

AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

BETONARME BİR HASTANE BİNASININ EĞRİ YÜZEYLİ TABAN
İZOLATÖRLÜ VE İZOLATÖRSÖZ DURUMUNUN ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE
GÖRE TASARIM PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI

İnş. Müh. Nimet TERKİR

Avrasya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsünde
"İnşaat Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08/07/2021
Tezin Savunma Tarihi : 11/08/2021

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Recep SUK

Trabzon 2021

Avrasya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Nimet TERKİR tarafından hazırlanan

BETONARME BİR HASTANE BİNASININ EĞRİ YÜZEYLİ TABAN
İZOLATÖRLÜ VE İZOLATÖRSÖZ DURUMUNUN ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE
GÖRE TASARIM PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI

Başlıklı bu çalışma, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun
26/07/2021 gün ve 2021-25 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Juri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Basri ERTAŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Recep SUK

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Anar TAGHIYEV

Prof. Dr. Cemal BIYIK
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çalışma amacı; Özellikle depremde hemen sonra da kullanılması büyük hayati önem taşıyan binalar ile yüksek katlı yapılar üzerindeki olası deprem etkilerini azaltan sistemleri araştırarak bu sistemlerden biri olan sürtünmeli tip taban izolatörü kullanılan bir bina ile kullanılmayan özdeş bir binanın deprem performansını araştırmaktır.

Araştırma sürecim boyunca, deneyimleriyle bilgi ve tecrübeleriyle bana çok büyük katkı sağlayarak destekte bulunan, hoşgörülü ve sabırlı tutum sergileyen, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen her zaman yanımda olan Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Recep SÜK'a teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bana her türlü desteğini esirgemeyen sevgili eşim Birsen TERKİR'e çok teşekkür ediyorum.

Nimet TERKİR
Trabzon 2021

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırladığım “Betonarme Bir Hastane Binasının Eğri Yüzeyli Taban İzolatörlü ve İzolatörsöz Durumunun Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım Performansının Karşılaştırılması” isimli bu çalışmanın her aşamasında analizleri kendim yaptığımı kullanılan tüm verileri kendim topladığımı diğer kaynaklardan aldığım bilgilerin tamamını kaynakçada ve metin içinde gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı beyan ederim. 08/07/2021

Nimet TERKİR

Trabzon 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. İzolatör Kavramı	1
1.3. İzolatör Teknolojisinin Tarihçesi.....	3
1.4. İzolasyon Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	8
1.4.1. Kauçuk Esaslı İzolatörler.....	9
1.4.1.1. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler	10
1.4.1.2. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler.....	10
1.4.1.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler.....	11
1.4.2. Sürtünme Esaslı Kayıcı İzolatörler	12
1.4.2.1. Düz Yüzeyli Kayıcı İzolatör	12
1.4.2.2. Eğrisel Yüzeyli Kayıcı İzolatör	13
1.4.2.2.1. Tek Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	13
1.4.2.2.2. İki Yüzeyli Sürtünmeli İzolatör.....	14
1.4.2.2.3. Çoklu Yüzeyli Sürtünmeli İzolatör	14
1.4.2.3. Oluklu Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	15
1.4.2.3.1. Tek Oluklu Çift Yüzeyli Sürtünmeli sarkaç İzolatör	15
1.4.2.3.2. Çok Oluklu Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	16
1.4.3. Kauçuk- Kayıcı sistemler.....	16
1.4.3.1. Fransa Elektrik Kurumu Sistemleri (Electricite-de France Sistemi)(EDF)	16
1.4.3.2. EERC Birleşik Sistemleri (Earthquake Engineering Research Center).....	17
1.4.3.3. TASS sistemleri	18

1.4.3.4.	Yay Tipi Sistemler.....	18
1.5.	Pasif Damperler (Pasif Enerji Sönümleyiciler)	19
1.5.1.	Metal Damperler.....	19
1.5.1.1.	Adas ve Tadas.....	20
1.5.2.	Sürtünmeli Damperler.....	21
1.5.3.	Viskoelastik Damperler	22
1.5.4.	Viskoz sönümleyiciler	24
1.5.5.	Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler	25
1.5.6.	Ayarlı Kütle Sönümleyiciler.....	26
1.6.	İzolator Sistemlerin Karşılaştırması.....	28
1.7.	İzolasyon Sisteminin Temel Görevleri ve Faydaları	32
1.7.1.	İzolasyon Sistemlerinin Temel Görevleri	32
1.7.2.	İzolasyon Sistemlerinin Faydaları	32
2.	İZOLATÖLERİN GENEL VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	33
2.1.	Kauçuk İzolatorlerin Mekanik Özellikleri.....	33
2.1.1.	Yatay Rijitlik (K_h).....	33
2.1.2.	Düşey Rijitlik (K_v).....	34
2.1.3.	Kauçuk İzolatorlerin Burkulma Yüğü Hesabı	36
2.1.4.	Kauçuk İzolatorlerin Büyük Yatay Deplasmanlar Altındaki Stabilitesi.....	37
2.2.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatorlerin Mekanik Özellikleri	38
2.3.	Sürtünmeli Sarkaç Tip Mesnetlerin Mekanik Özellikleri.....	39
3.	SİSMİK İZOLASYONLU YAPILARIN HAREKET DENKLEMİ	43
3.1.	Sismik İzolasyonlu Yapının Hareket Denklemi	44
4.	İZOLASYONLU BİR YAPI TASARIMINDA GENEL ESASLAR.....	47
4.1.	Hesap Yöntemleri	47
4.2.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	48
5.	ÖRNEK YAPI TASARIMI.....	49
5.1.	Genel Bilgiler	49
5.2.	Tasarım ve Boyutlandırmada Esas Alınan Yüğüler	49
5.3.	Deprem Karakteristikleri	49
5.4.	Yapının Boyutlandırılması ve Planı.....	51
5.5.	Yapıda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	53

5.6.	Yapının Taşıyıcı Sistem Elemanları	54
5.7.	TBDY 2018 e Göre Yapının Parametrelerinin Seçilmesi.....	55
5.7.1.	Deprem Tasarım Spektrum Bilgileri.....	55
5.7.2.	Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	56
5.7.3.	Yerel Zemin Sınıfları	57
5.7.4.	Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları	57
5.7.5.	Deprem Tasarım Sınıfı.....	58
5.7.6.	Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları.....	58
5.7.7.	Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları	58
5.7.8.	Bina Süneklik Düzeyi	59
5.8.	Bina Ağırlık Hesapları.....	59
5.9.	Taşıyıcı Sitemin Plastik Mafsal Özelliklerinin Hesaplanması.....	61
5.9.1.	Kirişler İçin Kesit Analizi ve Malzeme Modellenmesi	63
5.9.1.1.	K1 Kirişine Ait Sargısız Beton Malzeme Modellenmesi.....	63
5.9.1.2.	K1 Kirişine Ait Sargılı Beton Malzeme Modellenmesi.....	64
5.9.1.3.	K1 Kirişine Ait Donatı Çeliği Malzeme Modeli.....	65
5.9.1.4.	K1 Kirişine Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma	67
5.9.1.5.	K2 Kirişine Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma	67
5.9.2.	Kesit Analizi İçin Kolonların Modellenmesi.....	72
5.9.2.1.	S1 Kolonuna Ait Sargısız Beton Malzeme Modellenmesi	72
5.9.2.2.	S1 Kolonuna Ait Sargılı Beton Malzeme Modellenmesi.....	74
5.9.2.3.	S1 Kolonuna Ait Donatı Çeliği Malzeme Modeli	75
5.9.2.4.	S1 Kolonuna Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma	76
5.9.2.5.	S2 Kolonuna Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma	77
5.10.	Plastik Mafsal Özelliklerinin 12 Katlı Örnek Yapıya Tanıtılması.....	78
5.10.1.	Kolonlar İçin Plastik Mafsal Tanımlaması	78
5.10.2.	Kirişler İçin Plastik Mafsal Tanımlaması	80
5.11.	Deprem İvme Kaydının Seçilmesi ve TBDY2018'e Göre Benzeştirilmesi	84
5.11.1.	Seçilen Deprem İvmesi Kayıtları.....	84
6.	EĞRİ YÜZEYLİ SÜRTÜNMELİ YALITIM ELEMANI MODELLENMESİ ...	97
6.1.	TBDY 2018 e Göre Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Modellenmesi	97
6.2.	TBDY18'e Göre Yalıtım Birimi Hesap Adımları	99

7. SONUÇ	107
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	113



ÖZET

BETONARME BİR HASTANE BİNASININ EĞRİ YÜZEYLİ TABAN İZOLATÖRLÜ VE İZOLATÖRSÖZ DURUMUNUN ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI

Nimet TERKİR

Avrasya Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Recep SUK
2021, (114 Sayfa)

Deprem kuşağında yer alan Ülkemizde olası depremlerde meydana gelebilecek can ve mal kaybını azaltabilmek için yapılan bilimsel çalışmalar ve bu çalışmalar neticesinde elde edilen veriler doğrultusunda yapılan uygulamaların depremin yıkıcı etkisini ne ölçüde azalttığını görmek için sürtünme tipi bir taban izolatörünün yapılar üzerindeki performansı incelenmiştir. Bunun için tek eğri yüzeyle sürtünme tipi bir taban izolatörü hesapları yapılarak örnek yapının tabanına eklenmiştir. Örnek yapı olarak da 12 katlı betonarme bir bina modellenmiş ve binanın kolon ve kirişlerinin kesit analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz verileri SAP2000 programında izolatörlü ve izolatörsüz olarak tasarlanan binada uygulanmıştır. Her iki durum için performans analizi yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. İki durumda da şekil değiştirmeye göre (ŞGDT) performans analizleri yapılmıştır. Ayrıca uygulamada yığılı plastik mafsallı model kullanılmıştır. Yapılan tüm değerlendirmeler ve analizler binaların tasarımında ve projelendirilmesinde izolatörlerin kullanılmasının, yapı elemanlarının hasar miktarlarını çok büyük oranda azalttığını ve yapının performans seviyesini aynı oranda artırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünmeli Tip İzolatör, Taban İzolatörü, Deprem İzolatörü, Tek Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör,

Master Thesis

SUMMARY

COMPARİSON OF THE DESİGN PERFORMANCE OF A REİNFORCED CONCRETE HOSPİTAL BÜİLDİNG WITH CURVED SURFACE BASE İNSULATOROUS AND NOT ADDED İNSULATOR ACCORDİNG TO DEFORMATION BASED DESİGN

Nimet TERKİR

Avrasya University
Institute of Science
Department of Civil Engineering
Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Recep SÜK
2021, (114 Pages)

In Turkey, which is located in the earthquake zone, the effect of a friction type base insulator on the structures has been examined in order to see to what extent the scientific studies conducted to minimize the loss of life and property that may occur in possible earthquakes and the applications made in line with the data obtained as a result of these studies, reduce the destructive effect of the earthquake. For this, a friction type sole insulator with a single curved surface was added to the base of the sample structure by making calculations. As an example, a 12-storey reinforced concrete building was modeled and cross-section analysis of the columns and beams of the building was carried out. The obtained analysis data was applied in the SAP2000 program in the building designed with and without insulators. Performance analysis and comparison were made for both cases. In both cases, performance analyses were performed according to shape change (ŞGDT). In addition, a stacked plastic knuckle model was used in the application. All the evaluations and analyzes have shown that the use of insulation elements in the design and projecting of buildings greatly reduces the amount of damage to the building elements and increases the performance level of the building at the same rate.

Keywords: Friction Type Insulator, Base Isolator, Earthquake Isolator, Single Surface Friction Pendulum Insulator,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Mesnet tiplerine göre yapı davranışları	3
Şekil 1.2. Mesnet tiplerine göre yapı periyodları	3
Şekil 1. 3. Jules Touaillon'un çift içbükey bilyalı rulman için orijinal patenti 1870.....	4
Şekil 1.4. A. Westwood sismik izolasyon patenti 1987	5
Şekil 1.5. F. Schar, bina temeli izolasyon patenti 1910	6
Şekil 1.6. J.F.J. Bakker, binalar için denge bloğu	6
Şekil 1.7. V. A. Zayas, Deprem koruyucu kolon destekleri 1985	7
Şekil 1.8. Düşük ve yüksek sönümlü kauçuk izolatör.....	10
Şekil 1.9. Düşük Ve Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör Histeretik Eğrisi	11
Şekil 1.10. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	12
Şekil 1.11. Tek Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	14
Şekil 1.12. Çift Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	14
Şekil 1.13. Çoklu Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	15
Şekil 1.14. Tek oluklu Çift Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	15
Şekil 1.15 Çok Oluklu Sürtünmeli Sarkaç İzolatör	16
Şekil 1.16. EDF Sistem Mekanizması	17
Şekil 1.17. EERC sistem uygulaması	17
Şekil 1.18. TASS sistem uygulama kesiti	18
Şekil 1.19. Yay tipi sismik izolatör sistemi	19
Şekil 2.1. Sürtünmeli sarkaç izolatöre etkiyen kuvvetler	40
Şekil 2.2 . Kayma hızına bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	41
Şekil 2.3 . Basınca bağlı sürtünme katsayısı değişimi	41
Şekil 3.1 Taban izolasyonlu bina. (b alt indisi taban izolatörünü simgelemektedir.)	44
Şekil 5.1 Türkiye Deprem Tehlike haritaları	50
Şekil 5.2 Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (Trabzon/Yomra)	50
Şekil 5.3. Tasarlanan binanın zemin kat planı.....	51
Şekil 5.4. Binanın plan ve üç boyutlu görünümü	52
Şekil 5.5. Trabzon/Yomra Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	56
Şekil 5.6. Trabzon/Yomra Düşey Elastik Tasarım Spektrumu	56

Şekil 5.7. (G+0,3Q) Kolon Yükleri	61
Şekil 5.8. S1 ve S2 Kolonlarında kullanılan malzeme modeli.	62
Şekil 5.9. K1 ve K2 Kirişlerinde kullanılan malzeme modeli	62
Şekil 5.10. Sargısız K1 kiriş Stres-Strain grafiği	63
Şekil 5.11. Sargılı K1 kiriş Stres-Strain grafiği	64
Şekil 5.12. S420 donatı çeliği Stres-Strain grafiği	66
Şekil 5.13. K1 Kirişi XTRACT [46] Programı ile modellenmesi	67
Şekil 5.14. K2 Kirişi XTRACT [46] Programı ile modellenmesi	67
Şekil 5.15. K1 Kirişi için elde edilen moment eğrilik grafiği	72
Şekil 5.16. Sargısız S1 kolonu Stres-Strain grafiği	73
Şekil 5.17. Sargılı S1 kolonu Stres-Strain grafiği	74
Şekil 5.18. S420 donatı çeliği Stress-Strain grafiği	75
Şekil 5.19. S1 Kolonunun XTRACT [46] Programı ile modellenmesi.....	76
Şekil 5.20. S2 Kolonunun XTRACT [46] Programı ile modellenmesi.....	77
Şekil 5.21. Yapıya Rijit Diyafram Atılması	78
Şekil 5.22. Define Frame Hinge Properties penceresi	79
Şekil 5.23. Frame Hinge Property Data penceresi	79
Şekil 5.24. Sap2000 S1 kolonu Interacting P-M2-M3 penceresi	80
Şekil 5.25. Define Frame Hinge Properties penceresi	81
Şekil 5.26. Frame Hinge Property Data diyalog kutusu.	81
Şekil 5.27. Frame Hinge Property Data For KİRİŞ_K1-Moment M3 Penceresi	82
Şekil 5.28. Frame Hinge Property Data For KİRİŞ_K2-Moment M3 Penceresi	83
Şekil 5.29. Kolon ve Kirişlerin Plastik Mafsal Noktaları	83
Şekil 5.30. Seçilen İvme kayıtlarının Ham ve benzeştirilmiş durumları.....	85
Şekil 5.31. Define Response Spectrum Functions	86
Şekil 5.32. Response Spectrum Functions TSC-2018 Function Definition	86
Şekil 5.33. Define Time History Function	87
Şekil 5.34. Time History Definition	87
Şekil 5.35. Time History Matched to Response Spectrum	88
Şekil 5.36. Define Load Cases	89
Şekil 5.37. Load Case data-Linear Static	89

Şekil 5.38. 11 Adet deprem için oluşan hasar durumlarının grafik görünümü	96
Şekil 6.1. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri	98
Şekil 6.2. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri kuvvet-yer değiştirme eğrisi	98
Şekil 6.3. Link/Support Propertis Data	103
Şekil 6.4. Yalıtım birimi U1, U2 ve U3 değerlerinin tanıtılması	103
Şekil 6.5. Yapının izolatör tanıtılmış şekli	104



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. İzolatör sistemlerin karşılaştırması (a)	28
Tablo 1.2. İzolatör sistemlerin karşılaştırması (b)	29
Tablo 1.3. Sönümleyici sistemlerin karşılaştırması (a)	30
Tablo 1.4. Sönümleyici sistemlerin karşılaştırması (b)	31
Tablo 2.1. Kauçuğun sıkıştırılmayan durumdaki basınç modülü (Eck)	35
Tablo 2.2. Şekil Faktörü (S)	36
Tablo 4.1. Hesap Yöntemleri.....	47
Tablo 5.1. Kolon ve kiriş kesit tipleri.....	52
Tablo 5.2. Tasarlanan binanın parametreleri	53
Tablo 5.3. Yapıda kullanılan beton özellikleri	54
Tablo 5.4. S420 Donatı çeliğinin mekanik özellikleri.....	54
Tablo 5.5. Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Kolon Tipleri.....	54
Tablo 5.6. Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Kiriş Tipleri.....	55
Tablo 5.7. Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Döşeme Tipleri.....	55
Tablo 5.8. Tasarım Spektrum Bilgileri.....	55
Tablo 5.9. Tasarlanan Yapının için seçilen Deprem Yer Hareketi Düzeyleri [42]	56
Tablo 5.10. Tasarlanan Yapının yerel zemin sınıfı	57
Tablo 5.11. Yapının Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısı	57
Tablo 5.12. Deprem Tasarım Sınıfları.....	58
Tablo 5.13. Bina Yükseklik Sınıfı.....	58
Tablo 5.14. Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları.....	59
Tablo 5.15. Binanın Süneklik Düzeyi	59
Tablo 5.16. Tasarlanan Binanın Ağırlık Hesapları.....	60
Tablo 5.17. G+0,3Q kombinasyonunda kolonlara ait yükler	60
Tablo 5.18. K1 Kirişi (Pozitif) Kesit Analizi Raporu	68
Tablo 5.19. K1 Kirişi (Negatif) Kesit Analizi Raporu	69
Tablo 5.20. K2 Kirişi (Pozitif) Kesit Analizi Raporu	70
Tablo 5.21. K2 Kirişi (Negatif) Kesit Analizi Raporu	71
Tablo 5.22. K1 Kirişi analiz sonuçları	72

Tablo 5.23. K2 Kirişı Analiz sonuçları	72
Tablo 5.24. S1 Kolonu Analiz sonuçları	77
Tablo 5.25. S2 Kolonu Analiz sonuçları	77
Tablo 5.26. K1 ve K2 Kirişleri için hesaplanan moment ve dönme değerleri	82
Tablo 5.27. Seçilen 11 adet deprem bilgileri.	84
Tablo 5. 28. Hesaplanan plastik dönme sınırları	90
Tablo 5.29. İzolatörsüz Yapıda Hesaplanan Hasar Durumları	91
Tablo 5.30. Kocaeli depremi için Göçme Sınırını Aşan Kolonlar	92
Tablo 5.31. Kocaeli Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda olan Kolonlar	92
Tablo 5.32. Düzce Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda olan Kolonlar	93
Tablo 5.33. Erzincan Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar	93
Tablo 5.34. Landers Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar	93
Tablo 5.35. Cape Mendocino Depremi İçin Göçme Sınırını Aşan S1 Tipi Kolonlar	94
Tablo 5.36. Cape Mendocino Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar ..	94
Tablo 5.37. Cape Mendocino Depremi İçin Göçme Sınırını Aşan S2 Tipi Kolonlar	94
Tablo 5.38. Hector Mine Depremi İçin Göçme Sınırını Aşan Kolonlar	95
Tablo 5.39. Hector Mine Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar	95
Tablo 6.1. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için sınır öneri değerleri	97
Tablo 6.2. Deprem Yüğü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları	101
Tablo 6.3. FPS yalıtım birimi için tasarım parametreleri	102
Tablo 6.4. FPS yalıtım birimi için hesaplanan parametreler	102
Tablo 6.5. İzolatörlü Yapıda Hesaplanan Hasar Durumları	105
Tablo 6.6. Yapının İzolatörlü ve İzolatörsüz Hasar Durumunun karşılaştırılması.....	106
Tablo 6.7. Yapının İzolatörlü ve İzolatörsüz Periyodlarının karşılaştırılması	106

SEMBOLLER DİZİNİ

A	Kauçuk En Kesit Alanı,
a	Dairenin İç Çapı
a _k	Karenin Kenar Uzunluğu
A _L	Kurşun Çekirdeğin Enkesit Alanı
b	Dairenin Dış Çapı
[C]	Sönüm matrisi
c _b	İzolatör sönüm katsayısı
c _n	Sönüm katsayısı
BKS	Bina Kullanım sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
D	Maksimum Yatay Yer Değiştirme
DD-1	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1
DD-2	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
d	Dairenin çapı,
D _b	Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama)
D _{cr}	Kritik Yatay Yer Değiştirme
D _y	Akma yer değiştirmesi
D _Y	Etkin Akma Yer değiştirmesi
E _{c28}	Beton Elastisite Modülü
E _c	Kauçuk ve Çelikten Oluşan Kompozitin Basınç Modülü
E _c	Sıkıştırılamayan Durumdaki Basınç Modülü
ε _b	Beton birim şekil değiştirmesi
ε _s	Çelik birim şekil değiştirmesi
ε _{SU}	Minimum Kopma Uzaması (%) $\emptyset \leq 32$
ε _{SSU}	Minimum kopma uzaması (%) $32 < \emptyset \leq 50$
E _c	Elastisite modülü

ε_t	Çekme birim şekil değıştirme kapasitesi
ε_{cu}	Maksimum beton birim şekil değıştirmesi
ε_{cc}	En büyük gerilmedeki birim şekil değıştirme
ε_{sp}	Dağılma birim şekil değıştirmesi
ε_{sh}	Gerilme pekleşmesi birim şekil değıştirmesi
ε_y	Akma birim şekil değıştirmesi
E_{sec}	Sekant modülü
ε_{su}	Kopma birim şekil değıştirmesi
f_c	Beton gerilmesi
f_{cu}	ε_{cu} 'daki gerilme
f_c'	Beton 28 Günlük basınç mukavemeti
f_{su}	Minimum Kopma Dayanımı
f_{cp}	Dağılma sonrası dayanım
f_{cc}'	Sargılı beton mukavemeti
F	D yer değıştirmesine karşı gelen kuvvet,
f_y	Akma gerilmesi
f_u	Kopma gerilmesi
f_s	Çelik gerilmesi
f_y	Akma gerilmesi
f_y	Kayma Dayanımı
f_{ck}	Beton Silindir Basınç Dayanımı
f_{ctk}	Beton Eşdeğer Küp Dayanımı
f_{yk}	S420 Minimum akma dayanımı
$F_Q = F_y$	Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı,
G	Kauçuğun Kayma Modülü,
g	Yerçekimi İvmesi
$[K]$	Rijitlik matrisi
K	Malzemenin Hacim Modülü

K_1	Elastik Rijitlik
K_2	Akma Sonrası Rijitlik
k_1	Başlangıç rijitliği,
k_2	İkincil rijitlik
k_b	İzolatörün rijitliği
k_e	D yer değiştirmesine karşı gelen etkin rijitlik,
K_{eff}	Etkin (Efektif) Rijitlik
K_p	Akma sonrası rijitlik
K_h	Yatay rijitlik
k_n	Katlar arası rijitlik
K_v	Düşey Rijitlik
L_p	Plastik mafsal boyu
L_s	Kesme açıklığı
$[M]$	Kütle matrisi
m_n	Kat kütlesi
R_c	Etkin Eğrilik Yarıçapı
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük her hızı
P_{cr}	Kritik burkulma yükü
Q	Karakteristik Dayanım
r	Eğrilik yarıçapı
R	Ankastre inşa edilen yapı katsayısı
S_s	Kısa periyod harita spektral ivme katsayısı
S_1	1,0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1,0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{ae}^{(DD-2)}$	Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm yatay ivme
$S_{ae}^{(DD-2)(T_d)}$	Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde TD periyodundaki ivme

$S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)$	En büyük deprem yer hareketi seviyesinde T_M periyodundaki ivme
S	Şekil Faktörü
t	Bir Adet Kauçuk Tabakanın Kalınlığı
T	Periyot
T_i	Yalıtım Periyodu
t_r	Kauçuk Tabakalarının Toplam Kalınlığı
ZC	Çok sıkı kum çakıl zemin sınıfı
W	Düşey yük
w	Doğal Frekans
w_o	Akma Sonrası Sistem Açısal Frekansı
$Q_P^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$Q_P^{(KH)}$	Kontrollü Hasar düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$Q_P^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
ϕ_u	Göçme öncesi eğrilik
ϕ_y	Akma eğriliği
γ	Kauçuğun Kayma Sekil Değiştirmesi
μ	Kayma Sürtünme Katsayısı
μ_e	Dinamik Sürtünme Katsayısı
Δ	Düşey deplasman
$\{\ddot{x}\}$	İvme Vektörü
$\{\dot{x}\}$	Hız vektörü
$\{x\}$	Rölatif yer vektörü
$\ddot{x}_g$	Deprem ivmesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Dünya nüfusunun sekiz milyona yaklaştığı bu tarihte insanların barınacağı konut ihtiyacı, sağlık hizmetlerinin yürütüldüğü hastane binaları, tüm hizmet sektörlerinin idame edildiği iş yerleri, bireylerin tüm eğitim hayatları boyunca kullandıkları eğitim binaları, insanlığın hayat standartlarının yükseltilmesi için gerekli olan diğer diğer tüm yapılar ve bu yapıları birbirine bağlayan köprüler ve yollara olan ihtiyaç da aynı oranda artmıştır.

Meydana gelen bu ihtiyaçların karşılanması ve ihtiyaçların karşılandığı bu yapılarda doğal afetlere karşı can ve mal kaybının en azami seviyeye indirilmesi bilimin temel görevlerindendir. Bu çalışmada doğal afetlere karşı alınabilecek tedbirler arasında en önemli yer işgal eden ve en büyük paya sahip olan depremlere karşı alınacak tedbirlerden biri binanın taşıyıcı sistemini daha çok deprem yükünü taşıyacak bu yükleri tüketebilecek güçte taşıyıcı sistemi tasarlamak, diğeri ise deprem yüklerini bu taşıyıcı sistem dışındaki bir eleman ile sönmüleme için yapının rijtliğini de azaltıp periyodunu ve sönmü kapasitesini arttırarak gelecek deprem kuvvetlerinin etkisini azaltmak için yapılan deprem izolatörü yöntemidir. [1]

Deprem izolatörü depremin yıkıcı etkilerine karşı alınacak tedbirler arasında en önemli yere sahip ve en etkili yöntemdir. Bu yöntem dünyanın pek çok ülkesinde yoğun bir şekilde kullanılmakta Ülkemizde ise kullanılma oranı her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada alınacak bu tedbirler içinde binaların tabanında yapılacak olan tek eğri yüzeyli sürtünmeli taban izolatörü yöntemi incelenecektir.

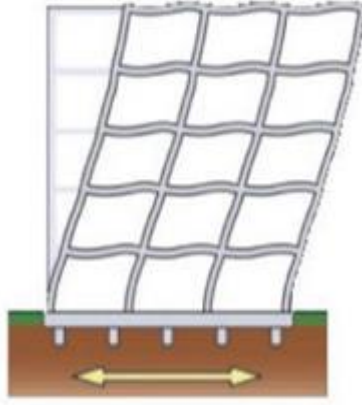
1.2. İzolatör Kavramı

Deprem izolatörü genellikle bina ile temeli birbirinden ayıran depremin öteleme talebini absorbe eden sistemlerin genel adıdır. Gelineen güncel teknolojiye bu sistemler temel dışındaki yerlerde de kullanılabilir. Bunların en çok kullanılanı çatı ve köprü kirişleridir. Bina tabanında kullanılan sistemlere genelde sismik izolasyon denilmektedir. Deprem izolatörlerinin temel amacı depremin yol açtığı yatay ötelemeyi en aza indirmektir.

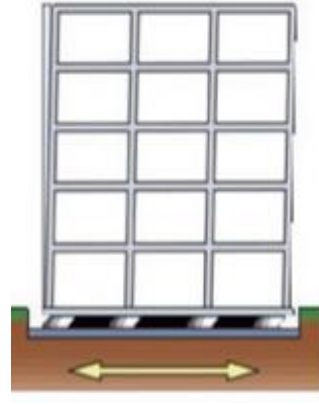
Ankastre sistemlerde yapının rijitliği çok arttırılarak ötelemeler azaltılabilir ancak bu durum çok büyük maliyet artışlarına ve taşıyıcı olmayan yapı elemanların hasar görmesine yol açacağından depremde sonra hemen kullanılamaz duruma gelir. Binanın rijitliği düşük tutulursa bina sünekliği artar, yapı maliyeti ve kat ivmesi azalır kat ötemeleri de artar. Kat ötemeleri artacağından binanın taşıyıcı sisteminde hasar oluşur ve bina kullanılamaz hale gelebilir. Bu durumda bina depremde sonra kullanılamayacağı gibi bir daha hiç kullanılamama durumu da oluşabilir. Buradan da anlaşılacağı üzere ankastre binalarda deprem yükleri altında binayı depreme karşı korumak ve hemen kullanılabilir halde tutmak çok zor ve çok maliyetlidir. Bu durumunun farkına varılmasından sonra sismik izolasyon fikri ortaya çıkmaya başladı. İzolasyonun temel çalışma mantığı ise rijitliği çok az olan ve kat ötelemelerine izin veren bina ile temel arasına yerleştirilen ve periyodu ankastre binaya göre daha fazla olan yapı oluşturur. [2]

Esasen Deprem sarsıntılarına karşı dayanıklı bina tasarımında dayanım, rijitlik ve süneklik özellikleri alınması gereken temel hususlardır. Yapının taşıma gücünde herhangi bir azalma olmaksızın yapabileceği en büyük yer değiştirmenin elastik durumunu bunun yapıdaki yer değiştirmeye olan oranı ise sünekliği ifade etmektedir. Sünek yapılar deprem yükleri altında çok kolay hasar görebilen ancak yıkılmayan yapılardır. Yapıların taşıyıcı sistemi rijit olmalı fakat bu sistemin düğüm noktaları yeterli miktarda sünek tasarlanmalıdır. Bu süneklik deprem sırasında yapının yıkılmasını veya göçmesini engellemektedir. Yapının depreme karşı dayanıklı olması yapının rijitlik ve süneklik dengesinin iyi ayarlanması ile sağlanabilir. [3]

Sismik izolasyon çalışma mantığı ise yapının periyodunu arttırarak, depremde dolayı gelen yüklerin üst yapıya aktarılmadan bu yapı elemanında absorbe edilmesidir. Böylelikle binanın taşıyıcı sistemi olan kolon kiriş ve perde sistemi zarar görmez ayrıca taşıyıcı olmayan yapı elemanları ve diğere eşyalar da zarar görmez olası can kaybı, yaralanma ve maddi hasar oluşma riskleri de en aza indirilir. [4]

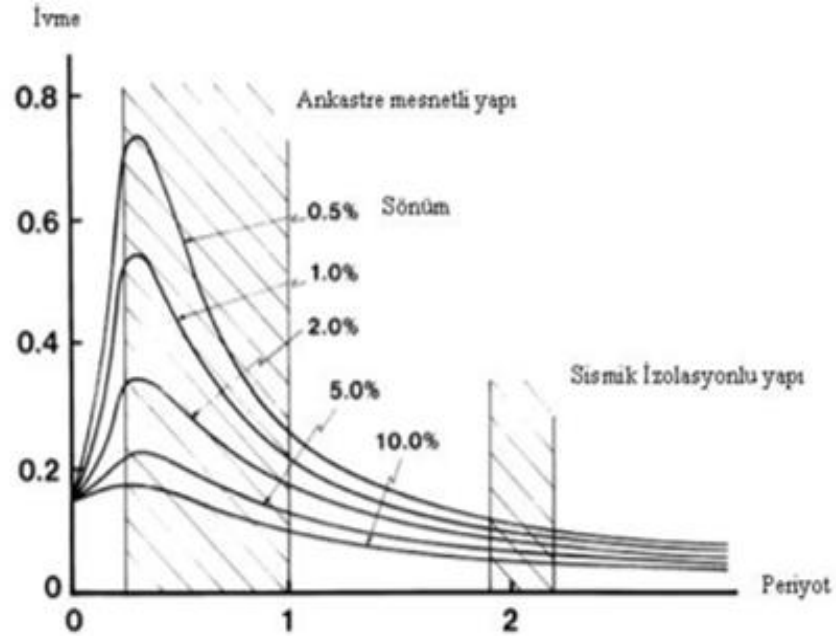


Ankastre Mesnetli Yapı



Sismik İzolasyonlu Yapı

Şekil 1.1. Mesnet tiplerine göre yapı davranışları [5]

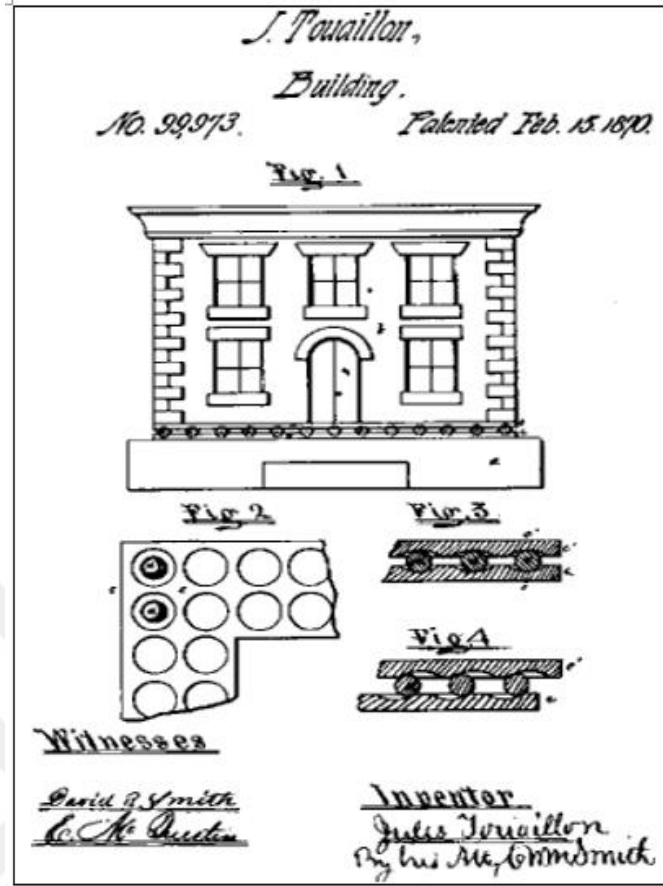


Şekil 1.2. Mesnet tiplerine göre yapı periyodları [5]

1.3. İzolatör Teknolojisinin Tarihçesi

Yapıların deprem etkisinden korunmasını sağlamak için yapılan yalıtım sistemleri tarih boyunca büyük gelişmeler kaydetmiştir. Bu gelişmelerin en önemlileri aşağıda listelenmiştir.

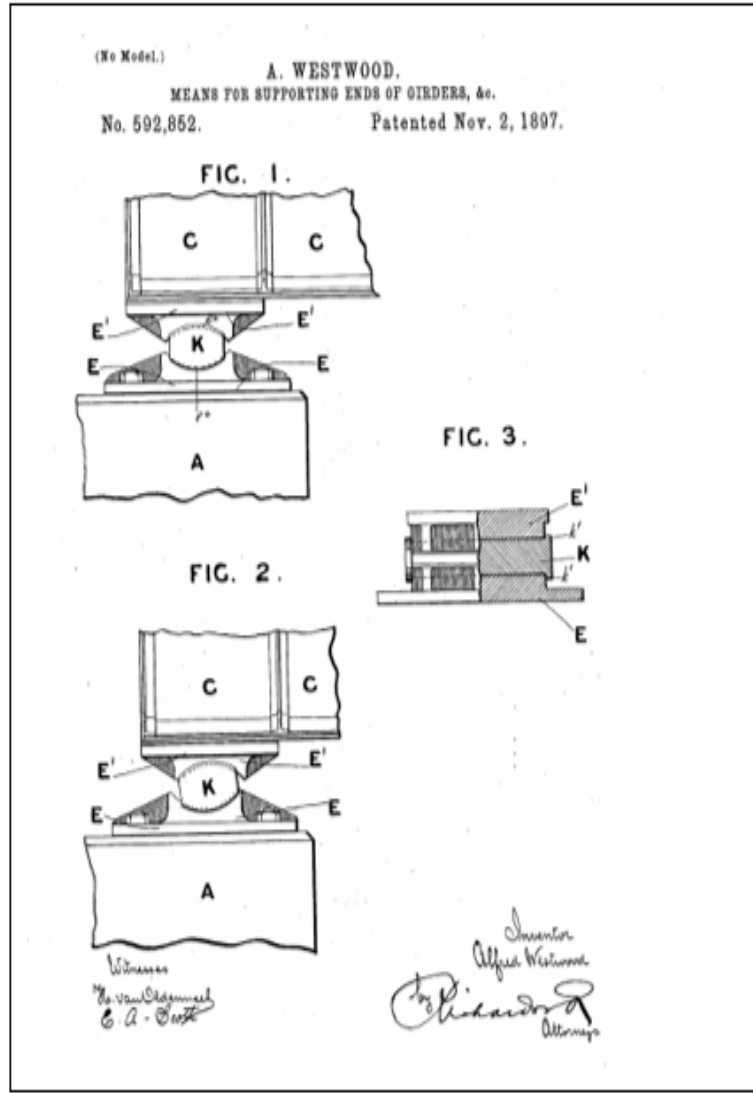
Depremi etkisini azaltılması çalışmaları ile ismi öne çıkan Jules Touaillon 15 Şubat 1870 yılında içbükey bilyalı izolatör sistemi geliştirmiştir. [6]



Şekil 1. 3. Jules Touaillon'un çift içbükey bilyalı rulman için orijinal patenti 1870 [6]

Deprem etkisini azaltan yada sönümleyen veya etkisini azaltacak sistemi bina altında yerleştirme fikrinin diğer bir mucidi ise Tokyo Üniversitesi Bilim İnsanı Dr. John Milne dir. Dr Milne bu konuda 1876-1895 yılları arasında çalışmalar yapmıştır. Dr Milne ilk önce 25 cm çapında dökme demirden hazırlanmış bilyeler tasarlayarak bina altına yerleştirmiş bu sistemin hafif deprem yüklerinde başarılı ancak rüzgar yükünde başarılı olmadığını tespit etmiştir. Dr Milne daha sonra çapı 2,5 cm olan bilyeler ile bu sistemini geliştirmiş ve bu şekilde yapılan sistemin hem deprem hem de rüzgar yükleri altında başarılı bir performans sergilediğini göstermiştir. [7]

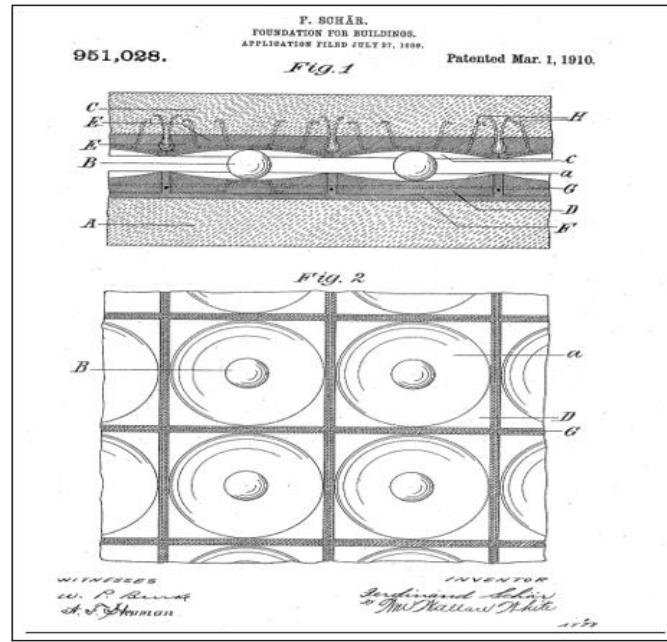
Alfred WESTWOOD bulduğu sismik izolasyon sistemini 2 Kasım 1897 tarih ve 592.852 sayılı patent numarası ile patentini aldığı sistemde çukur yüzeyler içine yerleştirilmiş eliptik bir yüzey üzerinde hareket edebilen kiriş ile sismik izolasyon sistemi tasarlamıştır. [8]



Şekil 1.4. A. Westwood sismik izolasyon patenti 1897 [8]

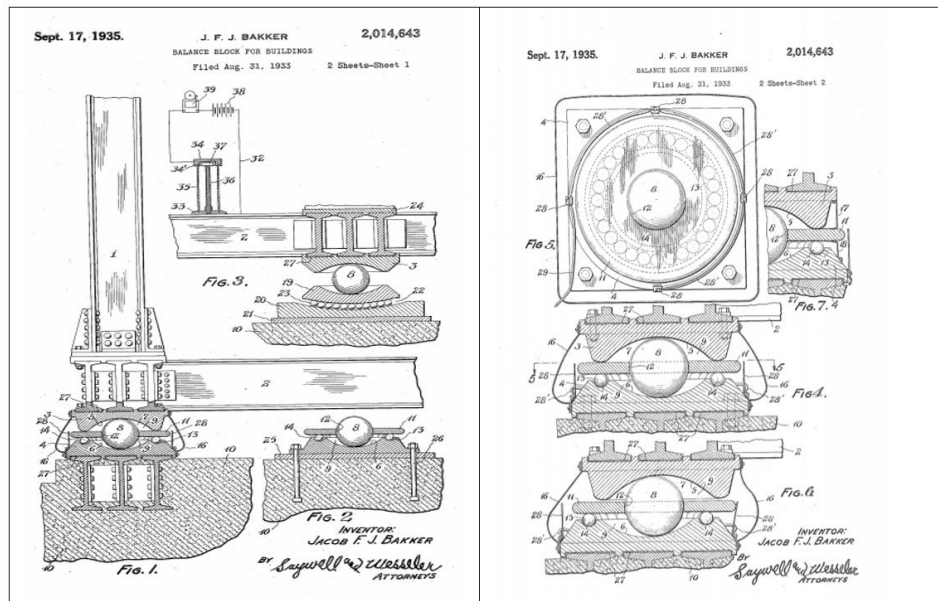
Johannes Avetican Calantarients de aslen bir tıp doktoru olmasına rağmen bu konuyla da ilgilenmiştir. Calantarients 1909 yılında talktan oluşan bir tabakayla yapıyı temel ve üst kısım olarak birbirinden ayırmayı tasarlamıştır. [9]

Ferdinand Schar 27 Haziran 1909 yılında bina, altına yerleştirilmiş iki plakanın sert küreler ile birbirinden ayrılarak her türlü yanal darbelerden ve sarsıntılardan korunduğunu belirten bir sistem geliştirerek ABD patent ofisinden patent almıştır. [10]



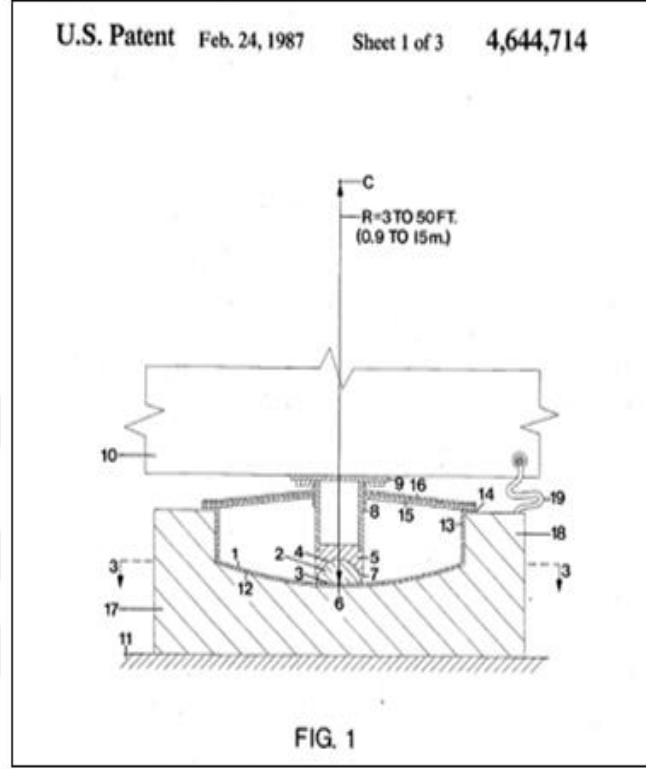
Şekil 1.5. F. Schar, bina temeli izolasyon patenti 1910 [10]

Jacob FJ Bakker 1933 yılında bina temelinin üzerine bitişik olarak bina üst yapısının hemen altına yine bitişik olarak monte edilen ve deprem vb. yer hareketleri üst yapıya iletmeden sarsıntılarının neden olduğu yatay hareketlerini absorbe edebilen belirli bir sistem geliştirdi. [11]



Şekil 1.6. J.F.J. Bakker, binalar için denge bloğu [11]

Victor Zayas 1987 yılında sürtünmeli sarkaç izolatörü tasarlayarak büyük deprem yüklerinde yapıların çok az etkileneceğini açıkladı. [12]



Şekil 1.7. V. A. Zayas, Deprem koruyucu kolon destekleri 1985 [12]

Frank Lloyd Wright 1921 yılında Japonya'nın Tokyo şehrinde yapılan İmperial Hotel Binasında depremden gelecek yükleri izole etmek amacı ile adeta yüzen sistem geliştirmiştir. Bu sistem Tokyo'da 1923 yılında meydana gelen depremde büyük bir sınavı başarmıştır. Wright depremin etkisini azaltmak amacı ile derinliği yaklaşık 20 mt olan alana kazıklar çakararak altındaki sağlam zemin ile binanın temelini birleştirmiştir ve yüzen bir sistem oluşturmuştur. [13]

1976 yılında doğal kauçuk mesnetlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar Earthquake Engineering Research Center kurumunda başlamıştır. [14]

1981 yılında Yeni Zelanda'nın Wellington şehrinde ilk kez "William Clayton Building" adlı binada Kursun çekirdekli izolatörler kullanılmıştır. [15]

Sürtünmeli sarkaç sistemlerle ilgili ilk deneysel çalışmayı 1987 yılında Zayas V.A., Low S.S. ve Mahin S.A. yapmışlardır. [16]

2015 yılında P. Castaldo. Palazzo P. Della Vecchia “Seismic Reliability of Base-Isolated Structures With Friction Pendulum Bearings” isimli çalışmalarında sürtünmeli izolatörlerin özellikleri itibarı ile özellikle depremde hemen sonra kullanılması önemli olan hastane, köprü, çeşitli endüstriyel ve mevcut binaların depreme güçlendirilmesinde kullanılabilecek bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. [17]

Depremi yıkıcı etkilerinin azaltılması için daha sonraki süreçlerde bu konuda çalışmalar sürekli gelişmiş ve halen gelişmeye devam etmektedir. Yukarıda sayılanlar öne çıkanlarıdır.

1.4. İzolasyon Sistemlerinin Sınıflandırılması

İzolasyon sistemi, yapının temel ile üst kısmındaki elemanları arasında yük transferini sağlayan farklı yönlerde farklı rijitlik kapasitesi özelliği kazandırılmış elemanlar ile diğer yapısal elemanlarla olan temel, kolon, kiriş ve perde bağlantı noktalarından oluşan bir elemanlar bütünüdür. İzolasyon sisteminin olası deprem yükleri altında büyük yanal deformasyon yeteneğine sahip, yatay düzlemde esnek, düşey düzlemde ise rijit olan yapı elemanlarıdır. [18]

Yapılarda depremin ve diğer yatay yüklerin etkisini azaltmak için kullanılan Sismik izolasyon tipleri gruplandırılırken; üretildikleri malzeme, kullanıldıkları yer, boyutları, şekilleri, çalışma yöntemleri gibi hususlar dikkate alınmaktadır. Taban izolasyonları 4 ana başlıkta gruplandırılabilir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır. [19]

Kauçuk Esaslı İzolasyonlar

- Düşük Sönümlü Kauçuk İzolasyonlar
- Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolasyonlar
- Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolasyonlar

Sürtünme Esaslı Kayıcı İzolasyonlar

- Düz Yüzeyli Kayıcı İzolasyon
- Eğrisel Yüzeyli Kayıcı İzolasyon
- Tek Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolasyon
- İki Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolasyon
- Çoklu Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolasyon
- Oluklu Sürtünmeli sarkaç İzolasyon

- Tek Oluklu Çift Yüzeyli Sürtünmeli sarkaç İzolatör
- Çok Oluklu Sürtünmeli Sarkaç İzolatör

Kauçuk- Kayıcı sistemler

Fransa elektrik kurumu sistemleri (EDF)

EERC birleşik sistemleri (Earthquake Engineering Research Center)

TASS sistemleri

Yay tipi sistemler

1.4.1. Kauçuk Esaslı İzolatörler

Kauçuk esaslı izolatörler, değişik kalınlıkta kauçuk tabakalar ve düşey rijitliği artırmak için çelik levhalardan oluşan sistemdir. Bu tip izolatörlerde, ilk zamanlarda sadece doğal kauçuk kullanılarak yapılmış olup; daha sonra yıllarda rijitliğin daha da arttırılması gerektiği anlaşıncı çelik plakalar eklenerek düşey rijitlikleri arttırılmıştır. Kauçuk ve çelik plakalar, yüksek basınç ve ısı altında, vulkanizasyon adı verilen bir işlem vasıtasıyla tabaklar halinde biraya getirilirler. Çelik plakalar, kauçuk plakaların yatay doğrultuda şişmesini engellerler ve böylece sistem, yüksek miktarlardaki düşey rijitlik kazanırken küçük deformasyonlarla yatay hareket etme kabiliyeti kazanmaktadır. [20]

Böylece yüksek basınç ve düşük yanal kayma rijitliği kabiliyeti ile yapıdan gelen yapı yükünü deforme olmadan temele aktarabilen küçük yatay rijitliği ile de küçük deprem yüklerinde ve rüzgar yüklerine karşı direnen büyük deprem yüklerinde de asıl görevi olan sismik izolasyon işlemini yaparak deprem yükünü absorbe edebilen sistem haline gelmektedir. Elde edilen bu yüksek basınç rijitliği ve düşük yana kayma rijitliği kabiliyetine sahip bu izolatörler köprü mesnetleri ya da bina taban izolatörleri olarak kullanılabilirler. [21]

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan kauçuk esaslı sismik izolatörler aşağıda sıralanmıştır.

Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler (Low Damping Rubber Bearings: LDRB),

Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler (High Damping Rubber Bearings: HDRB)

Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerdir (Lead Rubber Bearings: LRB) [22]

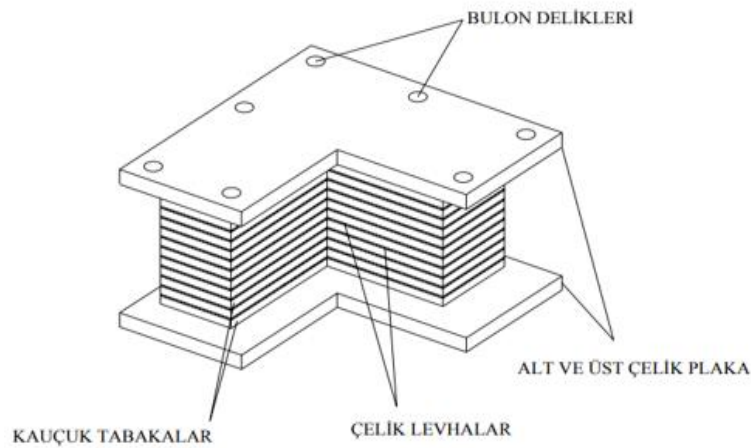
1.4.1.1. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler

Sismik izolasyon sistemlerinin ilki sayılabilecek bu izolasyon sistemi düşük bir izolasyon kapasitesine sahiptirler. Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin üretim maliyetleri düşüktür, modellenmeleri, sıcaklıktan etkilenmemeleri ve üretim aşamalarının kolay olması tercih edilme sebepleridir. Bu mesnetler çok düşük sıcaklıklarda bile esnekliklerini kaybetmezler. [23]

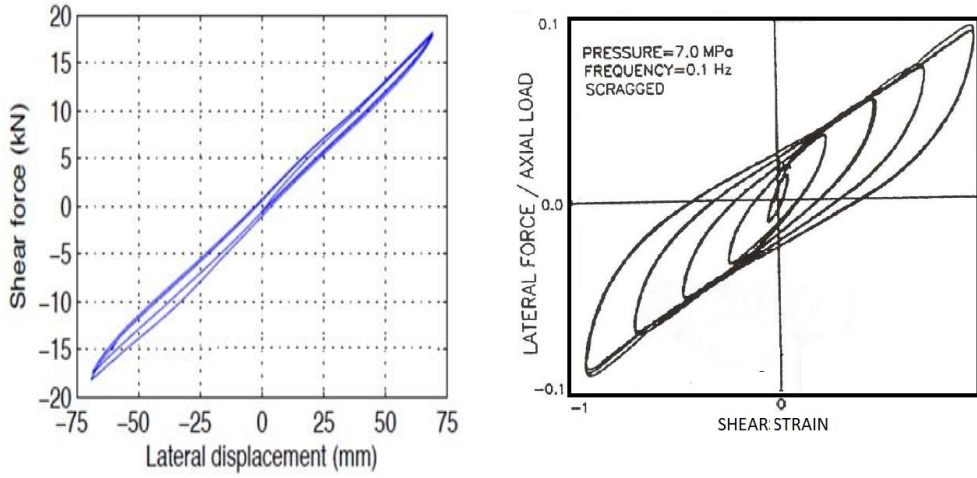
Doğal kauçuğun sönümünün düşük olması sebebi ile yanal deprem yüklerine karşı dayanımı düşüktür. Sönüm oranı %100 kayma deformasyonu seviyelerinde %2 ile %3 aralığındadır. [24] Yüksek yanal deplasmanların kontrolü için ilave sönüm elemanlarına ihtiyaç duyulabilir. [25] Bu nedenle düşük sönümlü kauçuk izolatörler genellikle çelik çubuklar, kurşun çubuklar ve sürtünme elemanları gibi ilave aygıt ile beraber kullanılmaları gerekmektedir. [23]

1.4.1.2. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler

Bu İzolatörler Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler gibi çelik ve kauçuktan oluşmaktadırlar. Esneklik ve sönüm özellikleri Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörlere göre daha fazladır. Bunun sebebi ise doğal kauçuğun sönüm yeteneği yağ, reçine karbon vb. malzemeler eklenerek artırılmış sönüm oranı %100 kayma deformasyonu seviyelerinde %10 ile %20 aralığına yükseltilmiştir. [23]



Şekil 1.8. Düşük ve yüksek sönümlü kauçuk izolatör. [26]

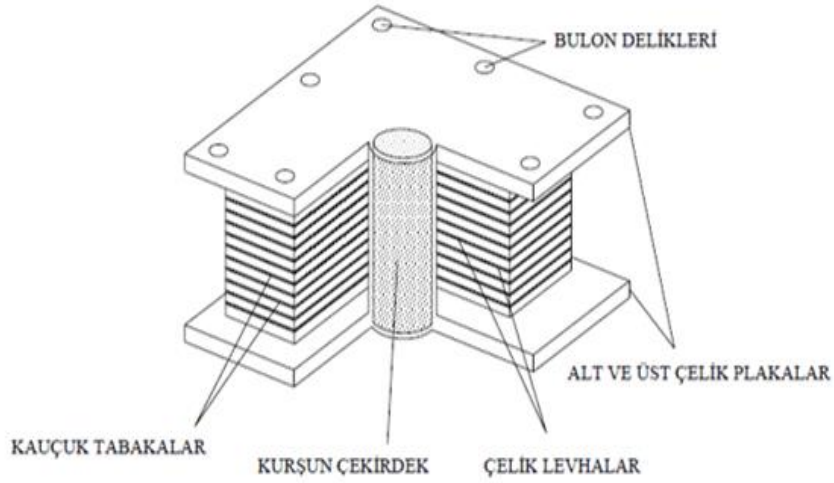


Şekil 1.9. Düşük Ve Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör Histeretik Eğrisi [9]

1.4.1.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler

Bu izolatörler ilk olarak Yeni Zelanda da üretildikleri için Yeni Zelanda mesnedi olarak da tanınırlar. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler gibi kauçuk tabakaları arasına yerleştirilen çelik levhaların yerleştirilmesi ile oluşturulmuşlardır. Tüm bunlara ilaveten orta kısmına kurşun bir çekirdek yerleştirilmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk İzolatörün ortasındaki kurşun plak sisteme bir başlangıç rijitliği kazandırmakta ve ayrıca izolatöre enerji dağıtıcı görevi üstlenmektedir. Bu sistemin yaptığı yer değiştirmeye göre eşdeğer sönüm oranı %15 lere % 35 lere kadar çıkabilmektedir. Kauçuk ve kurşunun birleşiminden dolayı başlangıçta küçük bir alanda elastik ve daha sonra plastik davranış gösteren bir şekil değiştirme durumu ortaya çıkmaktadır. [26]

Küçük ölçekli deprem veya rüzgar yüklerinde hem yatay doğrultuda hem de düşey doğrultuda rijit davranan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerdeki bu rijitliği sağlayan kurşun çekirdek daha yüksek yatay yük durumunda akma seviyesine ulaşır ve bu nedenle izolatörün yatay rijitliğinde de önemli düşüş yaşanır. Böylelikle Yanal enerji, kurşun çekirdeğin plastik deformasyonu ile absorbe edilmiş olur. Bu özellikler, Kurşun Çekirdekli izolatörlerin en yaygın kullanılan izolatörler olmasını sağlamaktadır. [27]



Şekil 1.10. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör [26]

1.4.2. Sürtünme Esaslı Kayıcı İzolatörler

Sürtünme esaslı izolatörler kayıcı iki yüzey arasında yer alan ve bu kayıcı iki yüzey arasında teması ve yük aktarmayı sağlayan elemanlardan oluşur. Bu kayıcı yüzeyler düz yüzeyler ya da eğri yüzeyler olarak yapılabilmektedir. O yüzden bu izolatörler düz yüzeyli kayıcı izolatör ve eğri yüzeyli kayıcı izolatör olmak üzere ikiye ayrılırlar.

1.4.2.1. Düz Yüzeyli Kayıcı İzolatör

Düz yüzeyli kayıcı izolatörler kayıcı izolatörlerin en basit olanıdır. Bu izolatör sisteminde düşeyde rijit yatayda ise sürtünme katsayısı ile orantılı bir rijitlik mevcuttur. Yapısal sistem üzerine etkiyen yatay yük, sürtünme katsayısı ile izolatörler üzerine etkiyen düşey yükün çarpımı sonucu elde edilen bir reaksiyon kuvveti ile karşılanır. [25] Düz yüzeyli kayıcı izolatörlerde yapıya aktarılacak toplam taban kesme kuvveti, bu kuvvet ile sınırlıdır. [27] Bu kuvvet aşılması halinde yanal hareket gerçekleşir ve yanal hareket talebi üstyapıya aktarılmaz. [20] Ancak düz yüzeyli kayıcı izolatörde geri dönüşü sağlayan bir sistem bulunmamaktadır. Bu durum bu izolatörlerin en büyük dezavantajlarıdır.

1.4.2.2. Eğrisel Yüzeyli Kayıcı İzolatör

Düz yüzeyli kayıcı izolatörlerde düşeyde rijit yatayda ise sürtünme kuvvetine bağlı bir direnme mevcuttur. Meydana gelen yatay yer değiştirme yükü bu sürtünme kuvvetini aştığı zaman sistem devreye girer. Eğrisel yüzeyden dolayı yapıda ilk noktaya dönme talebi oluşur. Eğrisel yüzeyli kayıcı sistemlerde ise çeşitli geri çağırma sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden bazıları “Resilient-Friction Base Isolator” (R-FBI), “TASS System”, “Friction Pendulum System” (FPS) ve “EarthquakeBarrier System” gibi sıralanabilmektedir. [20]

Eğrisel yüzeyli kayıcı izolatörler olarak da bilinen “sürtünmeli sarkaç sistemler” (Friction Pendulum Systems: FPS) kendi kendini merkezleyebilme özelliği ile geri çağırma konusunda en başarılı sistemler arasındaki yerini almıştır. Friction Pendulum Systems izolatörleri ana yapısı çelikten oluşan eğri yüzey üzerinde hareket eden mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu sistemde söz konusu geri çağırma kuvvetlerini eğrisel yüzeyin geometrisi sayesinde kazanmaktadır. [23] Friction Pendulum Systems tipi izolatörlerin çalışma mekanizması, sarkaç hareketi esasına dayanmakta ve bu tip izolatörler üzerine mesnetli bir yapı, yer hareketlerinde düşük genlikli sarkaç salınımı ile tepki göstermektedir. Bu tip izolatörlerin kullanıldığı yapısal sistemlerde izolasyon, mafsallı kayıcının eğrisel yüzey üzerindeki kayma hareketi ile; yük dağılımı ise, paslanmaz çelik yüzey ile mafsallı kayıcı arasındaki sürtünme ile sağlanmaktadır. [20]

Eğrisel Yüzeyli Kayıcı İzolatörler tek yüzeyli Sürtünmeli izolatör ve çok yüzeyli sürtünmeli izolatör olarak gruplandırılırlar.

1.4.2.2.1. Tek Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör

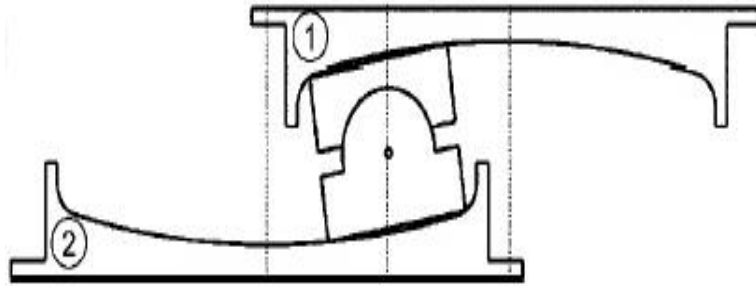
Bu tip eğrisel yüzeyli sürtünmeli izolatörlerde bir yüzey düz diğer yüzey ise eğri zemine sahiptir. Düz yüzeye bağlı eğri yüzey üzerinde hareket eden mafsallı bir mekanizma mevcuttur. Tek eğri yüzey sayesinde başlangıç noktasına geri dönme kabiliyeti mevcut iken eğrisel yüzey sayesinde gelecek yanal yükler etkisi ile yanal harekette sistem yukarıya da hareket etmeye çalışacaktır. Yukarıya itme kuvveti ve sürtünme kuvveti sistemin yataydaki yer değiştirme direncini belirlemektedir.



Şekil 1.11. Tek Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör [9]

1.4.2.2.2. İki Yüzeyli Sürtünmeli İzolatör

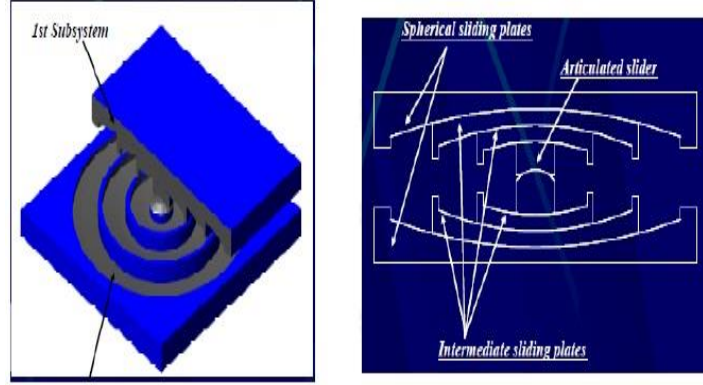
Bu tip eğrisel yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörlerde her iki yüzey de belli bir eğrilik yarıçapına sahiptir. Bu özellik sayesinde sistemin geri dönüş kabiliyeti artarken deplasmanı iki katı artmaktadır. Sürtünmeli sarkaç izolatör sistemlerindeki en büyük sorunlardan biri olan ısınma problemi de yarıya düşmektedir.



Şekil 1.12. Çift Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör [9]

1.4.2.2.3. Çoklu Yüzeyli Sürtünmeli İzolatör

Bu tip eğrisel yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörlerde her iki yüzey ve kayıcı mafsallarda belli bir eğrilik yarıçapına sahiptir. Bu özellik sayesinde sistemin geri dönüş kabiliyeti daha da artarken deplasman kapasitesi de bununla birlikte artmaktadır. Sürtünmeli izolatör sistemlerindeki en büyük sorunlardan biri olan ısınma problemi de neredeyse yarıya düşmektedir. Bu sayede küçük boyutlu izolatörler elde edilebilmektedir.



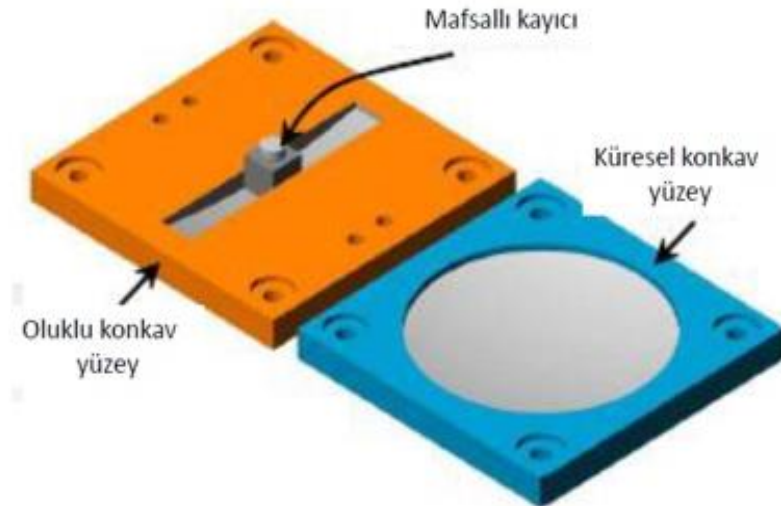
Şekil 1.13. Çoklu Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör [9]

1.4.2.3. Oluklu Sürtünmeli Sarkaç İzolatör

Daha fazla deplasman kapasitesi elde etmek için geliştirilen bu oluklu sürtünmeli sarkaç izolatör sistemleri tek oluklu ve çoklu oluklu olarak farklı gruplara ayrılmaktadırlar.

1.4.2.3.1. Tek Oluklu Çift Yüzeyli Sürtünmeli sarkaç İzolatör

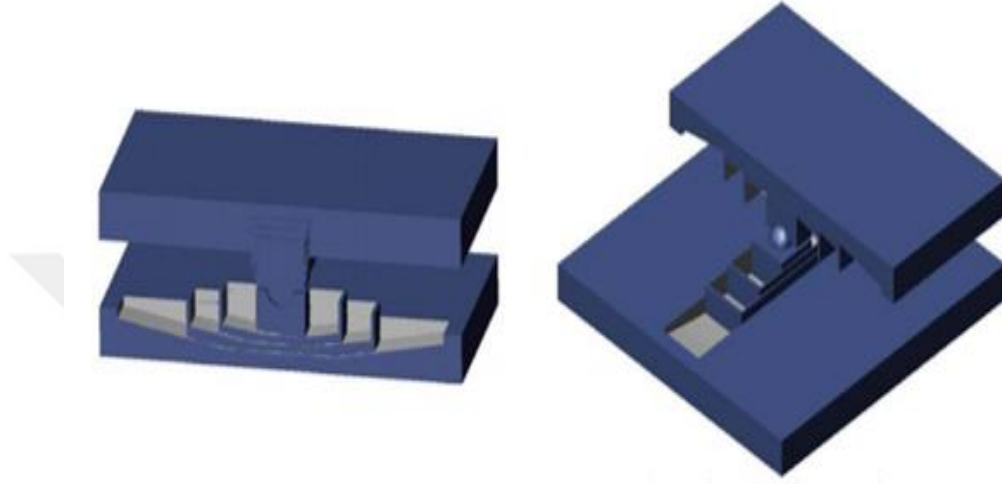
Tek yönde daha fazla deplasman yapma yeteneğine sahiptir.



Şekil 1.14. Tek oluklu Çift Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör [9]

1.4.2.3.2. Çok Oluklu Sürtünmeli Sarkaç İzolatör

İki yönde daha fazla deplasman yapma yeteneğine sahiptir. Dik iki yönde çoklu oluklar şeklinde tasarlanmaktadır.



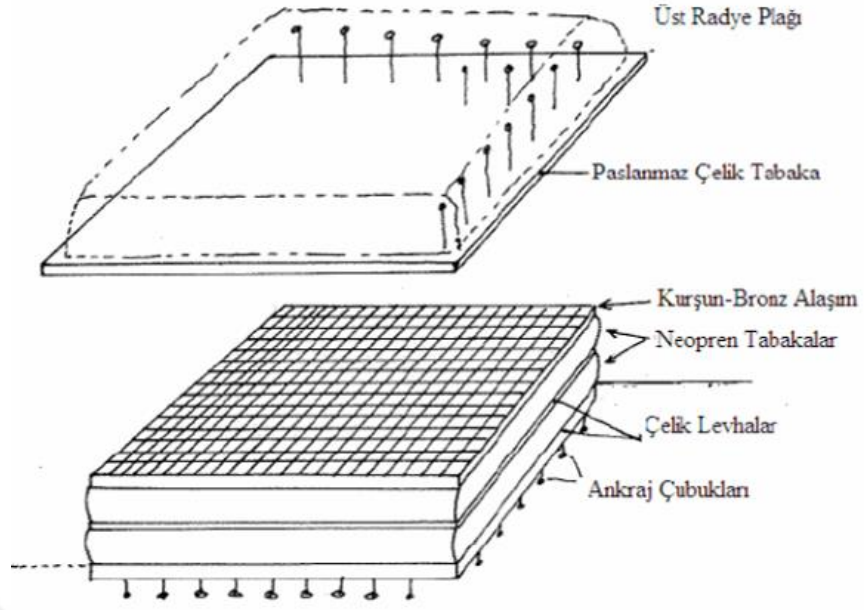
Şekil 1. 15 Çok Oluklu Sürtünmeli Sarkaç İzolatör [29]

1.4.3. Kauçuk- Kayıcı sistemler

1.4.3.1. Fransa Elektrik Kurumu Sistemleri (Electricite-de France Sistemi)(EDF)

1970’li yılların başlarında Fransa da EDF kayıcı sistemler geliştirilmiştir. Asıl amacı Nükleer santrallerde sismik yalıtım olan bu sistem tabakalı kauçuk sistemlere benzer özelliklerine sahiptir. Sistem binanın altına inşa edilen iki radye temel arasına yerleştirilir ve yapılacak bina bunun üzerine inşa edilir.

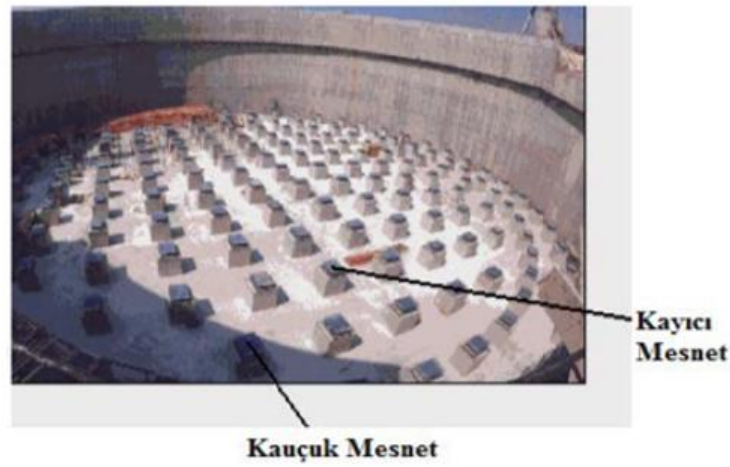
EDF sistemde kurşun-bronz karışımı alaşım birleştirilmiş, çelik ile neopren plakalar bulunmaktadır. Sistem mekanizması, kükürt vb alaşımlarla kürlenerek daha dayanıklı hale getirilen kauçuğun paslanmaz çelik tabakanın üst radyeye ankrajıyla oluşmaktadır. Bu sistemin yapıyı geri döndürme mekanizması istenilen yeterlilikte değildir. Bu da yapı da kalıcı yer değiştirmelere sebep olmaktadır. [19]



Şekil 1.16. EDF Sistem Mekanizması [19]

1.4.3.2.EERC Birleşik Sistemleri (Earthquake Engineering Research Center)

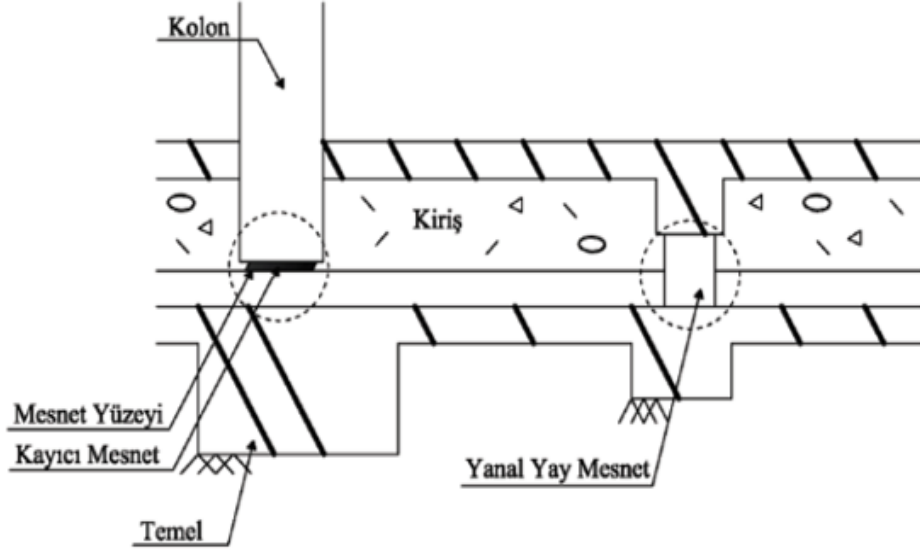
Bu tip yalıtım sistemi dış kolonları daha düşük sönümlü mesnet ve kayıcı elastomer bileşenlerden oluşmaktadır. İç kolonlarında ise kayıcı bileşenler ile teflon birleşimlerinden oluşan yalıtım mekanizması bulunmaktadır. Bu yalıtım sisteminde kayıcı kısım sönümü kauçuk kısım ise geri çağırma yeteneğini kazandırmaktadır.



Şekil 1.17. EERC sistem uygulaması [19]

1.4.3.3.TASS sistemleri

Bu sistemde düşey yük taşıma işlemi paslanmaz çelik ve teflon tabakalar tarafından karşılanır. İlk kez Japonya’da üretilmiştir. Sistemde Neopren plakalar da kullanılmaktadır. Bu plakaların görevi ise sisteme geri gelme kabiliyeti vermektir.[19]

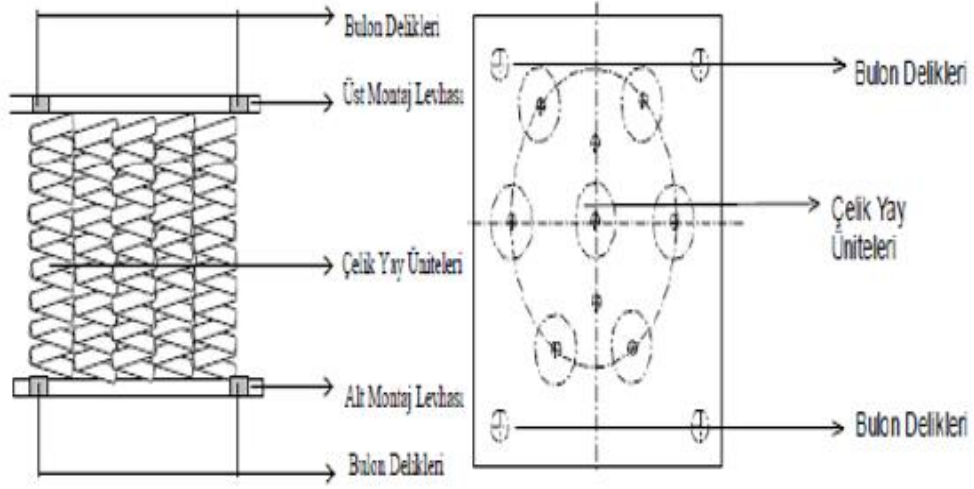


Şekil 1.18. TASS sistem uygulama kesiti [19]

1.4.3.4.Yay Tipi Sistemler

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar bazı yapılarda hem düşey hem de yatay yüklere karşı izolasyon sistemlerine ihtiyaç olduğunu göstermiştir. Özellikle Nükleer santrallerde bu tip sistemler kullanılmıştır. İlk örnekleri Almanya Gerb firması tarafından geliştirilmiş ve nükleer santralde kullanılmıştır. Bu sistem hem düşey hem de yatayda esneklik sağlayan yaylardan oluşmaktadır.

Yay sistemlerin sönüm yeteneği yoktur. O nedenle bu sistemlere ek sönümleyiciler eklenerek sisteme yalıtım ve geri dönme yeteneği kazandırılmaktadır. Kullanılan ek sönümleyiciler genelde viskoz sönümleyicilerden oluşmaktadırlar. [19]



Şekil 1.19. Yay tipi sismik izolatör sistemi [19]

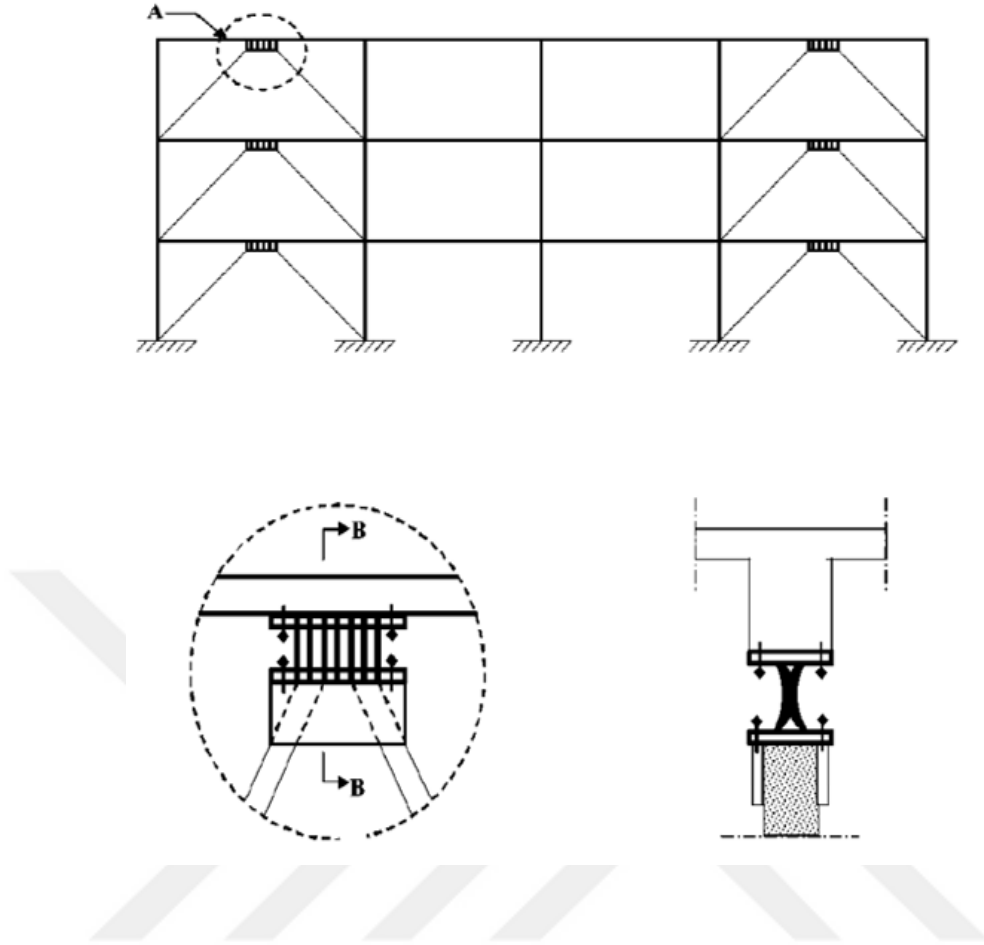
1.5.Pasif Damperler (Pasif Enerji Sönümleyiciler)

Yukarıda sayılan deprem izolatörleri yanında birde pasif damperler (enerji emici sistemler) de depremin ve rüzgarın etkilerini azaltan mekanik yapı elemanlarıdır. Bunların öne çıkanları ise;

- Metal Damperler,
- Sürtünmeli Damperler,
- Viskoelastik Damperler,
- Vizkoz Damperler,
- Ayarlı Sıvı Damperler,
- Ayarlı Kütle Damperler dir.

1.5.1. Metal Damperler

Metal Damper (Metal Sönümleyici) genellikle çelik metalin histeretik davranışından yararlanılarak meydana gelen eğilme, kesme veya eksenel yükleri alacak yetenekte modellenir. [30]

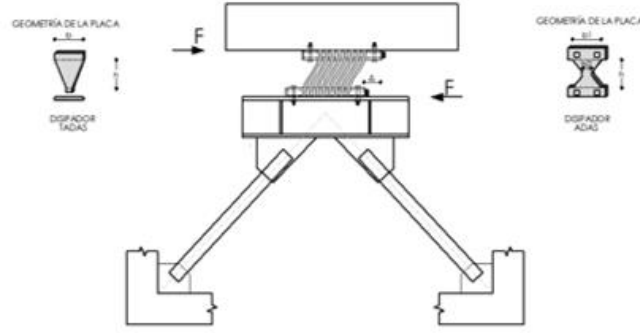


Şekil 1.20. Metal enerji yutucu [30]

Bu sistem, enerjiyi sönmölemek için yumuşak çelikten oluşun ve enerjinin bir noktada yoğunlaşmasını sağlayan sistemdir. Bu sayede yapının taşıyıcı sistemi zarar görmez. Metal damperlerin avantajları; Kararlı bir histeretik davranış sergilerler, uzun süreli güvenilirlik sağlarlar, çevresel ısı değişimine karşı etkileri çok azdır. Tasarımında kullanılacak malzemeler, malzeme mühendisleri tarafından bilindiğinden uygulaması daha kolay olmaktadır, dezavantajları ise sistemin emici elemanları depremde genellikle hasar görmektedirler. [9]

1.5.1.1. Adas ve Tadas

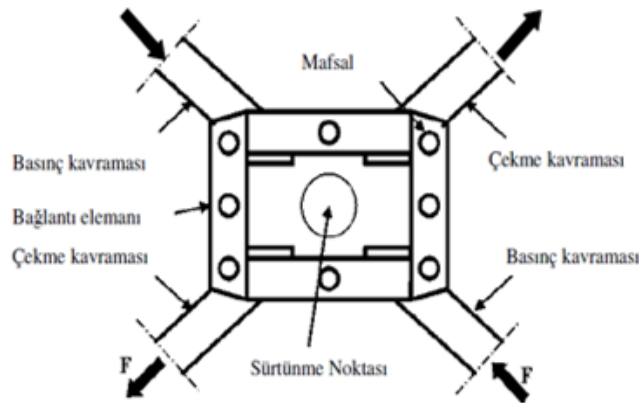
Metallerin elastik davranışından faydalanılarak yatay enerjiyi zayıflatma işlemi yapılan sistemdir. Bunun için tasarlanan sistemlere Metal sönmöleyici (Added Damping and Stiffness- ADAS) denilmektedir.



Şekil 1.21. Adas ve tadas enerji kırıcı [31]

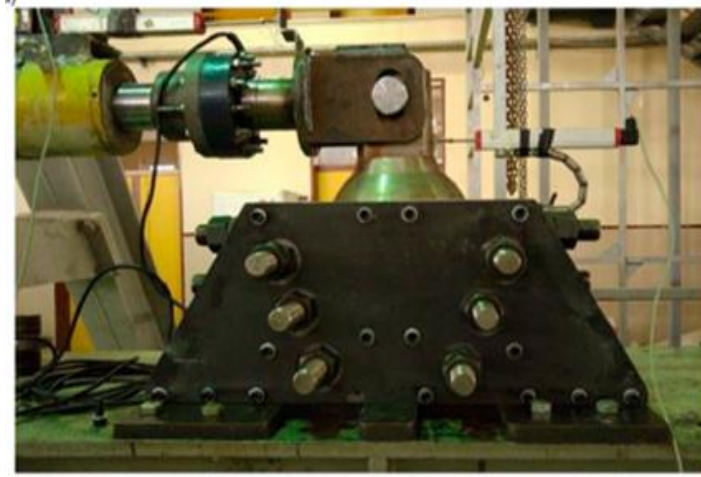
1.5.2. Sürtünmeli Damperler

Sürtünmeli Damperler (Friction Dampers) yapının taşıyıcı sistemine eklenen cihazlar sayesinde yapıdaki kinetik enerjiyi ısı enerjisine çevirirler. Deprem ve rüzgar gibi yatay yükler yapıya etki etmeye başlayınca basınç ve çekme kollarındaki gerilmeler ile sistemdeki enerjinin bir kısmı yutulmuş olur. Bu tip sönümleyicilerin yerleştirilmesi kolaydır fakat bakımı zordur. Metal yüzeylerin korozyona uğraması sistemin sonraki yıllarda tam kapasite çalışmasını engelleyebilir. [32]

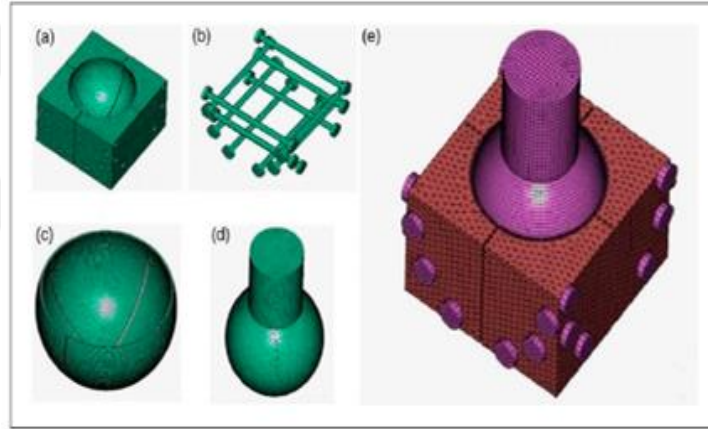


Şekil 1.22. Pall Tarafından Geliştirilen Sürtünmeli Sönümleyici

Suk 2020 yılında tasarladığı Sürtünme esaslı damperin yapının deprem performansını önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koydu. [33]



Şekil 1. 23 Suk Tarafından Geliştirilen Sürtünmeli Sönümleyici [33]



Şekil 1.24. Suk Tarafından Geliştirilen Sürtünmeli Damperin Sonlu Elemanlar Modeli [33]

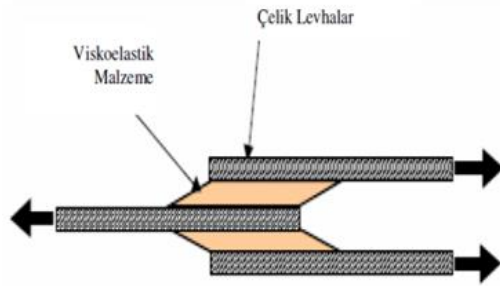
1.5.3. Viskoelastik Damperler

Viskoelastik sönümleyiciler yapıları ve tasarım mekanizmaları nedeni ile sadece deprem yükü etkisindeki sismik uygulamalarında kullanılabilmektedirler.

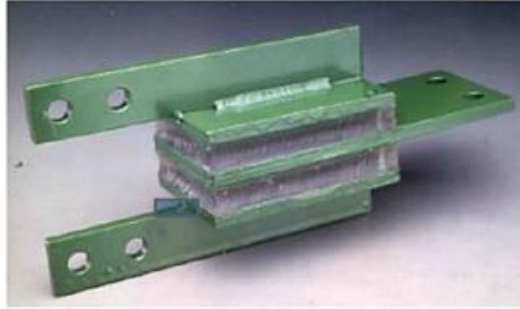
Uygulamalarda en çok kullanılan çeşitleri merkezinde çelik bir plaka ile etrafında da dıştaki plakayı bağlayan polimer tabakalardan oluşan sistemlerdir.

Bu sistemler deprem etkisindeki binanın yer değiştirmelerini azaltır. Bina, yatay yüklerin etkisinde kalınca viskoelastik damper yapısındaki farklı çelik tabaklarda oluşan farklı yer değiştirmelerden dolayı enerji sönümlemesi gerçekleşir. Bu tip damperlerin yatay yükler altındaki davranışları özellikle titreşim frekansına, sıcaklığa ve yer değiştirmeye

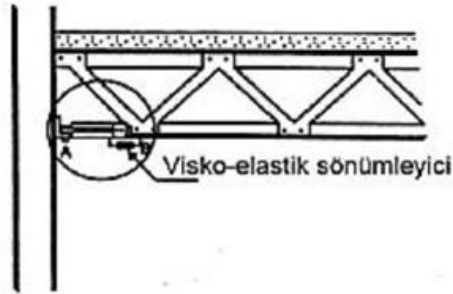
bağlıdır. Sıcaklık sistemin çalışma performansını büyük ölçüde etkilediğinden hesaplarda sıcaklık da dikkate alınmalıdır. [30]



Şekil 1.25. Viskoelastik Sönümleyici Tipi [30]



Şekil 1.26. Viskoelastik Sönümleyici Tipi [34]



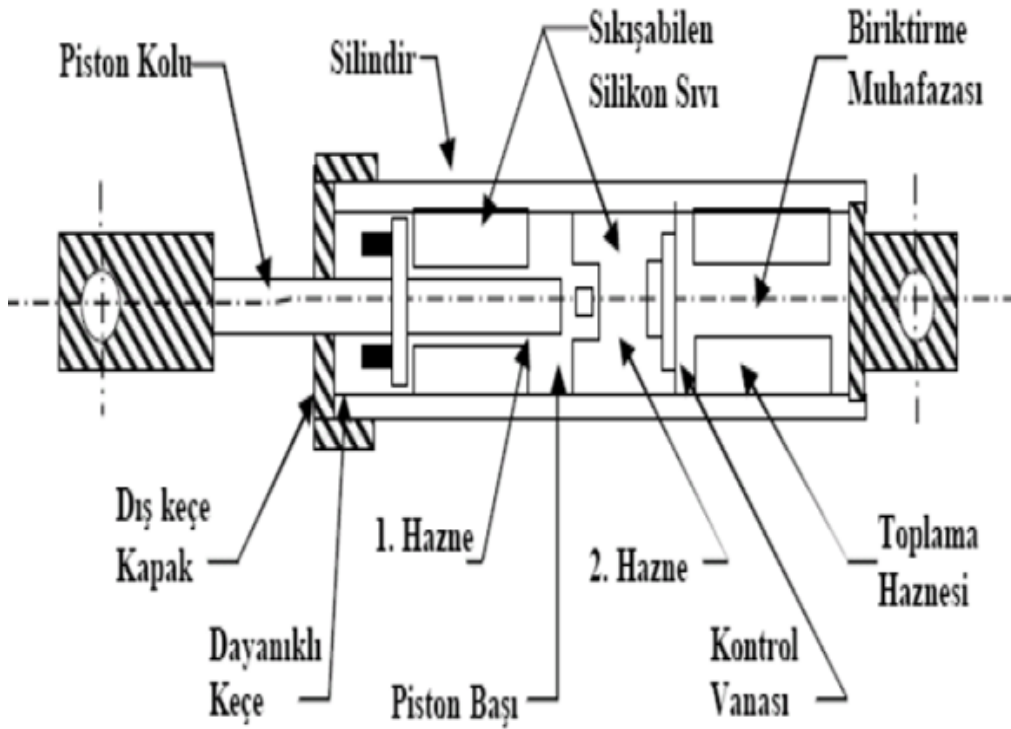
Şekil 1.27. Viskoelastik Sönümleyici Tipi Kullanılan Dünya Ticaret Merkezi [35]

Viskoelastik uygulamalarından ilki olarak kabul edilen uygulamalardan biri Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan ve terör saldırıları sonucu yıkılan Dünya Ticaret Merkezinde rüzgar yüklerini azaltmak için 10.000 adet viskoelastik sönümleyici kullanılmıştır.

1.5.4. Viskoz sönümleyiciler

1992 yılında Constantinou tarafından geliştirilen ve hıza bağlı bir sönümleyici tipidir. Yapıya sadece ilave sönüm sağlarlar. Viskoz sönümleyicilerin çoğu sıvı viskoz sönümleyicidir.

Çalışma sistemi aşağıda Şekil 1.28 de görüldüğü gibi içi yağ doldurulmuş bir silindir ve bunun içerisinde hareket eden piston bulunmaktadır. Pistonun ortasında bir boşluk bulunmaktadır. Yatay yük yüklenmesi durumunda pistonun haznelerindeki yağ sıkışarak belli bir basınca ulaştığında diğer hazneye akar, bu şekilde sıvı akışı sayesinde enerji sönümlemesi oluşur. Bu sistemde yay hareketine benze hareketler oluşmaktadır. [30]



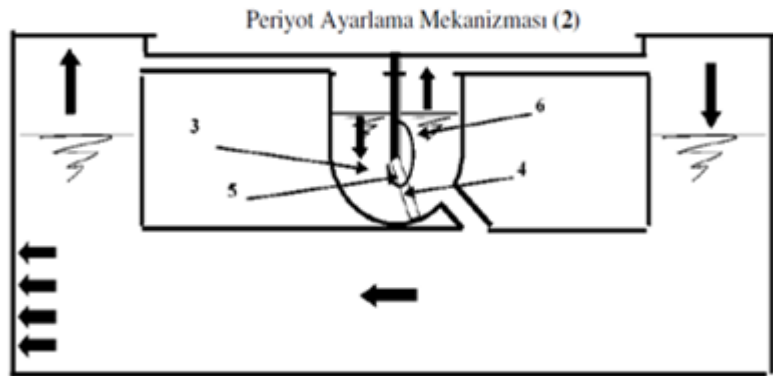
Şekil 1. 28 Viskoz-sıvı sönümleyici kesiti [30]



Şekil 1.29. Kurulumu tamamlanmış viskoz sönümleyici [34]

1.5.5. Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler

Bu tip sönümleyiciler çelik vb. rijit bir kap içindeki sıvının kütle gibi hareket etmesi ile yerçekimi tarafından oluşan kuvvetlerin etkisinin mekanizmasını çalışarak yapıdaki titreşim enerjisini azaltan sönümleyici tipidir.



Şekil 1.30. Ayarlı Sıvı Sönümleyicilerin Çalışma Prensipleri [30]

Sekil 1.30 da ayarlı sıvı sönümleyicilerin çalışma prensibi verilmektedir. Buradan da görüldüğü üzere rijit su tankı hesaplanan seviyeye kadar doldurulmaktadır. Yatay yük

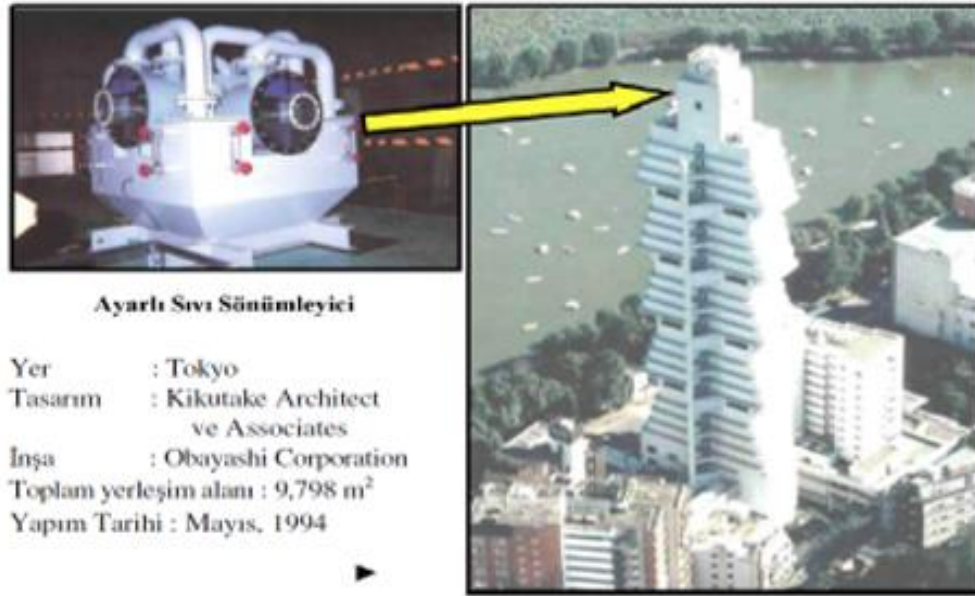
sonucu sistemin kapakları açılarak suyun diğer hazneye akışı sağlanır bu şekilde sistemde enerji yutulması olur ve bu şekilde yapının periyodu istenilen aralıkta tutulmasını sağlar. [30]

-Ayarlı Sıvı sönümleyicilerin belli başlı avantajları şu şekildedir.

-Kullanılan sistemin etkin duruma geçebilmesi için ek bir sisteme ihtiyaç olmadığından ve de karmaşık bir yapıda olmadığından maliyeti de düşüktür.

-Yapının doğal frekansının kontrol altında tutulması sıvı dolu kapların sayısına bağlı olduğundan kontrol sistemlere göre daha basittir.

-Mevcut binalara veya tarihi binalara da çok kolay uygulanabilmektedirler. [30]

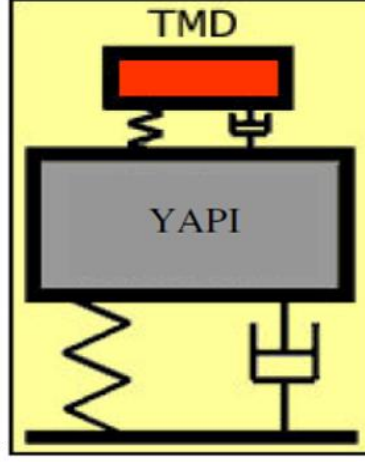


Şekil 1.31. Tokyoda ayarlı sıvı sönümleyici uygulanan bir bina [30]

1.5.6. Ayarlı Kütle Sönümleyiciler

Tuned Mass Dampers tarafından geliştirilen bir sönümleyici sistemidir. Bir kütle ve bir yaydan oluşan ve yapının uygun yerine konulan dinamik yükleri azaltmaya çalışan bir sistemdir. Ayarlı Kütle Sönümleyici asıl uygulama amacı deprem ve rüzgar gibi yükler

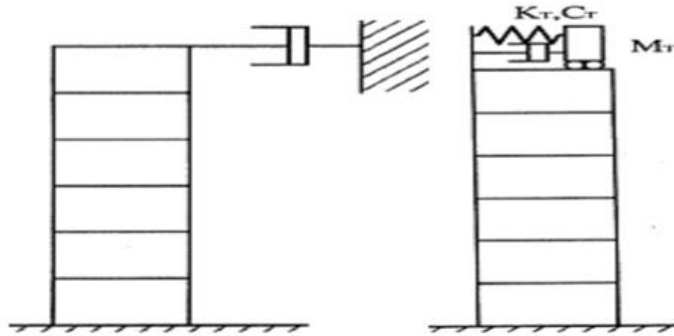
karşısında etkiyen titreşimleri azaltarak bundan kaynaklı oluşacak hasarları önlemektir. Yapının ana kütlesi üzerine eklenen Ayarlı Kütle Sönümleyici kütlesi arasında bir faz farkı oluşturularak atalet kuvvetlerinin etkisinden dolayı oluşan enerji sönümlenmektedir. [30]



Şekil 1.32 Ayarlı kütle sönümleyici mekanik modeli [30]

Bu tip kütle sönümleyiciler en çok aşağıdaki yapılarda kullanılmaktadır.

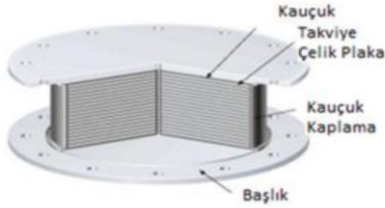
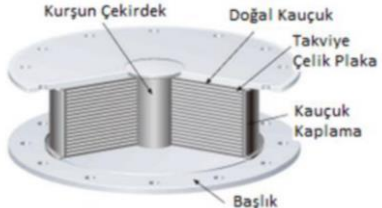
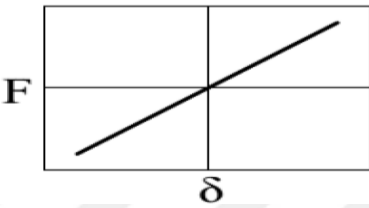
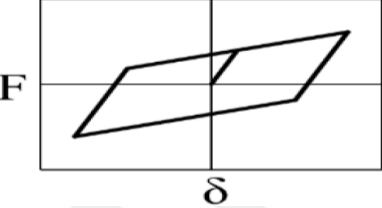
- Çok uzun ve çok ve yüksek yapılar (Bacalar, köprüler, pylonlar, radyo kuleleri, vb.)
- Araç ve yaya titreşimi etkisi olan yapılar (Küçük köprüler, tribünler vb.).
- Makine titreşimlerinin etkili olduğu yapılar,
- Deprem etkisi altındaki yapılar. [30]



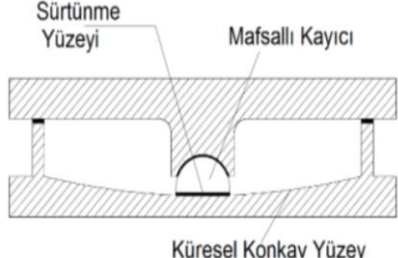
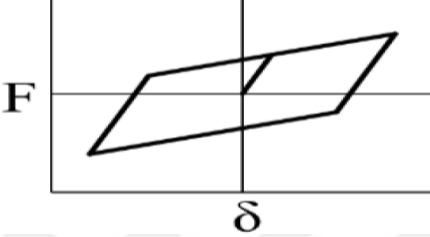
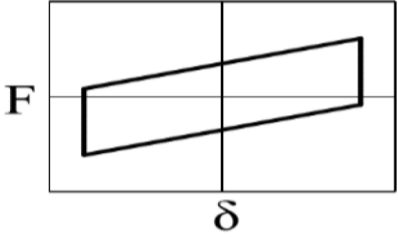
Şekil 1.33 Ayarlı kütle sönümleyici teorik çalışma mekanizması [36]

1.6.İzolatör Sistemlerin Karşılaştırması

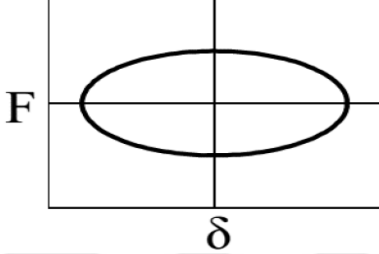
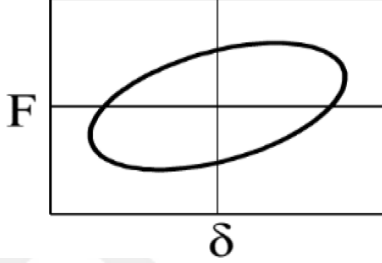
Tablo 1.1. İzolatör sistemlerin karşılaştırması (a) [37]

	Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatör	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör
Genel Yapı		
İdeal Histerik Davranış		
Kullanım Amacı	İzolasyon	İzolasyon ve Enerji Sönümleme
Sıcaklığın Etkisi	Orta	Az
Sönüm Oranı	% 2-3	% 15 ~ 30
Maliyet	Az	Orta
Üstünlükler	•Üretimi kolay •Modellemesi kolay •Yaşlanma, ve yükleme geçmişinden çok etkilenmez. •Mekanik davranışı frekanstan bağımsızdır.	•Uygulanma sıklığı, •İzolasyon sağlayıp aynı zamanda enerji sönümleme özelliğine sahip en ekonomik sistemlerden birisidir.
Sakıncalar	•Ek Sönüme ihtiyaç duyar •Düşük sıcaklık, mekanik özelliklerini etkiler.	•Deprem sonrası içerisindeki kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin belirlenmesi.

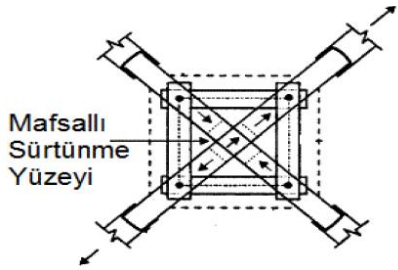
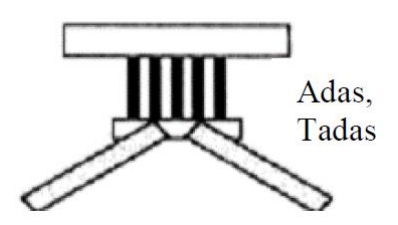
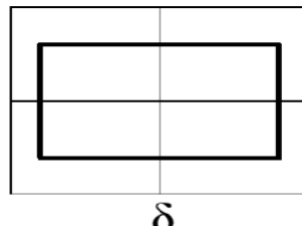
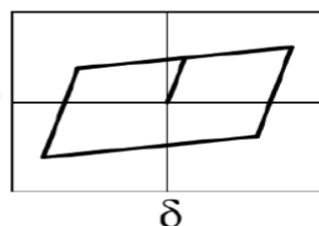
Tablo 1.2.İzolator sistemlerin karşılaştırması (b) [37]

	Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör	Sürtünmeli Sarkaç İzolatör
Genel Yapı		
İdeal Histerik Davranış		
Kullanım Amacı	İzolasyon	İzolasyon ve Enerji Sönümleme
Sıcaklığın Etkisi	Orta	Az
Sönüm Oranı	% 15 ~ 20	% 5 ~ 40
Maliyet	Fazla	Az
Üstünlükler	İlk ve son rijitliği fazladır, bu sayede rüzgar gibi küçük ve güçlü deprem gibi büyük yatay kuvvetlere etkili reaksiyon gösterebilir.	- Yapının ağırlığına bağlı olmadan titreşim periyodunu ayarlamak mümkündür. - Cihazın maliyetinin düşüklüğünün yanında yapıya uygulanması da ekonomiktir. - Cihazın dayanıklılığı nedeni ile uzun süre kararlı bir performans gösterir. - Yalnızca görsel bir kontrol gerektirdiği için bakımı kolaydır.
Sakıncalar	- Görece pahalıdır. - Zamanla mekanik özellikleri değişebilmektedir	Sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı olması.

Tablo 1.3. Sönümleyici sistemlerin karşılaştırması (a) [37]

	Viskoz Sıvı Sönümleyici	Viskoelastik Katı Sönümleyici
Genel Yapı		 Viskoelastik Katı Malzeme
İdeal Histerik Davranış		
Kullanım Amacı	Enerji Sönümleme	Enerji Sönümleme
Sıcaklığın Etkisi	Az	Çok
Sönüm Oranı	% 5~ 30	%15 ~ 20
Maliyet	Çok	Orta
Üstünlükler	• Küçük deplasmanlarda çalışmaya başlar, • Askeri uygulamalarda kanıtlanmış performans kayıtlarının olması, • Yüksek kuvvet deplasman kapasitesi • Üretici çokluğu • Düşük frekanslarda ek rijitlik sağlamaz	• Küçük deplasmanlarda çalışmaya başlar, düzelme kuvveti oluşturur (restoring force)
Sakıncalar	• Sıvı kaybı olasılığı	• Sınırlı deformasyon kapasitesi, • Sistemin yırtılması olasılığı • Düşük kuvvet deplasman kapasitesi

Tablo 1.4. Sönümleyici sistemlerin karşılaştırması (b) [37]

	Sürtünme Tipi Sönümleyici	Metalik Sönümleyici (ADAS,TADAS)
Genel Yapı		
İdeal Histerik Davranış		
Kullanım Amacı	Enerji Sönümleme	Enerji Sönümleme
Sıcaklığın Etkisi	Çok Az	Çok Az
Sönüm Oranı	% 50	%50 den fazla
Maliyet	Az	Çok az
Üstünlükler	•Büyük enerji yutma kapasitesi • Uygulama kolaylığı	• Üretim için ileri teknoloji gerektirmemesi • Kolayca uygulanabilir olup depremde kararlı bir davranış gösterirler. • Çevresel faktörler performanslarını etkilemezler. • Enerji sönüm kapasitesinin yanında ek rijitlik de sağlar. • Deprem sonrası kolayca değiştirilebilirler
Sakıncalar	•Kalıcı hasar ile sürtünme yüzeyi zamanla ayrılabilir, • Yüksek nonlineer davranış • Ek rijitlik	•Analiz uzunluğu • Yüksek doğrusal olmayan davranış •Ek rijitlik sağlar •Büyük deprem sonrası değişmesi gerekebilir.

1.7. İzolasyon Sisteminin Temel Görevleri ve Faydaları

1.7.1. İzolasyon Sistemlerinin Temel Görevleri

İzolasyon sistemlerinin temel görevleri şu şekilde sıralanabilir. [38]

- Yatay yöndeki hareketlerde düşük rijitlik sağlamak,
- Sönümleme yapmak,
- Düşey yönde yüksek rijitlik sağlamak,
- Çevresel şartlara karşı dayanım (durabilite) sağlamak,
- Esnek davranış sergilemek.

1.7.2. İzolasyon Sistemlerinin Faydaları

Yapılara etkiyen yatay ve düşey kuvvetler sonucunda yapılarda hasar meydana gelip can ve mal kaybı meydana gelmektedir. Yapılarda kullanılan sismik izolasyonlar sonucunda yapıların bu kuvvetler karşısındaki dayanımı ve bu sistemlerin faydalarını göz önüne alarak sismik izolasyon sisteminin faydaları da aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Depremde binaya gelen yük azalacağından can güvenliği artar,
- Yapılarda depremden kaynaklı oluşabilecek hasarlar büyük ölçüde önlenir,
- Tarihi bina güçlendirmelerinde kullanıldığında tarihimizin kaybolması engellenmesine yardımcı olur,
- Yapının doğal periyodunu artırarak yapıyı hasar görmekten ve göçmekten korur,
- Yapıda hem görel kat ötelemeleri, hem ivmeler azalacağından yapının taşıyıcı sistemi hasar görmez ve depremden hemen sonra kullanılması gereken binaların kullanılmasına devam edilmesi olanağı sağlar,
- Yapısal elemanlarda hasar minimum seviyeye indirilir,
- Depremden sonra kullanılması gereken tıbbi veya elektronik malzemelerin hasar görmesi engellenir,
- Fabrikalarda kullanıldığında deprem sonrası üretimlerin azalmasını önler [38]

2. İZOLATÖLERİN GENEL VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Sismik izolasyonlu yapı ve izolasyon tasarımı için öncelikle, Yapılacak yapının ve kullanılacak izolatörün mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sistemin tasarımı yapılırken başlangıç değerleri için yapılan ön analizlerden faydalanılarak ya da üretici firmanın bildirdiği üretim değerleri bilgisiyle seçilir. Toplanan bu ön bilgiler yardımıyla yapıda gerekli olan diğer tüm parametreler ve izolasyon sistemi değerlerinin tamamı yardımı ile yapının yer değiştirmesi, periyodu ve taban kesme kuvvetleri hesaplanır.[19]

2.1.Kauçuk İzolatörlerin Mekanik Özellikleri

2.1.1. Yatay Rijitlik (K_h)

Kauçuk esaslı izolatörler tabakalı halde bulunmaktadır. Alt ve üst kısmında kalın çelik levha ile arasında kauçuk tabaklar ve bu tabakların yanlara şişmesini engellemek amacı ile konulan çelik levhalar bulunmaktadır. Bu izolatörlerin en büyük mekanik özelliği yatay rijitliğidir. [2]

Yatay rijitlik

$$K_h = \frac{GA}{t_r} \quad 2.1$$

Formülü ile hesaplanmaktadır. Burada;

K_h : Yatay rijitlik

G : Kauçuğun kayma modülü,

A : Kauçuk en kesit alanı,

t_r : Kauçuk tabakalarının toplam kalınlığını ifade eder. [34]

Kauçuğun kayma modülü kauçuğun kayma sekil değiştirmesi (γ) değerine bağlı olarak 0,4 ile 1 Mpa arasında değişmektedir. Yatay rijitlik hesaplarında genellikle $\gamma=100-150$ aralığındaki bir değere karşılık gelen kayma modülü değeri kullanılır.

Kauçuğun kayma sekil değiştirmesi (γ) maksimum yatay değiştirme D ve kauçuğun toplam kalınlığı

t_r değerlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad 2.2.$$

şeklinde olur. [26]

γ : Kauçuğun kayma sekil değiştirmesi

D: Maksimum yatay yer değiştirme

t_r : Kauçuğun toplam kalınlığı ifade eder. [26]

2.1.2. Düşey Rijitlik (K_v)

Sismik deprem izolatörlerin düşey rijitliklerinin çok yüksek olması gerekmektedir. Bunun sağlanması için de kauçuk tabakları arasına çelik levhalar kullanılmaktadır. [2]

Sismik izolasyon uygulanan bir yapının düşey yöndeki frekansı, izolatörün düşey rijitliğine bağlıdır. Lineer metodla izolatörün belirli bir düşey yük altında rijitliği belirlenir

Düşey rijitlik,

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad 2.3$$

Formülü ile hesaplanmaktadır. [2]

K_v : Düşey rijitlik

E_c : Kauçuk ve çelikten oluşan kompozitin basınç modülü

A : Kauçuğun enkesit alanı

t_r : Kauçuğun toplam kalınlığını ifade etmektedir. [19]

Hacimsel elastisite modülü K ve kauçuğa ait basınç modülü E_{ck} olmak üzere, kauçuğun sıkışıabilme özelliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{1}{E_C} = \frac{1}{E_{ck}} + \frac{1}{K} \quad 2.4$$

Buradan kompozit birleşimin basınç modülü;

$$E_C = \frac{E_{ck} K}{E_{ck} + K} \quad 2.5$$

formülü ile hesaplanır. [26]

E_C :Kompozit birleşimin basınç modülü;

E_{ck} : E_{ck} sıkıştırılmayan durumdaki basınç modülü

K :Malzemenin hacim modülü

E_{ck} değerleri, kauçuk izolatörün şekline, kauçuğun geometrisine göre değişmektedir.

E_{ck} değerinin şekil faktörlerine bağlı olarak hesaplanan yöntemleri Tablo 2.1. de verilmiştir. Buradaki S değerleri ise yine izolatörün şekline, geometrisine bağlı olarak Tablo 2.2. de verilmiştir. [2] Denklem (2.5)'deki K malzemenin hacim modülüdür [23]

Tablo 2.1. Kauçuğun sıkıştırılmayan durumdaki basınç modülü (E_{ck}) [7]

İzolatör Geometrisi	Daire	Kare	Merkezi Boşluku Daire
E_{ck}	$6GS^2$	$6,73GS^2$	$6\lambda GS^2$
S : şekil faktörü, G : Kayma modülü			

$$\lambda = \{b^2 + a^2 - [\frac{b^2 - a^2}{(\ln b/a)}]\} / (b-a)^2 \quad 2.6$$

şekil faktörü daire ve kare tip izolatörler için ayrı ayrı formülize edilmektedir.

Tablo 2. 2 Şekil Faktörü (S) [7]

İzolatör Geometrisi	Daire	Kare
S	$a/4t$	$a_k/4t$
A ; Dairenin çapı, a_k ; Karenin kenar uzunluğu, t ; Bir adet kauçuk tabakanın kalınlığı		

Basınç etkisi altında birbirine bağlı çelik levhalar nedeniyle kauçukta oluşan kayma şekil değişimi γ_c , $\epsilon_c = \Delta / t_r$ olmak üzere ϵ_c nominal (birim) basınç şekil değişimi ve S şekil faktörü cinsinden,

$$\gamma_c = 6S\epsilon_c \quad 2.7$$

Formülü ile tanımlanır. W düşey yük olmak üzere $W=K_v\Delta$ bağıntısı bilindiğine göre;

$$\gamma_c = 6S \frac{W}{E_c A} \quad 2.8$$

yazılabilir. [2] γ_c $\epsilon_b/3$ değerinden küçük olması istenir. ϵ_b kauçuğun yırtılma anındaki birim uzamasıdır.

W : Düşey yük

γ_c : Kauçuğun kayma şekil değiştirmesi

ϵ_c : Birim basınç şekil değişimi

S : Şekil Faktörü

Δ : Düşey deplasman

2.1.3. Kauçuk İzolatörlerin Burkulma Yüğü Hesabı

Kritik burkulma yüğü P_{cr} kesiti dairesel ve kare olan kauçuk izolatörler için;

Dairesel kesitli izolatörlerde;

$$P_{cr} = \left(\frac{\pi G S d}{2\sqrt{2} t_r} \right) A \quad 2.9$$

Kare kesitli izolatörlerde;

$$P_{cr} = \left(\frac{\pi G S a}{\sqrt{6} t_r} \right) A \quad 2.10$$

Şeklinde hesaplanır. [23]

Bu formüllerde G kauçuğun düşük kayma sekil değıştirmesi altındaki kayma modülüdür. Düşey yükler altındaki izolatörün güvenlik faktörü n ile adlandırılırsa n nin hesabı; (bunun değeri uygulamalarda genellikle 3 alınır) [2]

$$n = \frac{w}{P_{cr}} \quad 2.11$$

Şeklinde yapılır.[19]

2.1.4. Kauçuk İzolatörlerin Büyük Yatay Deplasmanlar Altındaki Stabilitesi

Dairesel ve kare kesitli kauçuk tip izolatörler için kritik yatay yer değıştirme değeri D_{cr} ;

Dairesel kesitli izolatörlerde;

$$D_{cr} = \frac{d\pi}{4} \left[1 - \left(\frac{P}{P_{cr}} \right)^2 \right] \quad 2.12$$

Kare kesitli izolatörlerde;

$$D_{cr} = a_k \left[1 - \left(\frac{P}{P_{cr}} \right)^2 \right] \quad 2.13$$

D_{cr} : Kritik yatay yer değıştirme

d : Dairenin çapı,

a_k : Karenin kenar uzunluğu

P_{cr} :Kritik burkulma yükü

şekilde hesaplanır. [19]

2.2.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerin Mekanik Özellikleri

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin karakteristik parametreleri Elastik rijitlik olan K_1 akma sonrası rijitlik K_2 ve karakteristik dayanım Q olmak üzere modellendilerse,

$$K_2 = \frac{GA}{t_r} \quad 2.14$$

Elastik rijitlik olan K_1 değeri, akma sonrası rijitlik K_2 'nin deneysel metodla belirlenen bir katsayıyla çarpılmasıyla hesaplanır. Bu katsayı genel bir kabulle 10 olarak belirlenmiştir.

$$K_1 = 10K_2 \quad 2.15$$

$$Q = f_y A_L \quad 2.16$$

Q : Karakteristik dayanım

f_y : Kayma dayanımı

A_L : Kurşun çekirdeğin enkesit alanı

İzolatörlü Yapının Doğal frekans değeri;

$$w = \sqrt{\frac{K_{eff}g}{W}} \quad 2.17a$$

$$w = \sqrt{w_0^2 + \mu \frac{g}{D}} \quad 2.17b$$

w : Doğal frekans

K_{eff} : Etkin rijitlik

- g : Yerçekimi ivmesi
 W : Düşey yük
 μ : Sürtünme katsayısı
 w_0 : Akma sonrası sistem açısal frekansı

Olur. Burada ;

$$\mu = \frac{Q}{W} \quad 2.18$$

$$w_0^2 = \frac{K_2 g}{W} \quad 2.19$$

olduğundan hareketle denklem (2.18) ve (2.19) a göre düzenleme yapılırsa etkin periyot;

$$T = \frac{2\pi}{w} \quad 2.20$$

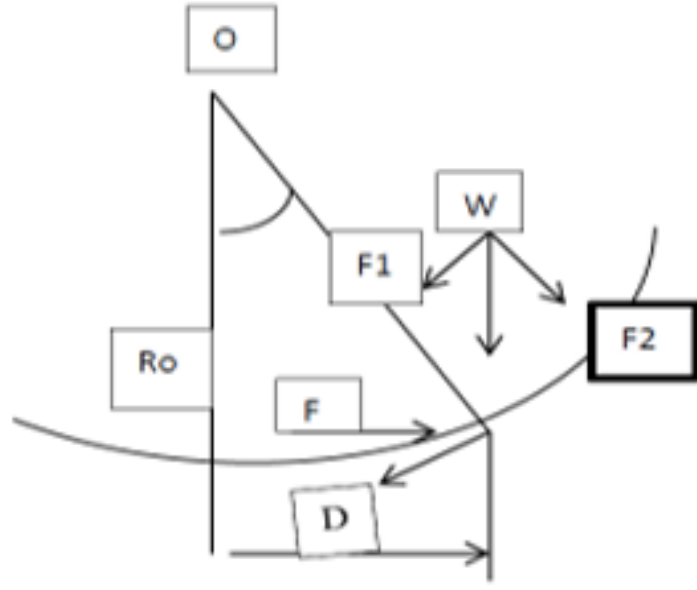
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{w_0^2 + \mu \frac{g}{D}}} \quad 2.21$$

Olur.[19]

2.3.Sürtünmeli Sarkaç Tip Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Sistemden gelen düşey yüke bağlı olarak sistemin yükselmesi ve bundan kaynaklı sürtünme kuvvetinin, ve eğrilik yarıçapının oluşturulduğu geri dönüşüm yeteneği ile oluşan mekanizmada aşağıda belirtilen kuvvetler oluşmaktadır.

Sürtünmeli sarkaç izolatörde yer değiştirmeyi oluşturacak yatay kuvvet izolatörün eğrilik yarıçapına, düşey yüke ve sürtünme katsayısına bağlıdır. [36]



Şekil 2.1. Sürtünmeli sarkaç izolatöre etkiyen kuvvetler [39]

İzolatöre etkiyen Kuvvet F aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$F = \frac{wD}{R} + \mu w \sin n(D) \quad 2.22$$

F : Sisteme etki eden kuvvet

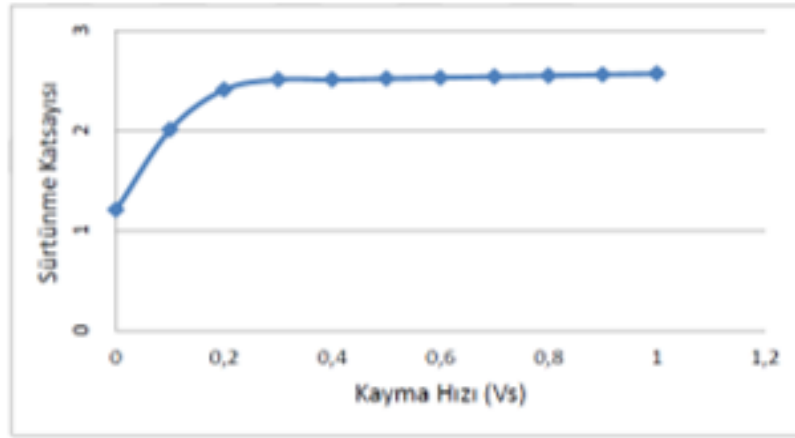
W : Düşey yük

D : Yer değiştirme miktarı

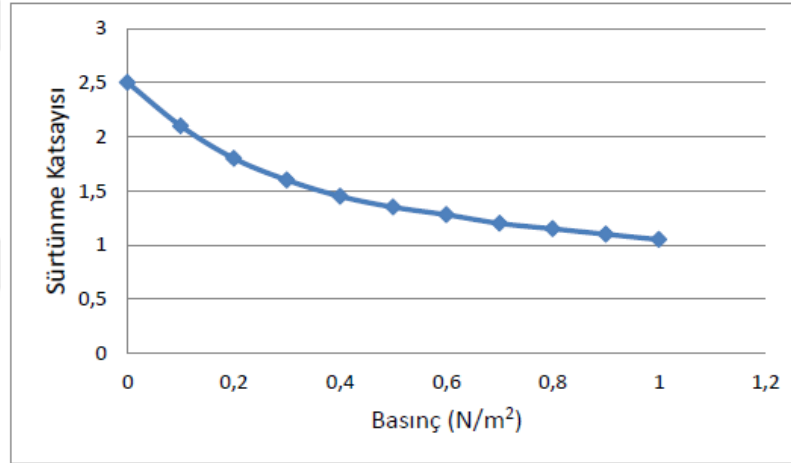
μ : Kayma sürtünmesinin katsayısı

R : Eğrilik yarıçapı

Yüzey sürtünme katsayısı kullanıldığı malzemeye bağlıdır. Kayma hızı, Sürtünme katsayısı ve basınca bağlı değişkenlik göstermektedir.[39]



Şekil 2.2 Kayma hızına bağlı sürtünme katsayısı değişimi. [39]



Şekil 2. 3 Basınca bağlı sürtünme katsayısı değişimi [39]

Sistemdeki hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılır.

Akma sonrası yatay rijitlik hesabı;

$$\frac{W}{R} = K_H = K_2 \quad 2.23$$

Peryod;

$$T = \frac{2\pi\sqrt{R}}{\sqrt{r}} \quad 2.24$$

Efektif rijitlik;

$$K_{eff} = K_P + \frac{Q}{D} = \frac{W}{R} + \mu \frac{W}{D} \quad 2.25$$

Efektif sönüm;

$$\beta_{eff} = \frac{2Q(D-D_Y)}{\pi K_{eff} D^2} = \frac{2\mu}{\pi \left(\frac{D}{R}\right) + \pi \mu} \quad 2.26$$

Düşey deplasman;

$$\Delta = R(1 - \cos(\arcsin(\frac{W}{R}))) \quad 2.27$$

- K_2 : Akma sonrası yatay rijitlik
 T : Periyot
 R : Ankastre inşa edilen yapı katsayısı
 r : Eğrilik yarıçapı
 K_{eff} : Efektif rijitlik
 K_p : Akma sonrası rijitlik
 Q : Karakteristik dayanımı
 D : Yer değiştirme miktarı
 D_y : Akma yer değiştirmesi
 μ : Kayma sürtünmesinin katsayısı
 W : İzolatöre etkiyen toplam ağırlık
 Δ : Düşey deplasman

3. SİSMİK İZOLASYONLU YAPILARIN HAREKET DENKLEMİ

Deprem ve diğer yüklere karşı izole edilmiş izolasyonlu yapılar tasarlanırken izolasyonsuz yapıların tasarım yöntemlerinden yola çıkılarak hesaplama yapılmaktadır. Deprem esnasından yapının üzerine kurulduğu zeminin u_g kadar yer değiştirdiği düşünülürse tek serbeslik dereceli (TSD) izolasyonsuz bir yapı;

$$v = u - u_g \quad 3.1$$

kadar yer değiştirir.

v : Bina yer değiştirme miktarı

u : Deprem anında yapının yapmış olduğu yer değiştirme

u_g : Deprem etkisi altında zemin yer değiştirme miktarı

Bir yapının toplam kütlesi m , rijitliği k , sönüm sabiti ise c ile gösterilecek olursak yapının hareket denklemi;

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + kv = -m\ddot{u}_g \quad 3.2$$

Şeklindeki gibi olur. Bu da başlangıç ve sınır koşulları altında çözülürse binanın tabanına gelen kesme kuvvetleri hesaplanmış olunur.

Çok serbestlik dereceli (ÇSD) sismik izolasyonsuz binalarda da bunun gibi benzer işlemler yapılmaktadır. Elde edilecek hareket denklemleri öz vektör ve öz değer problemlerine indirgenir ve çözümü bulunur. Buradan hareketle yapıya gelen yatay kuvvetler hesaplanır. İzolasyonlu yapılarda da aynı çözüm yöntemi ile denge denklemleri elde edilerek başlangıç ve sınır koşulları kullanılarak hesaplama yapılır. [40]

3.1. Sismik İzolasyonlu Yapının Hareket Denklemi

Zeminden sismik taban izolasyon sistemi ile ayrılmış olan yapılarda depremden kaynaklı yer hareketlerinden gelen kuvvetler büyük ölçüde azalmaktadır. Şekil 3.1. de ki n katlı tabandan izole edilmiş, kütle modeli ile modellenmiş, yatay yönde yer değiştirme serbestlik dercesine de sahip sismik izolatörlü yapının hareket denklemi; [41]

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -\ddot{x}_g[M]\{1\} \quad 3.3$$

Olur. Burada matrislerin boyutları $(n+1) \times (n+1)$ ile hesaplanır.

[C] Sönüm matrisi

[M] Kütle matrisi

[K] Rijitlik matrisi

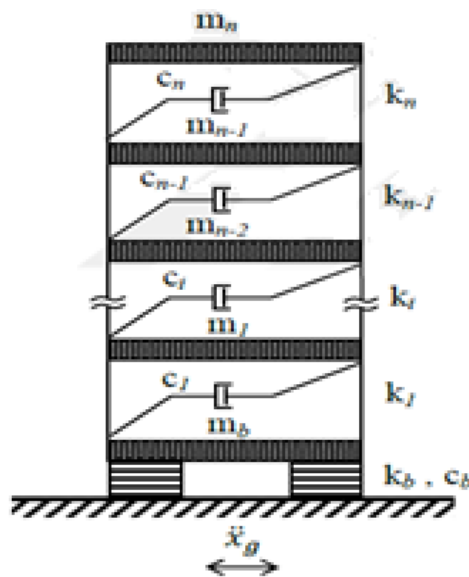
{1} Vektörün $n+1$ satırından oluşan birim vektör

{ $\ddot{x}$ } İvme Vektörü

{ $\dot{x}$ } Hız vektörü

{x} Rölatif yer vektörü

$\ddot{x}_g$ Deprem ivmesi



Şekil 3. 1 Taban izolasyonlu bina. (b alt indisi taban izolatörünü simgelemektedir.) [41]

- m_n ; Kat kütlesi
 c_n ; Sönüm katsayısı
 k_n ; Katlar arası rijitlik
 k_b ; İzolatörün rijitliği
 c_b ; İzolatör sönüm katsayısı

Yukarıda denklem 3.3. te verilen denklemde kütle matrisi, sönüm matrisi, rijitlik matrisinin açılımı aşağıdaki gibidir.

[M] Kütle matrisi;

$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_n \end{bmatrix} \quad 3.4$$

m_b ; izolatör kütlesi

[C] Sönüm matrisi;

$$[C] = \begin{bmatrix} c_b+c_1 & -c_1 & 0 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1+c_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{n-1}+c_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n \end{bmatrix} \quad 3.5$$

c_b ; İzolatörün sönüm katsayısı

[K] Yapısal Rijitlik matrisi;

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b+k_1 & -k_1 & 0 & & \\ -k_1 & k_1+k_2 & 0 & & \\ 0 & 0 & \dots & & \\ & \text{Simetrik} & & k_{n-1}+k_n & 0 \\ & & & 0 & k_n \end{bmatrix} \quad \text{Simetrik} \quad 3.6$$

k_b ; İzolatör rijitliğidir.

$$x = \begin{bmatrix} x_b \\ x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \quad 3.7$$

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_b \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dots \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} \quad 3.8$$

$$\ddot{x} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_b \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \dots \\ \ddot{x}_n \end{bmatrix} \quad 3.9$$

4. İZOLASYONLU BİR YAPI TASARIMINDA GENEL ESASLAR

1.1.2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) [42] binalarda sismik yalıtım ile ilgili hususlar aynı yönetmeliğin 14. bölümünde yer almaktadır.

Bu bölüm kullanılacak izolasyon tipleri hesaplamalar hakkında bilgiler içermektedir. Bu bölüm yeni yapılacak veya güçlendirilecek yapıların yalıtım hakkında esaslar içermektedir. Yapılacak yapıların diğer parametreleri ise yönetmeliğin tamamını kapsamaktadır.

4.1.Hesap Yöntemleri

TBDY-2018 yönetmeliğine göre betonarme yapılan deprem yükü altında tasarımı için hesap yöntemleri Bölüm 4’de Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarımı İçin Hesap Esasları ve Bölüm 5’te Deprem Etkisi Altında Binaların Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımı İçin Hesap Esasları başlıkları altında verilmiştir.

Tablo 4. 1.Hesap Yöntemleri

Hesap Yöntemi	Doğrusal Hesap Yöntemleri		
	Eşdeğer Hesap Yöntemi (TBDY-2018 Bölüm 4.7)	Modal Hesap Yöntemi (TBDY-2018 Bölüm 4.8)	
		Mod Birleştirme Yöntemi (TBDY-2018 Bölüm 4.8.2)	Zaman Tanım Aralığında Mod Toplama Yöntemi ile Hesap (TBDY-2018 Bölüm 4.8.3) Yöntemi
Hesap Yöntemi	Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri		
	Tek Modlu İtme Yöntemi (TBDY-2018 Bölüm 5.6.2)	Çok Modlu İtme Yöntemi (TBDY-2018 Bölüm 5.6.6)	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (TBDY-2018 Bölüm 5.7)

Bu tezde yapılacak hesap yöntemi zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olacaktır.

4.2.Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, deprem etkisi altında sistemin taşıyıcı elemanlarının diferansiyel denklemlerinin integrasyonudur. Yani diferansiyel denklemlerin zaman artımları ile integralinin hesaplanmasıdır. Sistemin doğrusal olmayan davranışından dolayı rijitlik matrisi zamanla değişimi gerçekleşir. Hesaplamalarda bu durum göz önünde bulundurulur.[42]

Bu hesap yönteminde en az on bir adet deprem kaydı seçilerek hesaplama yapılır. Seçilen deprem kayıtlarında yapıya X ve Y eksenleri doğrultusunda etki ettirilir. Daha sonra bu etki 90 derece döndürülerek işlem tekrarlanır.



5. ÖRNEK YAPI TASARIMI

5.1.Genel Bilgiler

Çalışmanın bu bölümünde 12 katlı çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip hastane binası olarak kabul edilen bir yapı modellenmiştir. Çalışmanın analizi SAP2000 [43] programı ile yapılmıştır. Binanın taşıyıcı sistemi ve diğer yapı elemanları yürürlükte olan TBDY-2018 [42], TS 498-500 [44] yönetmelikleri esas alınarak boyutlandırılmıştır.

Yapının spektrum eğrisi Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (<https://tdth.afad.gov.tr>) ile seçilen yerel nokta ile deprem tehlike raporu oluşturulmuş ve söz konusu raporda açıklanan ivme-zaman değerleri ile (DD-1) deprem düzeyinde oluşturulan deprem tepki-spektrum eğrisi oluşturulmuştur.

Bina 20x20 m boyutlarında X yönünde 20 metre Y yönünde ise 20 m olacak şekilde ve X yönünde 4 açıklıklı Y yönünde 4 açıklıklı iki yöndeki açıklıklar ise 5 m olacak şekilde tasarlanmıştır.

5.2. Tasarım ve Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler

Binanın bulunduğu bölgenin zemini ZC kabul edilmiştir. Yapıda kullanılan beton sınıfı C30 ve tüm katlarda ve tüm döşemelerde döşeme kalınlığı 15 cm olarak belirlenmiştir.

Kat yüksekliği de 4 m olarak belirlenmiştir. Kar yükü $0,75 \text{ kN/m}^2$, Hareketli Yük $5,0 \text{ kN/m}^2$, Ahşap oturtma çatı yükü $1,5 \text{ kN/m}^2$, Kar yükü azaltma katsayısı $0,3$ Hareketli yük azaltma katsayısı $0,3$ olarak alınmıştır.

5.3.Deprem Karakteristikleri

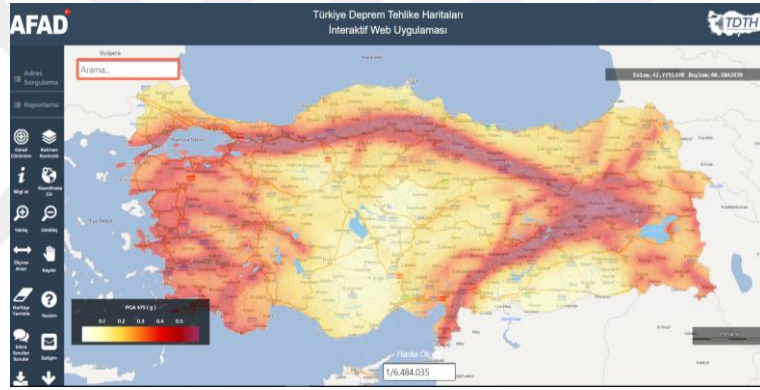
Hesaplamalarda kullanılacak yer olarak Trabzon İli Yomra için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak elde edilen spektrum ivme katsayıları aşağıda listelenmiştir.

DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi İçin seçilen bölgeye göre TBDY 2018 Tablo 2.3.2.2’de tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı aşağıdaki değerler olarak elde edilmiştir.

$$S_S = 0.996 \quad S_1 = 0.223 \quad S_{DS} = 1.195 \quad S_{D1} = 0.335 \quad PGA = 0.418 \quad PGV = 20.775$$

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi İçin seçilen bölgeye göre TBDY 2018 Tablo 2.3.2.2’de tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı aşağıdaki değerler olarak elde edilmiştir.

$$S_S = 0.475 \quad S_1 = 0.122 \quad S_{DS} = 0.617 \quad S_{D1} = 0.183 \quad PGA = 0.205 \quad PGV = 10.897$$



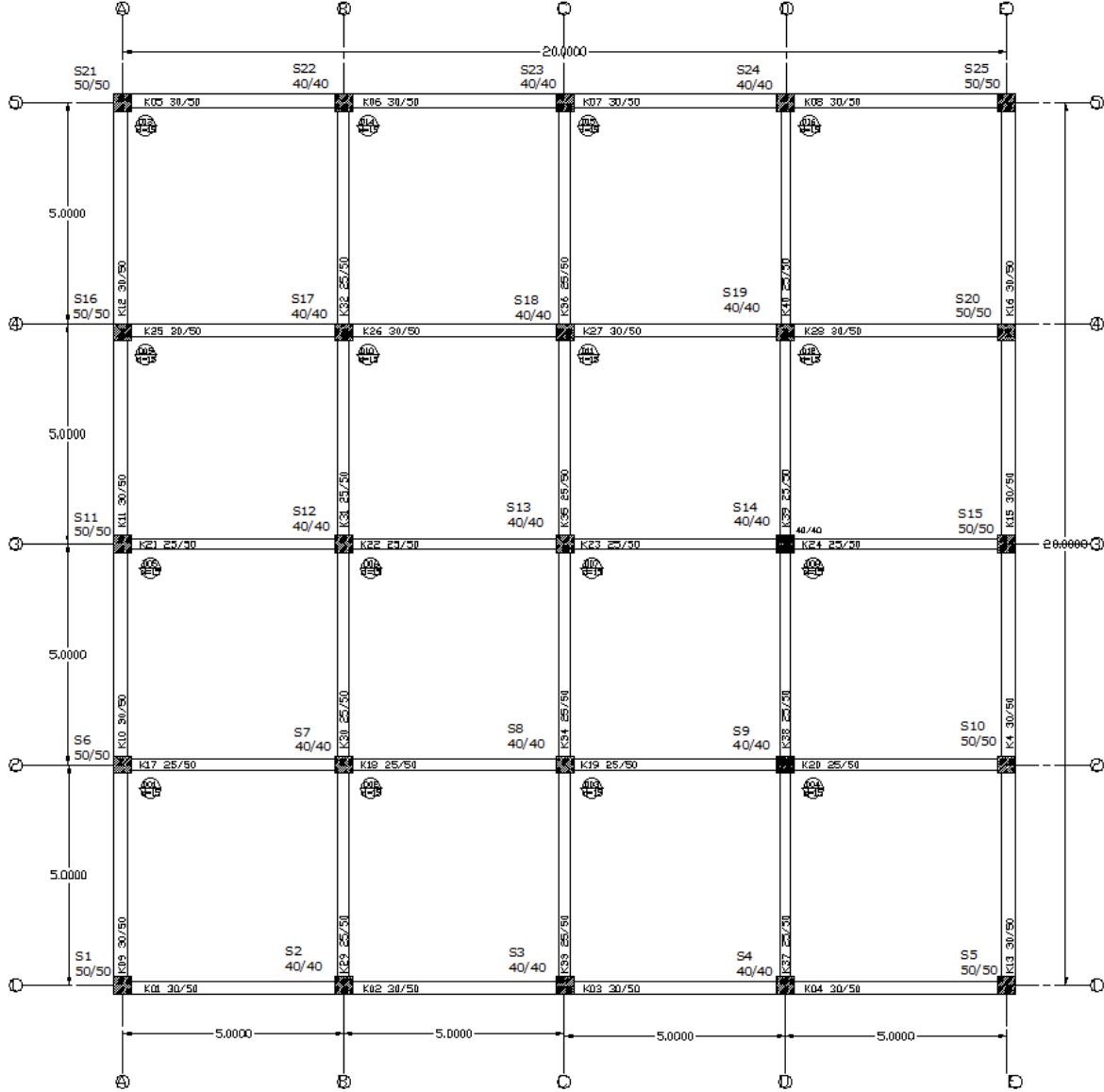
Şekil 5. 1 Türkiye Deprem Tehlike haritaları [45]



Şekil 5. 2 Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (Trabzon/Yomra) [45]

5.4.Yapının Boyutlandırılması ve Planı

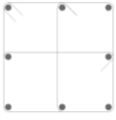
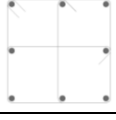
Oluşturulan yapının parametreleri ve kat planı aşağıda verilmiştir.

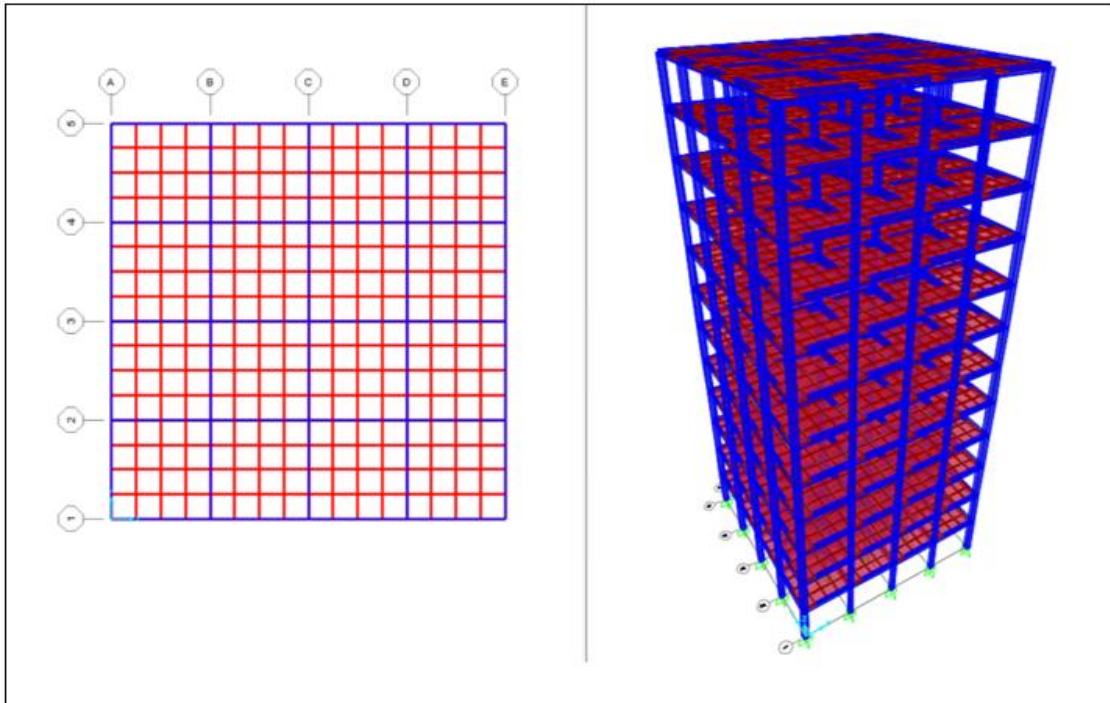


Şekil 5.3. Tasarlanan binanın zemin kat planı

Şekil 5.3. te kat planı verilen örnek yapıda kullanılan kolon ve kiriş kesitlerine ait detaylar aşağıda Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1. Kolon ve kiriş kesit tipleri

Tip No	Şekli	Ölçüleri m	Düşey Donatı	Yatay Donatı
S1		50x50	8 ϕ 14	ϕ 8/20/10
S2		40x40	8 ϕ 14	ϕ 8/20/10
K1		30X50	2 ϕ 12 3 ϕ 14	ϕ 8/20/10
K2		25X50	2 ϕ 12 2 ϕ 16	ϕ 8/20/10



Şekil 5. 4. Binanın plan ve üç boyutlu görünümü [43]

Tablo 5.2. Tasarlanan binanın parametreleri

Açıklama	Sembol	Birimi	Değeri
Yapı Kullanım Amacı	-	-	Hastane
Yapı Yeri Enlem-Boylam	-	D ⁰	40.956628°- 39.862179°
Bina Önem Katsayısı	I	-	1
Bina Kullanım Sınıfı	-	-	1
Zemin Tipi	-	-	ZC
Beton Sınıfı	C	-	30
Donatı Sınıfı	-	-	S420
Deprem tasarım sınıfı	DTS	-	2a
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS	-	3
Beton Birim Hacim Ağırlığı	-	kN/m ³	25
Beton Elastisite Modülü	E Beton	kN/m ²	32.000.000
Yapıda Döşeme kalınlığı	-	m	0,15
Kat Yüksekliği	-	m	4
Yapı Toplam Yüksekliği	-	m	48
Çatı Yüğü	Q	kN/m ²	1,0
Hareketli Yüğü	Q	kN/m ²	5,0
Hareketli Yüğü Katsayısı	n	-	0,3
Sabit Yüğü (5. Kat)	G	kN/m ²	4,5
Sabit Yüğü (Diğer katlar)	G	kN/m ²	4,5
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (DD-1)	S _{DS}	g	1.195
Tasarım Spektral İvme Katsayısı (DD-1)	S _{D1}	g	0,335
Yapıda Kullanılan Kolon Boyutları	S1	m	0,50/0,50
Yapıda Kullanılan Kolon Boyutları	S2	m	0,40/0,40
Yapıda Kullanılan Kirişlerin Enkesit Boyutları	K1	m	0,50/0,30
	K2	m	0,50/0,25

5.5. Yapıda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Binanın Taşıyıcı sisteminin tamamında aşağıda özellikleri belirtilen malzemeler kullanılmıştır. Donatı çeliği için S420a ve beton için C30 malzemeleri kullanılmıştır. TS500 [44]'e göre bu bileşenlerin mekanik özellikleri Tablo 5.3. ve Tablo 5.4 te verilmiştir.

Tablo 5.3. Yapıda kullanılan beton özellikleri

Beton Sınıfı	Silindir Basınç Dayanımı (f_{ck}) Mpa	Eşdeğer Küp Dayanımı (f_{ctk}) Mpa	Eksenel Çekme Dayanımı Mpa	Elastisite Modülü (E_{c28}) Mpa
C30	30	37	1,9	32.000

Tablo 5.4. S420 Donatı çeliğinin mekanik özellikleri.

Çelik Sınıfı	Minimum akma dayanımı f_{yk} Mpa	Minimum Kopma Dayanımı f_{su} Mpa	$\varnothing \leq 32$ Minimum Kopma Uzaması ϵ_{su} (%) Mpa	$32 < \varnothing \leq 50$ Minimum kopma uzaması ϵ_{ssu} (%)
S420	420	500	12	10

5.6. Yapının Taşıyıcı Sistem Elemanları

Tablo 5.5. Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Kolon Tipleri

Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Kolon Tipleri				
Kesit Tipi	Boyutları	Kullanılan Yer	Zemin Kat (Adet)	Tüm Katlar Toplam (Adet)
S1	50/50	S01, S05, S06, S10, S11, S15, S16, S20, S21, S25	10	120
S2	40/40	S02, S03, S04, S07, S08, S09, S12, S13, S14, S17, S18, S19, S22, S23, S24	15	180
TOPLAM (Adet)			25	300

Tablo 5. 6 Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Kiriş Tipleri

Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Kiriş Tipleri				
Kesit Tipi	Boyutları	Kullanılan Yer	Zemin Kat (Adet)	Tüm Katlar Toplam (Adet)
K1	30/50	K01, K02, K03, K04, K05, K06, K07, K08, K09, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K16	16	192
K2	25/50	K17, K18, K19, K20, K21, K22, K23, K24, K25, K26, K27, K28, K29, K30, K31, K32, K33, K34, K35, K36, K37, K38, K39, K40	24	288
TOPLAM (Adet)			40	480

Tablo 5. 7 Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Döşeme Tipleri

Tasarlanan Yapının Taşıyıcı Sisteminde Kullanılan Döşeme Tipleri				
Kesit Tipi	Kalınlık	Kullanılan Yer	Zemin Kat (Adet)	Tüm Katlar Toplam (Adet)
D	15	D01, D02, D03, D04, D05, D06, D07, D08, D09, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16	16	192

5.7.TBDY 2018 e Göre Yapının Parametrelerinin Seçilmesi

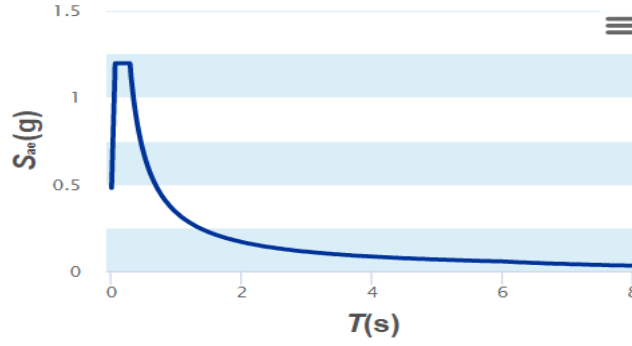
5.7.1. Deprem Tasarım Spektrum Bilgileri

Yapının yapılacağı yer olan Trabzon İli Yomra İlçesi Sancak Mahallesi 18 ada 10 nolu parsel için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak elde edilen spektrum ivme katsayıları aşağıda listelenmiştir. [45]

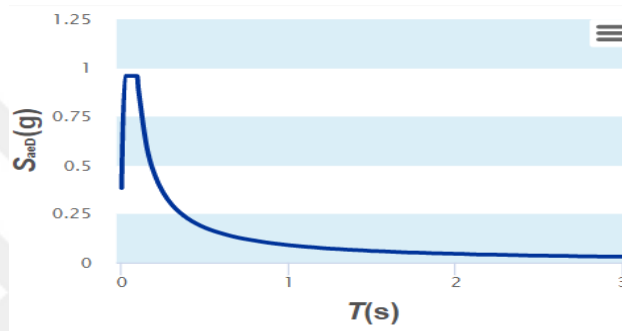
Seçilen bu bölgeye göre DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi İçin TBDY 2018 Tablo 2.3.2.2’de tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı aşağıdaki değerler olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.8. Tasarım Spektrum Bilgileri

S_s	S_1	S_{DS}	S_{D1}	PGA	PGV
0.996	0.223	1.195	0.335	0.418	20.775



Şekil 5. 5. Trabzon/Yomra Yatay Elastik Tasarım Spektrumu [45]



Şekil 5. 6. Trabzon/Yomra Düşey Elastik Tasarım Spektrumu [45]

5.7.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Türkiye Deprem Yönetmeliği 2.2.1. maddesi olan Deprem Yer Hareketi Yüzeyleri DD-1 seçilmiştir.

Tablo 5. 9. Tasarlanan Yapının için seçilen Deprem Yer Hareketi Düzeyleri [42]

Seçilen Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-1 dir. DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem hareketi tasarımda göz önünde bulundurulacak en büyük deprem hareketi olarak kabul edilmektedir.	DD-1
---	-------------

5.7.3. Yerel Zemin Sınıfları

Yapının yapılacağı yer olan Trabzon İli Yomra İlçesi Sancak Mahallesi 18 ada 10 nolu parsel için Türkiye Deprem Yönetmeliği 2018 tablo 16.1. deki zemin sınıflarından ZC yerel zemin sınıfı belirlenmiştir.

Tablo 5. 10. Tasarlanan Yapının yerel zemin sınıfı

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250

5.7.4. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Tasarlanan bina hastane olduğundan TBDY 2018 Tablo 3.1 deki Bina Kullanım Sınıfı 1 ve Bina önem katsayısı 1,5 olarak alınmıştır.

Tablo 5. 11. Yapının Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısı

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5

5.7.5. Deprem Tasarım Sınıfı

Tablo 5.4.4 de göre belirlenen ve Bina Kullanım Sınıfı 1 ve Trabzon İli Yorma İlçesi 18 ada 10 nolu parsel için elde edilen DD-2 Yer Hareketi Düzeyi Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı 0,617 olarak hesaplandığından TBDY [42] deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), Tablo 3.2'ye göre DTS = 2a olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.12. Deprem Tasarım Sınıfları

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

5.7.6. Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları

Tasarlanan yapı 12 katlı ve her katın yüksekliği de 4 m olduğundan bina yüksekliği toplamda 48 m olmaktadır. Bina yükseklik sınıfı Deprem Tasarım Sınıfına ve bina yüksekliğine göre değişmektedir. Yapının Deprem Tasarım Sınıfı 2a ve yüksekliği de 48 m olduğundan Bina Yükseklik Sınıfı BYS=3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. 13.Bina Yükseklik Sınıfı

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N < 70$	$56 < H_N < 91$

5.7.7. Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları

Tasarlanan yapının yükseklik sınıfı BYS = 3 olduğundan Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-1, 2a olduğundan Kontrollü Hasar Performans Düzeyi, Şekil Değiştirmeye Göre

Değerlendirme ve Tasarım olarak belirlenmiştir. Yalıtımlı binalarda performans hedefi ŞGDT olarak yapılabilmektedir. Çalışmanın bu kısmında bunun seçilmesinin amacı yalıtımlı bina ile yalıtımsız bina hasar durumunun karşılaştırılmasıdır.

Tablo 5.14. Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları

Deprem Yer H. Düzey	DTS= 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS =1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	-	-
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

5.7.8. Bina Süneklik Düzeyi

Tasarlanan yapı perdesiz bir yapı olduğundan yapının bina süneklik düzeyi A11 olarak seçilmiştir.

Tablo 5.15. Binanın Süneklik Düzeyi

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$

5.8.Bina Ağırlık Hesapları

Tasarlanan binanın TDY 2018 e göre taşıyıcı sistem boyutları ve yukarıda belirtilen özellikleri seçildikten sonra SAP2000 [43] programına veri girişleri yapılmış yapı modellenmiştir yapının kat ağırlıkları, toplam kütlesi, G+0,3Q kombinasyonuna göre en az

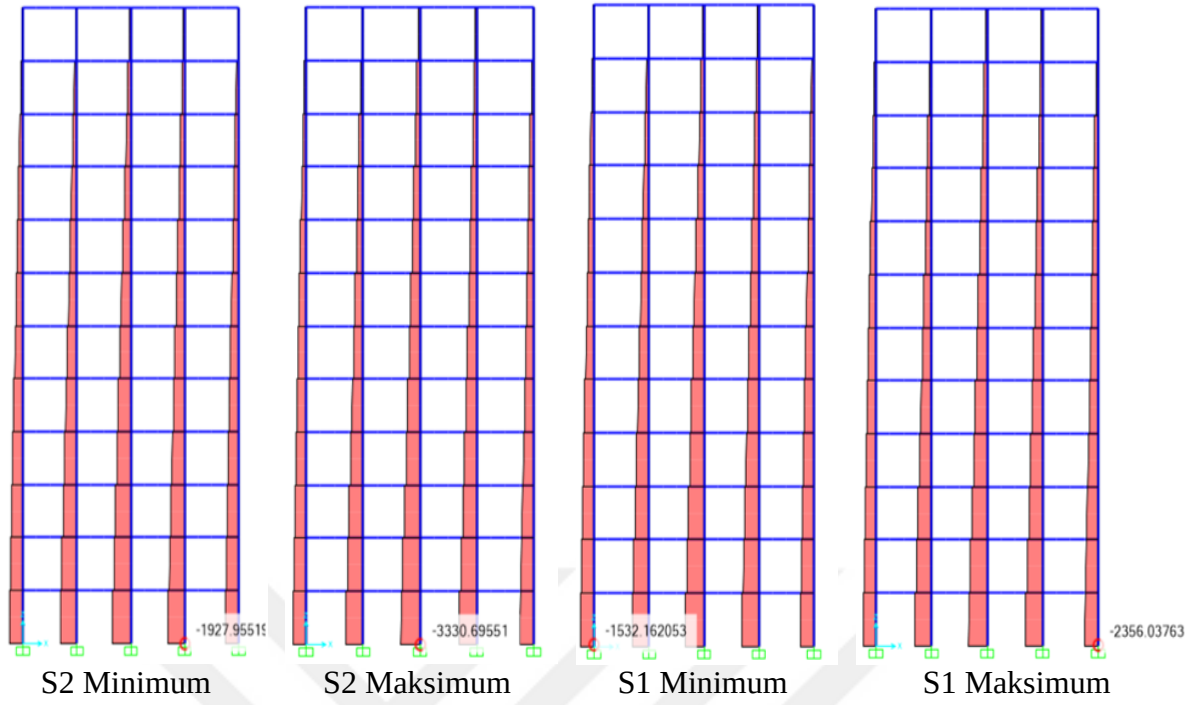
ve en çok yük taşıyan kolonları ve bunlar üzerine gelen yükler tespit edilmiştir. Bu değerler tablo 5.16 ve 5.17. de verilmiştir.

Tablo 5.16.Tasarlanan Binanın Ağırlık Hesapları

BİNA AĞIRLIK HESAPLARI	
KAT NO	G+0,3Q (kN)
12	15.267,61
11	30.535,22
10	45.802,82
9	61.070,43
8	76.338,04
7	91.605,65
6	106.873,26
5	122.140,86
4	137.408,47
3	152.676,08
2	167.943,69
1	183.211,30
BİNANIN TOPLAM AĞIRLIĞI (kN)	183.211,30

Tablo 5.17.G+0,3Q kombinasyonunda kolonlara ait yükler

EN AZ VE EN ÇOK YÜK ALAN KOLONLAR					
Kombinasyon	Kolon Tipi	Taşıdığı Yük Durumu	Taşıyıcı Eleman	Eleman No	Taşıdığı Yük kN
G+0,3Q	S1	En Az	Kolon	S01	1533,21
		En Çok	Kolon	S11	2536,95
	S2	En Az	Kolon	S02	1928,44
		En Çok	Kolon	S13	3331,81



Şekil 5.7. (G+0,3Q) Kolon Yükleri [43]

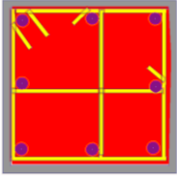
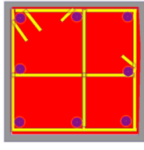
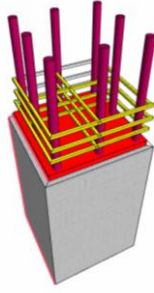
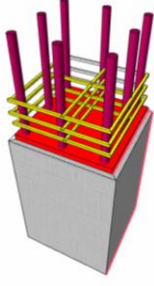
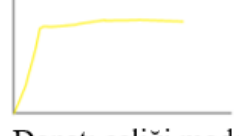
5.9. Taşıyıcı Sistemin Plastik Mafsal Özelliklerinin Hesaplanması

Tasarlanan yapının performansa dayalı değerlendirmesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz metodları kullanılacağından taşıyıcı sistemin elemanları olan kolon ve kirişlerin plastik mafsal değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

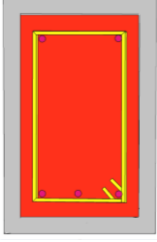
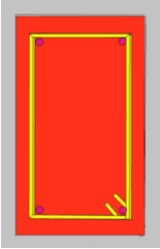
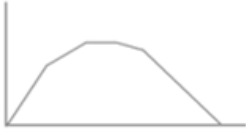
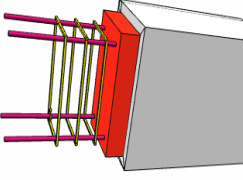
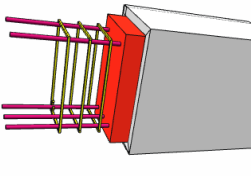
Bu bölümde yapının taşıyıcı sistem elemanları için kesit analizi yapılacaktır. Taşıyıcı elemanlarında kesit analizi ve raporlanmasında Xtract [46] yazılımından faydalanılmıştır.

Bu programda yapının taşıyıcı sistem elemanlarının yani kolon ve kirişlerinin beton malzeme modelleri tanımlanmıştır. Bu malzeme modelleri sargılı ve sargısız malzeme modeli olarak tanımlanmıştır. Bu programda aynı zamanda sistem donatı çeliğine ait malzeme modeli oluşturulmuştur.

Taşıyıcı sistemde kullanılan kiriş ve kolonların kesitleri aşağıda Şekil 5.8. ve Şekil 5.9. de gösterilmiştir.

Kolon Tipi		Modelin Karakteristik Grafiği
S1	S2	
		
		
		

Şekil 5.8.S1 ve S2 Kolonlarında kullanılan malzeme modeli. [47]

Kiriş Tipi		Modelin Karakteristik Grafiği
K1	K2	
		
		
		

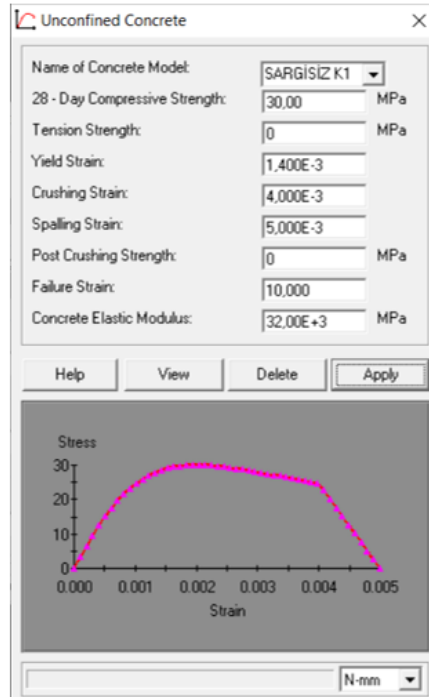
Şekil 5.9. K1 ve K2 Kirişlerinde kullanılan malzeme modeli [47]

5.9.1. Kirişler İçin Kesit Analizi ve Malzeme Modellenmesi

Tasarlanan örnek yapıda iki adet kiriş tipi mevcut olup, kirişler K1(30/50) ve K2 (25/50) olacak şekilde isimlendirilmiş boyuna donatı, enine donatı, etriye, çiroz ve diğer boyutlandırma bilgileri yukarıda Tablo 5.1. de verilmiştir.

5.9.1.1.K1 Kirişine Ait Sargısız Beton Malzeme Modellenmesi

Malzeme değerleri verilen K1 (30/50) Kirişi için XTRACT programı ile sargısız beton modellemesi yapılmış elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.10. da verilmiştir.



Şekil 5.10. Sargısız K1 kiriş Stres-Strain grafiği [46]

Kiriş kesit analizinde kullanılan Malzemelere ait özellikler;

Elastisite modülü	: 32,00E+7 kPa
Çekme mukavemet	: 0 kPa
28 günlük basınç mukavemeti	: 30E+3 kPa
Ezilme birim şekil değiştirme değeri	: 0.005

Taşıma gücü birim şekil değiştirme değeri : 0.004

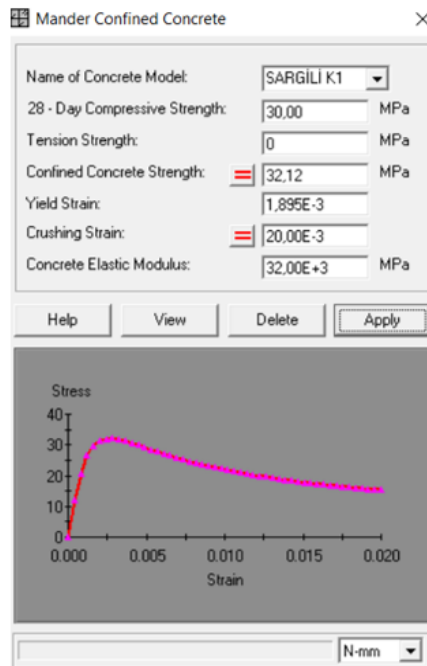
Elastik sınır birim şekil değiştirme değeri : 0.001

Sargısız beton malzeme modelinin oluşturulmasında ve tanımlanmasında kullanılan denklemler ve semboller aşağıda verilmiştir. [47]

$$\begin{aligned} \varepsilon < 2\varepsilon_t & \text{ ise } f_c = 0 \\ \varepsilon < 0 & \text{ ise } f_c = \varepsilon E_c \\ \varepsilon < \varepsilon_{cu} & \text{ ise } f_c = f_c = \frac{f'_c \times r}{r-1+x'r} \\ \varepsilon < \varepsilon_{sp} & \text{ ise } f_c = f_{cu} + (f_{cp} - f_{cu}) \cdot \frac{(\varepsilon - \varepsilon_w)}{(\varepsilon_{sp} - \varepsilon_{cv})} \\ x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}}, \quad r = \frac{E}{E_{cc} - E_{SEC}}, \quad E_{sec} = \frac{f'_c}{\varepsilon_{cc}} \end{aligned}$$

5.9.1.2.K1 Kirişine Ait Sargılı Beton Malzeme Modellenmesi

Malzeme değerleri verilen K1 (30/50) Kirişi için XTRACT programı ile sargılı beton modellemesi yapılmış elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.11. de verilmiştir.



Şekil 5.11. Sargılı K1 kiriş Stres-Strain grafiği [46]

Kiriş kesit analizinde kullanılan Malzemelere ait özellikler;

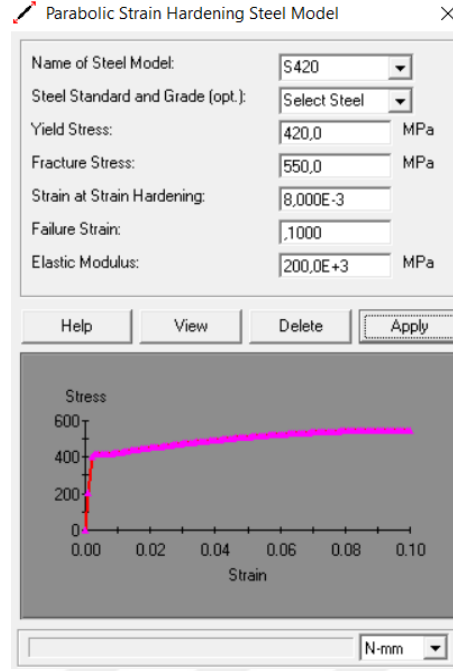
Elastisite modülü	: 32,00 E+7 kPa
Sargılı beton mukavemeti	: 32,12E+3 kPa
Çekme mukavemeti	: 0 kPa
28 günlük basınç mukavemeti	: 30E+3 kPa
Ezilme birim şekil değiştirme	: 0,002
Taşıma gücü birim şekil değiştirme değeri	: 0.004
Elastik sınır birim şekil değiştirme değeri	: 0.001

Sargılı beton malzeme modelinin oluşturulmasında ve tanımlanmasında kullanılan denklemler ve semboller aşağıda verilmiştir. [47]

$$\begin{aligned}
 \varepsilon < 2\varepsilon_t & \quad \text{ise} \quad f_c = 0 \\
 \varepsilon < 0 & \quad \text{ise} \quad f_c = \varepsilon E_c \\
 \varepsilon < \varepsilon_{cu} & \quad \text{ise} \quad f_c = \frac{f'_{cc} \times r}{r-1+x^r} \\
 \varepsilon_{cu} &= 0,002 \cdot [1 + 5 \cdot (\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1)] \\
 x &= \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}}, \quad r = \frac{E}{E_{cc} - E_{SEC}}, \quad E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}}
 \end{aligned}$$

5.9.1.3. K1 Kirişine Ait Donatı Çeliği Malzeme Modeli

Malzeme değerleri verilen S420 donatı çeliği için XTRACT Programı ile modelleme yapılmış elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.12. de verilmiştir. Yapıdaki bütün taşıyıcı betonarme elemanlarda aşağıda özellikleri elde edilen çelik malzeme modeli kullanılmıştır.



Şekil 5.12. S420 donatı çeliği Stres-Strain grafiği [46]

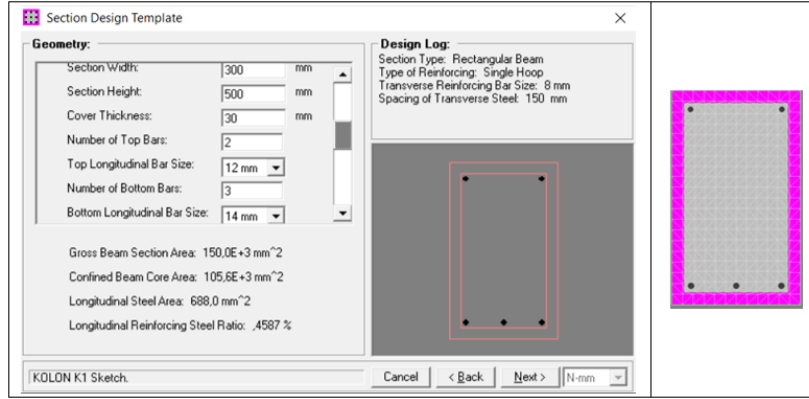
Kiriş kesit analizinde kullanılan S420 Donatı Çeliği Malzeme özellikler;

Akma gerilme değeri	: 420E+3 kPa
Kopma gerilme değeri	: 550E+3 kPa
Elastisite modülü	: 200.000MPa
Gerilme şekil değiştirme değeri	: 0.008
Akma birim şekil değiştirme değeri	: 0.0021
Kopma birim şekil değiştirme değeri	: 0.10
Çekme ve basınç için aynı özellikler geçerli kabul edilmiştir.	

S420 Donatı çeliği malzeme modelinin tanımlanmasında yararlanılan matematiksel denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon < \varepsilon_y & \quad \text{ise} \quad f_s = E \varepsilon \\
 \varepsilon < \varepsilon_{sh} & \quad \text{ise} \quad f_s = f_y \\
 \varepsilon < \varepsilon_{su} & \quad \text{ise} \quad f_s = f_u - (f_u - f_y) \left[\frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon)}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})} \right]^2
 \end{aligned}$$

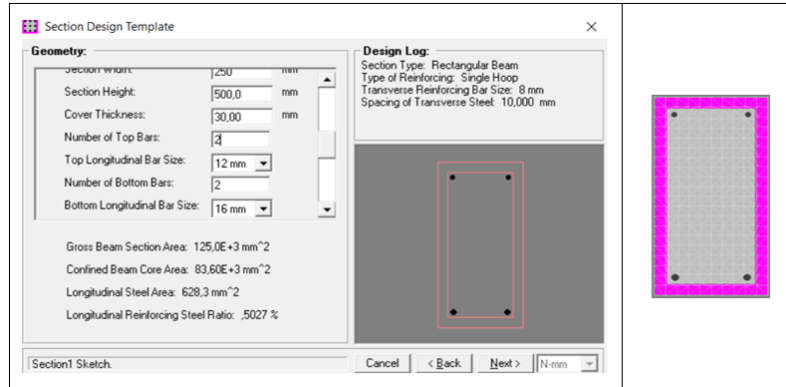
5.9.1.4.K1 Kirişine Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma



Şekil 5.13. K1 Kirişi XTRACT [46] Programı ile modellenmesi

Şekil 5.13. de gösterildiği gibi K1 Kirişi Xtract Programında belirtilen malzeme özellikleri ile modellenmiş ve aşağıda tablo 5.18. ve 5.19. da belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

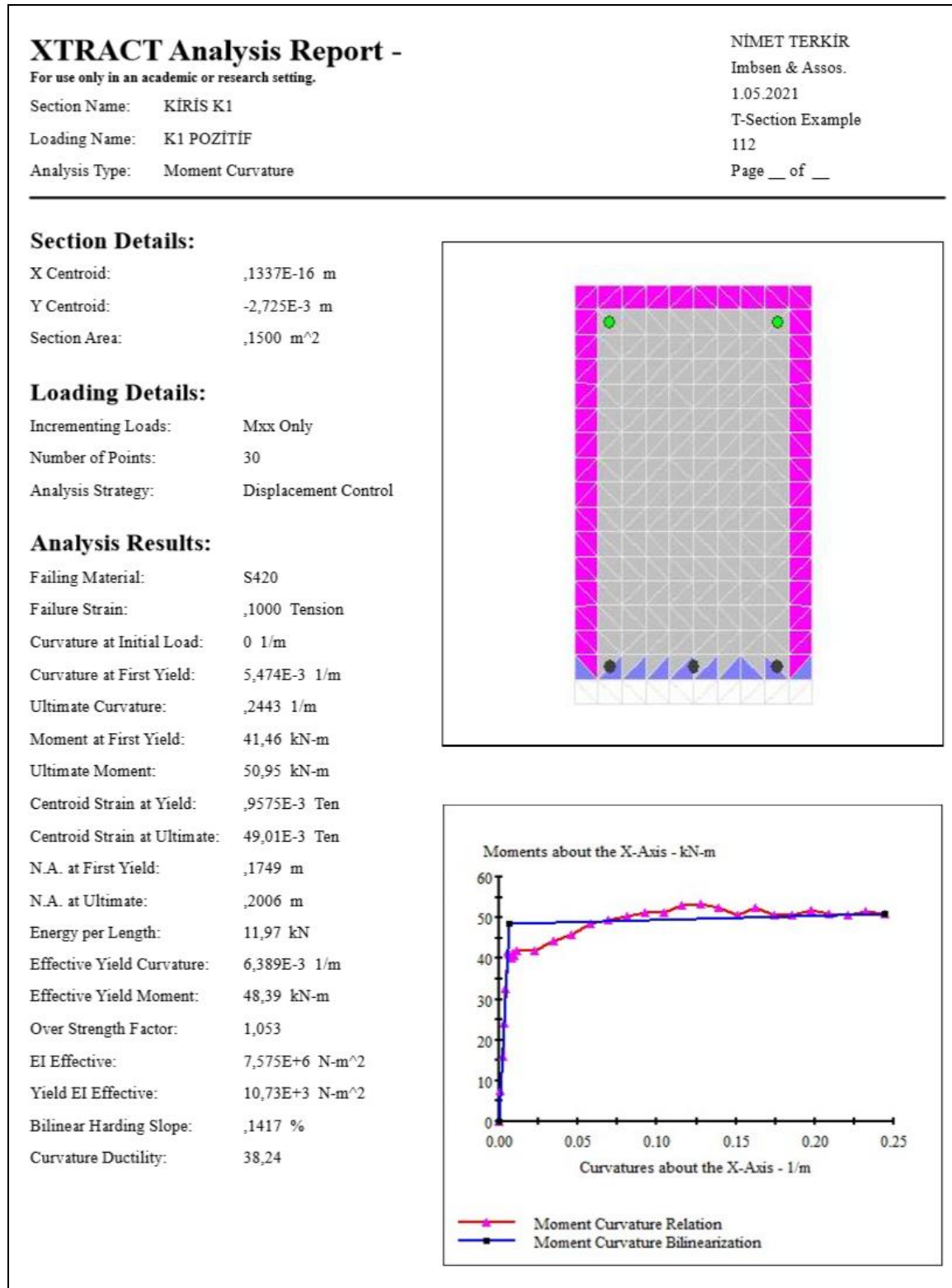
5.9.1.5.K2 Kirişine Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma



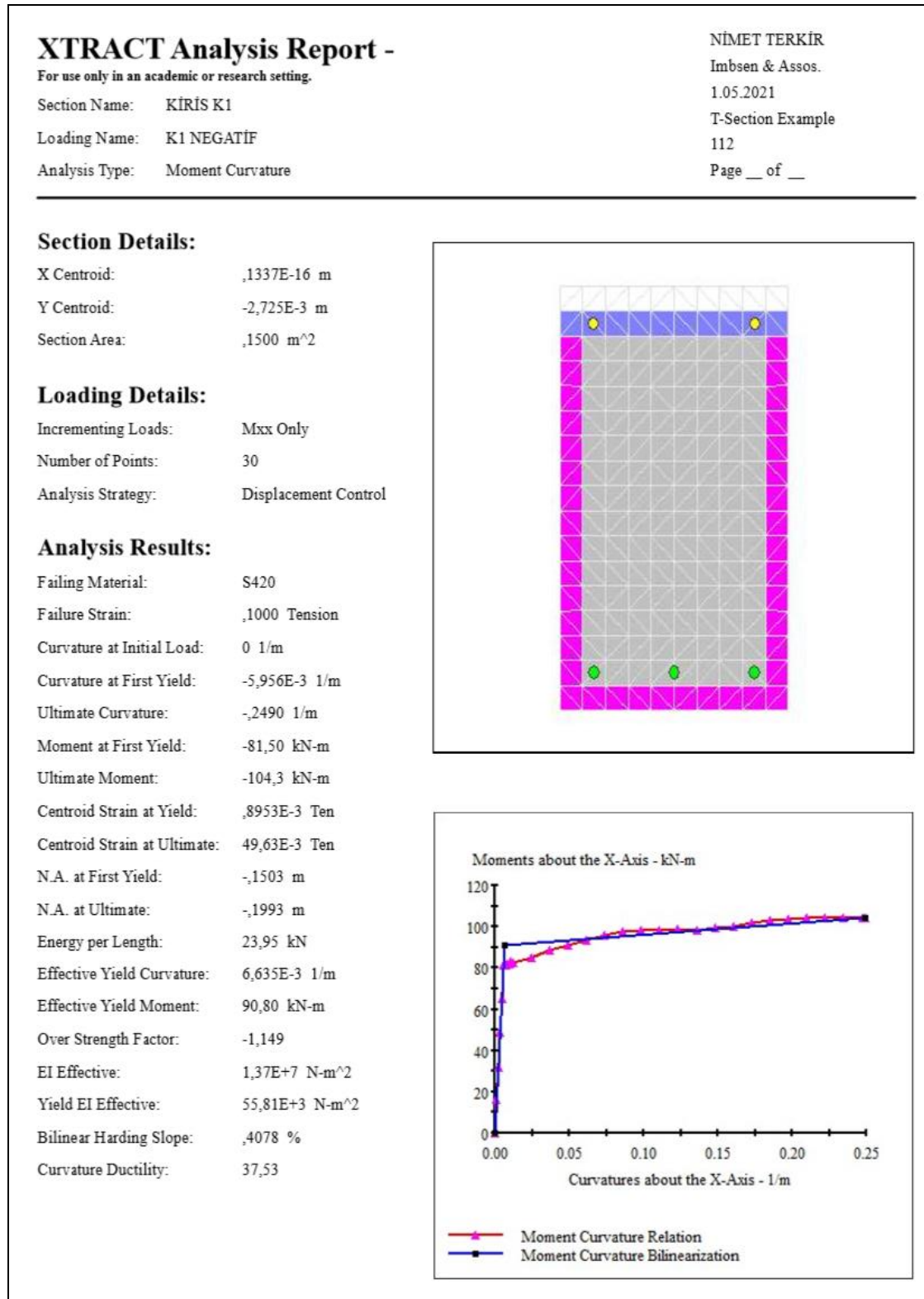
Şekil 5.14. K2 Kirişi XTRACT [46] Programı ile modellenmesi

Yukarıda 5.10., 5.11., 5.12. bölümlerinde anlatılan özelliklere benzer şekilde K2 kirişinin modellenmesi Şekil 5.14. de gösterildiği gibi yapılmış, XTRACT [46] Programında belirtilen malzeme özellikleri ile modellenmiş ve aşağıda Tablo 5.20. ve Tablo 5.21 de belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

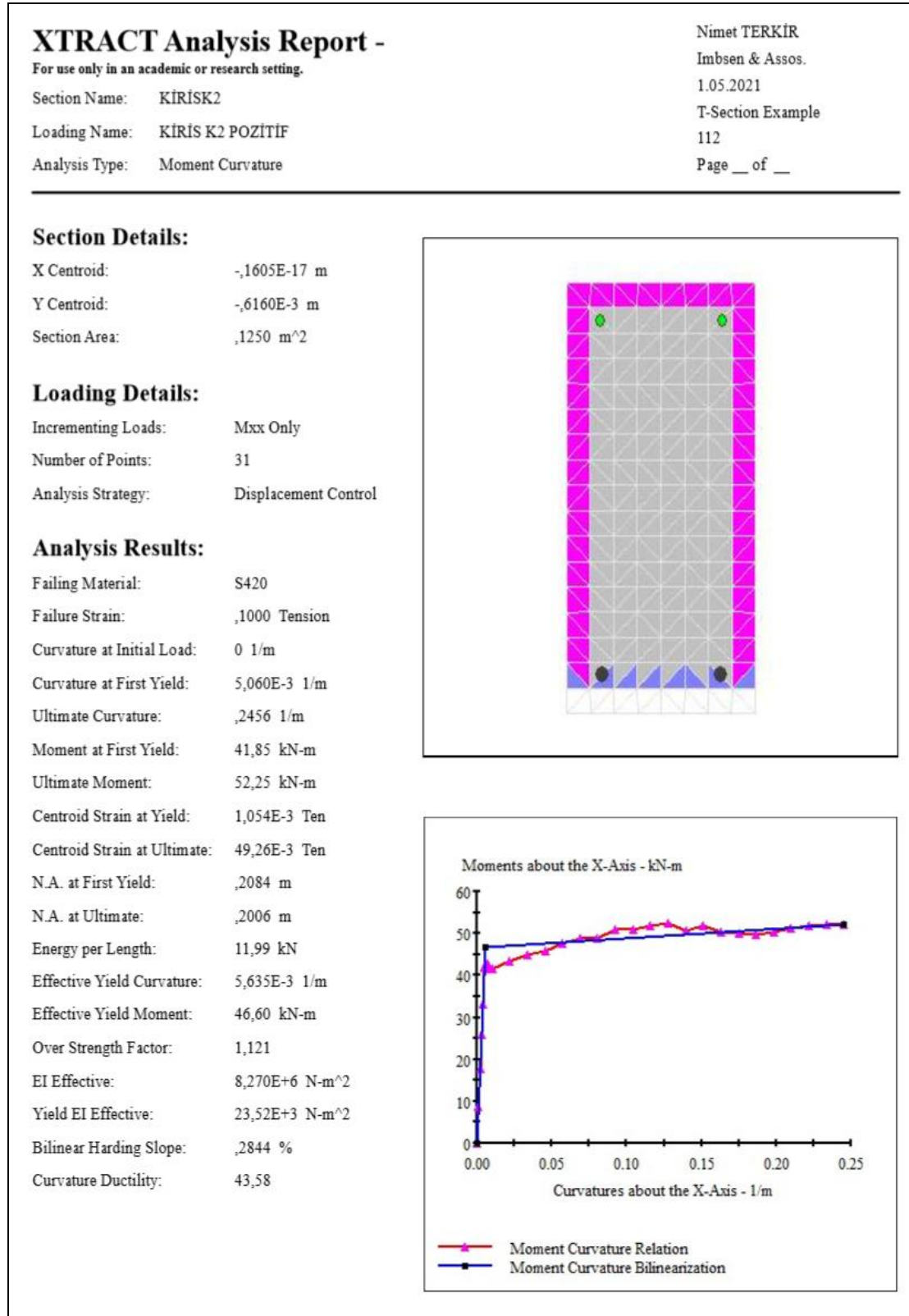
Tablo 5.18. K1 Kirişi (Pozitif) Kesit Analizi Raporu [46]



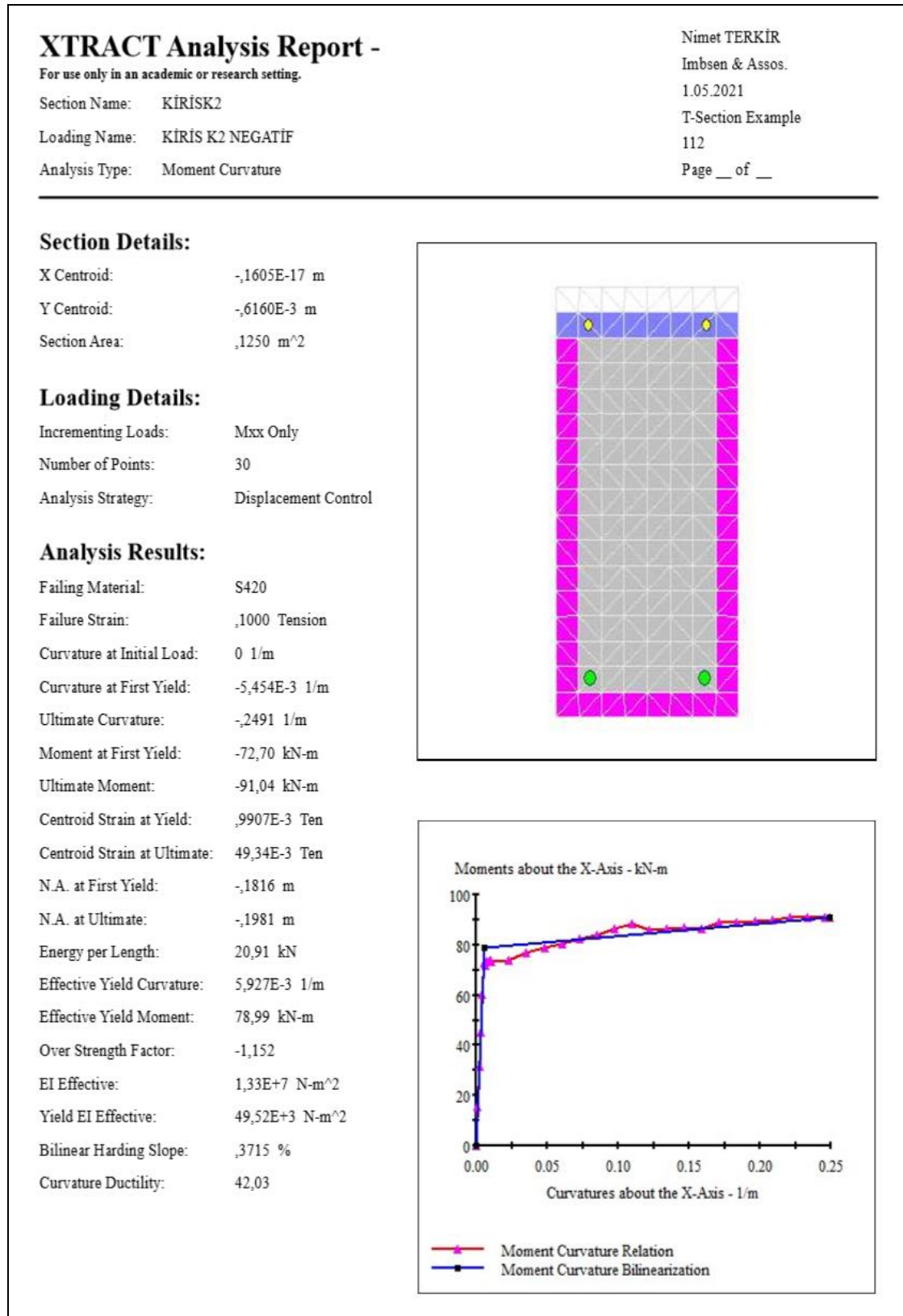
Tablo 5.19. K1 Kirişı (Negatif) Kesit Analizi Raporu [46]

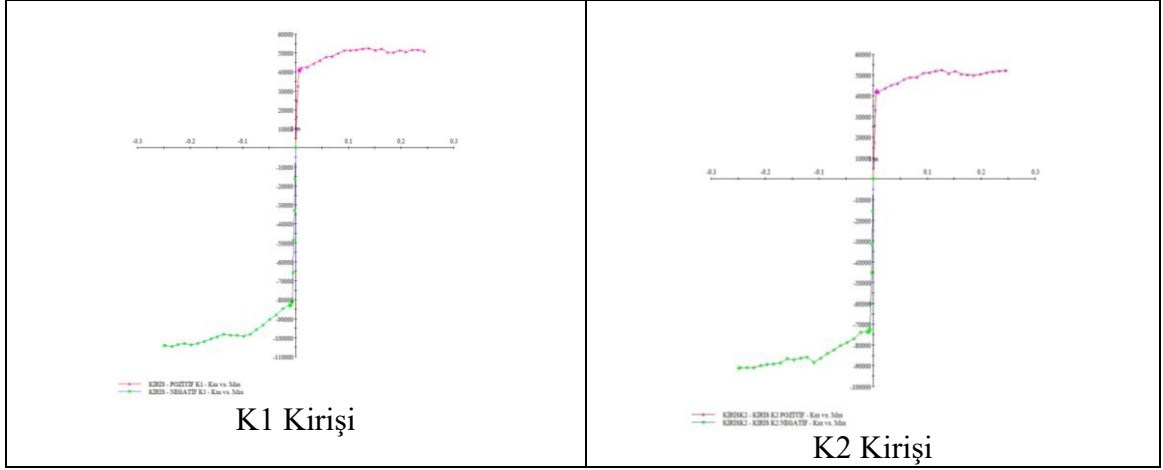


Tablo 5. 20. K2 Kirişı (Pozitif) Kesit Analizi Raporu [46]



Tablo 5. 21. K2 Kirişı (Negatif) Kesit Analizi Raporu [46]





Şekil 5. 15. K1 Kirişi için elde edilen moment eğrilik grafiği [46]

Tablo 5. 22. K1 Kirişi analiz sonuçları [46]

K1 Kirişi Kesit Analizinde Elde Edilen Sonuçlar		
	POZİTİF	NEGATİF
Effective Yield Moment	48,39 kNm	90,80 kNm
Effective Yield Curvature	6,389E-3 1/m	6,635E-3 1/m
Ultimate Moment	50,95 kNm	-104,3 kNm
Ultimate Curvature	0,2443 1/m	-0,2490 1/m

Tablo 5. 23. K2 Kirişi Analiz sonuçları [46]

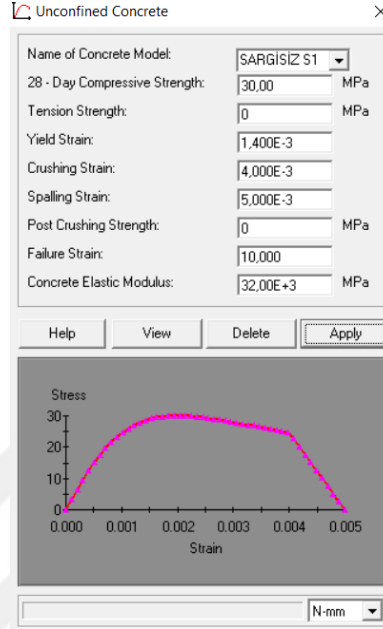
K2 Kirişi Kesit Analizinde Elde Edilen Sonuçlar		
	Pozitif	Negatif
Effective Yield Moment	46,60 kNm	78,99 kNm
Effective Yield Curvature	5,927-3 1/m	6,085E-3 1/m
Ultimate Moment	52,25 kNm	-91,04 kNm
Ultimate Curvature	0,2456 1/m	-0,2491 1/m

5.9.2. Kesit Analizi İçin Kolonların Modellenmesi

Tasarlanan örnek yapıda iki adet kolon tipi mevcut olup, kirişler S1(50/50) ve S2(40/40) olacak şekilde isimlendirilmiş boyuna donatı, enine donatı, etriye, çiroz ve diğer boyutlandırma bilgileri yukarıda tablo 5.1. de verilmiştir.

5.9.2.1.S1 Kolonuna Ait Sargısız Beton Malzeme Modellenmesi

Aşağıda malzeme değerleri verilen S1 (50/50) Kolonu İçin XTRACT [46] Programı ile sargısız beton modellemesi yapılmış elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.16. da verilmiştir.



Şekil 5.16. Sargısız S1 kolonu Stres-Strain grafiği [46]

Kiriş kesit analizinde kullanılan Malzemelere ait özellikler;

Elastisite modülü	: 32,00E+7 kPa
Çekme mukavemet	: 0 kPa
28 günlük basınç mukavemeti	: 30E+3 kPa
Ezilme birim şekil değiştirme değeri	: 0.005
Taşıma gücü birim şekil değiştirme	: 0.004
Elastik sınır birim şekil değiştirmesi	: 0.001

Sargısız beton malzeme modelinin oluşturulmasında ve tanımlanmasında kullanılan denklemler ve semboller aşağıda verilmiştir. [47]

$$\begin{aligned} \varepsilon < 2\varepsilon_t & \text{ ise } f_c = 0 \\ \varepsilon < 0 & \text{ ise } f_c = \varepsilon E_c \end{aligned}$$

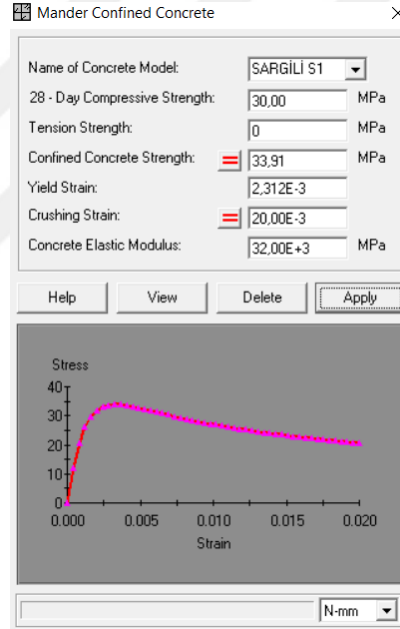
$$\varepsilon < \varepsilon_{cu} \quad \text{ise} \quad f_c = f_c = \frac{f'_c \times r}{r-1+x'r}$$

$$\varepsilon < \varepsilon_{sp} \quad \text{ise} \quad f_c = f_{cu} + (f_{cp} - f_{cu}) \cdot \frac{(\varepsilon - \varepsilon_w)}{(\varepsilon_{sp} - \varepsilon_{cv})}$$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}}, \quad r = \frac{E}{E_{cc} - E_{SEC}}, \quad E_{sec} = \frac{f'_c}{\varepsilon_{cc}}$$

5.9.2.2.S1 Kolonuna Ait Sargılı Beton Malzeme Modellenmesi

Aşağıda malzeme değerleri verilen S1 (50/50) Kolonu İçin Xtract [46] Programı ile sargılı beton modellemesi yapılmış elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.17. da verilmiştir.



Şekil 5. 17. Sargılı S1 kolonu Stres-Strain grafiği [46]

Tanımlanan Modelin Malzeme özellikleri;

Elastisite modülü	: 32,00 E+7 kPa
Çekme mukavemeti	: 0 kPa
28 günlük basınç mukavemeti	: 30E+3 kPa
Sargılı beton mukavemeti	: 33,91E+3 kPa
Ezilme birim şekil değiştirme değeri	: 0,002
Taşıma gücü birim şekil değiştirme değeri	: 0.004

Elastik sınır birim şekil değiştirme değeri : 0.001

Sargılı beton malzeme modelinin oluşturulmasında ve tanımlanmasında kullanılan denklemler ve semboller aşağıda verilmiştir. [47]

$$\varepsilon < 2\varepsilon_t \quad \text{ise} \quad f_c = 0$$

$$\varepsilon < 0 \quad \text{ise} \quad f_c = \varepsilon E_c$$

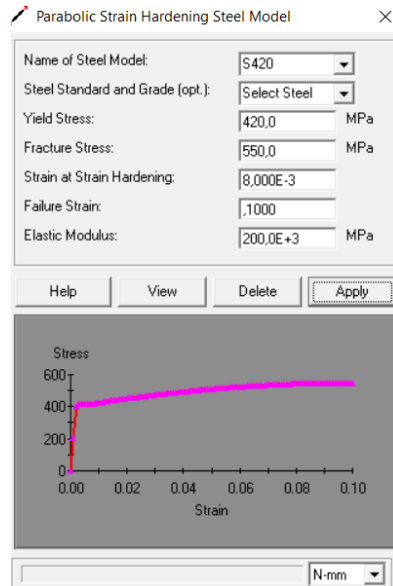
$$\varepsilon < \varepsilon_{cu} \quad \text{ise} \quad f_c = \frac{f'_{cc} \times r}{r-1+x^r}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,002 \cdot [1 + 5 \cdot (\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1)]$$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}}, \quad r = \frac{E}{E_{cc} - E_{SEC}}, \quad E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}}$$

5.9.2.3.S1 Kolonuna Ait Donatı Çeliği Malzeme Modeli

Aşağıda malzeme değerleri verilen S420 donatı çeliği için XTRACT [46] Programı ile modelleme yapılmış elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.18. de verilmiştir. Yapıdaki bütün taşıyıcı betonarme elemanlarda aşağıda özellikleri elde edilen çelik malzeme modeli kullanılmıştır.



Şekil 5.18. S420 donatı çeliği Stress-Strain grafiği [46]

Kiriş kesit analizinde kullanılan S420 Donatı Çeliği Malzeme özellikler;

Elastisite modülü	: 200.000MPa
Akma gerilmesi	: 420E+3 kPa
Kopma gerilmesi	: 550E+3 kPa
Gerilme birim şekil değiştirme değeri	: 0.008
Akma birim şekil değiştirme değeri	: 0.0021
Kopma birim şekil değiştirme değeri	: 0.10
Çekme ve basınç için aynı özellikler geçerli kabul edilmiştir.	

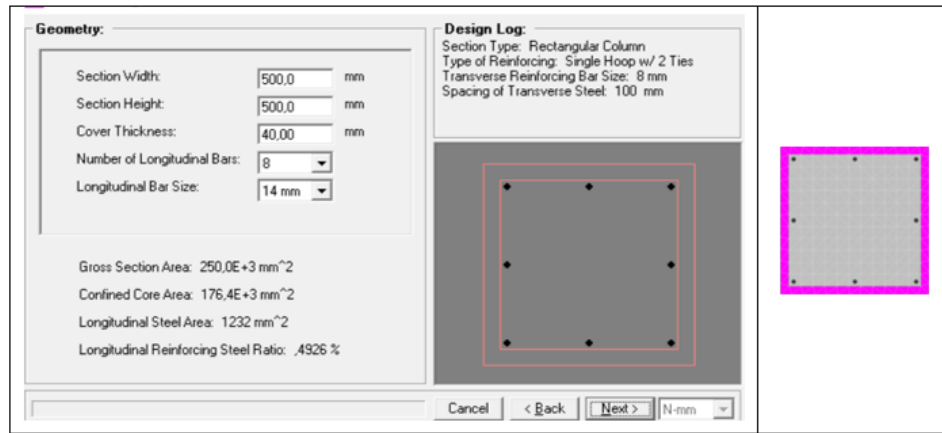
S420 Donatı çeliği malzeme modelinin tanımlanmasında yararlanılan matematiksel denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \varepsilon < \varepsilon_y & \text{ ise } f_s = E \varepsilon \\ \varepsilon < \varepsilon_{sh} & \text{ ise } f_s = f_y \\ \varepsilon < \varepsilon_{su} & \text{ ise } f_s = f_u - (f_u - f_y) \left[\frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon)}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})} \right]^2 \end{aligned}$$

f_y Akma gerilmesi

5.9.2.4.S1 Kolonuna Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma

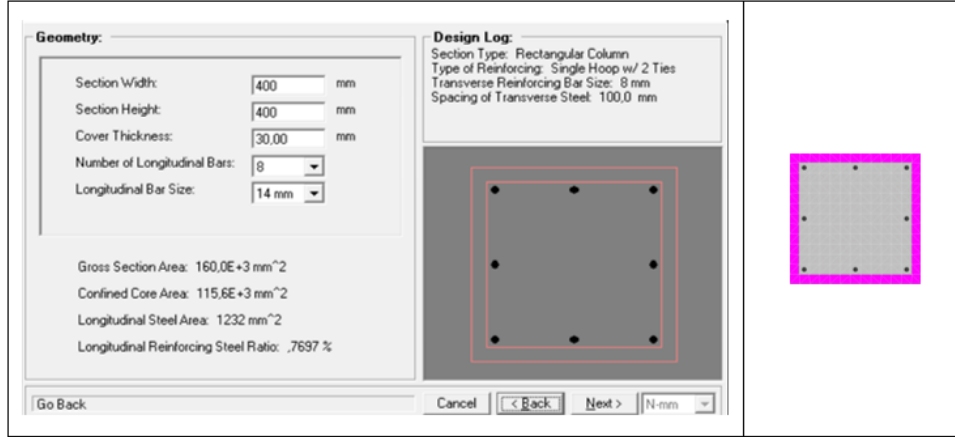
Şekil 5.19. da gösterildiği gibi S1 Kolonu XTRACT [46] Programında belirtilen malzeme özellikleri ile modellenmiş ve aşağıda Tablo 5.24. de belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. 19. S1 Kolonunun XTRACT [46] Programı ile modellenmesi

5.9.2.5.S2 Kolonuna Ait Malzeme Modelleme ve Rapor Alma

S2 kolonuna ait değerler yukarıdaki S1 kolonu örneğine benzer şekilde XTRACT [46] programında modellenmiş ve aşağıda tablo 5.25. belirtilen rapor sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 5. 20. S2 Kolonunun XTRACT [46] Programı ile modellenmesi

Tablo 5. 24. S1 Kolonu Analiz sonuçları [46]

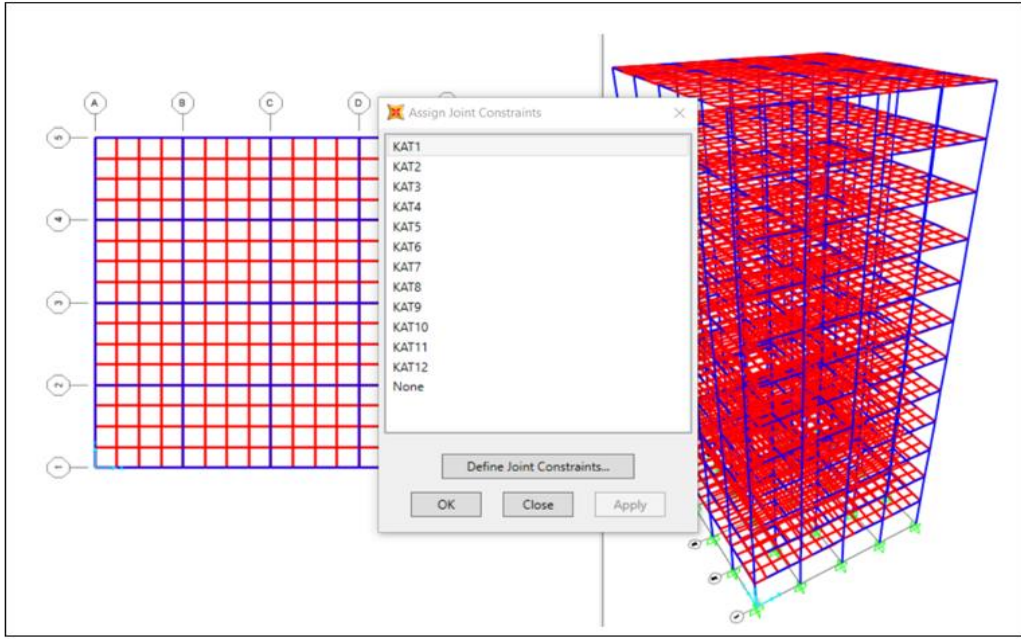
S1 KOLONU KESİT ANALİZİNDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	
Effective Yield Moment	469,9 kNm
Effective Yield Curvature	6,422E-3 1/m
Ultimate Moment	346,7 kNm
Ultimate Curvature	0,1007 1/m

Tablo 5. 25. S2 Kolonu Analiz sonuçları [46]

S2 KOLONU KESİT ANALİZİNDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	
Effective Yield Moment	229,7 kNm
Effective Yield Curvature	5,504E-3 1/m
Ultimate Moment	11,11 kNm
Ultimate Curvature	62,80E-3 1/m

5.10. Plastik Mafsal Özelliklerinin 12 Katlı Örnek Yapıya Tanıtılması

Yukarıda detaylı bir şekilde anlatılan ve K1, K2 kirişleri ile S1, S2 kolon tiplerinden oluşan 12 katlı örnek yapıya elde edilen değerlerin tanıtılması Sap2000[43] Programı aracılığı ile yapılacaktır. Bunun için yapıya rijit diyafram atılması gerekmektedir. Yapının katlarına rijit diyafram atılması Şekil 5.21. verilmiştir.



Şekil 5. 21.Yapıya Rijit Diyafram Atılması [43]

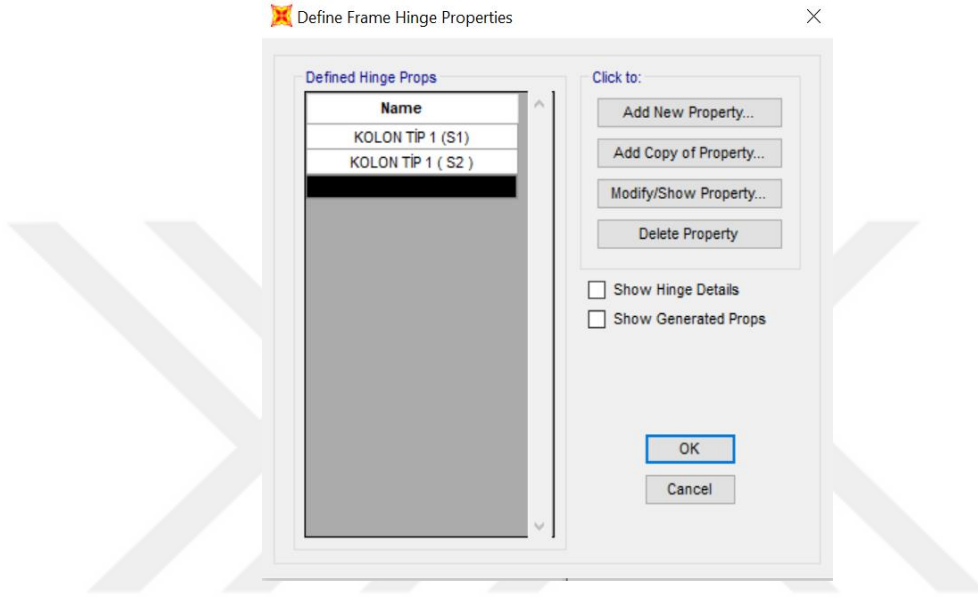
5.10.1. Kolonlar İçin Plastik Mafsal Tanımlaması

Yukarıda Tablo 5.24. ve Tablo 5.25. de bulduğumuz S1 ve S2 kolonu için Effective Yield Moment ve Effective Yield Curvature değerlerini tasarlanan modele atanması için aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

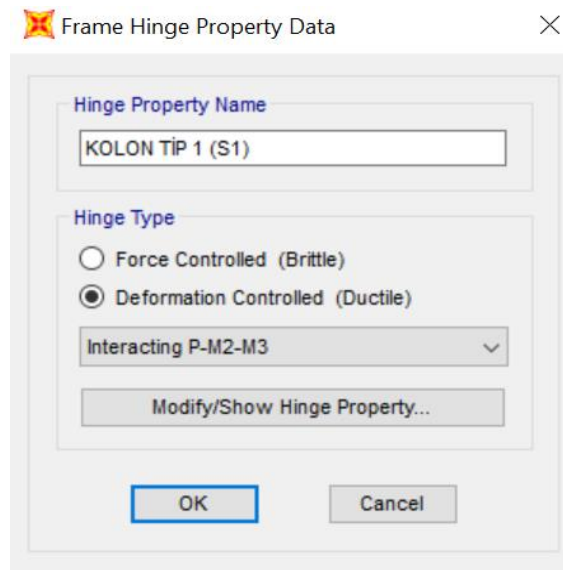
Kolonların plastik mafsal tanımlanması işlemi SAP2000’de PM2M3 plastik mafsal seçeneği kullanılarak yapılmaktadır.

SAP2000 programında PM2M3 mafsal tanımlamak için *Define Frame Hinge Properties* arayüzü açılır. Bu dialog kutusu ile plastik mafsal tanımlaması yapılır.

Örnek modelimizde mevcut olan, 50 cm * 50 cm boyutlarındaki S1 kolonu ve 40 cm * 40 cm boyutlarındaki S2 kolonu için plastik mafsalları tanımlaması yapılacaktır. Bu diyalog kutusu ekranında *Add New Property* butonuna tıklanarak *Frame Hinge Property Data* (Şekil. 5.23.) diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanmış ve S1 ve S2 kolonlarının plastik mafsalları tanımlaması bu arayüz aracılığıyla belirlenmiş olur.



Şekil 5. 22. Define Frame Hinge Properties penceresi [43]



Şekil 5.23. Frame Hinge Property Data penceresi [43]

Yukarıda şekil 5.22. te gösterilen Plastik mafsals KOLON TIP 1 (S1) olarak tanımlanmıştır. Mafsals tipi olarak sünek seçeneği işaretlenmiştir. Interacting P-M2-M3 seçildikten sonra XTRACT programında yapılan kesit analizlerinden elde edilen verilerin girişi burada açılan pencereler aracılığı ile tanımlanarak kolonlar için lastik mafsals özellikleri sisteme eklenmiş olur.

Frame Hinge Property Data for KOLON TİP 1 (S1) - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☒ Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)

☐ SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Eqn. 9-2 (Steel Objects Only)

☒ User SF

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero ☐ Is Extrapolated

Symmetry Condition

☒ Moment Rotation Dependence is Circular

☐ Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3

☐ Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

1 Specify curve at angle of 0°.

Axial Forces for Moment Rotation Curves

Number of Axial Forces

Curve Angles for Moment Rotation Curves

Number of Angles

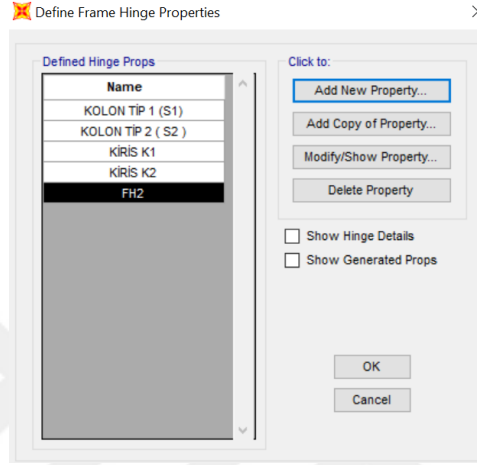
Şekil 5. 24. Sap2000 S1 kolonu Interacting P-M2-M3 penceresi [43]

5.10.2. Kirişler İçin Plastik Mafsals Tanımlaması

Kirişlerin mafsals tanımlaması M3 tipi tanımlanarak yapılmaktadır. Eğilme momentine karşılık M3 momenti gelmektedir.

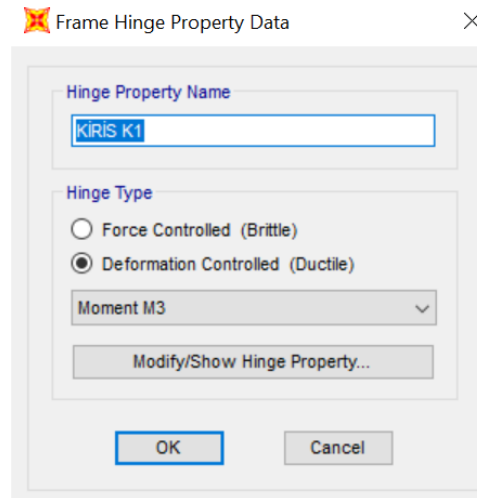
Moment-eğrilik ilişkisi durumuna bağlı olarak oluşan şekil değiştirmelerin hesabı için SAP2000 de aşağıdaki yol izlenir.

Define > Section Properties > Hinge Properties adımları izlenerek Şekil 5.25. de gösterilen *Define Frame Hinge Properties* arayüzü açılır. Bu arayüz aracılığı ile yeni plastik mafsalsal tanımlaması yapılır.



Şekil 5. 25. Define Frame Hinge Properties penceresi [43]

Bu diyalog kutusunda *Add New Property* tıklanarak yeni bir plastik mafsalsal oluşturulur. Şekil 5.26. da gösterilen *Frame Hinge Property Data* penceresi aracılığı ile mafsalsalın adı ve tipi tanımlanır.



Şekil 5.26. Frame Hinge Property Data diyalog kutusu. [43]

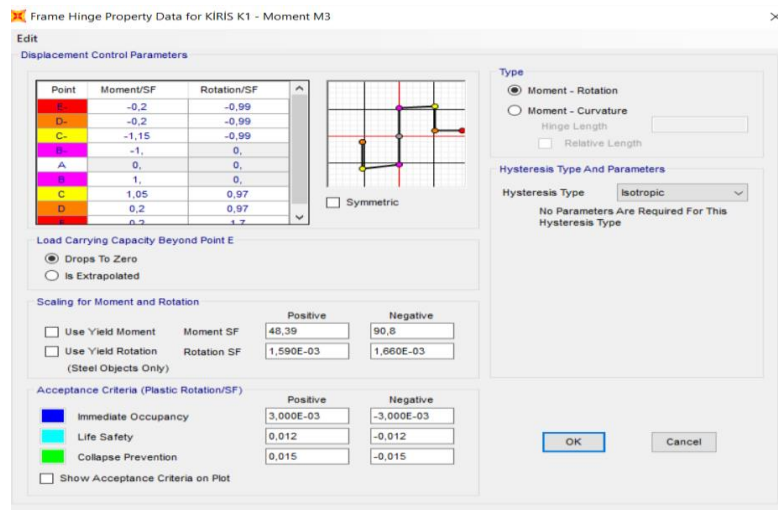
Kirişlerde plastik mafsalları tanımlaması yapabilmek için Deformation Controlled butonu işaretlenerek Moment M3 mafsalları seçilir. XTRACT programında tasarlanan ve kesit analizleri yapılarak bulunan moment-eğrilik değerlerinin girişinin yapılacağı plastik mafsallardır. Elde edilen kesit analizleri veri girişi buradan yapılmaktadır.

K1 ve K2 kirişi için XTRACT Programında yapılan kesit analizinde bulunan en büyük moment değerleri ile dönme değerleri Tablo 5.26. da verilmiştir. Bu değerlere göre K1 ve K2 kirişlerinin plastik mafsalları özellikleri Sap2000 programına tanımlanmıştır.

Tablo 5. 26. K1 ve K2 Kirişleri için hesaplanan moment ve dönme değerleri

Kiriş Tipi		Effective Yield Moment	Effective Yield Curvature	Kiriş Yüksekliği Yarıısı	Rotation Değeri
K1	Pozitif	48,39 kNm	6,389E-3 1/m	0,25	1,59E-3
	Negatif	90,80 kNm	6,635E-3 1/m	0,25	1,65E-3
K2	Pozitif	46,60 kNm	5,927-3 1/m	0,25	1,48E-3
	Negatif	78,99 kNm	6,085E-3 1/m	0,25	1,52E-3

Frame Hinge Property Data arayüzündeki Modify/Show Hinge Property tıklanarak Şekil 5.27. de gösterilen Frame Hinge Property Data for KIRIS_K1-Moment M3 arayüzünün gelmesi sağlanır. Bu arayüzde kirişin kesit özelliklerine bağlı olarak hesaplanmış plastik mafsalları özellikleri tanımlanmıştır.



Şekil 5.27. Frame Hinge Property Data For KIRIŞ_K1-Moment M3 Penceresi [43]

Kiris K2 için aynı yol izlenerek Şekil 5.28. deki arayüz aracılığı ile daha önce kesit analizleri sonucu hesaplanmış plastik mafsalsal değerleri tanımlanır.

Frame Hinge Property Data for KIRIS K2 - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-0,2	-1,09
D-	-0,2	-0,99
C-	-1,15	-0,99
B-	-1,	0,
A	0,	0,
B	1,	0,
C	1,12	0,98
D	0,2	0,98
E	0,2	1,09

☐ Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero
☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment
☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

	Positive	Negative
Moment SF	46,6	78,99
Rotation SF	1,310E-03	1,520E-03

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	3,000E-03	-3,000E-03
Life Safety	0,012	-0,012
Collapse Prevention	0,015	-0,015

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Type

☒ Moment - Rotation
☐ Moment - Curvature

Hinge Length:
Relative Length: ☐

Hysteresis Type And Parameters

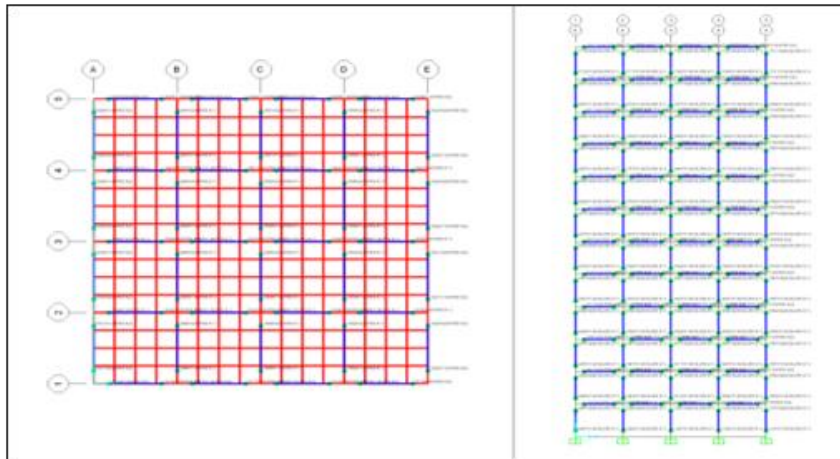
Hysteresis Type:

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Şekil 5. 28. Frame Hinge Property Data For KIRIŞ_K2-Moment M3 Penceresi [43]

Oluşturulan tüm kolon ve kirişlerin plastik mafsalsal ataması Assin/Farme/Hings yolu izlenerek açılan arayüz aracılığı ile yapılır. Yapılan atamada kolon ve kirişlerin boylarının %5 ve % 95 kısımlarına atama yapılmıştır. (Şekil. 5.29.)



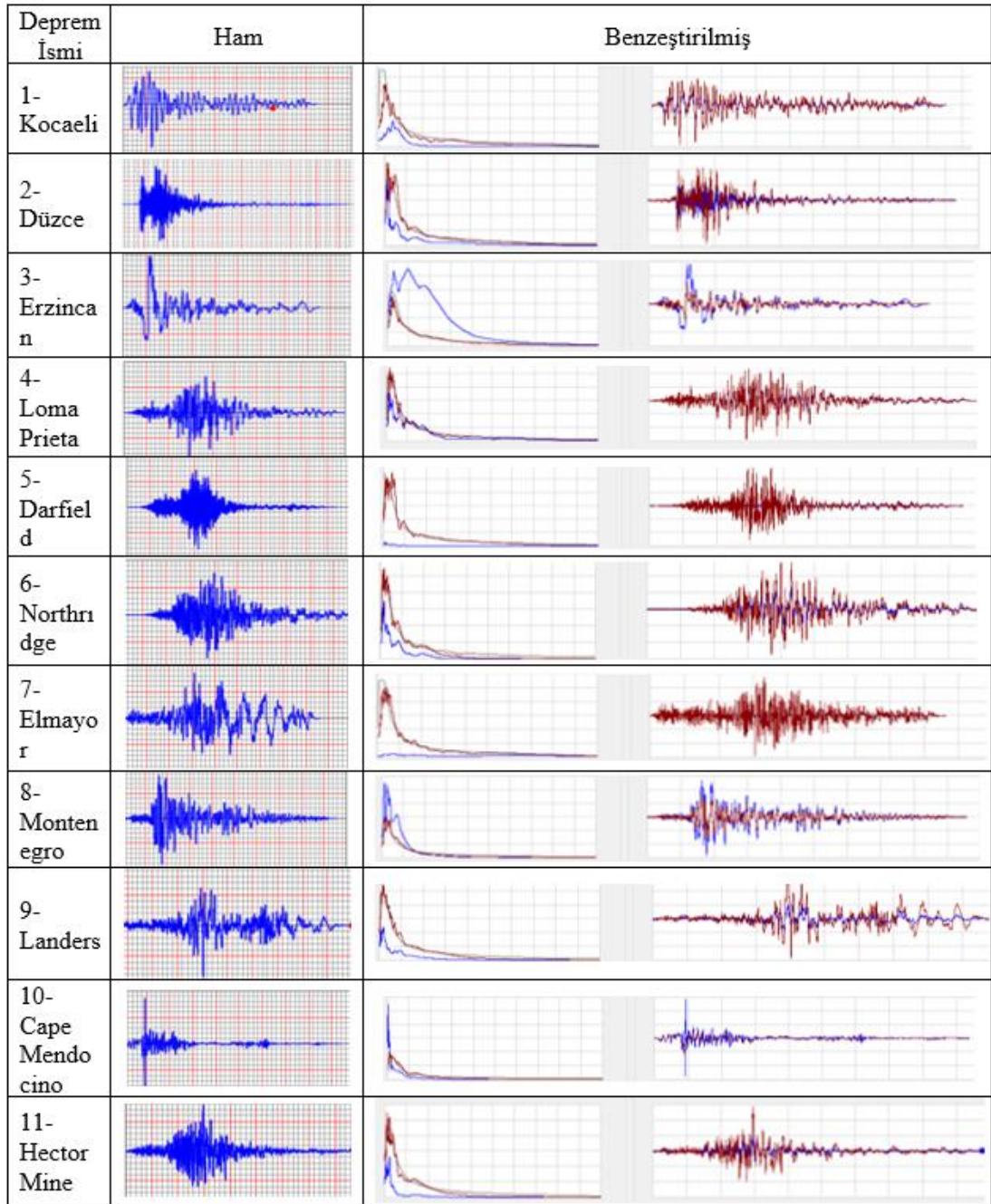
Şekil 5. 29. Kolon ve Kirişlerin Plastik Mafsalsal Noktaları [43]

5.11. Deprem İvme Kaydının Seçilmesi ve TBDY2018'e Göre Benzeştirilmesi

5.11.1. Seçilen Deprem İvmesi Kayıtları

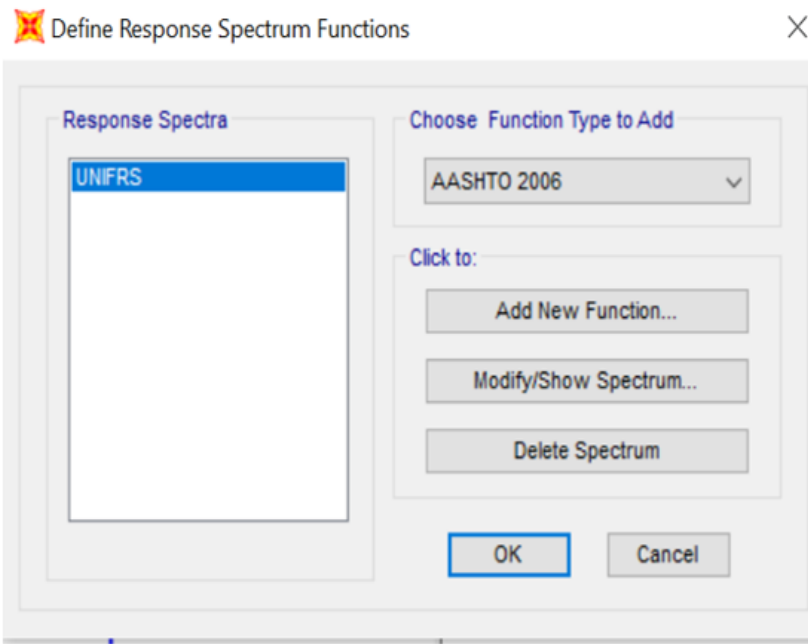
Tablo 5. 27. Seçilen 11 adet deprem bilgileri. [48]

Sıra No	Deprem İsmi	Merkez Üssü	Meydana Geldiği Tarih	Büyüklüğü
1	Kocaeli	İzmit/Türkiye	17 Ağustos 1999 / 03:01	7.6
2	Düzce	Düzce / Türkiye	12 Kasım 1999 / 18:57	7.2
3	Erzincan	Erzincan / Türkiye	13 Mart 1992/19:18	6.7
4	Loma Prieta	Nisene Marks Eyalet Parkı Kaliforniya/ Amerika Birleşik Devletleri	17 Ekim 1989/ 17:04	6.9
5	Darfield	Yeni Zelanda	4 Eylül 2010 / 04:35	7.0
6	Northridge	Güney Kaliforniya/Amerika Birleşik Devletleri	17 Ocak 1994 / 13:41	6.7
7	El Mayor	El Mayor/Meksika	4 Nisan 2010 / 00:40	7.2
8	Montenegro	Montenegro(Karadağ)	15 Nisan 1979 / 07:19:44	6.9
9	Landers	Landers San Bernardino County, California/ Amerika Birleşik Devletleri	28 Haziran 1992 / 4:57:35	7.2
10	Cape Mendocino	Cape Mendocino/ California Amerika Birleşik Devletleri	25 Nisan 1992/ 11:06:06	7.1
11	Hector Mine	Güney Kaliforniya Amerika Birleşik Devletleri	16/10/1999 02:46	7.2

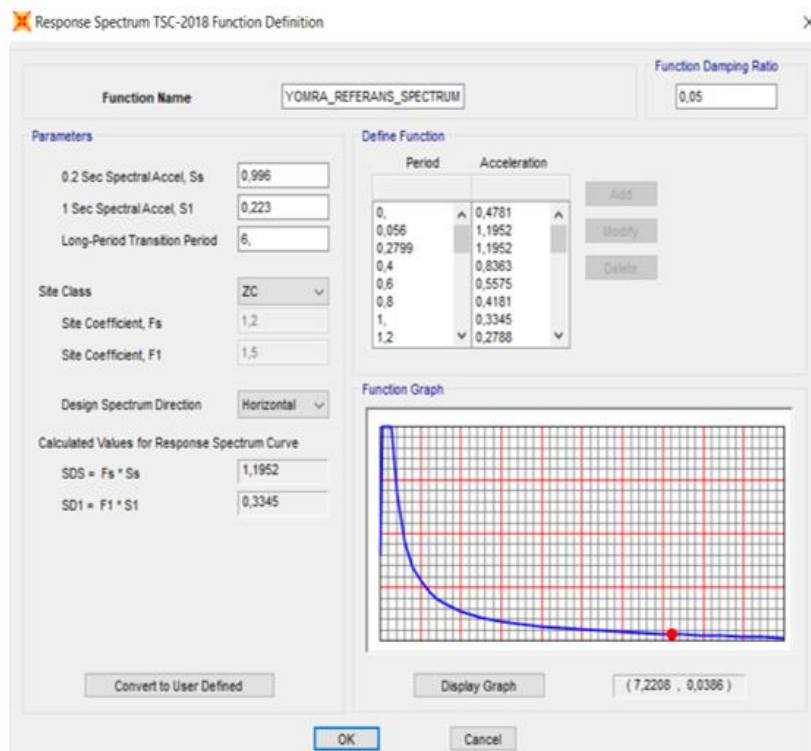


Şekil 5.30. Seçilen İvme kayıtlarının Ham ve benzeştirilmiş durumları. [43]

Analizlerin yapılması için Response Değerlerinin Tanımlanması gerekmektedir. Bunu yapmak için; *Define/Fuctions/ Response Spektrum* tıklanarak Şekil 5.31. de gösterilen Define Response Spectrum Fuctions arayüzünün gelmesi sağlanır. Bu arayüzde TSC-2018 seçilerek Şekil 5.32. deki arayüzün gelmesi sağlanır ve bölüm 5.3. te bulduğumuz deprem karakteristikleri tanımlanmıştır.

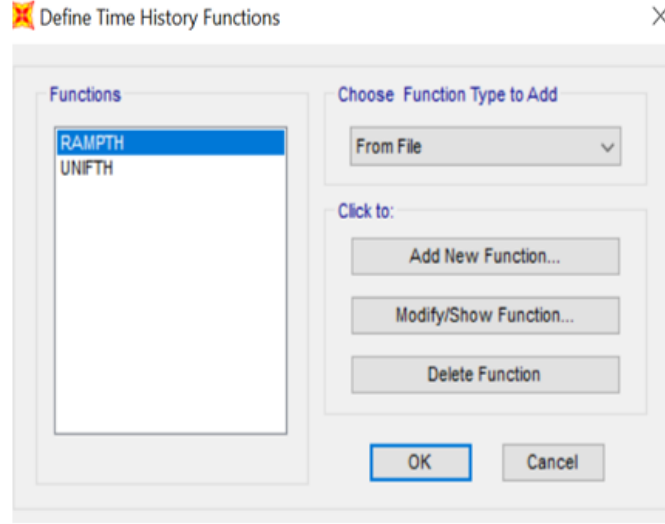


Şekil 5. 31. Define Response Spectrum Fuctions [43]

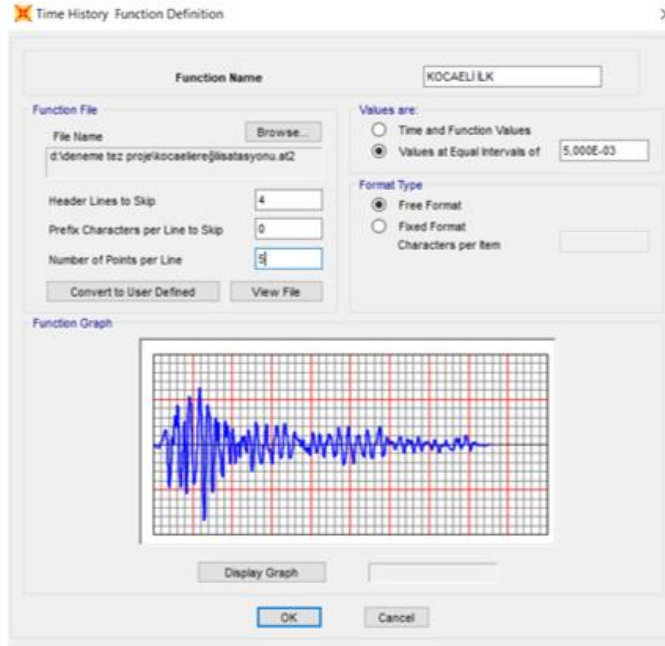


Şekil 5. 32. Response Spectrum Fuctions TSC-2018 Fuction Definition [43]

Bu işlem yapıldıktan sonra *Define/Fuctions/ Time History* tıklanarak Şekil.5.33. de gösterilen Define Time History Function arayüzünün gelmesi sağlanır. Bu arayüzde *from file / add new function* tıklanarak Şekil 5.34. deki Time History Definition arayüzün gelmesi sağlanılır ve burada deprem kayıtları tanımlanır.



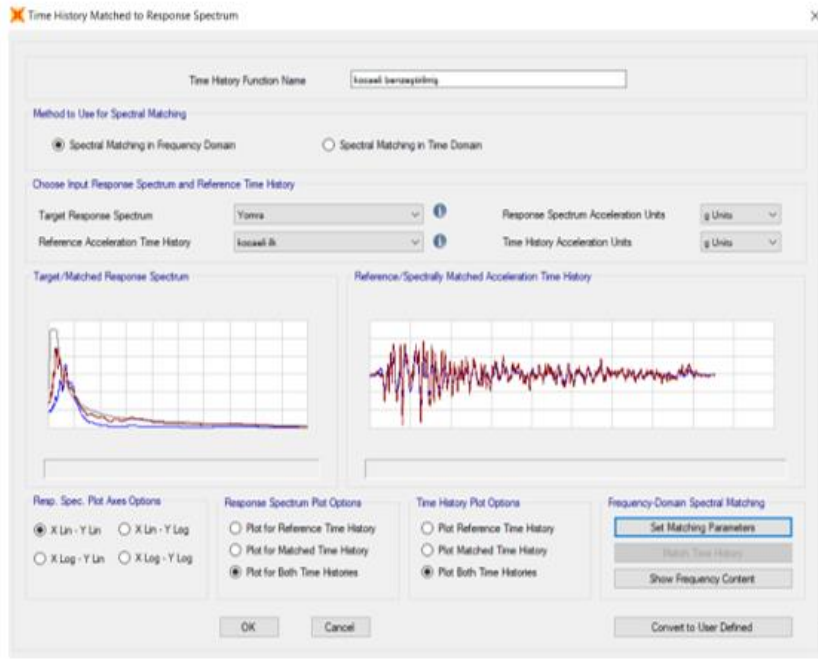
Şekil 5. 33. Define Time History Function [43]



Şekil 5. 34. Time History Definition [43]

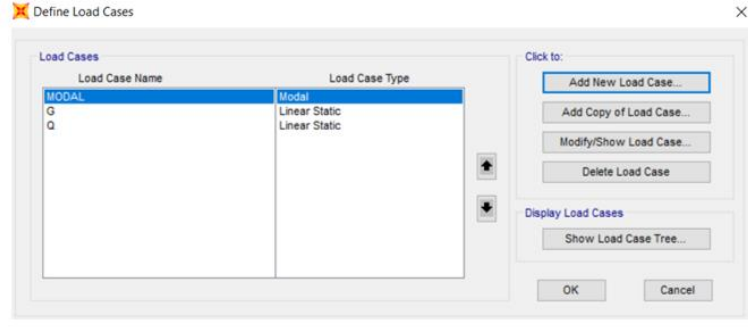
Şekil 5.34. deki Time History Definition arayüzünde deprem kayıtları tanımlanırken Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi [49] verileri kullanılmıştır. Tanımlanan bu veriler ham haldedir. Bunun, yapının bulunduğu bölgede bölüm 5.7.1 de anlatılan Trabzon İli Yomra İlçesi Sancak Mahallesi 18 ada 10 nolu parsel için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması [45] kullanılarak elde edilen spektrum ivme katsayıları ile benzeştirilmesi gerekmektedir.

Bunun için Sap2000 programında *Define/Fuctions/ Time History* yolu izlenerek *Define Time History Function* arayüzü aracılığı ile *Matched to Response Spectrum* yolu izlenerek add new function *tıklanır* ve Şekil 5.35. de gösterilen *Time History Matched to Response Spectrum* arayüzünün gelmesi sağlanır. Bu arayüz aracılığı ile Spectrum benzeştirilmesi yapılır. Bu işlemler sonucu elde edilen Ham ve Sap2000 aracılığı ile benzeştirilmiş deprem kayıtları liste halinde Şekil 5.30. da verilmiştir.

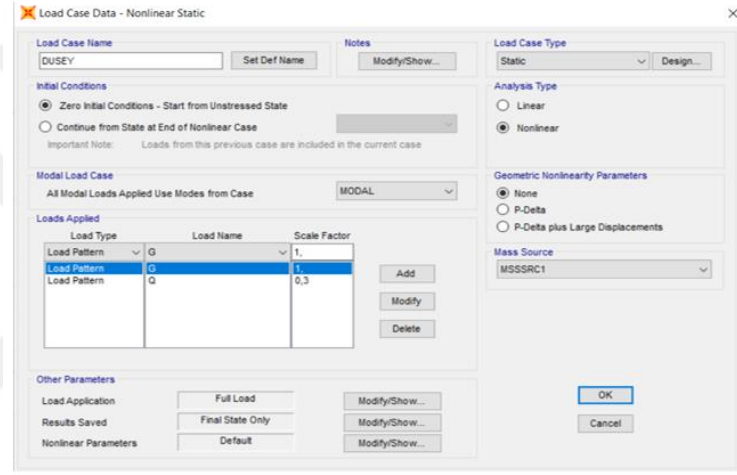


Şekil 5. 35. Time History Matched to Response Spectrum [43]

Bu işlem yapıldıktan sonra *Define/Load Cases* yolu izlenerek Şekil 5.36. da belirtilen *Define Load Cases* arayüzü açılması sağlanır ve Ad New Load Cases tıklanarak Load Case data-Linear Static arayüzü açılır ve burada nonlinear seçilerek hareketli ve sabit yük tanımlanır.



Şekil 5.36. Define Load Cases [43]



Şekil 5.37. Load Case data-Linear Static [43]

Bu işlemlerden sonra yine *Define/Load Cases* yolu izlenerek Şekil 5.36. da belirtilen *Define Load Cases* arayüzü açılması sağlanılır ve Ad New Load Cases tıklanarak Load Case data-Linear Static arayüzü açılır ve burada Load Case Type kısmında Time History, Nonlinear, Direct İntegration butonarı seçilerek Loads Apliedde U1 ve U2 eklemesi yapılır. Number Of Output Time Steps ve Output Time Step Size değerleri girilir. Daha sonra Damping kısmını daha önce elde ettiğimiz periyod değerlerine göre düzenleyerek işlemleri tamamlanır. Yapının Analizi yapılarak istenilen sonuçlar tablolaştırılır.

İstenilen plastik mafsal dönmelerini elde etmek için *Display/Show Tables* yolu izlenerek *Frame Output/ Frame Hinge States* seçili iken Load Cases seçilir ve tüm kolon ve Kirişlerin mafsal durumları liste halinde elde edilir.

Bundan sonraki aşamada elde edilen en büyük dönme değerlerinin TBDY 2018 Bölüm 5.8.1. e göre değerlendirilecektir.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad 5.1.$$

$$Q_p^{(KH)} = 0,75 \times Q_p^{(GÖ)} \quad 5.2.$$

$Q_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]

$Q_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]

$Q_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]

ϕ_u : Göçme öncesi eğrilik [m^{-1}]

ϕ_y : Akma eğriliği [m^{-1}]

L_p : Plastik mafsallık boyu [m]

L_s : Kesme açıklığı [m]

D_b : Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]

En büyük dönme isteği denklem 5.1. de hesaplanan $Q_p^{(GÖ)}$ değerinden büyük ise göçme, denklem 5.2. de hesaplanan $Q_p^{(KH)}$ değerinden büyük 5.1. de hesaplanan $Q_p^{(GÖ)}$ değerinden küçük ise Kontrollü Hasar denklem 5.2. de hesaplanan $Q_p^{(KH)}$ değerinden küçük ise sınırlı hasar performans düzeyi olarak değerlendirilecektir.

Tasarlanan örnek yapıda 11 adet deprem kayıtlarına göre elde edilen en büyük dönme istemleri veriler Tablo 5.28. de verilmiştir. Hesaplanan plastik dönme sınırları ile kıyaslamalar aşağıda tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Tablo 5. 28. Hesaplanan plastik dönme sınırları

PLASTİK DÖNME HESABI							
YAPI TİPİ	Plastik Dönme Sınırları						
	L_p (m)	L_s (m)	ϕ_u	ϕ_y	d_b (m)	$\theta_p^{(KH)}$	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$
KİRİŞ K1 (50/30)	0,25	4,00	0,24900	0,006635	0,01200	0,036071887	0,048095849
KİRİŞ K2 (50/25)	0,25	4,00	0,24911	0,006085	0,01200	0,036154779	0,048206371
KOLON S1 (50/50)	0,25	4,00	0,10070	0,006422	0,01400	0,014588527	0,019451369
KOLON S2 (40/40)	0,20	4,00	0,06280	0,005504	0,01400	0,007564560	0,010086080

Tablo 5. 29. İzolatörsöz Yapıda Hesaplanan Hasar Durumları

İZOLATÖRSÖZ YAPIDA FARKLI DEPREM KAYITLARINA GÖRE YAPILAN ANALİZLERİN SONUCU OLUŞAN HASAR DURUMLARI						
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
1-Kocaeli Depremi	K1	54	234	0	0	288
	K2	34	158	0	0	192
	S1	55	65	0	0	120
	S2	67	89	15	9	180
2-Düzce Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	53	235	0	0	288
	K2	35	157	0	0	192
	S1	67	53	0	0	120
3-Erzincan Depremi	S2	65	108	7	0	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	59	229	0	0	288
	K2	40	152	0	0	192
4-Loma Prieta Depremi	S1	72	48	0	0	120
	S2	76	95	9	0	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	51	237	0	0	288
5-Darfield Depremi	K2	29	163	0	0	192
	S1	69	51	0	0	120
	S2	65	115	0	0	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
6-Northridge Depremi	K1	60	228	0	0	288
	K2	42	150	0	0	192
	S1	79	41	0	0	120
	S2	74	106	0	0	180
7-El Mayor Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	57	231	0	0	288
	K2	36	156	0	0	192
	S1	70	50	0	0	120
8-Montenegro Depremi	S2	82	98	0	0	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	54	234	0	0	288
	K2	33	159	0	0	192
9-Landers Depremi	S1	70	50	0	0	120
	S2	64	116	0	0	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	51	237	0	0	288
10-Cape Mendocino Depremi	K2	29	163	0	0	192
	S1	65	55	0	0	120
	S2	42	138	0	0	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
11-Hector Mine Depremi	K1	60	228	0	0	288
	K2	38	154	0	0	192
	S1	74	46	0	0	120
	S2	51	111	18	0	180
12-Cape Mendocino Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	54	234	0	0	288
	K2	34	158	0	0	192
	S1	98	14	2	6	120
13-Hector Mine Depremi	S2	130	35	0	15	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	59	229	0	0	288
	K2	35	157	0	0	192
14-Hector Mine Depremi	S1	59	61	0	0	120
	S2	47	100	9	24	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	59	229	0	0	288
15-Hector Mine Depremi	K2	35	157	0	0	192
	S1	59	61	0	0	120
	S2	47	100	9	24	180
	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)

Yapılan analizlerde göçme sınırını aşan ve kontrollü hasar durumunda olan yapı elemanlarının ait olduğu depremler ve bu yapı elemanları aşağıda tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 5. 30. Kocaeli depremi için Göçme Sınırını Aşan Kolonlar

KOCAELİ DEPREMİ İÇİN GÖÇME SINIRINI AŞAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1323H2	0,010334
2	KOLON S2	1324H2	0,010280
3	KOLON S2	1325H2	0,010167
4	KOLON S2	1328H2	0,010316
5	KOLON S2	1330H2	0,010224
6	KOLON S2	1333H2	0,010393
7	KOLON S2	1334H2	0,010353
8	KOLON S2	1335H2	0,010129
9	KOLON S2	1636H2	0,010402

Tablo 5. 31. Kocaeli Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda olan Kolonlar

KOCAELİ DEPREMİ İÇİN KONTROLLÜ HASAR DURUMUNDA OLAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1248H2	0,009677
2	KOLON S2	1249H2	0,009666
3	KOLON S2	1250H2	0,009643
4	KOLON S2	1338H2	0,009553
5	KOLON S2	1339H2	0,009488
6	KOLON S2	1340H2	0,009539
7	KOLON S2	1343H2	0,008539
8	KOLON S2	1344H2	0,008833
9	KOLON S2	1345H2	0,008415
10	KOLON S2	1413H2	0,008855
11	KOLON S2	1415H2	0,008741
12	KOLON S2	1483H2	0,008437
13	KOLON S2	1484H2	0,008902
14	KOLON S2	1485H2	0,008544
15	KOLON S2	1637H2	0,008843

Tablo 5. 32. Düzce Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda olan Kolonla

DÜZCE DEPREMİ İÇİN KONTROLLÜ HASAR DURUMUNDA OLAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1323H2	0,007625
2	KOLON S2	1324H2	0,007694
3	KOLON S2	1328H2	0,007765
4	KOLON S2	1330H2	0,007619
5	KOLON S2	1333H2	0,007594
6	KOLON S2	1334H2	0,007773
7	KOLON S2	1636H2	0,007823

Tablo 5. 33. Erzincan Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar

ERZİNCAN DEPREMİ İÇİN KONTROLLÜ HASAR DURUMUNDA OLAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1323H2	0,007805
2	KOLON S2	1324H2	0,008016
3	KOLON S2	1325H2	0,007904
4	KOLON S2	1328H2	0,007961
5	KOLON S2	1330H2	0,008052
6	KOLON S2	1333H2	0,007865
7	KOLON S2	1334H2	0,008039
8	KOLON S2	1335H2	0,007932
9	KOLON S2	1636H2	0,008164

Tablo 5. 34. Landers Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar

LANDERS DEPREMİ İÇİN KONTROLLÜ HASAR DURUMUNDA OLAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1248H2	0,007875
2	KOLON S2	1249H2	0,007866
3	KOLON S2	1250H2	0,007776
4	KOLON S2	1323H2	0,008519
5	KOLON S2	1324H2	0,008679
6	KOLON S2	1325H2	0,008388
7	KOLON S2	1328H2	0,008635
8	KOLON S2	1330H2	0,008473
9	KOLON S2	1333H2	0,008606
10	KOLON S2	1334H2	0,008714
11	KOLON S2	1335H2	0,008407
12	KOLON S2	1338H2	0,007675
13	KOLON S2	1339H2	0,007654
14	KOLON S2	1340H2	0,007673
15	KOLON S2	1344H2	0,007734
16	KOLON S2	1484H2	0,007858
17	KOLON S2	1636H2	0,008769
18	KOLON S2	1637H2	0,007792

Tablo 5. 35. Cape Mendocino Depremi İçin Göçme Sınırını Aşan S1Tipi Kolonlar

CAPE MENDOCİNO DEPREMİ İÇİN GÖÇME SINIRINI AŞAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S1	1246H2	0,019937
2	KOLON S1	1247H2	0,021123
3	KOLON S1	1321H2	0,021442
4	KOLON S1	1322H2	0,021531
5	KOLON S1	1326H2	0,021555
6	KOLON S1	1327H2	0,021356

Tablo 5. 36. Cape Mendocino Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar

CAPE MENDOCİNO DEPREMİ İÇİN KONTROLLÜ HASAR DURUMUNDA KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S1	1336H2	0,017959
2	KOLON S1	1337H2	0,018770

Tablo 5.37. Cape Mendocino Depremi İçin Göçme Sınırını Aşan S2 Tipi Kolonlar

CAPE MENDOCİNO DEPREMİ İÇİN GÖÇME SINIRINI AŞAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1248H2	0,023320
2	KOLON S2	1249H2	0,023309
3	KOLON S2	1250H2	0,023254
4	KOLON S2	1323H2	0,027035
5	KOLON S2	1324H2	0,027552
6	KOLON S2	1325H2	0,026830
7	KOLON S2	1328H2	0,027223
8	KOLON S2	1330H2	0,027204
9	KOLON S2	1333H2	0,026844
10	KOLON S2	1334H2	0,027447
11	KOLON S2	1335H2	0,026610
12	KOLON S2	1338H2	0,022517
13	KOLON S2	1339H2	0,022383
14	KOLON S2	1340H2	0,022601
15	KOLON S2	1636H2	0,027744

Tablo 5. 38. Hector Mine Depremi İçin Göçme Sınırını Aşan Kolonlar

HECTOR MİNE DEPREMİ İÇİN GÖÇME SINIRINI AŞAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1248H2	0,011623
2	KOLON S2	1249H2	0,011593
3	KOLON S2	1250H2	0,011593
4	KOLON S2	1323H2	0,012193
5	KOLON S2	1324H2	0,012187
6	KOLON S2	1325H2	0,011999
7	KOLON S2	1328H2	0,012290
8	KOLON S2	1330H2	0,012047
9	KOLON S2	1333H2	0,012236
10	KOLON S2	1334H2	0,012256
11	KOLON S2	1335H2	0,011867
12	KOLON S2	1338H2	0,011334
13	KOLON S2	1339H2	0,011269
14	KOLON S2	1340H2	0,011336
15	KOLON S2	1343H2	0,010469
16	KOLON S2	1344H2	0,010489
17	KOLON S2	1345H2	0,010162
18	KOLON S2	1413H2	0,010804
19	KOLON S2	1415H2	0,010528
20	KOLON S2	1483H2	0,010374
21	KOLON S2	1484H2	0,010864
22	KOLON S2	1485H2	0,010366
23	KOLON S2	1636H2	0,012283
24	KOLON S2	1637H2	0,010549

Tablo 5. 39. Hector Mine Depremi İçin Kontrollü Hasar Durumunda Olan Kolonlar

HECTOR MİNE DEPREMİ İÇİN KONTROLLÜ HASAR DURUMUNDA OLAN KOLONLAR			
SIRA NO	YAPI İSMİ	PLASTİK MAFSAL İSMİ	EN BÜYÜK DÖNME İSTEMİ
1	KOLON S2	1348H2	0,007863
2	KOLON S2	1349H2	0,008132
3	KOLON S2	1350H2	0,007929
4	KOLON S2	1418H2	0,007886
5	KOLON S2	1420H2	0,008202
6	KOLON S2	1488H2	0,007579
7	KOLON S2	1489H2	0,008010
8	KOLON S2	1490H2	0,008054
9	KOLON S2	1638H2	0,008074

Tüm yapı elemanlarının hasar durumları aşağıda Şekil 5.38. de yüzdelik dilimlerine göre verilmiştir.



Şekil 5.38. 11 Adet deprem için oluşan hasar durumlarının grafik görünümü

6. EĞRİ YÜZEYLİ SÜRTÜNMELİ YALITIM ELEMANI MODELLENMESİ

6.1.TBDY 2018 e Göre Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Modellenmesi

TBDY 2018 14. bölümde binaların yalıtımı hakkında yapılacak hesap ve yöntemler belirlenmiştir. Yönetmeliğin bu bölümü deprem yalıtımında elastomer ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin kullanımı esaslarını kapsamaktadır. Aynı yönetmeliğe göre aşağıda belirtilen genel esasların sağlanması gerekmektedir;

Kullanılacak yalıtım sistemini oluşturan yalıtım birimleri, düşey yük ve depremin ortak etkisi altında artan yatay yer değiştirmelere artan dayanım göstermelidir. Diğer yandan fiziksel özelliklerinde meydana gelebilecek değişiklikler de belirtilmiş sınırlar içinde kalmalıdır.

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için üst ve alt sınır değerleri denklem 6.1. v e 6.2 deki gibi hesaplanır. Ancak herhangi bir $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} değerinin prototip veya üretim kontrol deneyleri ile belirlenememesi durumunda, hesaplarda Tablo 6.1’de verilen alt ve üst sınır değerleri kullanılacaktır. [42]

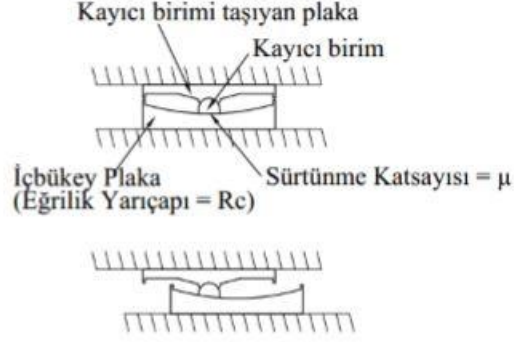
$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst}\lambda_{spek,üst} \quad 6.1$$

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deney,alt}\lambda_{spek,alt} \quad 6.2$$

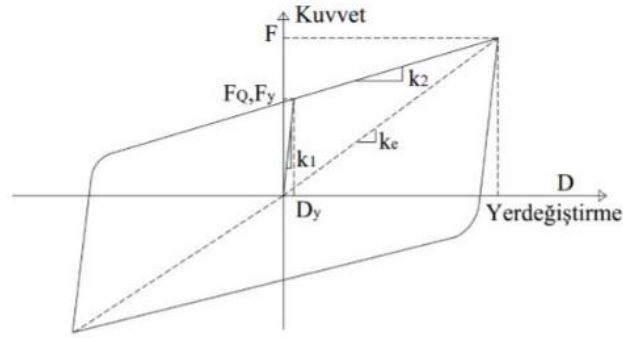
Tablo 6. 1. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için sınır öneri değerleri [42]

	μ	
	<i>alt</i>	<i>üst</i>
λ_{ae}	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

Burada μ eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi etkin sürtünme katsayısını belirtmektedir. $\lambda_{\text{æ}}$ yaşlanma ve çevresel etkiler, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler ve λ_{spek} üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.[42]



Şekil 6. 1. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri [42]



Şekil 6. 2. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri kuvvet-yer değiştirme eğrisi [49]

- $F_Q = F_y$: Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı,
 k_1 : Başlangıç rijitliği,
 k_2 : İkincil rijitlik
 k_e : D yer değiştirmesine karşı gelen etkin rijitlik,
 F : D yer değiştirmesine karşı gelen kuvvet,
 D_y : Etkin akma yer değiştirmesidir.

6.2.TBDY18'e Göre Yalıtım Birimi Hesap Adımları

Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı Denklem (6.3)'de belirtildiği gibi (sıfır yer değiştirmedeki) etkin sürtünme katsayısı μ_e ile yalıtım üzerine düşey kuvvetin (P) çarpımına ile bulunacaktır. [42]

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad 6.3$$

Başlangıç rijitliği, kullanılan hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitliktir. İkincil rijitlik (k_2) ise Denklem (6.4)'de belirtildiği gibi düşey kuvvetin (P) eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kayma yüzeylerinin etkin eğrilik yarıçapına (R_c) bölünmesi ile belirlenecektir. [42]

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad 6.4$$

Verilen bir yükleme döngüsündeki etkin rijitlik (k_e), Denklem (6.5.)'de belirtildiği gibi döngüde uygulanan maksimum yatay kuvvetin (F) ulaşılan maksimum yatay yer değiştirmeye (D) bölünmesi ile elde edilecektir. [42]

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \quad 6.5$$

Etkin sönüm oranı β_e Denklem (6.6)'de belirtildiği gibi bir yer değiştirme döngüsünde tüketilen enerjinin (W_d), $2\pi FD$ değerine bölünmesi ile elde edilecektir. [42]

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + D / R_c} \right] \quad 6.6$$

Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için yalıtım birimi yer değiştirmesi D_D Denklem (6.7) ile hesaplanacaktır. [42]

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \quad 6.7$$

Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için bina etkin periyodu T_D Denklem (6.8) ile hesaplanacaktır. [42]

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K_D}} \quad 6.8$$

En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için yalıtım birimi yer değiştirmesi D_M Denklem (6.9) ile hesaplanacaktır. [42]

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad 6.9$$

En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için bina etkin periyodu T_M Denklem (6.10) ile hesaplanacaktır. [42]

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K_M}} \quad 6.10$$

Sönüm ölçeklendirme katsayıları D η ve M Denklem (6.11) ile hesaplanacaktır. [42]

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \quad 6.11$$

Burada sönüm oranı (ξ), DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi yer değiştirmeleri için hesaplanan etkin sönüm yüzdesidir.

DD-2 ve DD-1 deprem hareketi düzeylerindeki yalıtım ara yüzlerinin toplam yer değiştirmesi, hesaplanan D_D ve D_M yer değiştirmelerine, üst yapı ve yalıtım burulmasından gelen ilave yer değiştirmelerin toplanması ile hesaplanacaktır. Düzgün bir dağılım olması halinde ise toplam yer değiştirmeler Denklem 6.12 ve 6.13 te hesaplanan değerlerden daha az olamaz. [42]

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad 6.12$$

$$D_{MD} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad 6.13$$

Üst yapıya etkiyen kuvvet, tasarım deprem hareketi düzeyi DD-2 için Denklem ile (6.14) ile hesaplanacaktır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) W \eta_D}{R} \quad 6.14$$

Üst yapıya etkiyen kuvvet, en büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için Denklem (6.15) ile hesaplanacaktır.

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) W \eta_M}{R} \quad 6.15$$

Üst yapıya etki eden kuvvet, katlara Denklem (6.16)'ye göre dağıtılacaktır.

$$F_S = \frac{V_D w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad 6.16$$

Binanın yalıtım periyodu Denklem (6.17)'ye göre hesaplanacaktır.

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{R_c}{g}} \quad 6.17$$

Deprem yalıtımı yapılacak binaların tasarımında TBDY 2018 Tablo 3.5'de DD-2 deprem yer hareketi altında hedeflenen performans düzeylerine ulaşmak için deprem yükü azaltma katsayısı R ve dayanım fazlalığı katsayısı D katsayıları uygulanır. Bunlar Tablo 6.2. ye göre belirlenecektir. [42]

Tablo 6. 2. Deprem Yüğü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları [42]

Performans Hedefi	R	D
KK	1,2	1,2
SH	1,5	1,5

Tablo 6. 3. FPS yalıtım birimi için tasarım parametreleri

FPS yalıtım birimi için tasarım parametreleri			
Parametere	Sembolü	Birimi	Değeri
Etkin Eğrilik Yarıçapı	R_c	mm	5000
Etkin Akma Yer değiştirilmesi	D_Y	m	0,00254
Dinamik Sürtünme Katsayısı	μ_e	-	0,045
Yalıtım Periyodu	T_i	sn	3,389
G+0,3Q Yüklemede En Büyük Yük Alan Kolon Yüğü	P	kN	3.333.81
Bina Ağırlığı	W	kN	183.211,30

Hesaplana DD-1 deprem düzeyi için elastik spektrum eğrisinden 3,39 s değerindeki periyoda karşılık gelen ivme $S_{ae}(T)=0,132g$ alınmıştır.

Tablo 6. 4. FPS yalıtım birimi için hesaplanan parametreler

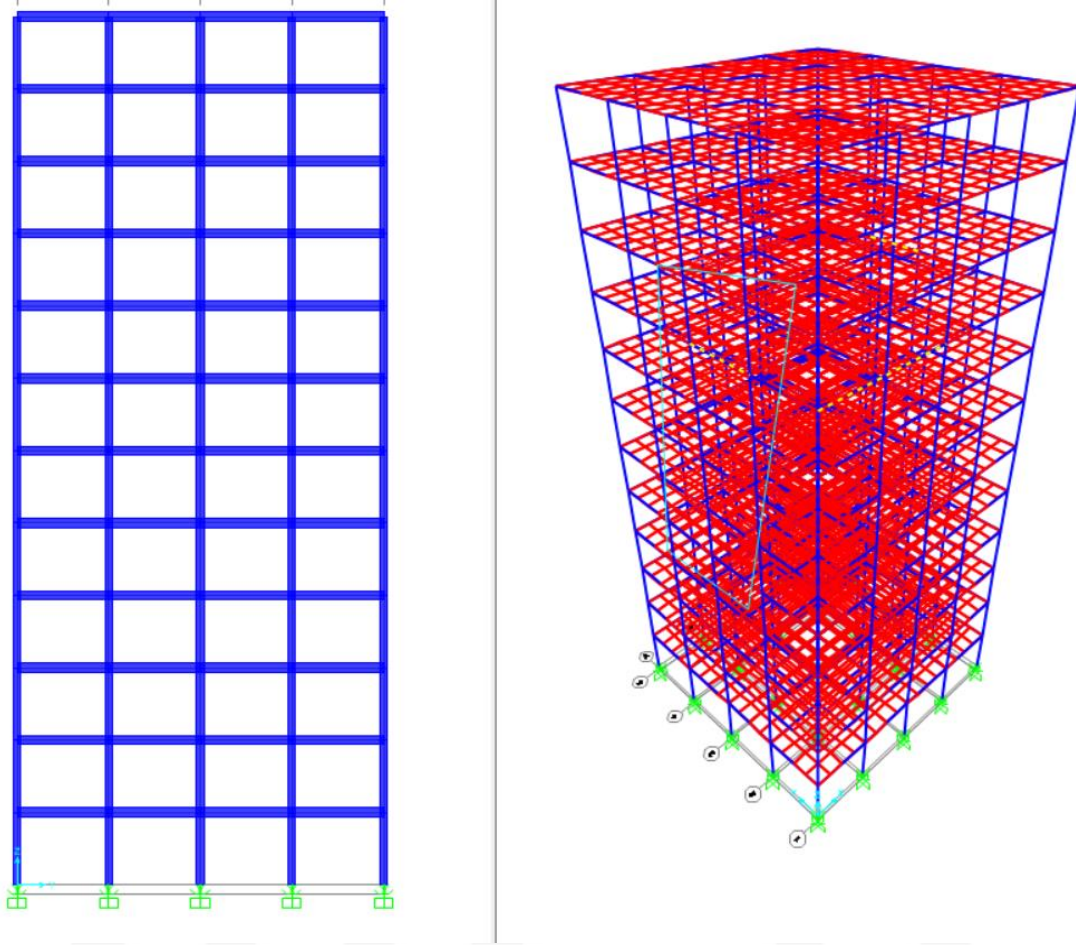
HESAPLAMA		
K_e	64.124,13	kN/m
β_e	27,30%	
μ	1,374	
T	3,389	s
$S_{ae}(T)$	0,132	g
S_a	0,096	g
S_d	0,275	m
K_e (En büyük yük taşıyan kolon için) Effective Stiffnes (U2 , U3)	1.213,16	kN/m
Üst limit sürtünme katsayısı	0,045	
Eğrilik yarıçapı	5,000	m
G+0,3Q En büyük yük alan kolon ağırlığı	3.333,81	kN
Etkin Akma Yerdeğiştirilmesi	0,00254	m
K1 Stiffnes (U2 , U3)	59.063,56	kN/m
Effective Stiffnes (U1)	3.000.000	kN/m
Effective Daming (β_e)	0,3	-

Tablo 6.4. de hesaplanan Tek Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Hesabının SAP2000 Programına tanıtılması Define/Section Properties/Link Properties adımları izlenerek açılan ve Link/Support Propertis Data penceresi aracılığı ile yapılır. Burada Tek Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör için Friction İzolator seçimi yapıldıktan sonra U1 U2 ve U3 kutucukları işaretlenerek sırası ile Modify/ShowFor U1, U2, U3 pencereleri açılır ve

bu pencereler aracılığı ile Tablo.6.4. te hesaplanan izolatör değerleri SAP2000 Programına tanıtılır.

Şekil 6. 3. Link/Support Propertis Data [43]

Şekil 6. 4. Yalıtım birimi U1, U2 ve U3 değerlerinin tanıtılması [43]



Şekil 6. 5. Yapının izolatör tanıtılmış şekli [43]

Yukarıda hesaplanan İzolatör değerleri Sap2000 programına tanıtıldıktan sonra analizleri yapılmış ve elde edilen hasar durumları aşağıda Tablo 6.5. de verilmiştir.

Tabloda 6.6 da örnek yapının izolatörsöz ve izolatörlü durumlarının analizleri sonucu oluşan hasar yüzdeleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 6. 5. İzolatörlü Yapıda Hesaplanan Hasar Durumları

İZOLATÖRLÜ YAPIADA FARKLI DEPREM KAYITLARINA GÖRE YAPILAN ANALİZLERİN SONUCU OLUŞAN HASAR DURUMLARI						
1-Kocaeli Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	228	60	0	0	288
	K2	144	48	0	0	192
	S1	114	6	0	0	120
	S2	162	18	0	0	180
2-Düzce Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	132	156	0	0	288
	K2	104	88	0	0	192
	S1	114	6	0	0	120
	S2	173	7	0	0	180
3-Erzincan Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	84	204	0	0	288
	K2	68	124	0	0	192
	S1	114	6	0	0	120
	S2	161	19	0	0	180
4-Loma Prieta Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	132	156	0	0	288
	K2	88	104	0	0	192
	S1	113	7	0	0	120
	S2	173	7	0	0	180
5-Darfield Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	129	159	0	0	288
	K2	82	110	0	0	192
	S1	114	6	0	0	120
	S2	169	11	0	0	180
6-Northridge Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	126	162	0	0	288
	K2	89	103	0	0	192
	S1	114	6	0	0	120
	S2	169	11	0	0	180
7-El Mayor Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	141	147	0	0	288
	K2	104	88	0	0	192
	S1	114	6	0	0	120
	S2	174	6	0	0	180
8-Montenegro Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	84	204	0	0	288
	K2	69	123	0	0	192
	S1	113	7	0	0	120
	S2	165	15	0	0	180
9-Landers Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	106	182	0	0	288
	K2	79	113	0	0	192
	S1	114	6	0	0	120
	S2	165	15	0	0	180
10-Cape Mendocino Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	96	192	0	0	288
	K2	76	116	0	0	192
	S1	113	7	0	0	120
	S2	165	15	0	0	180
11-Hector Mine Depremi	YAPI	HASAR YOK (ADET)	SINIRLI HASAR (ADET)	KONTROLLÜ HASAR (ADET)	GÖÇME (ADET)	TOPLAM (ADET)
	K1	116	172	0	0	288
	K2	101	91	0	0	192
	S1	113		0	0	120
	S2	165	15	0	0	180

Tablo 6. 6. Yapının İzolatörlü ve İzolatörsüz Hasar Durumunun karşılaştırılması.

HASAR DURMU KARŞILAŞTIRMA									
Deprem Adı		İzolatörsüz Yapı İçin Hasar Durumu (%)				İzolatörlü Yapı için Hasar Durumu (%)			
		Kolonlar		Kirişler		Kolonlar		Kirişler	
		Hasarsız	Hasarlı	Hasarsız	Hasarlı	Hasarsız	Hasarlı	Hasarsız	Hasarlı
1	Kocaeli	40,67%	59,33%	18,33%	81,67%	92,00%	8,00%	77,50%	22,50%
2	Düzce	44,00%	56,00%	18,33%	81,67%	95,67%	4,33%	49,17%	50,83%
3	Erzincan	49,33%	50,67%	20,63%	79,38%	91,67%	8,33%	31,67%	68,33%
4	Loma Prieta	44,67%	55,33%	16,67%	83,33%	95,33%	4,67%	45,83%	54,17%
5	Darfield	51,00%	49,00%	21,25%	78,75%	94,33%	5,67%	43,96%	56,04%
6	Northridge	50,67%	49,33%	19,38%	80,63%	94,33%	5,67%	44,79%	55,21%
7	El Mayor	44,67%	55,33%	18,13%	81,88%	96,00%	4,00%	51,04%	48,96%
8	Montenegro	35,67%	64,33%	16,67%	83,33%	92,67%	7,33%	31,88%	68,13%
9	Landers	41,67%	58,33%	20,42%	79,58%	93,00%	7,00%	38,54%	61,46%
10	Cape Mendocino	77,67%	19,00%	21,25%	78,75%	92,67%	7,33%	35,83%	64,17%
11	Hector Mine	35,33%	64,67%	19,58%	80,42%	92,67%	7,33%	45,21%	54,79%

Tablo 6. 7. Yapının İzolatörlü ve İzolatörsüz Periyodlarının karşılaştırılması

No		PERİYOD KARŞILAŞTIRMA		
		İzolatörsüz Periyod (sn)	İzolatörlü Periyod (sn)	Değişim oranı (%)
Mode	1	2,635665	3,74781	42,20
Mode	2	2,566307	3,6896	43,77
Mode	3	2,131139	3,084367	44,73
Mode	4	0,795885	1,058126	32,95
Mode	5	0,776214	1,037192	33,62
Mode	6	0,643003	0,857247	33,32
Mode	7	0,448621	0,534997	19,25
Mode	8	0,437773	0,522545	19,36
Mode	9	0,361851	0,435385	20,32
Mode	10	0,347858	0,375994	8,09
Mode	11	0,338713	0,366436	8,18
Mode	12	0,280382	0,303223	8,15

7. SONUÇ

Ülkemiz, çok büyük sarsıntılara yol açabilecek deprem faylarının üzerinde yer almaktadır. Bu durum depremden korunmayı depremin yıkıcı etkilerini azaltmayı daha da önemli hale getirmektedir. Ülkemizin depremselliği göz önünde bulundurularak depremden hemen sonra kullanılması büyük hayati öneme sahip olan hastaneler, itfaiye merkezleri, haberleşme merkezleri, havaalanları, okullar, camiler vb. yapıların depreme karşı dayanıklılığı ve kesintisiz kullanım sağlanması hayati önem arz etmektedir. Depremlerde oluşabilecek can ve mal kaybını önleme açısından yeni teknolojik gelişmelerin kullanılması da önemli bir husustur ve yaygınlaştırılması da gerekmektedir. Bu teknolojik gelişmelerden biri de bu tez konusu da olan tek eğri yüzeyli taban izolatörleridir (FPS).

Yapılan örnek çalışmada oluşturulan binanın şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGDT) yöntemi ile doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Bunun için yapıdaki çubuk elemanlara plastik mafsallık noktaları tanımlanmıştır. Bu noktalar elemanların boyunun 0,05L ve 0,95L bölgelerine tanımlanmıştır. Yapıda iki farklı kolon tipi ve iki farklı kiriş tipi mevcut olup bu çubuk elemanların kesit analizleri yapılmıştır. Elde edilen dönme ve moment değerleri yapıya tanımlanarak seçilen 11 adet deprem kaydına göre zaman tanım aralığında doğrusal olmayan analiz yaptırılmıştır. Bu analizler sonucu yapının kolon ve kirişlerinde tanımlanan plastik mafsallık değerleri TBDY2018 Bölüm 5.8'e göre irdelenmiş ve yapının hasar durumu raporlanmıştır.

Taban izolatörü kullanılmadan yapılan analizlerde Kocaeli Depreminde 9 adet, Cape Mendocino depreminde 21 adet, Hector Mine depreminde ise 24 adet kolonda oluşan hasarların göçme bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Kocaeli Depreminde 15 adet, Düzce Depreminde 7 adet, Erzincan Depreminde 9 adet, Landers Depreminde 18 adet, Cape Mendocino depreminde 2 adet, Hector Mine depreminde 9 adet kolonun kontrollü hasar durumunda olduğu, geriye kalan çubuk elemanların ise sınırlı hasarlı bölgede olduğu tespit edilmiştir.

İkinci aşamada ise yapının tabanına 25 adet tek eğri yüzeyli taban izolatörü (FPS) yerleştirilerek aynı şart ve koşullarda tekrar analizler yapılmıştır. Yapılan bu analiz ile ilk analiz periyodları karşılaştırılmıştır. X yönünde 2,63 s olan periyodun 3,74 çıktığı, Y yönünde ise 2,56 dan 3,68 e çıktığı görülmüştür.

Oluşan hasar durumları incelenmiş izolat6r kullanılmayan analizde kontroll6 hasar yada g6çme b6lgesinde olan kolon veya kirişlerin tamamının izolat6r kullanılarak yapılan analizde sınırlı hasar b6lgesinde olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan t6m değerlendirmeler ve analizler binaların tasarımında ve projelendirilmesinde yalıtım elemanların kullanılması, yapı elamanlarının hasar miktarlarını çok b6y6k oranda azalttığını ve yapının performans seviyesini aynı oranda artırdığını g6stermiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Dönmez, B., İnşaat Teknolojisinde Deprem İzolatör Sistemlerinin Planlanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- [2] Urgu, M., İ., Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006.
- [3] Karakurt P., 2015 Sismik İzolatörlü Binalarda Kat Adedi Etkisi , Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2015.
- [4] Şadan B., Tüzün C., Deprem Güçlendirmesinde Deprem Yalıtım Sistemlerinin Kullanımı, İnşaat Mühendisleri Odası Hatay Şubesi, https://hatay.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18033_12_19.pdf , 20 Nisan 2021
- [5] Soyluk, A., Tuna, M.E., Düzensiz Binalarda Sismik Taban İzolatörü Uygulamasının Mimari Tasarıma Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26, (2011) 635-642.
- [6] Touaillon, J., Building. 99,973 United States Patent Office, 15 Feb 1870.
- [7] Tezcan S.S. ve S. Cimilli, “Seismic Base Isolation”, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, Sayı 2, Haziran 2002.
- [8] Westwood, A., Means For Supporting Ends Of Oirders. 592,852 United States Patent Office, 2 Nov 1897.
- [9] Dicleli M., Sismik İzolasyon Ve Enerji Emici Sitemler İle İlgili Teknik Gelişmeler ve Sismik Performansı İyileştirme Amaçlı Özel Uygulamalar, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Deprem Yalıtımı Yöntemleri ve Uygulamaları Sempozyumu, Şubat 2013, Ankara.
- [10] Schar, F., Foundation For Buildings. 951,028 United States Patent Office, 1 Mar 1910.
- [11] Bakker, J.F.J., Balance Block For Buildings. 2,014,643 United States Patent Office, 31 Aug 1933.
- [12] Zayas. V. A., Earthquake Protective Column Support. 4,644,714 United States Patent Office, 24 Feb 1987.
- [13] Kelly, J.M., Hodder S.B., Control of response of piping systems and other structures by base isolation, Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1981.

- [14] Kelly, J.M., Seismic Isolation of Civil Building in the USA, Construction Research Communication Limited , San Francisco, 1(3):279-285, 1998.
- [15] Robinson W.H., Seismic isolation of civil buildings in New Zealand. Prog. Struct. Engng. Mater, 2000,
- [16] Yaray B., Sismik Yalıtımlı Binaların Yakın Fay Etkisi Altında Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2019
- [17] Castaldo P., Palazzo P., Della V., “Seismic Reliability of Base-Isolated Structures With Friction Pendulum Bearings” Dept. of Civil Engineering, University of Salerno, via Giovanni Paolo II, 84084 Fisciano, SA, Italy, 2015
- [18] Erşeker B., Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerde Deprem Etkime Açısının Maksimum İzolatör Deplasmanlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2017.
- [19] Sevim E., Sismik İzolatörlerin Bina Türü Yapıların Dinamik Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- [20] Hatice G., Sismik İzolasyonlu Binaların Deprem Yükleri Altındaki Olasılıksal Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [21] Simo, J.C. and Kelly, J.M., The analysis of multilayer elastomeric bearings, Journal of applied mechanics, 51(2), 256-262, 1984
- [22] Pan, P., Zamfirescu, D., Nakashima, M., Nakayasu, N. and Kashiwa, H., Baseisolation design practice in Japan: introduction to the post-Kobe approach, Journal of earthquake engineering, 9, 147–171, 2005.
- [23] Naem, F., Kelly, J.,M., Design Of Seismic Isolated Structures: From Theory To Practice, John Wiley&Sons, New York, ISBN:978-0471149217, 1999,
- [24] Warn, G.P. and Ryan, K.L., A review of seismic isolation for buildings: historical development and research needs, Buildings, 2, 300-325, 2012,
- [25] Cheng, F.Y., Jiang, H. and Lou, K., Smart structures innovative systems for seismic response control, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, ISBN: 8-0-8493-8532-2, 2008
- [26] Şahin F., Sönümün Sismik Taban İzolasyonu Ve Sönümleyicilerin Kullanıldığı Binaların Deprem Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [27] Kelly, T.E., Base isolation of structures, Holmes Consulting Group, Wellington, New Zealand. 2001.

- [28] Kan Ö., Kaymaz K., Zengin B., Özcan M., Türkiye' deki Depreme Dayanıklı Yapıların Sismik İzolasyon Tiplerinin İncelenmesi, Munzur Üniversitesi, Bilim ve Gençlik Dergisi, Tunceli, 2017, Cilt 5, 2148-0273
- [29] Tsai C. S., and Yung-Chang Lin Mechanical Characteristics and Modeling of Multiple Trench Friction Pendulum System with Multi-intermediate Sliding Plates, World Academy of Science, Engineering and Technology 2009.
- [30] Okut O., Ayarlı kütle sönümleyicilerin sismik etkiler altındaki betonarme yapılarda performansının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [31] Aguiar R., Rodríguez M., Mora D., Análisis Sísmico De Estructuras Con Disipadores De Energía Adas O Tadas, Centro Internacional De Métodos Numéricos En Ingeniería, Barcelona, España, 2016,
- [32] Soong, T.T. and Constantinou, M.C., Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer-Verlag, Vienna. 1994.
- [33] Suk R., and Altıntaş G., Behavior of Multidirectional Friction Dampers, Journal of Vibration and Control, Vol. 26(21–22) 1969–1979, 2020.
- [34] Derdiman, M.K., “Düzensiz Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının Taban İzolatörleri Enerji Sönümleyici ve Dağıtıcılarla İyileştirilmesi”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2006,
- [35] Aldemir. Ü.. ve Aydın. E.. “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar”, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı:435, 81-89, 2005.
- [36] Şeyma T., Yapılarda Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Kullanımı ve Zemin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2019.
- [37] Atasever K., U-Şekilli Çelik Sönümleyicilerin Histeretik Davranışlarının Modellenmesi ve Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetlerle Birlikte Sismik İzolatör Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- [38] Aytekin M., Deprem Yalıtım Sistemlerinin Çok Katlı Yapılara Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2019.
- [39] Türk H. A., Çok Katlı Betonarme Yapılarda Farklı Sismik İzolatör Sistemlerin Ve Kat Adetinin Deprem Davranışına Etkisi, yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2019.
- [40] Keskin A., Yapı İzolatörleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
- [41] Çetinöz K., Bina Tipi Bitişik Yapılarda Sismik Taban İzolatörlerinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak, 2018.

- [42] T.C. Resmi Gazete, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 30364 (Mükerrer), 18.03.2018, 280-304
- [43] SAP2000 Structural Analysis Program, 14.1.0, California, Computers and Structures Inc, 2009.
- [44] TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [45] <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, Afet Acil Durum Başkanlığı, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları, 2021,
- [46] XTRACT, Cross Section Analysis Program of Structural Engineers, Imbsen Software Systems, 2004.
- [47] Karabulut A., TDY2007 Yönetmeliği ve Fema 440 Raporunda Tanımlanan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar İçin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [48] <https://ngawest2.berkeley.edu>, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, 2021.
- [49] Çakat G., Bir Hastane Yapısının Farklı Deprem Yalıtım Sistemleri Kullanılarak Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2019.

ÖZGEÇMİŞ



