayanımı ( $f_{cd}$ )	20 MPa
Tasarım eksenel kuvveti ( $N_d$ )	402839 N
Çatlama dayanımına eksenel kuvvet etkisini yansıtan katsayı ( $\gamma$ )	0,07
Gövde kesiti beton alanı ( $A_c$ )	$10^6 \text{ mm}^2$

- Denklem 3.20'ye göre kolon kesmede çatlama dayanımı

$$V_{cr} = 0,65 * (1,25 * (1000 * 945 - 250 * 745) + 0,85 * 250 * 745) * (1 + 0,07 * \frac{402839}{1000000}) = 722289,2$$

N'dur.

- Denklem 3.19'a göre kesme donatısı katkısı;

$$V_w = \frac{2\pi}{4} * \frac{8^2}{100} * 365 * 945 = 346756,4 \text{ N'dur.}$$

- Denklem 3.17 ve 3.18'e göre kesitin kesme dayanımı;

$$V_r = 0,8 \cdot 722289,2 + 346756,4 = 924587,8 \text{ N'dur.}$$

S102 kolonuna deprem analizi sonucu x doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_d = 79292 \text{ N'dur.}$

S102 kolonuna deprem analizi sonucu y doğrultusunda gelen tasarım kesme kuvveti  $V_d = 79002 \text{ N'dur.}$

- Denklem 3.16'ya göre kesme güvenliği kontrolü;

X doğrultusunda

$$V_d = 79292 \leq V_r = 924587,8 \text{ } \checkmark \text{ (sağladı.)}$$

$$V_d = 79292 \leq 0,22 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 945 = 4158000 \text{ } \checkmark \text{ (sağladı.)}$$

Y doğrultusunda

$$V_d = 79002 \leq V_r = 924587,8 \text{ } \checkmark \text{ (sağladı.)}$$

$$V_d = 79002 \leq 0,22 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 945 = 4158000 \text{ } \checkmark \text{ (sağladı.)}$$

Örnek hesap işlemleri diğer kolonlar ve kirişler için de yapılmıştır.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde mevcut yapı ile mevcut yapıya, geleneksel ve yenilikçi güçlendirme yöntemlerinin uygulanması ile oluşturulan yapı modellerinin analiz sonuçları sunulmuştur. Yapıların burulma düzensizliği, performans düzeyleri, kat yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemesi oranları, kat kesme ve taban kesme kuvvetleri, maliyet analizi gibi parametreler kıyaslanmıştır.

##### 4.1. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Mevcut yapı, geleneksel ve yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapılara ait burulma düzensizliği kontrolü Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.6 arasındaki çizelgelerde sunulmuştur.

**Çizelge 4.1** Mevcut yapının x doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü

Katlar	$\Delta x$ (max) m	$\Delta x$ (min) m	$\Delta x$ (ort) m	$\eta_{bi}$	$\eta_{bi} > 1,2$
1	0,0121953	0,011679	0,011937	1,021627	Düzensizlik yok
2	0,0118163	0,011125	0,011471	1,030135	Düzensizlik yok
3	0,0085323	0,0079367	0,008235	1,036169	Düzensizlik yok
4	0,0045553	0,0042553	0,004405	1,03405	Düzensizlik yok
5	0,0020817	0,001883	0,001982	1,050109	Düzensizlik yok

**Çizelge 4.2** Mevcut yapının y doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü

Katlar	$\Delta x$ (max) m	$\Delta x$ (min) m	$\Delta x$ (ort) m	$\eta_{bi}$	$\eta_{bi} > 1,2$
1	0,011113	0,0111093	0,011111	1,000165	Düzensizlik yok
2	0,011293	0,0112667	0,01128	1,001167	Düzensizlik yok
3	0,0091667	0,0091127	0,00914	1,002954	Düzensizlik yok
4	0,0057417	0,0057007	0,005721	1,003583	Düzensizlik yok
5	0,0030997	0,0030787	0,003089	1,003399	Düzensizlik yok

**Çizelge 4.3** Geleneksel yöntem uygulanan yapının x doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü

Katlar	$\Delta x$ (max) m	$\Delta x$ (min) m	$\Delta x$ (ort) m	$\eta_{bi}$	$\eta_{bi} > 1,2$
1	0,001361	0,002213	0,001787	0,761727	düzensizlik yok
2	0,001886	0,003381	0,002634	0,716112	düzensizlik yok
3	0,002116	0,003919	0,003018	0,701314	düzensizlik yok
4	0,0022	0,004108	0,003154	0,697559	düzensizlik yok
5	0,002149	0,004036	0,003092	0,694837	düzensizlik yok

**Çizelge 4.4** Geleneksel yöntem uygulanan yapının y doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü

Katlar	$\Delta x$ (max) m	$\Delta x$ (min) m	$\Delta x$ (ort) m	$\eta_{bi}$	$\eta_{bi} > 1,2$
1	0,001615	0,001664	0,00164	0,98516	düzensizlik yok
2	0,002849	0,002808	0,002829	1,007188	düzensizlik yok
3	0,003282	0,003341	0,003312	0,991093	düzensizlik yok
4	0,003463	0,003528	0,003496	0,990607	düzensizlik yok
5	0,003441	0,003512	0,003477	0,98979	düzensizlik yok

**Çizelge 4.5** Yenilikçi yöntem uygulanan yapının x doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü

Katlar	$\Delta x$ (max) m	$\Delta x$ (min) m	$\Delta x$ (ort) m	$\eta_{bi}$	$\eta_{bi} > 1,2$
1	0,000163	0,000715	0,000439	0,372058	düzensizlik yok
2	0,001801	0,001767	0,001784	1,009531	düzensizlik yok
3	0,001347	0,001325	0,001336	1,00811	düzensizlik yok
4	0,000909	0,000775	0,000842	1,079572	düzensizlik yok
5	0,000471	0,000351	0,000411	1,145867	düzensizlik yok

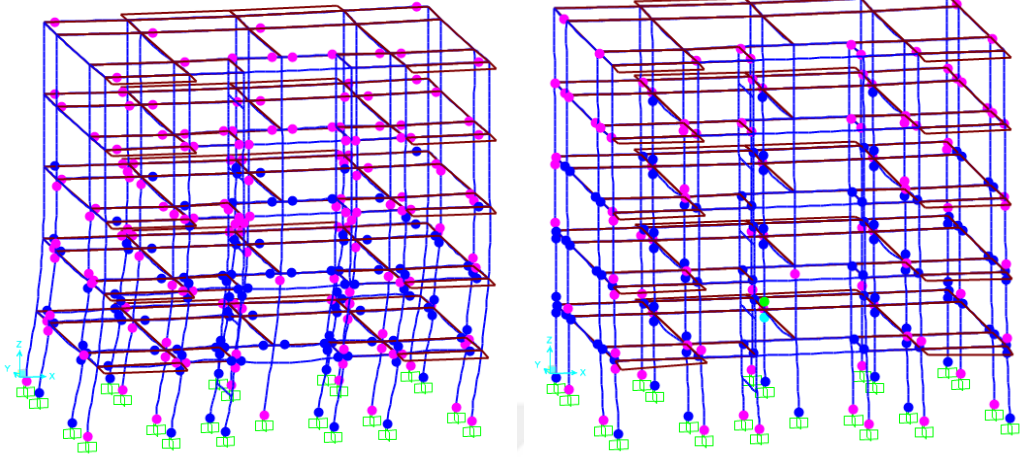
**Çizelge 4.6** Yenilikçi yöntem uygulanan yapının y doğrultusuna ait burulma düzensizliği kontrolü

Katlar	$\Delta x$ (max) m	$\Delta x$ (min) m	$\Delta x$ (ort) m	$\eta_{bi}$	$\eta_{bi} > 1,2$
1	0,000244	0,001057	0,00065	0,374776	düzensizlik yok
2	0,002122	0,002104	0,002113	1,004339	düzensizlik yok
3	0,001652	0,001629	0,00164	1,007112	düzensizlik yok
4	0,001162	0,001142	0,001152	1,008824	düzensizlik yok
5	0,000618	0,0006	0,000609	1,015326	düzensizlik yok

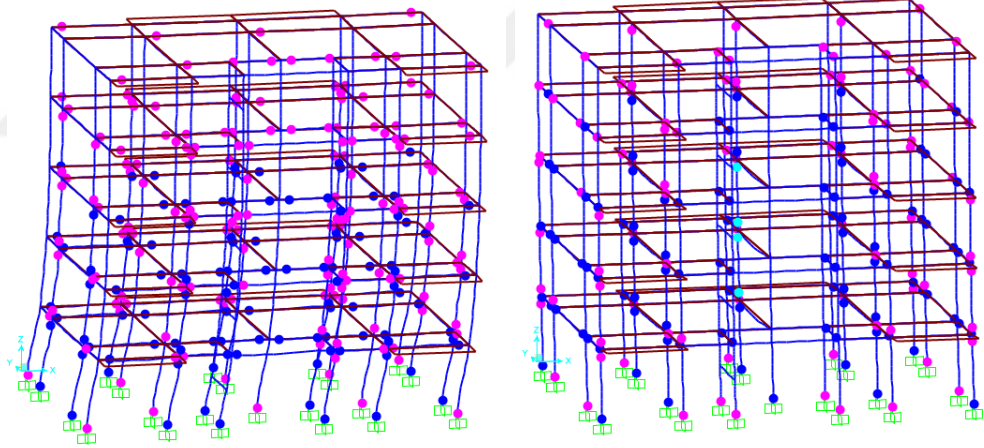
#### 4.2. Mevcut Yapı Analiz Sonucu

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin yapıda titreşim oluşturmayacak şekilde etkitildiği bir analiz yapılmıştır. Bu analiz sonuçları, zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Düşey yük kombinasyonu DBYBHY (2007) Denklem 2.6'ya göre  $G+nQ$  olarak alınmıştır. "n" Hareketli yük katılım kat sayısıdır. DBYBHY (2007) Çizelge 2.7'ye göre konut türü yapıları için hareketli yük katılım katsayı (n) 0,3 olarak belirtilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizi sonucu RSN577 (Taiwan -1986), RSN740 (Loma Prieta – 1990) ve RSN1000

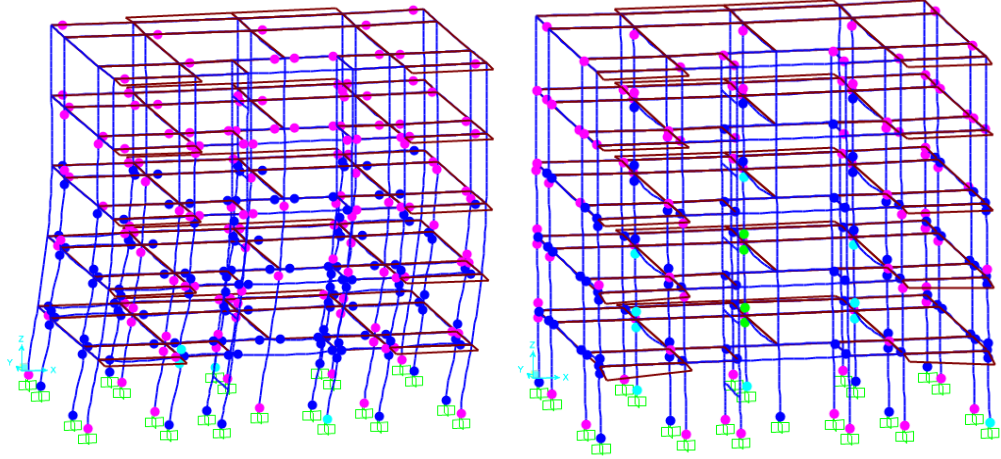
(Northridge – 1994) ivme kayıtlarının x ve y doğrultularında etkilmesi durumunda mevcut yapıda oluşan plastik mafsallar sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.



**Şekil 4.1** RSN577 (Taiwan -1986) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar



**Şekil 4.2** RSN740 (Loma Prieta – 1990) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar



**Şekil 4.3** RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar

**Çizelge 4.7** X ve Y yönü kolon ve kiriş hasar durumları

Kat No	Hasar Bölgesi	X doğrultusu				Y doğrultusu			
		Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)	Kolon sayısı	Kolon yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)	Kolon sayısı	Kolon yüzdesi (%)
1	MH	18	51,43	10	43,48	22	62,86	13	56,52
	BH	17	48,57	0	0	13	37,14	3	13,04
	İH	0	0	11	47,83	0	0	7	30,43
	GB	0	0	2	8,70	0	0	0	0
2	MH	18	51,43	10	43,48	22	62,86	14	60,87
	BH	17	48,57	9	39,13	13	37,14	4	17,39
	İH	0	0	3	13,04	0	0	2	8,70
	GB	0	0	1	4,35	0	0	3	13,04
3	MH	20	57,14	12	52,17	24	68,57	16	69,57
	BH	15	42,86	11	47,83	11	31,42	4	17,39
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	3	13,04
4	MH	35	100	23	100	31	88,57	18	78,26
	BH	0	0	0	0	4	11,43	5	21,74
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
5	MH	35	100	23	100	35	100	23	100
	BH	0	0	0	0	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0

(MH) minimum hasar, (BH) belirgin hasar, (İH) ileri hasar, (GB) göçme bölgesi

Mevcut yapıya ait deprem analizi sonucu ileri hasar bölgesi ile minimum hasar bölgesinde bulunan kolonların kesme kuvvetine katkısı ve katlara göre gevrek hasar gören eleman sayısı Çizelge 4.8’de verilmiştir.

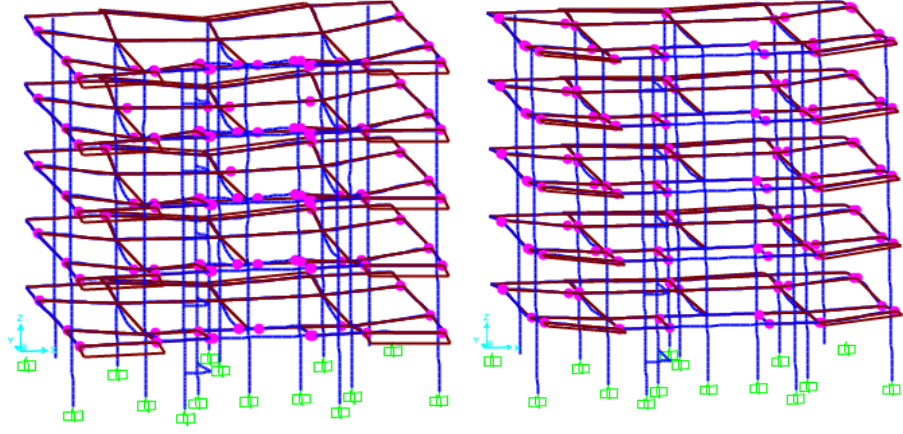
**Çizelge 4.8** X ve y yönü hasar bölgesine göre kolonların kesme kuvvetine katkısı ve gevrek hasar gören elemanlar

Kat No	X doğrultusu			Y doğrultusu		
	MHB kolonların kesme kuvvetine katkısı (%)	İHB kolonların kesme kuvvetine katkısı (%)	Gevrek hasar gören eleman sayısı	MHB kolonların kesme kuvvetine katkısı (%)	İHB kolonların kesme kuvvetine katkısı (%)	Gevrek hasar gören eleman sayısı
1	32,49	25,06	8	16,61	15,22	7
2	25,53	8,92	6	21,89	15,64	2
3	19,01	0	5	16,67	9,62	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0

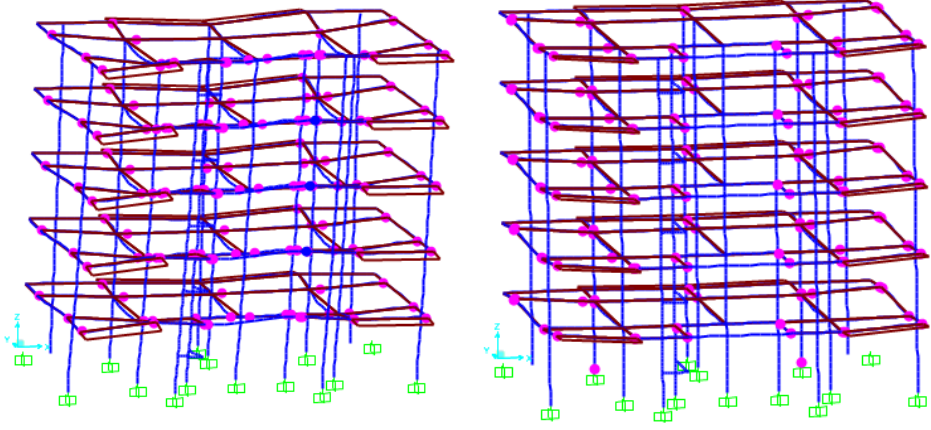
DBYBHY (2007) 7.7’ye göre Çizelge 4.7 ve Çizelge.4.8 incelendiğinde x doğrultusu için 1. , 2. ve 3. kat göçme durumu, 4. ve 5.katlar can güvenliği performans düzeyinde, y doğrultusu için 1. , 2. , 3. kat göçme durumu, 4. ve 5.katlar can güvenliği performans düzeyindedir. Sonuç olarak binada kullanılan deprem kayıtlarından maksimum etkiyi sağlayan ivme kaydına göre x ve y doğrultusunda yapısal performans GÖÇME durumundadır. Yapının güçlendirilmesi gereklidir.

### 4.3. Geleneksel Yöntem İle Güçlendirilen Yapıya Ait Analiz Sonucu

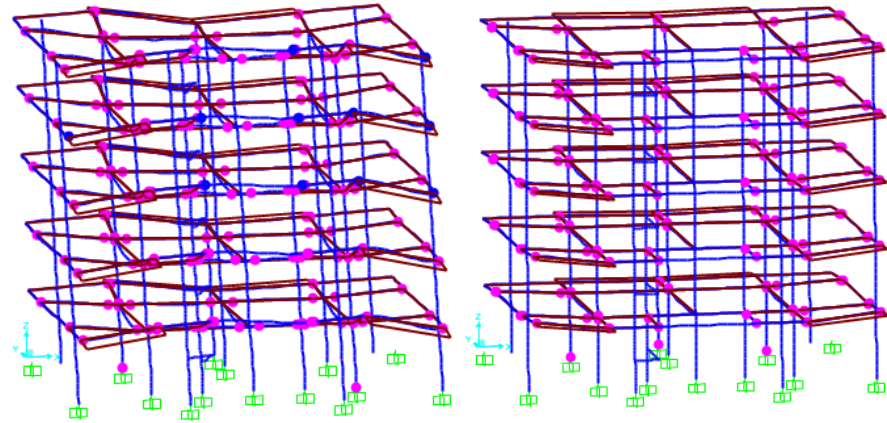
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizi sonucu RSN577 (Taiwan -1986), RSN740 (Loma Prieta – 1990) ve RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kayıtlarının x ve y doğrultularında etkilmesi durumunda geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıda oluşan plastik mafsallar sırasıyla Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiştir



**Şekil 4.4** RSN577 (Taiwan -1986) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar



**Şekil 4.5** RSN740 (Loma Prieta – 1990) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar



**Şekil 4.6** RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar



**Çizelge 4.9** X ve Y yönü kolon, perde ve kiriş hasar durumları

Kat No	Hasar Bölgesi	X doğrultusu				Y doğrultusu			
		Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)	Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)	Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)
1	MH	27	100	13	86,67	27	100	12	80
	BH	0	0	2	13,33	0	0	3	20
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
2	MH	26	96,3	15	100	27	100	13	86,67
	BH	1	3,70	0	0	0	0	2	13,33
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
3	MH	25	92,59	15	100	27	100	13	86,67
	BH	2	7,41	0	0	0	0	2	13,33
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
4	MH	24	88,89	15	100	27	100	13	86,67
	BH	3	11,11	0	0	0	0	2	13,33
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
5	MH	25	92,59	15	100	27	100	13	86,67
	BH	2	7,41	0	0	0	0	2	13,33
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0

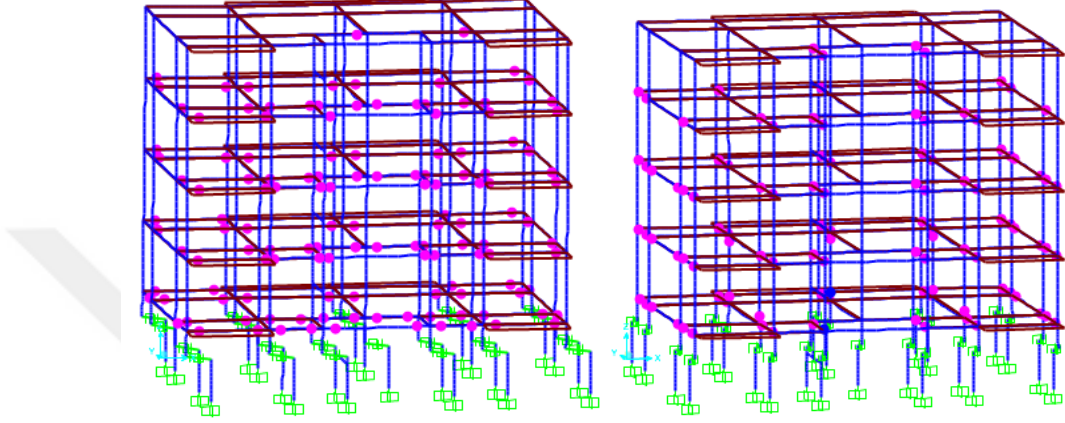
(MH) minimum hasar, (BH) belirgin hasar, (İH) ileri hasar, (GB) göçme bölgesi

Geleneksel güçlendirme işlemi uygulanan yapıda, deprem analizi sonucu ileri hasar bölgesi ve minimum hasar bölgesinde bulunan kolon ile perdelerin kesme kuvvetine katkısı % 0 (sıfır) olmakta, gevrek hasar gören eleman ise bulunmamaktadır.

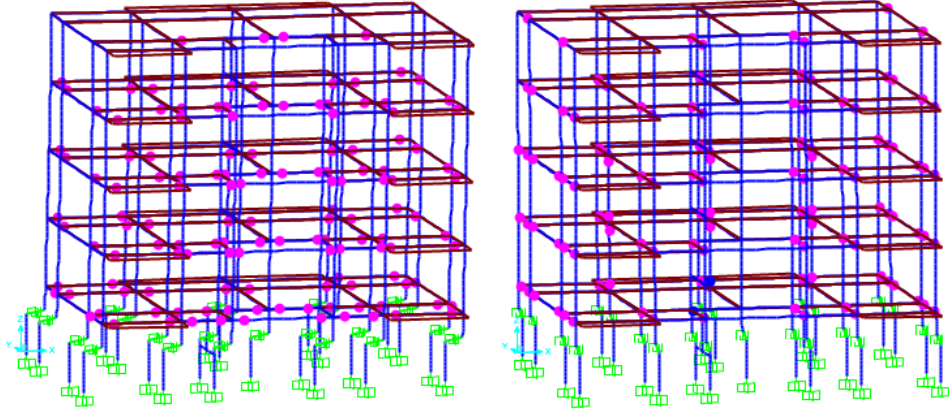
DBYBHY (2007) 7.7'ye göre Çizelge 4.9 incelendiğinde x doğrultusu için 1. kat can güvenliği, 2. ve 3. katlar hemen kullanım, 4. kat can güvenliği ve 5.kat hemen kullanım performans düzeyinde, y doğrultusu için 1., 2., 3., 4. ve 5.katlar can güvenliği performans düzeyindedir. Sonuç olarak bina da kullanılan deprem kayıtlarından maksimum etkiyi sağlayan ivme kaydına göre yapısal performans CAN GÜVENLİĞİ performans düzeyindedir.

#### 4.4. Yenilikçi Yöntem ile Güçlendirilen Yapıya Ait Analiz Sonucu

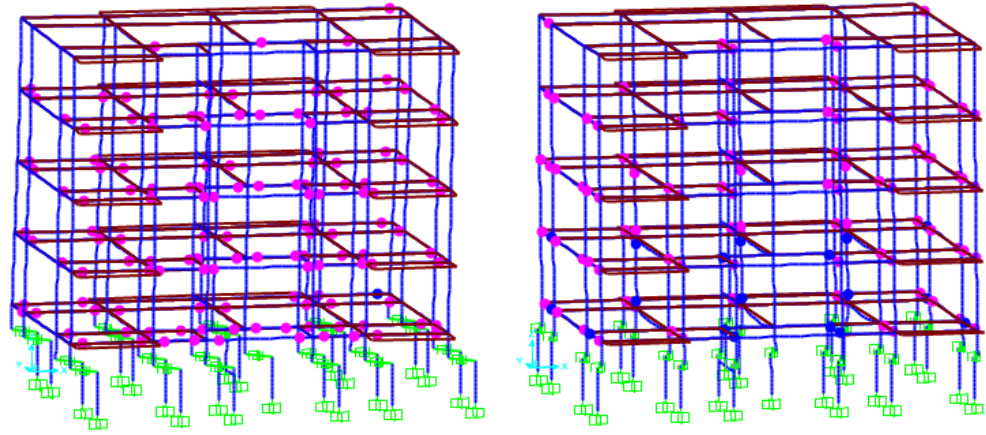
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizi sonucu RSN577 (Taiwan -1986), RSN740 (Loma Prieta – 1990) ve RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kayıtlarının x ve y doğrultularında etkilmesi durumunda yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıda oluşan plastik mafsallar sırasıyla Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9’da verilmiştir



Şekil 4.7 RSN577 (Taiwan -1986) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar



Şekil 4.8 RSN740 (Loma Prieta – 1990) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar



**Şekil 4.9** RSN1000 (Northridge – 1994) ivme kaydının x ve y doğrultusunda etkilmesi durumunda oluşan plastik mafsallar

**Çizelge 4.10** X ve Y yönü kolon ve kiriş hasar durumları

Kat No	Hasar Bölgesi	X doğrultusu				Y doğrultusu			
		Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)	Kolon sayısı	Kolon yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)	Kolon sayısı	Kolon yüzdesi (%)
1	MH	34	97,14	23	100	29	82,86	23	100
	BH	1	2,86	0	0	6	17,14	0	0
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
2	MH	35	100	23	100	31	88,57	20	86,96
	BH	0	0	0	0	4	11,43	3	13,04
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
3	MH	35	100	23	100	35	100	23	100
	BH	0	0	0	0	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
4	MH	35	100	23	100	35	100	23	100
	BH	0	0	0	0	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0
5	MH	35	100	23	100	35	100	23	100
	BH	0	0	0	0	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	0	0	0	0

(MH) minimum hasar, (BH) belirgin hasar, (İH) ileri hasar, (GB) göçme bölgesi

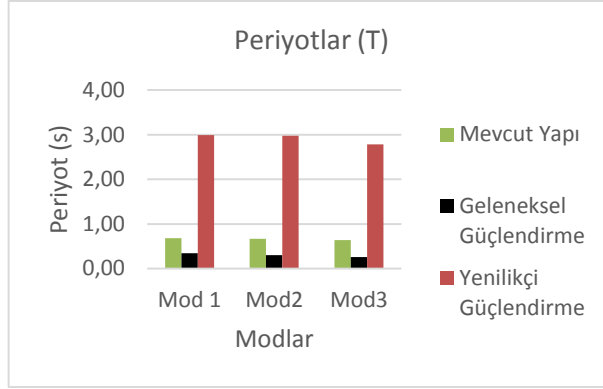
Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanan yapıda, deprem analizi sonucu ileri hasar bölgesi ve minimum hasar bölgesinde bulunan kolon ile perdelerin kesme kuvvetine katkısı % 0 (sıfır) olmakta, gevrek hasar gören eleman ise bulunmamaktadır.

DBYBHY (2007) 7.7'ye göre Çizelge 4.10 incelendiğinde x doğrultusu için 1. , 2. , 3. , 4. ve 5. katlar hemen kullanım performans düzeyinde, y doğrultusu için 1. ve 2. kat can güvenliği, 3. , 4. ve 5. katlar ise hemen kullanım performans düzeyindedir. Sonuç olarak binada kullanılan deprem kayıtlarından maksimum etkiyi sağlayan ivme kaydına göre yapısal performans CAN GÜVENLİĞİ performans düzeyindedir.

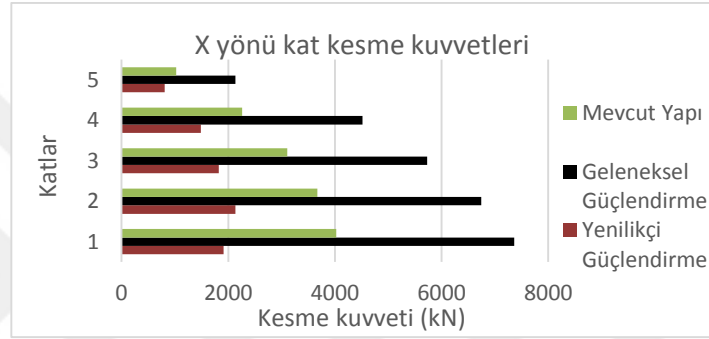
#### **4.5. Yapıların Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Mevcut yapı, geleneksel metotlarla güçlendirilmiş yapı ve yenilikçi metotla güçlendirilmiş yapıya ait periyot değerleri, x ve y doğrultularındaki kat kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri ve görelî kat yerdeğıştirmeleri Şekil 4.10 ile Şekil 4.16 arasındaki grafiklerde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

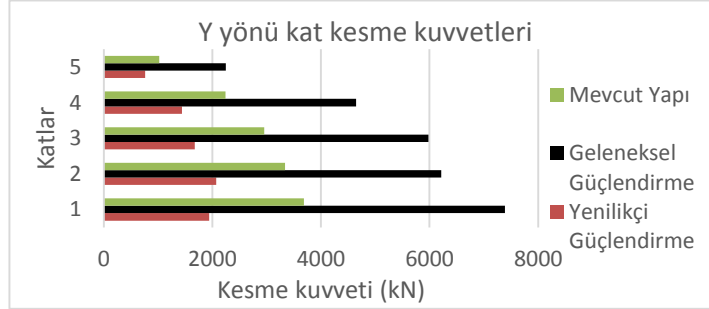
Şekil 4.10 incelendiğinde geleneksel güçlendirme yönteminin mevcut yapının rijitliğini arttırdığı için hâkim doğal titreşim periyodu azaldığı görülmektedir. Şekil 4.11 ve 4.12'de geleneksel güçlendirme yöntemi uygulanan yapıya gelen kat kesme kuvvetleri arttığı görülmektedir. Bunun sebebi yapının periyot değerinin azalması ve bu periyodun yapıya gelen yer ivmesinin hakim olduğu frekans aralığına düşmesi ile rezonans etkisinin artması ile açıklanabilir. Yenilikçi güçlendirme işlemi uygulanması ile yapının periyodunun önemli ölçüde değeri arttığı ve rezonans etkisinin azalması ile kat kesme kuvvetleri azaldığı görülmektedir. Yenilikçi güçlendirme yönteminde yer değıştirmenin çoğunluğu izolatör cihazında gerçekleştiği için üst katlara gidildikçe yer değıştirmeler az bir artış göstermiştir. Mevcut yapı ile kıyaslandığında izolatörle güçlendirilen yapının izolatör üst kısmının rijit kütle davranışına yakın bir davranış gerçekleştirdiği söylenebilir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.16'ya bakıldığında her iki güçlendirme yönteminin de görelî kat öteleme oranlarını azalttığı ancak yenilikçi güçlendirme yöntemi ile elde edilen değerlerin geleneksel yöntemle göre daha az olduğu görülebilir. Her iki güçlendirme yöntemi ile yapıda CAN GÜVENLİĞİ performans seviyesi sağlanmıştır.



Şekil 4.10 Yapılara ait periyotlar



Şekil 4.11. X yönüne ait maksimum kat kesme kuvvetleri



Şekil 4.12. Y yönüne ait maksimum kat kesme kuvvetleri

Çizelge 4.11 Mevcut yapı x doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü

Katlar	$h_i$ (m)	$d_i$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i}$	$\frac{0,02}{R=8}$	Koşul
1	3	0,036586	0,012195	0,0025	Sağlamadı
2	3	0,072035	0,011816	0,0025	Sağlamadı
3	3	0,097632	0,008532	0,0025	Sağlamadı
4	3	0,111298	0,004555	0,0025	Sağlamadı
5	3	0,117543	0,002082	0,0025	Sağladı

**Çizelge 4.12** Mevcut yapı y doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü

Katlar	$h_i$ (m)	$d_i$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i}$	$\frac{0,02}{R=8}$	Koşul
1	3	0,033339	0,011113	0,0025	Sağlamadı
2	3	0,067128	0,011263	0,0025	Sağlamadı
3	3	0,094466	0,009113	0,0025	Sağlamadı
4	3	0,111568	0,005701	0,0025	Sağlamadı
5	3	0,120804	0,003079	0,0025	Sağlamadı

**Çizelge 4.13** Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapı x doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü

Katlar	$h_i$ (m)	$d_i$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i}$	$\frac{0,02}{R=4}$	Koşul
1	3	0,006640	0,002213	0,005	Sağladı
2	3	0,016780	0,00338	0,005	Sağladı
3	3	0,028540	0,00392	0,005	Sağladı
4	3	0,040870	0,00411	0,005	Sağladı
5	3	0,052970	0,004033	0,005	Sağladı

**Çizelge 4.14** Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapı y doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü

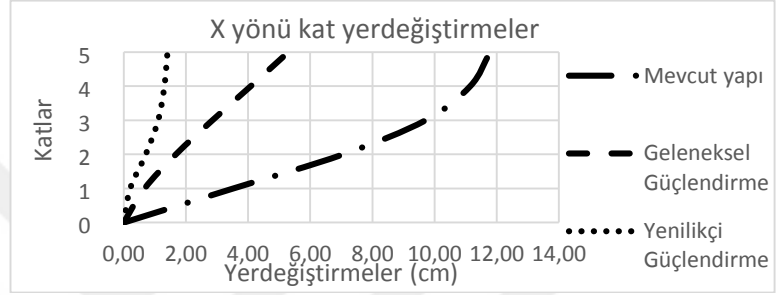
Katlar	$h_i$ (m)	$d_i$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i}$	$\frac{0,02}{R=4}$	Koşul
1	3	0,007876	0,002625	0,005	Sağladı
2	3	0,018959	0,003694	0,005	Sağladı
3	3	0,030749	0,00393	0,005	Sağladı
4	3	0,042692	0,003981	0,005	Sağladı
5	3	0,054463	0,003924	0,005	Sağladı

**Çizelge 4.15** Yenilikçi yöntem ile güçlendirilmiş yapı x doğrultusuna ait görelî kat ötelemesi kontrolü

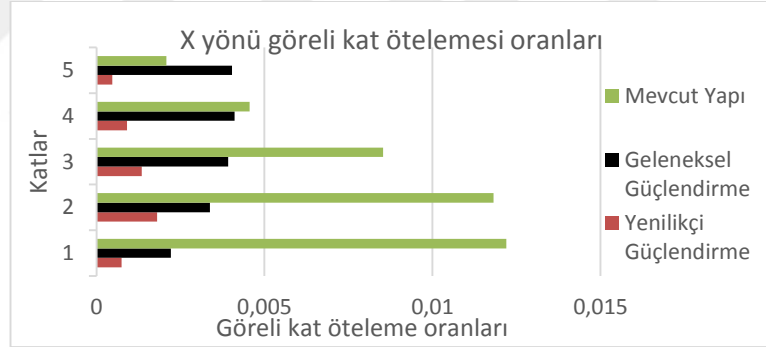
Katlar	$h_i$ (m)	$d_i$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i}$	$\frac{0,02}{R=2}$	Koşul
1	3	0,002242	0,000747	0,01	Sağladı
2	3	0,007644	0,001801	0,01	Sağladı
3	3	0,011684	0,001347	0,01	Sağladı
4	3	0,014411	0,000909	0,01	Sağladı
5	3	0,015825	0,000471	0,01	Sağladı

**Çizelge 4.16** Yenilikçi yöntem ile güçlendirilmiş yapı y doğrultusuna ait görel kat ötelemesi kontrolü

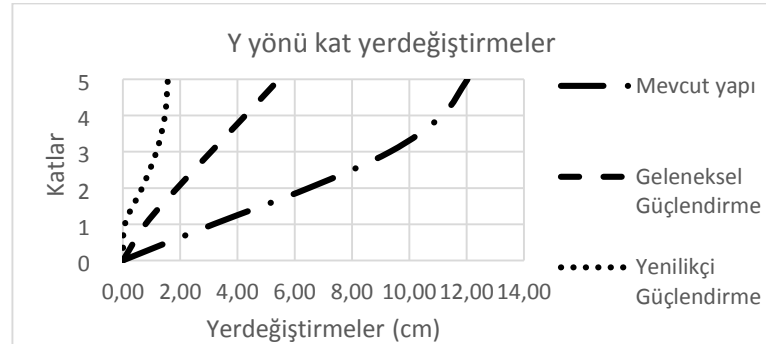
Katlar	$h_i$ (m)	$d_i$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i}$	$\frac{0.02}{R=2}$	Koşul
1	3	0,000666	0,000222	0,01	Sağladı
2	3	0,006977	0,002104	0,01	Sağladı
3	3	0,011863	0,001629	0,01	Sağladı
4	3	0,015289	0,001142	0,01	Sağladı
5	3	0,017088	0,0006	0,01	Sağladı



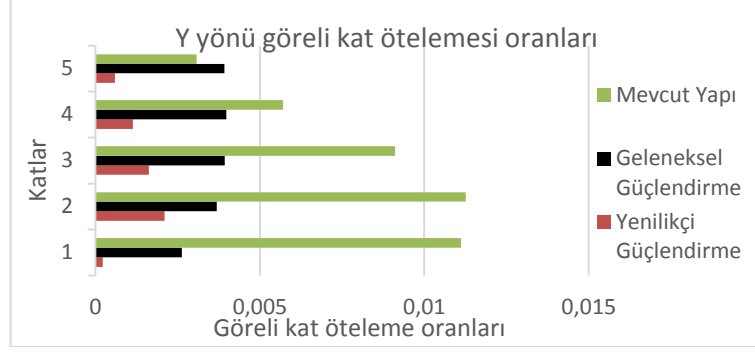
**Şekil 4.13.** X yönüne ait kat yerdeğiştirmeleri



**Şekil 4.14.** X yönüne ait görel kat yerdeğiştirme oranları



**Şekil 4.15.** Y yönüne ait kat yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.16. Y yönüne ait görel kat yerdeğiştirme oranları

#### 4.6. Maliyet Analizi

Bu kısımda mevcut yapı için öngörülen iki güçlendirme yönteminin maliyetleri kıyaslanmıştır. Çizelge 4.17 incelendiğinde geleneksel yöntem ve yenilikçi güçlendirme yönteminin maliyet açısından birbirine yakın sonuçlar verdiği görülebilir. Her iki yöntem için de maliyetler çıkarılırken mevcut yapının kullanılmadığı varsayılmıştır.

Çizelge 4.17 Geleneksel ve Yenilikçi güçlendirme yöntemlerine ait maliyet analizi

Açıklama	Geleneksel güçlendirme Tutarı	Yenilikçi güçlendirme Tutarı
Yıkım işleri (Duvar yıkma, parke, radyatör, pencereler sökülmesi, paspayı sıyırma vs)	40.655,99 ₺	10,490.18 ₺
Demir	55.680,00 ₺	20,300.00 ₺
Beton	26.416,88 ₺	4,944.66 ₺
Donatıların epoksi ile ekilmesi ve bağlanması, kalıpların çakılması ve betonun dökülmesi, kalıp sökümü ve kür işlemleri	55.350,00 ₺	6,210.00 ₺
İzolatör ( İzolatör ve Montaj dâhil fiyatı)	-	226,409.70 ₺
Onarım işlemleri ( Duvar örme, alçı sıva, mantolama, boya, parke, pencereler ve radyatörlerin takılması vs. )	130.430,33 ₺	34,342.50 ₺
<b>Toplam</b>	<b>308.533,19 ₺+KDV</b>	<b>302,697.04 ₺+KDV</b>

Maliyet hesaplamasında esas alınan birim fiyatlar, piyasada ilgili iş kalemi ile uğraşan uzman kişiler tarafından alınmıştır. İzolatör birim fiyatı TİS (2016) firmasından alınmıştır. İzolatör ve montaj dahil birim fiyat 1570 Euro/cihazdır. 22.03.2019 tarihli Euro kuruna göre 1 Euro, 6,27 Türk Lirasıdır.



## 5. SONUÇ

Bu çalışmada mevcut olduğu varsayılan ve yapılan performans analizi sonucu göçme seviyesinde olan bir bina için iki güçlendirme alternatifi öngörülmüştür. Geleneksel ve yenilikçi güçlendirme alternatifi olarak anılan bu iki alternatifinden birincisi yapıya yeni yapısal elemanların eklenmesi ve mevcut elemanların mantolanması şeklinde iken, ikincisi yapıya sismik izolatörlerin montajlanması şeklindedir. Söz konusu üç yapı için de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile performans analizleri yapılmıştır. Her iki güçlendirme alternatifinden can güvenliği performans seviyesi elde edilmiştir. Ancak performans analizinin sonuçlarına detaylı bakıldığında yenilikçi güçlendirme alternatifi uygulanması durumunda yapının klasik güçlendirme alternatifine göre daha iyi bir performans gösterdiği görülebilir. Üç yapıya ait periyotlar, kat kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri, görelî kat öteleme oranları kıyaslanmıştır. Her iki güçlendirmede de kat yer değiştirmelerinde ve görelî kat ötelemelerinde azalış olurken, geleneksel güçlendirme ile güçlendirilmiş yapının periyodundaki düşüşle beraber kat kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Yenilikçi güçlendirme ile güçlendirilmiş yapıda ise kat kesme kuvvetleri önemli ölçüde azalmış, sismik izolasyonun amacına uygun olarak yapıya gelen deprem etkisi önemli ölçüde azalmıştır. Söz konusu yapı için iki güçlendirme yöntemine ait maliyetler kıyaslandığında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Maliyet hesabında yapının kullanılmadığı varsayılmıştır. Yapının kullanımda olması durumunda tüm yapının boşaltılması, bu zaman diliminde bina sakinlerinin başka bir yerde konaklaması vs. gibi kalemlerin de dikkate alınması gerekir. Bu açıdan bakıldığında geleneksel yöntemde işçiliğin fazla ve inşaat süresinin uzun olması sebebiyle maliyetin daha fazla olması beklenebilir.

## KAYNAKLAR

- Adjou, N., Haddadou, N. 2015.** Comparative performance of isolated and fixed-base reinforced concrete structures. *Journal of Building Materials and Structures*, 2: 1-9.
- AFAD. 2018 .** Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı , Deprem Daire Başkanlığı, T.C. İçişleri Başkanlığı. <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/> (Erişim Tarihi: 29.10.2018) adresinden alınmıştır.
- ASCE 7-10. 2010.** Minimum design loads for buildings and other structures 2010. American Society of Civil Engineers, Amerika.
- Atmaca, M. 2013.** Betonarme yapılarda performans analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Ayhan, O. 2006.** Binaların depreme karşı güçlendirilmesinde klasik yöntem ile sürtünmeli sarkaç sistemlerin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Baştuğ, B. 2004.** Yapı sistemlerinde depreme karşı sismik izolatör kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- DBYBHY. 2007.** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yayın No: 26454, Ankara.
- Dın, F. M., Pavitra, C., Muthukumar, M. 2017.** Time history analysis of the base isolated steel structure. *SSRG International Journal of Civil Engineering ( SSRG – IJCE )*, 4(6): 2348 – 8352.
- Doğangün, A. 2013.** Betonarme yapıların hesap ve tasarımı. Birsen yayınevi, İstanbul.
- Fahjan, Y. M. 2006.** Türkiye deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *İMO Teknik Dergi (2008)*, 4423-4444, yazı 292.
- Fahjan, Y. M. 2006.** Türkiye deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *İMO Teknik Dergi (2008)*, 4423-4444, yazı 292.
- Ganji, M., Kazem, H. 2017.** Comparing seismic performance of steel structures equipped with viscous dampers and lead rubber bearing base isolation under near-field earthquake. *Civil Engineering Journal*, 3(2).
- Ghodke, R. B., Admane, S. V. 2015.** Effect of base-isolation for building structures. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 4(4): 2278 – 7798.
- Gökhan, E. 2009.** Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Han, M. 2017.** Application of base isolation systems to reinforced concrete frame buildings. Master of Applied Science, Faculty of Civil Engineering, University of Ottawa, Canada.
- Hasan, A. 2016.** Performance of reinforced concrete hospital building subjected to earthquake using base-isolation system. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 28(2): 257-269.
- Hassan, A., Pal, S. 2017.** Performance analysis of base isolation & fixed base buildings. International Conference On Emerging Technology In Structural Engineering (IFERP), 17-18 March 2017, Nagbur, India.

- Kamrawa, A. 2015.** Seismic isolators and their types,. *Current World Environment journal*, 10(1): 27-32.
- Kaptan, K. 2013.** Seismic base isolation and energy absorbing devices. *Europen Scientific Journal*, 9(18): 1857-7881.
- Khannavar, S., Kolhar, M. H. 2016.** Seismic analysis of rc structures using base isolation technique. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(7): 2395-0072.
- Kök, S. 2014.** Deprem dayanımı için sismik izolasyon sistemleri kullanımı ve Türkiye'deki uygulamalarının analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Melkumyan, M., Mihul, V., Gevorgyan, E. 2011.** Retrofitting by base isolation of existing buildings in Armenia and in Romania and comparative analysis of innovative vs. conventional retrofitting. III ECCOMAS Thematic Conference Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering. 25-28 May, 2011, Corfu, Greece.
- Nassani, D. E., Abdulmajeed, M. W. 2015.** Seismic base isolation in reinforced concrete structures,. *International Journal of Research Studies in Science (IJRSSET), Engineering and Technology*, 2(2): 2349-4751.
- Özpalanlar, C. G. 2004.** Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönümleyici sistemler. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- PEER. 2006.** Pacific Earthquake Engineerin Research Center, PEER Strong Motion Database. <https://ngawest2.berkeley.edu/> (Erişim Tarihi: 06.11.2018) adresinden alınmıştır.
- SAP2000 v20.0. 2018.** Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., California. <https://www.csiamerica.com/products/sap2000> (Erişim Tarihi: 20.08.2018) adresinden alınmıştır.
- Seismosignal. 2018 .** Seismosoft Earthquake Engineering Software Solitions, Pavia , Italy. [https://www.seismosoft.com/SeismoSignal\\_2018\\_Release-2](https://www.seismosoft.com/SeismoSignal_2018_Release-2) (Erişim Tarihi: 25.10.2018 adresinden alınmıştır.
- Shaikh, S. S., Murnal, P. B. 2015.** Base isolation at different levels in building. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 2(10): 2349-8404.
- Singh, A. G., Lohar, A. K., Yadav, A. T., Awad, S. R. 2017.** Analytical behaviour of multistoried building with base isolation and cross bracing subjected to earthquake loading. *International Journal of Engineering Science and Computing (IJESC)*, 7(4).
- STA4CAD v13.1. 2015.** STA Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti-Structural Analysis for Computer Aided Design. <http://www.sta4.net/> (Erişim Tarihi: 15.07.2018) adresinden alınmıştır.
- Şadan, B. 2017.** Deprem yalıtımlı bina tasarımı ders notları, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa.
- Şengel, H. S., Erol, H., Yavuz, E. 2009.** Sismik izolasyon tekniği ve kullanımına ilişkin örnek uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, XXII(2).
- TİS. 2016.** Teknolojik İzolatör Sistemleri, Mim mühendislik inşaat çelik endüstri sanayi ve ticaret A.Ş. , Ankara.
- TS 500. 2000.** TÜRK STANDARDI ,Betonarme yapıların tasarımı ve yapım kuralları 2000.

**Xtract (v3.0.8). 2004.** Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento. <http://www.trcbridgedesignsoftware.com/software-XTRACT.html> (Erişim Tarihi: 01.08.2018) adresinden alınmıştır.

**Yılmaz, C. 2008.** Statik itme analiziyle mevcut bir betonarme yapının performans değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Yücesoy, A. 2005.** Sismik izolatörler ile depreme dayanıklı yapı tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antakya



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sezer YİĞİT  
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar / 28.01.1994  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gözcübaba Lisesi / 2008-2012  
Lisans : Uludağ Üniversitesi / 2012-2016

Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl :

İletişim (e-posta) : sezeryigit94@hotmail.com

Yayınları :