



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YARIKLI SÖNÜMLEYİCİLERİN DAVRANIŞI
VE ÇELİK BİR YAPIDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Oğuzhan ERKOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Şubat-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Oğuzhan ERKOÇ tarafından hazırlanan “Yarıklı Sönümleyicilerin Davranışı ve Çelik Bir Yapıda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 31/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Abdülkerim İLGÜN

Danışman

Doç. Dr. Yunus DERE

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Üye

Doç.Dr. Abdülkerim İLGÜN

İmza

.....

.....

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../2024 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Oğuzhan ERKOÇ

27/02/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YARIKLI SÖNÜMLEYİCİLERİN DAVRANIŞI VE ÇELİK BİR YAPIDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Oğuzhan ERKOÇ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yunus DERE

2024, 88 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Abdülkerim İLGÜN

Doç. Dr. Yunus DERE

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Türkiye topoğrafik yapısı, jeolojik özellikleri ve iklimi nedeniyle sıkça doğal afetlerin etkisi altında kalmaktadır. Aynı zamanda dünyanın en aktif fay zonları içerisinde bulunması ve topraklarının %74'ünün birinci derece deprem kuşağı içerisinde bulunması sebebiyle her zaman deprem riski ve tehlikesine maruzdur. Ülkemizde yer alan yapılar farklı malzeme ve farklı taşıyıcı sistemlerle yapılmaktadır. Bu çalışmada çelik çerçevesel bir yapının çelik yarıklı sönmleyiciler ile tasarlanması konusu esas alınmaktadır. Yapılan bu çalışmada, çelik yarıklı sönmleyicilerin yapıda oluşan deprem etkilerini sönmleyerek yapıda oluşan deprem etkilerinin azaltılması konusuna vurgu yapılmıştır. Mevcut bir çelik yapıya eklenecek olan yarıklı sönmleyicilerin yapının davranışına etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çelik yarıklı sönmleyiciler; maliyet açısından ekonomik olması ve yapıya gelen deprem etkisini sönmlemeleri sırasında hasar gören sönmleyicilerin kolaylıkla değiştirilebilmesi sebebiyle depreme dayanıklı yapı tasarımı için kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan çalışmada mevcut literatürde bulunan boyut, şekil ve bağlantı türleri bakımından farklılıklar gösteren yarıklı sönmleyici çeşitleri incelenmiş ve incelenenler arasından en etkin olan sönmleyici tipi uygulama amacıyla seçilmiştir. Örnek bir çelik yapının kiriş uçlarına seçilen yarıklı sönmleyiciler bağlanmıştır. Yapıya eklenen sönmleyicilerin yapının davranışına etkisi, statik itme ve zaman tanım alanında deprem analizleri yapılması ile ve elde edilen taban kesme kuvvetleri ve bina tepe deplasmanlarının karşılaştırılmasıyla irdelenmiştir. Örnek olarak seçilen güçlü yer hareketi için, çelik yarıklı sönmleyiciler kullanımı sayesinde, referans binadaki ortalama taban kesme kuvvetinde yaklaşık %48 azalma ve bina tepesi kat deplasmanının pik değerinde ise yaklaşık %25 azalma meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çelik yarıklı sönmleyici, deprem davranışı, çelik yapılar, sonlu elemanlar, ABAQUS programı.

ABSTRACT

MS

THE BEHAVIOR OF SLIT DAMPERS AND INVESTIGATION OF THEIR USABILITY IN A STEEL STRUCTURE

Oğuzhan ERKOÇ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Yunus DERE

2024, 88 Pages

Jury
Assoc. Prof. Abdülkerim İLGÜN
Assoc. Prof. Yunus DERE
Dr. Ali Serdar ECEMİŞ

Due to its topographic structure, geological characteristics, and climate, Turkey frequently experiences the impact of natural disasters. Simultaneously, being located within one of the world's most active fault zones and with 74% of its territory situated within a primary earthquake belt, the country is constantly exposed to earthquake risks and hazards. Structures in our country are constructed with different materials and different structural systems. This study focuses on the design of a steel-framed structure with steel slit dampers. In this study, emphasis has been placed on reducing the seismic effects on the structure by damping the seismic effects occurring in the structure through steel slit dampers. The aim is to determine the effects of slit dampers to be added to an existing steel structure on the behavior of the structure. Steel slit dampers have been investigated for their applicability in earthquake-resistant structure design due to their cost-effectiveness and the ease of replacing damaged dampers during damping of earthquake effects on the structure.

In this study, various types of slit dampers showing differences in dimensions, shape, and connection types found in the existing literature have been examined, and the most effective damper type among those examined has been selected for practical implementation. The selected type of slit dampers have been attached to the beam ends of an example steel structure. The effect of the attached dampers on the behavior of the structure has been examined by performing static pushover and time history earthquake analyses and by comparing the base shear forces and building top displacements obtained. For the selected example strong ground motion, the use of steel slit dampers has resulted in approximately a 48% reduction in average base shear force and approximately a 25% reduction in peak building top story displacement of the reference building.

Keywords: Steel slit damper, earthquake behavior, steel structures, finite elements, ABAQUS software.

ÖNSÖZ

Her zaman yanımda olan eşime, aileme ve her daim bana yardımcı olan Danışmanım Yunus Dere'ye teşekkürlerimi sunarım.

Oğuzhan ERKOÇ
KONYA-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2 Çalışmanın Önemi.....	3
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1 Depreme Dayanıklı Yapı Teşkili Amacıyla Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2 Çelik Yapıların Kolon-Kiriş Bölgesi Hasarları Üzerine Yapılan Çalışmalar	7
3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1 Çelik Yapılara Genel Bakış.....	9
3.1.1 Çelik yapıların avantajları ve dezavantajları	9
3.1.2 Çelik yapıların kullanım alanları	10
3.2 Çelik Yapıların Depreme Karşı Enerjisinin Sönümlenmesi ve Hareketlerinin Sınırlandırılması.....	12
3.2.1 Deprem izolatörleri	12
3.2.2 Deprem sönümleyicileri.....	14
3.3 Çelik Yapılarda Deprem Sonrası Oluşan Hasarlar.....	18
3.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi	25
3.5 Çelik Malzemesi Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisinin Modellenmesi	27
3.5.1 Çevrimsel Yükleme Altında Davranış	29
4 ÇELİK YAPILARIN DEPREME KARŞI GÜVENLİ TASARIMI.....	31
4.1 Kolon- Kiriş Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Sınıflandırılması.....	31
4.1.1 Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması	31
4.1.2 Birleşimlerin taşıma güçlerine göre sınıflandırılması.....	34
4.2 Çelik Yapıların Tasarım Standartları	35
5 ÇELİK YARIKLI SÖNÜMLEYİCİLERİN SONLU ELEMAN YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ.....	40
5.1 Katı Elemanlarla Modelleme (3D Hacimsel).....	40
5.2 Kabuk Elemanlarla Modelleme (2D Yüzeysel Eleman).....	41
5.3 Çubuk Elemanlarla Modelleme.....	42
5.4 Yarıklı Sönümleyicili Bir Kolon Kiriş Birleşiminin Sonlu Eleman Analizi....	43

5.4.1	Katı elemanlarla modelleme	43
5.4.2	Çubuk elemanlarla modelleme	50
5.5	Çelik Yarıklı Sönümleyici Kullanılan Bir Çelik Binanın Modellenmesi	58
5.5.1	Yapı geometrisinin oluşturulması ve parçaların birleştirilmesi.....	60
5.5.2	Sabit ve hareketli yükler	65
5.5.3	Statikçe eşdeğer deprem yükü hesabı	67
5.5.4	Analiz sonuçları	72
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	81
6.1	Sonuçlar.....	81
6.2	Öneriler	82
7	KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Çeşitli çelik yapı sistemleri (Tunaboşlu, 2007)	11
Şekil 3.2. Viskoz akışkanlı sönümleyici (Aldemir,2005).....	12
Şekil 3.3. SUT binası, Shizuoka, 1993 (Aldemir,2005).....	13
Şekil 3.4. Kolon altı sönümleyici-1 (URL-01).....	13
Şekil 3.5. Kolon altı sönümleyici-2 (URL-02).....	13
Şekil 3.6. ADAS (Köroğlu, 2012)	14
Şekil 3.7. X şekilli ADAS metalik sönümleyicisi (Aldemir, 2005)	14
Şekil 3.8. “TADAS” türü metalik sönümleyici (Köroğlu, 2012)	15
Şekil 3.9. Farklı şekil ve geometrideki metalik sönümleyiciler (Köroğlu, 2012)	15
Şekil 3.10. Pall sürtünme tipi sönümleyici (Aldemir, 2005).....	16
Şekil 3.11. Visko-elastik sönümleyici (Aldemir,2005)	16
Şekil 3.12. Dünya Ticaret Merkezinde kullanılan visko-elastik sönümleyicilerin yerleşim detayı (Aldemir, 2005).....	17
Şekil 3.13. Çelik kafes sisteme viskoz akışkanlı sönümleyici uygulaması (Aldemir, 2005)	17
Şekil 3.14. TMD'nin mekanik modeli (Aldemir, 2005).....	17
Şekil 3.15. Türkiye deprem tehlike haritası (Şahin, 2019).....	19
Şekil 3.16. San Francisco depreminden sonra bir görüntü (Earthquakes i.s.).....	21
Şekil 3.17. Cordova Binasının genel görünümü (Dı Sarno ve Elnashai, 2002)	21
Şekil 3.18. Cordova Binasının deprem sonrası bir görünümü (Dı Sarno ve Elnashai, 2002)	22
Şekil 3.19. Mexicocity'de yüksek katlı Pino Suarez binasında kutu kolonlarda oluşan lokal burulma	22
Şekil 3.20. Peter J. Maranian tarafından çekilen Northridge depreminden sonra 2 katlı çelik bir yapıda oluşan hasar (Dı Sarno ve Elnashai, 2002).....	23
Şekil 3.21. EERI tarafından 1995 Kobe depreminde çelik çaprazlı bir çelik yapıda oluşan hasar (Tremblay ve ark. 1996)	23
Şekil 3.22. Adapazarı vagon fabrikasında meydana gelen deprem hasarı (Kaltakçı ve ark., 2007)	24
Şekil 3.23. Adapazarı vagon fabrikasında meydana gelen deprem hasarı (Kaltakçı ve ark., 2007).....	24
Şekil 3.24. (a) Bir boyutlu çizgisel eleman, (b) iki boyutlu düzlemsel eleman, (c) üç boyutlu katı eleman (Değer, 2020)	25
Şekil 3.25. ABAQUS programı menü ve panel.....	26
Şekil 3.26. Gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Tansel, 2010).....	27
Şekil 3.27. İzotropik pekleşme davranışının şematik gösterimi (URL-03).....	29
Şekil 3.28. Kinematik pekleşme davranışının şematik gösterimi (URL-03).....	30
Şekil 4.1. Tek köşebentli gövde birleşimi levhalı birleşim (Köroğlu, 2012)	31
Şekil 4.2. Çift köşebentli gövde birleşimi levhalı birleşim (Köroğlu, 2012)	31
Şekil 4.3. Kısa alın levhalı levhalı birleşim (Köroğlu, 2012).....	32
Şekil 4.4. Kaynaklı rijit birleşim (Köroğlu, 2012)	32
Şekil 4.5. Alın levhalı birleşim (Köroğlu, 2012).....	32
Şekil 4.6. Güçlendirilmiş alın levhalı birleşim (Köroğlu, 2012).....	33
Şekil 4.7. Üst ve alt başlık köşebentli, gövde çift köşebentli birleşim (Köroğlu, 2012)	33
Şekil 4.8. Üst ve alt başlık köşebentli birleşim (Köroğlu, 2012).....	33
Şekil 4.9. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim (Köroğlu, 2012)	34
Şekil 4.10. Farklı tiplerde birleşimler için moment-dönme eğrileri (Köroğlu, 2012)	34
Şekil 4.11. Moment dayanımına göre sınıflandırma (URL-04)	36

Şekil 4.12. Dönme rijitliğine göre sınıflandırma (URL-05).....	36
Şekil 4.13. Dönme kapasitelerine göre sınıflandırma (URL-06).....	37
Şekil 4.14. Northridge depremi öncesinde kullanılan tipik birleşim (Köroğlu, 2012) ...	37
Şekil 4.15. Northridge depremi öncesinde kullanılan tipik birleşimde çatlak oluşumu (Köroğlu, 2012)	38
Şekil 4.16. Tasarlanan yapıların plan ve kesitleri (Güler, 2015).....	39
Şekil 5.1. Katı sonlu elemanlar (URL-11).....	40
Şekil 5.2. Birim uzunluk için eğilme momentleri (Köroğlu, 2007)	41
Şekil 5.3. Membran kuvvetleri (Köroğlu, 2007)	41
Şekil 5.4. Solid Eleman Yüzeyleri (URL-07).....	42
Şekil 5.5. Birçok yapı türünde çubuk model örnekleri (Yılmaz, 2016)	43
Şekil 5.6. Yarıklı Sönümleyici (Oh et al, 2009)	44
Şekil 5.7. Yarıklı Sönümleyicinin Monte Edilmesi (Oh et al, 2009)	44
Şekil 5.8. Abaqus örnek kolon çizimi (ABAQUS sketch ortamında çizilmesi).....	45
Şekil 5.9. ABAQUS'te örnek kesitin extrude olmuş hali	45
Şekil 5.10. ABAQUS yarıklı sönümleyicinin extrude olmuş hali.....	46
Şekil 5.11. ABAQUS yarıklı sönümleyici orta eleman kesiti (ABAQUS sketch ortamında çizilmesi)	46
Şekil 5.12. ABAQUS solid model görünümü-1	46
Şekil 5.13. ABAQUS solid model görünümü-2	47
Şekil 5.14. ABAQUS'te bölümlleme işlemi.....	47
Şekil 5.15. Boyutlu Sistemin Sonlu Eleman Meshi.....	48
Şekil 5.16. Boyutlu Sistemin Sonlu Eleman Meshi.....	48
Şekil 5.17. Boyutlu Sistemin Sonlu Eleman Meshi.....	48
Şekil 5.18. Sistemin üç boyutlu görünümü-1	49
Şekil 5.19. Sistemin başlangıç görünümü	49
Şekil 5.20. Sistemin son görünümü-1	49
Şekil 5.21. Sistemin son görünümü-2.....	50
Şekil 5.22. 3 boyutlu sistemin çubuk model ile analizi (Oh et al, 2009).....	50
Şekil 5.23. Yarıklı Sönümleyicinin İdealleştirilmesi-1 (Oh ve ark,2009).....	51
Şekil 5.24. Yarıklı Sönümleyicinin İdealleştirilmesi-2 (Oh ve ark,2009).....	51
Şekil 5.25. Yarıklı sönümleyicinin deformasyonu (Oh ve ark, 2009).....	52
Şekil 5.26. Split-T'nin deformasyonu (Oh ve ark, 2009).....	52
Şekil 5.27. Yük-dönme grafiği	54
Şekil 5.28. Tekrarlı (Cyclic) yükleme-zaman grafiği.....	54
Şekil 5.29. Yarıklı sönümleyicinin rijitlik diyagramı (Oh ve ark,2009)	55
Şekil 5.30. Kuvvet-deplasman grafiği	56
Şekil 5.31. Elasticity değerinin girilmesi.....	57
Şekil 5.32. Plasticity değerlerinin girilmesi.....	57
Şekil 5.33. ABAQUS'te kiriş ucuna yükleme (Çizelge 5.4'teki değerlere göre).....	58
Şekil 5.34. Yapının ABAQUS programında hazırlanmış üç boyutlu genel görünümü .	59
Şekil 5.35. Yapının kat planı	59
Şekil 5.36. Yapının enkesiti.....	59
Şekil 5.37. 1. Kattaki kirişlerin isimlendirilmesi.....	60
Şekil 5.38. MPC Constraint oluşturulması	61
Şekil 5.39. Konnektör oluşturulması	62
Şekil 5.40. İkili konnektör gösterimi	62
Şekil 5.41. Üçlü konnektör gösterimi	62
Şekil 5.42. Dörtlü konnektör gösterimi	63
Şekil 5.43. Konnektör gösterimi.....	63

Şekil 5.44. Yapının 3 boyutlu görünümü (X-Y).....	63
Şekil 5.45. Yapının 3 boyutlu görünümü (X-Y-Z).....	64
Şekil 5.46. Ankastre Mesnet Gösterimi.....	64
Şekil 5.47. Yapının 3 boyutlu görünümü (X-Y-Z).....	64
Şekil 5.48. i. kata etkiyen fiktif yükler	67
Şekil 5.49. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (URL-10).....	68
Şekil 5.50. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu (URL-10).....	69
Şekil 5.51. Sisteme Etkiyen Yükler (Sabit, Hareketli, Deprem)	72
Şekil 5.52. X yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-1	72
Şekil 5.53. X yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-2	72
Şekil 5.54. Z yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-1	73
Şekil 5.55. Z yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-2	73
Şekil 5.56. X doğrultusunda statik eşdeğer deprem yükü altında analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi.....	74
Şekil 5.57. Z doğrultusunda statik eşdeğer deprem yükü altında analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi.....	74
Şekil 5.58. X doğrultusunda statik itme analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi (Uy=0.144m ve Py=8790kN)	75
Şekil 5.59. Z doğrultusunda statik itme analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi (Uy=0.115m ve Py=5120kN)	75
Şekil 5.60. 1999-Gölcük depremi (D-B) doğrultusu ivme kaydı, Düzce merkez istasyonu	76
Şekil 5.61. 1999-Gölcük depremi (K-G) doğrultusu ivme kaydı, Düzce merkez istasyonu	76
Şekil 5.62. 1999-Gölcük depremi (U-D) doğrultusu ivme kaydı, Düzce merkez istasyonu	76
Şekil 5.63. Deprem süresince X doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin değişimi.....	77
Şekil 5.64. Deprem süresince Z doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin değişimi	77
Şekil 5.65. Deprem süresince X doğrultusundaki bina tepe deplasmanı değişimi.....	78
Şekil 5.66. Deprem süresince Z doğrultusundaki bina tepe deplasmanı değişimi	78
Şekil 5.67. Tüm yarıklı sönümleyicilerde deprem sırasında oluşan rölatif deplasmanlar	79
Şekil 5.68. Tüm yarıklı sönümleyicilerde deprem sırasında oluşan eksenel iç kuvvetler	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- B : Genişlik
- C_t : Düzeltme katsayısı
- d_{st} : Kolonla kirişin bağlantı noktası ve yay arasındaki mesafe
- D : Deplasman
- D : Dayanım fazlalığı katsayısı
- DD-2 : 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
- DTS : Deprem tasarım sınıfı
- E : Elastite Modülü
- E_{b1} : Çubuk-1 'in elastite modülü
- E_{st} : T desteğinin elastite modülü
- $F_{iE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda i'nci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
- G : Sabit yük
- G : Kesme modülü
- H : Sönümleyicinin kısa yüksekliği
- H_i : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümde i'nci katın üst bölümünün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği
- H_N : Yapı yüksekliği
- H_T : Sönümleyicinin toplam yüksekliği
- H' : Sönümleyicinin eşdeğer yüksekliği
- I : T desteğinin atalet momenti
- I : Bina önem katsayısı
- b_1I : Çubuk-1'in atalet momenti
- b_2I : Çubuk-2'nin atalet momenti
- K : Başlangıç bağlantı rijitliği
- b_1K : Kirişin kesme-eğilme 1 eksenine göre uç yer değiştirmesinden kaynaklanan kesme kuvvetine karşılık gelen başlangıç rijitliği
- b_2K : Kirişin kesme-eğilme 2 uç yer değiştirmesinden kaynaklanan kesme kuvvetine karşılık gelen başlangıç rijitliği

- $conK$: Yarıklı sönümleyici ve T desteğinden oluşan kompozit bağlantının başlangıç rijitliği
- dK : Yarıklı sönümleyicinin yanal rijitliği
- stK : T desteğinin yanal rijitliği
- lb : Çubuk-1 ve Çubuk-2'nin toplam uzunluğu
- lb_1 : Çubuk -1'in boyu
- lb_2 : Çubuk-2 boyu
- l_{st} : T desteğinin uzunluğu
- M : Moment
- m_t : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümün toplam kütlesi
- m_i : i'nci katın toplam kütlesi
- n : Düşey destek sayısı
- N : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümdeki toplam kat sayısı
- P : Yük
- PGA : En büyük yer ivmesi
- PGV : En büyük yer hızı
- P_y : Akma Gücü
- P_u : Maksimum Güç
- Q : Hareketli yük
- r : Eğrilik bölgesindeki yarıçap
- R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
- $R_a(T)$: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı
- S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
- $S_{ac}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
- $S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
- S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
- S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
- S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
- t : Kalınlık
- T : Doğal titreşim periyodu
- T_B : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
- T_{pA} : Ampirik hakim doğal titreşim periyodu
- $V_{tE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

- w_A : Kiriş gövdesinin kesit alanı
 ZB : Biraz ayrılmış kayalardan oluşan zemin
 σ_y : Akma gerilmesi
 σ_u : Maksimum gerilme
 Θ : Dönme
 δ_y : Yarıklı sönümleyicinin yer değiştirmesi
 $\Delta F_{NE}^{(X)}$: Binanın N'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
 $\sum F_{1Bx}$: 1. katta B aksı tarafından taşınan yatay yük
 $\sum k_{1x}$: 1. katın toplam yanal ötelenme rijitliği

Kısaltmalar

- BCs : Boundary conditions
cm : santimetre
cm² : santimetrekare
kg : kilogram
m : metre
m² : metrekare
mm : milimetre
N : Newton
kN : Kilo Newton
rad : radyan

1 GİRİŞ

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve nüfusun deprem riskinin yüksek olduğu büyük şehirlerde yoğunlaşması sebebiyle yapıların depreme dayanıklı bir şekilde inşa edilmeleri elzem olarak görülmektedir. Bugüne kadar oluşan depremler ülkemizde yapıların depreme karşı dayanıklı olmadığını göstermektedir. Yapılarda oluşan deprem etkilerinin azaltılması can ve mal güvenliğinin artmasını sağlamaktadır. Bu sebeple dünya genelinde yapılan depreme karşı yapı tasarımı çalışmaları oldukça hız kazanmıştır.

Depreme karşı yapı tasarım çalışmalarında yapıda kullanılacak malzemeler de ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde ucuz ve alışlagelmiş olarak görülen beton en çok kullanılan malzeme olarak kendisine yer bulmaktadır. Betonun sünek özelliğinin düşük olması, yapıların depreme karşı dezavantajlı hale gelmesine neden olmaktadır. Ülkemizin yapı stoğunda daha çok betonarme ve kısmen yığma yapılar üzerine çalışmalar yapılmıştır. (Güler, 2015).

Tansel (2010) yaptığı araştırmalarda çelik malzemesinin, ekonomik olması ve sünek özelliğinin yüksek olması sebebiyle depreme karşı uygun bir davranış sergilediğini göstermektedir. Fakat ülkemizde çelik malzemesi, betona göre daha az tercih edilmektedir (Tüfekçi, 2019).

Ülkemizin büyük bir bölümünde deprem riski bulunmaktadır. Bu nedenle, özellikle son yıllarda yaşanan depremlerin etkisiyle, yapıların olası bir depremi en az hasarla atlattığı için yapılan çalışmalar hız kazanmıştır (Akdemir, 2011).

Yapılan araştırmalarda depreme karşı yapılan tasarımların desteklenmesi gerektiği ortaya koyulmaktadır. Yaşanan depremlerde yapıda meydana gelen hasarların oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bu hasarların oluşmaması veya en az seviyede oluşması amacıyla deprem enerjilerinin sönmülmesi, bunun içinde sönmüleyici veya izolatör kullanımının yaygınlaşması gerekmektedir. Yapılarda izolatör ve sönmüleyici kullanılması ile hem deprem etkilerinin sönmülmesi amaçlanmıştır. Sönmüleyici ve izolatör kullanılmaması durumunda ise yapıda meydana gelen hasar durumu, kullanılmasına kıyasla oldukça artacağı düşünülmektedir.

Yapılan araştırmalarda sönmüleyicilerin betonarme yapılara kıyasla çelik yapılara daha kolay uygulandığı görülmüştür (Aldemir ve Aydın, 2005). Kaynaklarda birçok yarıklı sönmüleyici çalışmaları mevcuttur. Yarıklı sönmüleyiciler ilk kez Oh ve ark. (2009) tarafından kullanılmıştır. Köroğlu (2012), Nuzzo (2018) tarafından yapılan deneysel çalışmalarla da yarıklı sönmüleyicilerin önemi gözler önüne serilmiştir. Bu nedenle

ülkemizdeki yapılarda bu tarz sönümleyicilerin kullanılması büyük önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, yeni yapılacak olan çelik yapılarda kolon-kiriş bölgelerine uygulanacak olan sönümleyiciler sayesinde yapıya gelen deprem etkilerinin azalacağı öngörülmektedir. Bu sayede deprem sonrası yapının ayakta kalmasının ötesinde, sönümleyicilerin onarılması veya değiştirilmesi ile beraber yapının tekrar kullanıma açılacağı düşünülmektedir. Böylelikle can ve mal güvenliğinin korunması sağlanırken, çok az maliyetle deprem etkisi giderilebilmektedir.

Bu çalışmada deprem sonrası oluşabilecek hasarların en az seviyeye indirilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden biri olan çelik yarıklı sönümleyici malzemesine odaklanılmıştır.

Bu çalışma ile beraber yapıya gelen deprem etkilerinin yarıklı sönümleyiciler tarafından sönümlenerek yapıda oluşan hasarın azaltılması planlanmaktadır. Böylelikle gelecek olan deprem etkilerinin odak noktası sönümleyiciler olacaktır. Örnek bir çelik yapı seçilerek, kaynaklarda yer alan çalışmalardan elde edilen veriler kullanılacaktır. 30 metre genişliğinde ve 15 metre yüksekliğinde 5 katlı bu örnek çelik yapıda yer alan kolon-kiriş birleşimlerine yarıklı sönümleyiciler yerleştirilecektir. Bu sönümleyicilerin sayısal özellikleri kaynak araştırmalarında elde edilen veriler ile hesaplanarak ABAQUS programında analiz edilecektir. ABAQUS programı ile farklı boyutlarda modellemeler gerçekleştirilecektir. Yapılacak olan analizlerle beraber deprem etkilerinin azalacağı öngörülmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, çelik sistemlerde bulunan kolon-kiriş birleşim noktalarına yerleştirilen sismik sönümleyiciler ile taşıyıcı elemanlarda meydana gelecek hasarın en alt seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır. Deprem sonrası açığa çıkan enerjinin bu bölgelere yerleştirilen sismik sönümleyicilerce tüketilmesi ve hasarların sadece sönümleyicilerde meydana gelmesi beklenmektedir.

Kullanılan bu sismik sönümleyicilerin alacakları hasar sonucunda bozulma ve yıpranmaları neticesinde hızlı ve kolay bir şekilde onarılabilmesi veya yenileriyle değiştirilebilmesi çok daha ekonomik olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan sönümleyiciler, yapıların temelinde veya kolonlar arasında kullanılan sismik sönümleyicilerin aksine kolon-kiriş bölgelerinde uygulanmıştır. Böylelikle deprem sonrası gelecek olan hasarların sönümleyiciler

tarafından karşılanması amaçlanmıştır. Böylelikle yüksek deprem kuvvetleri karşısında düşük maliyetlerle onarım yapılabilmektedir. Özellikle deprem kuşağında yer alan ülkemiz için bu sönümleyicilerin kullanılması can ve mal güvenliğini artıracak aynı zamanda ekonomik anlamda da çok daha az maliyetli olacaktır.

Yapıya gelen deprem hasarlarının sismik sönümleyiciler tarafından karşılanması yapının çok daha az hasar almasına neden olmaktadır. Bu amaçla I kesitli bir profil kullanılarak sayısal analiz gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

1.2 Çalışmanın Önemi

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve nüfusun deprem riskinin yüksek olduğu büyük şehirlerde yoğunlaşması sebebiyle yapıların depreme dayanıklı bir şekilde inşa edilmeleri elzem olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, yeni yapılacak olan çelik yapılarda kolon-kiriş bölgelerindeki sönümleyicilerin önemli rol oynayarak kolon ve kiriş gibi büyük yapı elemanlarının alacakları hasarı en aza indirmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede deprem sonrası yapının ayakta kalmasının ötesinde, sönümleyicilerin onarılması veya değiştirilmesi ile beraber yapı tekrar kullanıma açılabilir. Böylelikle can ve mal güvenliğinin korunması sağlanırken, çok az maliyetle deprem etkisi giderilebilmektedir. Ülkemizdeki yapılarda bu tarz sönümleyicilerin kullanılması büyük önem teşkil etmektedir.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışma çelik çerçeveli sistemlerin kolon-kiriş bölgelerine metal sönümleyiciler yerleştirilerek depreme karşı korunması amaçlanmış ve analitik olarak incelenmiştir. Kaynak araştırmaları; depreme dayanıklı yapı teşkili amacıyla yapılan çalışmalar ve çelik yapıların kolon-kiriş bölgesi hasarları üzerine yapılan çalışmalar olmak üzere iki kısımda sunulmuştur.

2.1 Depreme Dayanıklı Yapı Teşkili Amacıyla Yapılan Çalışmalar

Bir deprem ülkesi olan Türkiye’de, yapılarda oluşan hasarların azaltılması ve sönümlenmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bir çalışmada, çelik çerçeveli mevcut bir yapıda kolon kiriş bölgelerine yerleştirilen sönümleyiciler ile yapıya gelen yüklerde oluşan hasarların engellenmesi amaçlanmaktadır. Şiddetli bir depremde yapıya gelen kuvvetlerin sönümleyici elemanlar tarafından absorbe edilmesi ile yapının en az hasarı alması sağlanmıştır. Bu çalışma, hem mevcut yapıların güçlendirilmesi hem de yeni yapılacak olan çelik yapıların dayanımlarının yüksek olması amacıyla örnek teşkil etmektedir (Köroğlu, 2012).

Mevcut yapıların depreme dayanıksız şekilde yapılması veya yapının zamanla dayanımının azalması gibi nedenlerden dolayı yapıda oluşan deprem etkilerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar sıradan ve gelişmiş yöntemler olarak iki grup şeklinde sınıflandırılabilir. Sıradan yöntemler; kiriş ve kolonların onarılarak yapının mukavemetini ve sünekliğini arttırmak amacıyla yapılmaktadır. Gelişmiş yöntemler ise binaların sismik olarak iyileştirilmesi ve sönümleyiciler kullanılması gibi uygulamalardan oluşmaktadır. Sıradan yöntemler uzun zaman alması ve yapılan işlemlerin maliyetli olması sebebiyle gelişmiş yöntemler tercih edilebilmektedir. Ayrıca sıradan yöntemler uygulanırken yapısal olmayan elemanların sökülmesi gerekmekte bu da güçlendirme çalışmalarının kesintiye uğramasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra gelişmiş yöntemlerle yapılan destekler sadece binanın dışına monte edilir. Böylelikle işçilik süreleriyle beraber işin maliyeti ve süresi de azalmakta, daha az gürültü ve daha az çevre kirliliğine neden olmaktadır (Kitajima ve ark, 2004).

Ülkemizde bulunan mevcut yapılardaki eksiklikler göz önünde bulundurularak numuneler hazırlanmış ve bu yapıların yatay yük altındaki davranışları incelenmiştir (Yılmaz vd., 2018).

2000’li yıllarda sönümleyici elemanlar içeren bir yapının davranışları incelenmiştir. Düzenli ve simetrik çerçeve yapılar için, yapıya gelen deprem kuvvetlerinin bu sönümleyici elemanlar tarafından absorbe edildiği gözlemlenmiştir (Lin X ve ark., 2000).

Bir çalışmada deprem sırasında oluşacak hasarların önlenmesi amacıyla çelik yarıklı sönümleyiciler kullanılmıştır ve bir deprem sonrasında kolaylıkla değiştirilebilen ya da onarılabilen çelik sönümleyicilerin önemi anlatılmıştır. Yapılan deneyde levhalı birleşim, güçlendirilmiş levhalı birleşim ve çelik yarıklı sönümleyiciler ayrı ayrı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre enerji sönümlenmelerinin ve plastik deformasyonlarının yalnızca çelik yarıklı sönümleyicilerde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir (Köroğlu, 2011).

1969 yılında üç katlı bir yapıda kullanılan ve alanında ilk olan kauçuk mesnetli izolatörler modern sismik izolasyon tekniğinin başlangıcı kabul edilir (Tezcan ve Cimilli,2002).

Kauçuk, İtalya ve deprem riski yüksek olan ülkelerde uygulanan sönümleyici özelliği yüksek bir malzemedir. Enerji dağıtma kapasitesini artırmak amacıyla kurşun çekirdek eklenerek de kullanılabilir (Infanti ve ark., 2003).

Dünya genelinde kullanılan çok sayıda sönümleyici türü vardır. En çok kullanılan sönümleyicilerden birisi ADAS (Added Damping and Stiffness) olarak adlandırılmış olan sert sönümleyicilerdir. Bu sönümleyiciler patentli olup, süneklik özelliği olan çelikten üretilirler ve genel olarak çerçevelerde kullanılmaktadır (Bergman ve Goel, 1987).

1950’li yıllarda 10 katlı çelik sistemli bir yapıda çelik çubuk elemanlar ve ADAS kullanılmıştır (Colunga ve Vergaro, 1997).

Petek sönümleyiciler (Kobori ve ark., 1992), çan şeklinde metalik sönümleyiciler ve pi sönümleyiciler de kullanılmaktadır (Köroğlu, 2012).

Ters V çaprazlı bağlantıların deneysel ve sayısal olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan deneylerde sönümlü çerçevelerin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Öte yandan bazı araştırmalarda performansı artırmak amacıyla bakır ve alaşım gibi malzemelerden yararlanılmıştır (Mualla ve ark, 2002).

Yapılan çalışmalarda geleneksel yarıklı sönümleyicilerin gelişmiş şekli olarak gösterilen kum saati şeklinde şerit sönümleyici önerilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kum saati şekilli sönümleyicilerin gelen yükler altında ciddi bir yük direnci kapasitesine sahip olduğu ve iyi bir süneklik gösterdiği görülmüştür (Lee vd., 2018).

Fay hatlarında oluşan depremlerde binalara etki eden kuvvetlerin azaltılması için sönümleyici uygulama çalışmaları yürütülmüştür (Dyke ve ark., 1996).

Sönümleyici sistemlerin çelik yapılara adapte edilmesi betonarme yapılara kıyasla daha kolay olmaktadır. Amerika ve Japonya gibi büyük ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılan bu sistemlerin ülkemizde de kullanılması elzem olarak görülmektedir (Aldemir ve Aydın, 2005).

1986 yılında İtalya'da kullanılmaya başlanan deprem sönümleyicilerinin uygulama alanlarından söz edilmiştir. Bu sönümleyicilerin köprü ve viyadük gibi sanat yapılarında kullanılmasından bahsedilmiştir (Castellano ve ark, 2009).

1900'lü yıllarda İngiltere'de yapılan çalışmalarda yapıların altına kum ve mil gibi malzemeler yerleştirilerek, deprem esnasında yapının yatay yönde rahat hareket edebilmesini bu sayede deprem etkisinin yapıya ulaşmadan tabanda sönümlenebileceği düşünülmüştür (Nacim ve Kelly,1999).

Yapıların deprem davranışlarının iyileştirilebilmesi amacıyla yapısal çelik eleman olarak ters V tipi, fermuar tip ve çelik çaprazlar kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kullanılmış olan yapısal elemanların yapıların deprem davranışını iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Gültekin ve Güneyisi, 2015).

2018 yılında yapılan araştırmada yeni bir metalik sönümleyici önerilmiştir. Farklı kesitlerde 5 adet numune üretilerek davranışları test edilmiştir. Yapılan deneyin sonucunda sönümleyicilerin enerji tüketme ve kayma kapasitelerinin artmasına karşın yer değiştirme kapasitesinin azaldığı gözlemlenmiştir (Amiri vd.,2018).

Tek katlı çelik çerçevelere eklenen sürtünme sönümleyicisi yeni yapıların tasarımında kullanılmasıyla beraber mevcut yapıların güçlendirilmesinde de uygulanabilir olduğu belirtilmiştir (Mualla ve Belev, 2002).

Yapıların sismik korumaları için tasarlanmış çelik sönümleyiciler üzerine deneysel araştırmalar yapılmıştır. Yapılan deneyler, sönümleyicilerin çeşitli geometrik tasarımlara uygun şekilde uygulanabileceğini, maliyet açısından ekonomik olmalarını ve hasar durumunda kolayca değiştirilebilmelerini göstermektedir (Nuzzo vd., 2018).

1972'de oluşturulan kontrol teorisinde, aktif kontrol yöntemleri kullanılarak yapıların hareketi kontrol altına alınabilir. Ayrıca, dışarıdan sağlanan enerjiyle birlikte yapı sistemlerinin hareketleri düzenlenebilir. Bu teori, yapısal kontrolün etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi ve istenen davranışların elde edilmesi için bir çerçeve sunar (Yoshioka ve ark, 2002).

2.2 Çelik Yapıların Kolon-Kiriş Bölgesi Hasarları Üzerine Yapılan Çalışmalar

Depremler, tanımlanması ve onarılması zor ve maliyetli olan kolon-kiriş bağlantı noktalarında önemli hasar ve bozulmalar meydana getirmektedir. Sönümleyici elemanlar kullanılarak kalıcı yapısal hasar kalmaması ve depremin yapıya etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. 1994 yılında meydana gelen California'daki Northridge depreminde çok sayıda modern çelik yapıda hasar oluşmuştur. Oluşan hasarların çelik binaların eski, yeni, az veya çok katlı olmasından etkilenmediği görülmüştür. Fakat özellikle moment taşıyan çelik çerçevelerin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarların fazlalığı dikkat çekmiştir (Castellano ve ark, 2009).

Northridge ve Kobe depremlerinden sonra, hasarların nedenini araştırmak amacıyla kolon-kiriş bağlantı noktalarında birçok deneysel program geliştirilmiştir. 1990'lı yıllardan itibaren depreme karşı yapısal kontrolün araştırılması ve geliştirilmesi adına önemli gelişmeler yaşanmıştır (Chana ve ark, 2008).

Northridge ve Kobe depremlerinden sonra yapılan araştırmalarla beraber kolon-kiriş kesişim bölgelerinde ilk kez yarıklı sönümleyiciler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kolon-kiriş kesişim bölgelerine yerleştirilen bu sönümleyiciler ile kolon ve kirişlerde hasar oluşmadığı görülmüştür. Yapılan deneylerde tersinir yükler kolon ve kirişlere hasar vermeden sönümlenmişlerdir (Oh ve ark, 2009).

Deprem esnasında yapıya etki eden kuvvetlerin neden olduğu davranışı engellemek amacıyla yapılan deneylerde, kolon-kiriş bölgelerine yerleştirilen elemanlar sayesinde yapıya etkileyen deprem kuvvetlerinde azalma görülmüştür. 1994 yılında meydana gelen Northridge depreminden sonra yapıların kolon-kiriş bölgelerinde oluşan hasarların en önemli nedeni kolon-kiriş gövdesinde yapılan kaynakların yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır (James, 1998).

Yapılan çalışmalar, çelik çerçeveli sistemlerdeki güçlendirmelerin odaklandığı noktanın genellikle kolon-kiriş bölgesi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bölgedeki kaynakları güçlendirmek amacıyla yapılan iyileştirmelerin yanı sıra, sistem üzerine eklenen guseler şeklindeki levhaların kaynakları da gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde birleşim noktalarının daha sağlam ve performanslı hale geldiği gözlemlenmiştir (Civjan, 2000).

Northridge depreminden önceki ve sonraki tasarımları kıyaslayan bir tez çalışmasında, deprem öncesi tasarımlarda uygulanan geleneksel kaynak tipli çerçevelerin ağır hasarlar aldığı, deprem sonrası tasarımlarda uygulanan kaynak tipli çerçevelerin ise

daha sünek davrandığı görülmüştür. Northridge depreminden sonra oluşan hasarlar göz önünde bulundurulmuş ve kolon-kiriş bölgelerindeki zayıflatılmış birleşimler araştırılarak çözüm nerileri sunulmuştur (Tezer, 2005).

Deprem bölgelerinde elik çerçeveli yapıların avantajları ve deprem etkilerine karşı performansları incelenmiştir (Hattap,2005).

Yapılan tasarımlar deneysel ve analitik bazda incelenerek sonuçlar karılatırılmıtır. Ohsaki ve ark. (2009), elde edilen deneysel sonuçlarla ABAQUS programının sonuçlarını; Diaz ve ark. (2011) ise elde edilen deneysel sonuçlarla ANSYS programının sonuçlarını karılatırmıtır. Karılatırılan bu sonuçların birbirileriyle uyum gösterdikleri gözlemlenmiştir.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çelik Yapılara Genel Bakış

3.1.1 Çelik yapıların avantajları ve dezavantajları

Doğada cevher halde olan demirin, dövülüp preslendikten sonra haddeden geçirilerek şekil verilen haline çelik denir. Yapı malzemesi olarak kullanılan çelik, tüm özellikleri aynı doğrultuda ve aynı yönde olan homojen ve izotrop bir malzemedir (Tunaboşlu, 2007).

Çelik yüksek ölçüde demir, düşük ölçüde karbon içeren bir alaşımdır. Karbon miktarının artması çeliğin dayanımını artırır fakat bunun sonucunda çelik daha gevrek hale gelmektedir. Yapısal çeliğin sünek ve yüksek dayanımlı olmasını sağlamak amacıyla üretiminde karbonun yanı sıra kükürt, azot, fosfor, manganez, krom, bakır, silisyum ve nikel gibi elementler de kullanılmaktadır (Tansel, 2010).

Çelik yapısal olarak yüksek dayanımlı olmasına rağmen taşıdığı yüke oranla öz ağırlığı oldukça küçüktür. Böylelikle yapının toplam ağırlığı azalmaktadır. Farklı yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında çeliğin elastite modülü çok yüksektir. Bu sebeple yapıdaki dinamik yüklere, stabilite sorunlarına ve titreşimlere karşı uygun bir davranış göstermektedir. Ayrıca sehim problemlerine karşı taşıyıcı sistem boyutlandırılmasında çok daha ekonomik kesitler sunmaktadır (Tansel, 2010).

Çeliğin çekme dayanımının yüksek olması, çelik yapıların mimari tasarım özelliklerini artırmaktadır. Sünek özelliği sayesinde şekil değiştirme kapasitesi bulunmaktadır. Bu özellikle beraber çelik yapıların kullanımı zeminlerde oluşan oturma sorunlarında ve deprem bölgelerinde önem kazanmaktadır (Tansel, 2010).

Çelik yapı malzemelerinin değiştirme ve takviye olanaklarından dolayı malzeme zaiyatı oldukça azdır (Tunaboşlu, 2007).

Çelik elemanların atölyelerde yapılmaları, inşaat yapımı sırasında hava koşullarından etkilenmemesini sağlamakta ve yapım süresini kısaltmaktadır (Tansel, 2010).

Çelik yapı elemanlarının değiştirilme ve takviye olanaklarının kolay olması, söküldükleri zaman daha az bir kayıpla tekrar kullanılması çelik yapı kullanımının avantajları arasında gösterilmektedir. Buna ek olarak yapının tümüyle başka bir yere nakledilmesi de gösterilebilir (Tansel, 2010).

Çelik yapılar geri dönüştürülmeye müsait malzemelerdir. Çevrenin korunması açısından da avantajlı görünen bu yapıların tamamı kalite ve güvenilirlik kaybı olmadan dönüştürülebilmektedir (Tansel, 2010).

Çeliğin sıcak üretim sonrası soğuk işleme maruz bırakılması sonucu oluşan çelik malzemesine yeni özellikler kazandırılmaktadır (Dikmen, 2022).

Betonarme elemanların çekme dayanımları düşük, basınç dayanımları yüksektir. Fakat çelik yapı elemanlarının hem basınç hem de çekme dayanımları çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Çelik yapılar sayesinde deprem etkileri en aza indirgenmektedir. Bu avantajlarına karşın çelik malzemeler, metal ya da metal alaşımların buldukları ortamda kimyasal ya da elektrokimyasal tepkimesi sonucu bozunma ve tahrip olması olayı olarak tanımlanan korozyondan oldukça fazla etkilenmektedir (Dikmen, 2022 ve Onaran ve ark., 1991).

Korozyon aynı zaman da metallerin veya alaşımların özelliklerini kaybetmesi sonucu daha kararlı bir hale geçmesi olarak da tanımlanabilmektedir (Gerengi ve ark., 2009).

Korozyon sonucunda çelik malzeme zayıflayarak görevini yerine getirememekte ve kazalara yol açabilmektedir (Konuklu, 2007).

Çelik yapıları korozyondan koruyabilmek amacıyla deniz gibi tuzlu sulardan korumak gerekmektedir. Çelik yapı elemanları korozyona uğradıklarında yüzey tabakalarından kütle kaybetmektedirler. Böylelikle yük taşıma kapasitelerinde düşüşler meydana gelmekte ve yapının stabilitesini bozmaktadır (Teng ve ark., 2012).

3.1.2 Çelik yapıların kullanım alanları

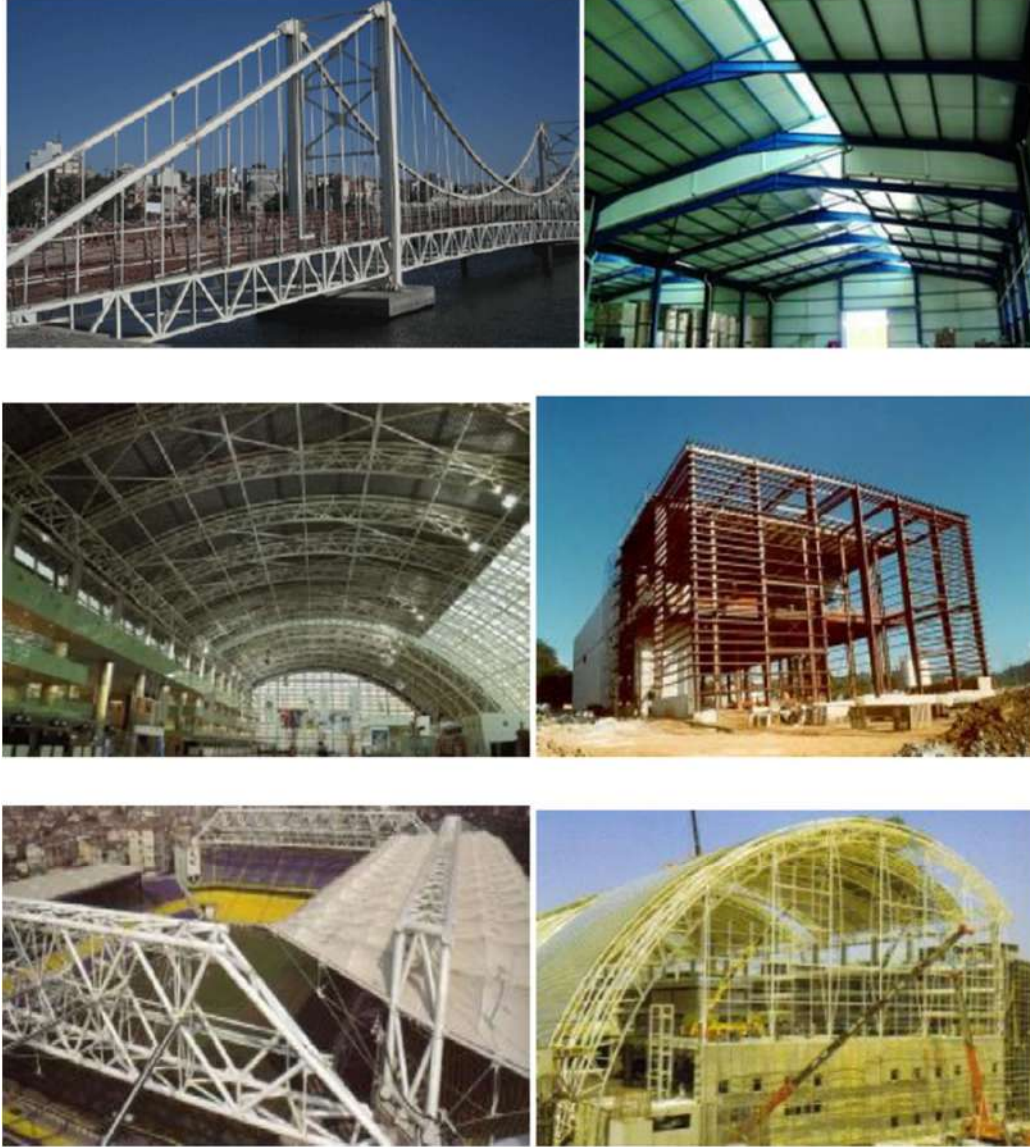
Çelik sektörü, teknolojik olarak sürekli gelişme halinde olması, ticaret sektöründe güçlü pay sahibi olması, işgücü istihdam etmesi, diğer sektörler için de itici bir güç olması gibi sebeplerle, ülkelerin ekonomik anlamda gelişmelerine etki etmektedir (Yücekul, 2012).

Çelik yapılar büyük açıklıklı köprülerde, endüstri yapılarında, spor salonlarında, taşıyıcı sistemleri özel yapılarında, hızlı yapılması gereken yapılarında, temel zemini zayıf yapılarında, yatay yüklere dayanıklı yapılarında, çok katlı ve yüksek yapılarında kullanılmaktadır (Tunaboğlu, 2007).

Çelik yapılar sanayi inşaatlarında, gemi inşaatlarında, çelik ve mobilya eşyaları gibi birçok sektörde de kullanılmaktadır (Dikmen, 2022).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sıklıkla kullanılan çelik yapı malzemeleri Türkiye’de kendine çok fazla yer bulamamıştır. Beton yapıların çelik yapılara göre daha

ekonomik olduğu düşünöldüğünden, betonarme yapılar çelik yapılara göre daha fazla kullanılmaktadır. Halbuki çelik yapıların uygun bir sistem ile çok daha ekonomik çözümler sağladığı bir gerçektir. Bu nedenler göz önünde bulundurulduğunda çeliğin ölkemizde yeterli yer bulamamasının başlıca sebebi çelik yapı tasarımlarının proje, imalat, montaj ve kontrol aşamalarında yer alacak olan vasıflı eleman eksikliğidir (Koçdağ, 2008).



Şekil 3.1. Çeşitli çelik yapı sistemleri (Tunaboşlu, 2007)

3.2 Çelik Yapıların Depreme Karşı Enerjisinin Sönümlenmesi ve Hareketlerinin Sınırlandırılması

Depremler yapılara verdikleri hasarlar sebebiyle can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Deprem etkilerini azaltmak, yapıların ağır hasar almalarını engellemek ve bu kayıpların önüne geçmek büyük önem arz etmektedir. Yapıların olası bir depreme karşı dayanması gerekmektedir. Bu yapıların olası bir depremde nasıl tepki vereceği ve nasıl hasar alacaklarına dair araştırmaların önemi gün yüzüne çıkmıştır. Yapıların depreme karşı enerjilerinin sönümlenmesi, böylelikle oluşacak hasarların en az seviyeye indirgenmesi için çalışmalar yürütülmüştür. Yapıya entegre edilecek olan izolatör ve sönümleyiciler yapının hasar almasını engelleyecektir (Yılmaz, 2019).

Dinamik etkiler altındaki yapılarda oluşan titreşim enerjileri sürtünme ve plastik deformasyonlar ile sönümlenmektedir. Çelik yapılarda bu sönüm oranı %2 iken betonarme yapılarda yaklaşık olarak %5'tir. Pasif enerji sönümleyicileri hem mevcut yapılarda hem de yeni inşa edilecek olan yapılarda kullanılarak yapıların rijitlik ve dayanımlarının artmasına katkı sağlamaktadır (Ünal Aldemir,2005).

3.2.1 Deprem izolatörleri

Deprem izolatörleri yapının temelden gelen hareketini engelleyen sönümleyicilerdir. Sismik enerjileri absorbe edilmesinde kullanılmaktadır. Yapının temeliyle üst yapısını birbirinden ayıran bu sistemler en çok kullanılan sönümleyicilerdendir. Bu sönümleyiciler, Japonya'nın Shizuoka şehrinde yapılan çelik taşıyıcı sistemde kullanılarak yapı mukabelesinde %70-80 oranında azalma gözlenmiştir (Ünal Aldemir,2005).

Bu tür izolatörler kolon altı sönümleyiciler olarak da geçmekte olup, oluşan deprem etkilerini bir üst kata iletmeyen sönümleyici türleridir (Aldemir,2005).



Şekil 3.2. Viskoz akışkanlı sönümleyici (Aldemir,2005)



Şekil 3.3. SUT binası, Shizuoka, 1993 (Aldemir,2005)



Şekil 3.4. Kolon altı sönümleyici-1 (URL-01)

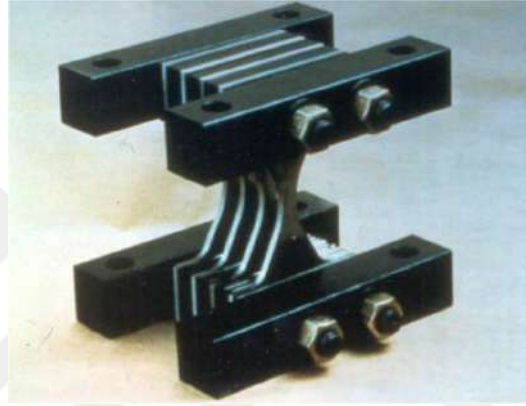


Şekil 3.5. Kolon altı sönümleyici-2 (URL-02)

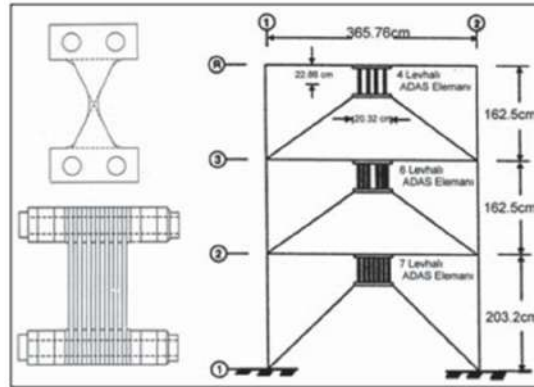
3.2.2 Deprem sönümleyicileri

3.2.2.1 Metalik sönümleyiciler

Bu çalışmanın amacına da hizmet eden metalik sönümleyiciler özellikle de çelik yapılara uygulanmaları diğer yapılara oranla daha kolaydır. Sismik enerjiyi sönümleme yollarından biri olan bu sönümleyiciler farklı şekillerde kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan X şekilli bir levha sönümleyicisi ADAS (Added Damping and Stiffness) Şekil 3.6 'da gösterilmektedir (Aldemir, 2005).



Şekil 3.6. ADAS (Koroğlu, 2012)



Şekil 3.7. X şekilli ADAS metalik sönümleyicisi (Aldemir, 2005)

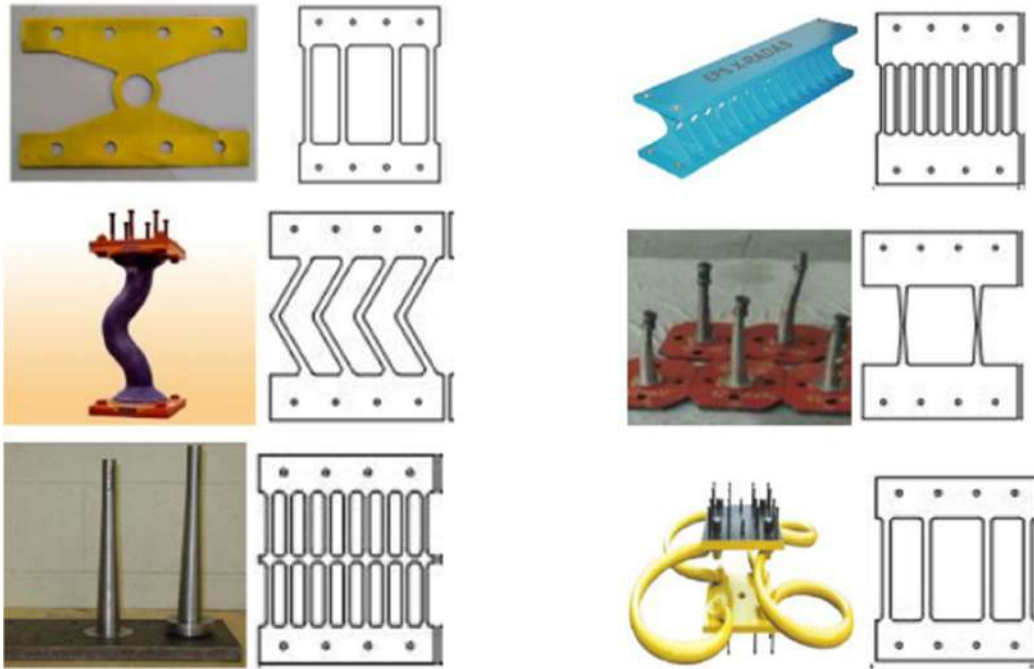
Bu sönümleyicilerin üçgen şekillisine ise TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness) adı verilmektedir (Tsai ve ark., 1993).



Şekil 3.8. “TADAS” türü metalik sönümleyici (Köroğlu, 2012)

Bunlar dışında petek sönümleyiciler (Kobori ve ark., 1992), çan şekilli sönümleyiciler, pi sönümleyiciler ve kurşunlu metalik sönümleyiciler de mevcuttur (Köroğlu, 2012).

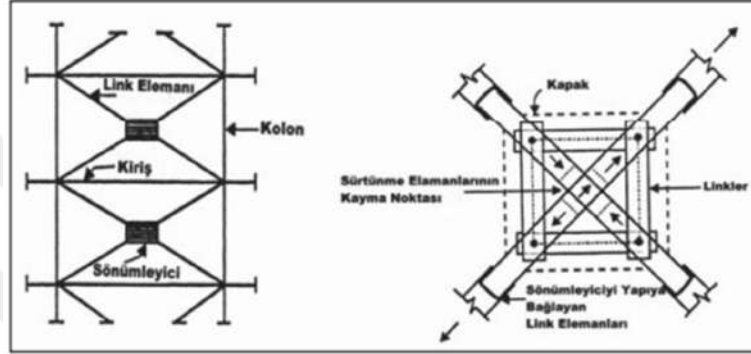
Bu çalışmada kullanılan ve çelik plaka üstünde delikler açılması ile oluşturulmuş sönümleyicilere ise yarıklı sönümleyici ismi verilmektedir. Northridge depreminden sonra pasif enerji kullanımının yaygınlaşması ile beraber yarıklı sönümleyiciler birçok farklı şekil ve ebatla kullanılmıştır (Köroğlu, 2012).



Şekil 3.9. Farklı şekil ve geometrideki metalik sönümleyiciler (Köroğlu, 2012)

3.2.2.2 Sürtünme tipi sönümleyiciler

Orta şiddetli depremlerde ve rüzgar yükleri altında kaymayacak şekilde tasarlanan Pall sönümleyicileri şekilde gösterilmektedir. Kanada’da kullanılan bu sönümleyicilerin yanı sıra, Japonya’nın Omiya şehrinde 31 katlı çelik sistemli yapıya Sumitomo tipi sönümleyiciler eklenerek yapıda oluşan deprem etkilerinin azaltılması sağlanmıştır (Aldemir, 2005).

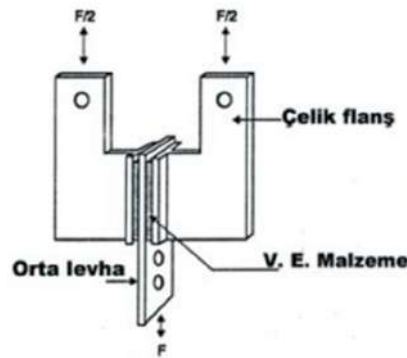


Şekil 3.10. Pall sürtünme tipi sönümleyici (Aldemir, 2005)

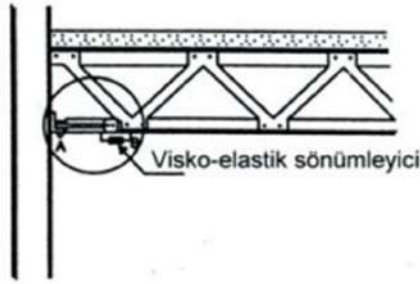
3.2.2.3 Visko-elastik sönümleyici

Rüzgar yüklerine ve deprem etkilerine karşı uygulamaları yapılan visko-elastik katı malzemeler ilk olarak 1969 yılında 11 Eylül saldırılarında yıkılmış çelik taşıyıcılı sistem olan Dünya Ticaret Merkezi’nin İkiz Kuleleri’nde uygulanmıştır (Aldemir, 2005).

Çelik levhalar arasına yerleştirilen bu sönümleyiciler kayma deformasyonlarıyla enerjiyi sönümlemektedir. Visko-elastik sönümleyicilerin çelik yapılara uygulanması diğer malzemelere kıyasla daha kolay olmaktadır. Taipei’de bir çelik yapıya bu sönümleyiciler eklenerek deprem etkisi altında inceleme yapılmıştır. Yapılan inceleme de sönümleme oranının arttığı görülmüştür (Aldemir, 2005).



Şekil 3.11. Visko-elastik sönümleyici (Aldemir,2005)



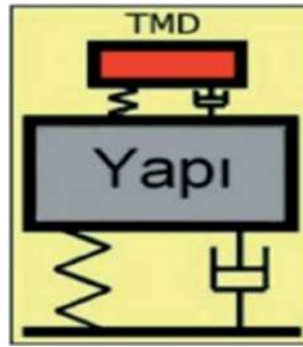
Şekil 3.12. Dünya Ticaret Merkezinde kullanılan visko-elastik sönümleyicilerin yerleşim detayı (Aldemir, 2005)

3.2.2.4 Ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD)

Asıl yapıya paralel yay ve viskoz sönümleyiciler ile bağlanan sönümleyicilere ayarlı kütle sönümleyicileri adı verilmektedir. Bu sönümleyiciler istenilen titreşim modu ayarlanarak, yapıdaki titreşim enerjisinin bir kısmını sönümleyerek yapının titreşim enerjisini azaltmaktadır. Avustralya, Amerika ve Dubai gibi ülkelerdeki yapılarda kullanılmalarının yanı sıra köprülerin yapımında da tercih edilmektedir (Aldemir, 2005).



Şekil 3.13. Çelik kafes sisteme viskoz akışkanlı sönümleyici uygulaması (Aldemir, 2005)



Şekil 3.14. TMD'nin mekanik modeli (Aldemir, 2005)

3.3 Çelik Yapılarda Deprem Sonrası Oluşan Hasarlar

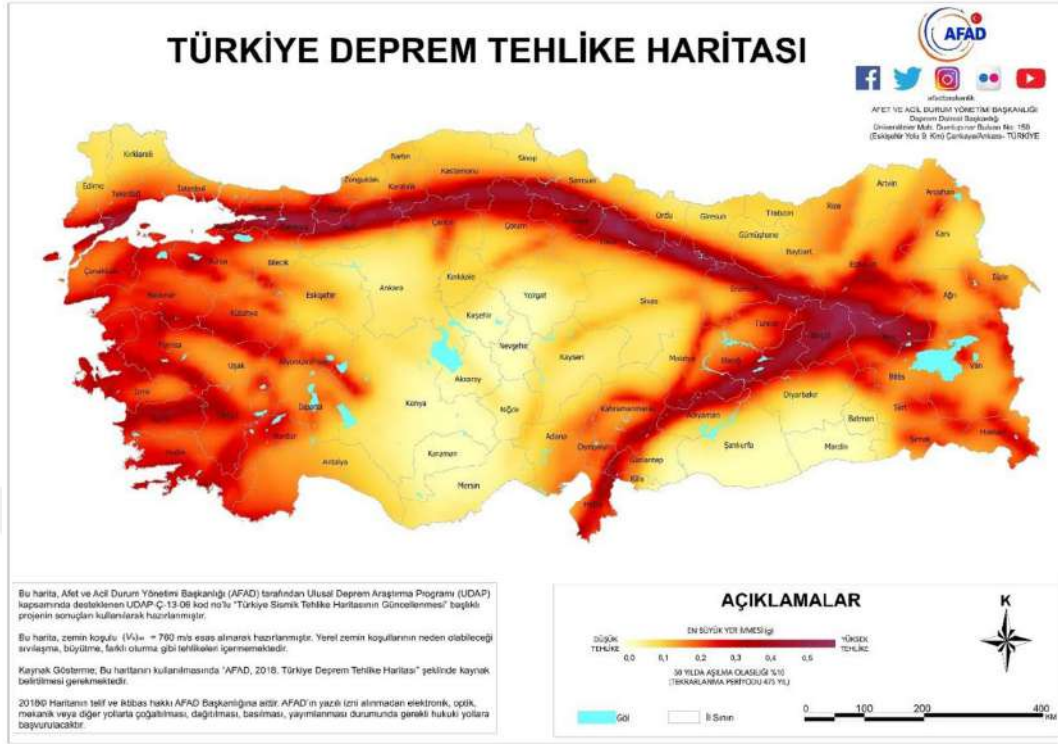
Ülkemiz coğrafi konumu sebebiyle deprem kuşağında yer almakla beraber, yıkıcı, ağır ve telafisi zor depremler yaşamıştır. Yapıların deprem kaynaklı davranışlarının iyileştirilmesi deprem mühendisliği açısından önem teşkil etmektedir. Buna karşın olası bir deprem sonrasında yapının nasıl bir performans sergileyeceğine dair endişeler mevcuttur (Altay ve ark., 2002).

Ülkemizin yüzölçümünün %90'ı deprem bölgesinde yer almaktadır (Lorents, 2008). Yapılara gelen dış etkiler arasında deprem önemli bir paya sahiptir. Depremler, yer kabuğunun içinde birikmiş olan enerjinin boşalması sırasında zemin hareketleri meydana getirmektedir (Atabey, 2000).

Deprem yönetmeliğinde, genel olarak yapıların küçük depremlerden hasar almaması, büyük depremlerden can güvenliğini sağlayan yeterli hasarla atlatması, çok büyük depremlerde ise yapının göçmemesi hedeflenmektedir (Aynur, 2017).

Yapı tasarımını sağlayan en önemli kriter yapıya etki eden yüklerdir. Bu yükler yatay ve düşey olarak adlandırılır. Düşey yükler, hareketli ve ölü yüklerden oluşmaktadır. Hareketli zati yüklerle ek olarak düşey deprem yükleri de tanımlanmıştır. Yapıya etki eden düşey yükler yapıların kullanım amaçlarına bağlı olarak değişmektedir. Yatay yükler ise genel olarak deprem yükleri ve rüzgar yüklerinden meydana gelmektedir. Bu yüklerin belirlenmesinde ise iklim koşulları ve zemin özellikleri gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Ülkemiz 1. Derece deprem kuşağında yer almakta ve bu sebeple büyük depremlere maruz kalmaktadır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi, 27 Ocak 2003 Tunceli Pülümür depremi, 8 Mart 2010 Elazığ Karakoçan depremi, 19 Mayıs 2011 Kütahya Simav depremi, 23 Ekim 2011 Van depremi geçmişte yaşadığımız önemli depremlere örnek olarak verilebilir. Yapıların depreme dayanıklı inşa edilebilmeleri için yönetmeliklere bağlı projeler üretilmeli ve yapım aşamasında ise projelere bağlı kalınması esas teşkil etmektedir. Yapıların inşası sırasında da kontrollerin sağlanması ve denetlemelerin aksatılmadan yapılması gerekmektedir. Her ne kadar yönetmeliklerde yer alsa da firmalar tarafından dikkate alınmamakta ve bu sebeple yapıların performansını etkileyecek sorunların ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır (Şahin, 2019).

Geçmişte yaşanan ve ileride de yaşanılması muhtemel olan felaketler düşünüldüğü zaman, yapıların performansının belirlenmesi konusunun önemi gözler önüne serilmektedir (Şahin, 2019).



Şekil 3.15. Türkiye deprem tehlike haritası (Şahin, 2019)

Yerkabuğu içinde meydana gelen kırılmalar sebebiyle yeryüzünde oluşan sarsıntılara deprem denir (Koroğlu, 2012). Ülkemiz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından biri olarak kabul edilen Akdeniz-Alp-Himalaya deprem kuşağının üzerinde yer almaktadır. Ülkemizde nüfusun %98'i deprem tehdidiyle karşı karşıya olmasına rağmen sanayi merkezlerinin %98'i ve baraj bölgelerinin de %93'ü deprem bölgelerine inşa edilmektedir (TMMOB, 2012). Ülkemizde son yıllarda oluşan ve yüksek oranda can ve mal kayıplarına sebep olan depremler çizelge 3.1'de verilmiştir. (Altun, 2018 ve Balık, 2012). Ülkemizdeki yaşanmış ve yaşanacak olan depremler, depreme karşı güvenlik konusunu önemli hale getirmektedir. Bu nedenle yapıların can ve mal güvenliği esas alınarak inşa edilmesi gerekmektedir (Balık, 2012).

Depremler yapılara hasar vermesi sonucunda can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Can güvenliğinin korunması, ekonomik kayıpların engellenmesi ve yaşamsal aktivitelerin normal bir şekilde devam edebilmesi amacıyla depremlerden korunmak gerekmektedir. Deprem sonrası hastane gibi özel yapıların tasarımında özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2019).

Ülkemizdeki yapı stoğuna bakıldığında özellikle Marmara Bölgesi'nde bulunan yapıların büyük bir kısmı risk altındadır. Deprem tehlikesi altında yaşayan ülkelerde

depremin yapılara etkisi ile ilgili çalışmalar sürdürülmekte, yeni yönetmelikler oluşturulmakta ve mevcut yönetmelikler de geliştirilmektedir (Yılmaz, 2019).

Geçmişte ve günümüzde insanlığın karşılaştığı felaketlerde ön plana çıkan depremler, can ve mal kaybına sebep olmaktadır (Altun, 2018).

Deprem kuvvetlerinin etkisi altındaki yapıların göçmemesi veya depremi ufak hasarlarla atlatabilmesi sadece yeterli mukavemetle değil, yapının rijitlik ve süneklik özellikleriyle de doğrudan ilgilidir (Beyli, 2002). Depremlerin öncesinde yapı veya elemanlarının kapasite artışının istenilen seviyeye çıkarılmasına güçlendirme, hasar görmüş yapıların önceki durumuna getirilme çalışmalarına ise onarım denilmektedir. (Altın, 2008).

Yapılarda depreme karşı planlanmış olan çalışmaların temel hedefi; yapı ve elemanlarının rijitlik ve sünekliklerini artırmak, yapıların deprem esnasında enerji sönmüleyebilme kapasitelerini artırmak olarak sayılabilir (Balık, 2012).

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması deprem mühendisliği konusunu gündeme getirmektedir. Bununla birlikte araştırma ve geliştirme de artış yaşanmış, bilgisayar destekli teknolojinin ilerlemesi ile depreme dayanıklı yapı tasarımının ve mevcut yapıların deprem davranışlarının daha detaylı incelenmesine olanak sağlanarak, performansa dayalı tasarım tarzı önem kazanmıştır (Erkan, 2017).

Dünyada son yıllarda oluşan depremlerden Northridge (1994, California, ABD), Hyogoken-Nanbu (1995, Japonya) ve Chi-Chi (1999, Tayvan) çelik ve kompozit yapılarda beklenmeyen hasarların ortaya çıktığını göstermiştir. Yapılan incelemeler de bütün çelik yapıların kusurlu olduğu gözlemlenmiştir (Mahin, 1998). Araştırılan yapı yükseklikleri veya yaşları farketmeksizin çelik yapıların kolon-kiriş bölgelerinde kaynak kırılmaları tespit edilmiştir (Miller, 1998).

Yapılan araştırmalarda malzeme kalitelerinin, kesitli elemanların, düşey taşıyıcıların, projelendirmelerin, temel sistemlerinin yetersiz olması, güçlü kiriş zayıf kolon bulunması, kolon-panel bölgesinin dayanım azlığı, yatay ve düşey elemanlardaki bağlantıların zayıf olması gibi nedenler göze çarpmaktadır (Dı Sarno ve Elnashai, 2002).



Şekil 3.16. San Francisco depreminden sonra bir görüntü (Earthquakes i.s.)

Şekil 3.16’da görülen yapı 1906 yılında oluşan San Francisco depreminden sonra meydana gelen hasarlara örnek olarak verilebilir. Görüldüğü gibi yapı hasar almasına rağmen taşıyıcı elemanlarıyla beraber ayakta kalmayı başarmıştır (D1 Sarno ve Elnashai, 2002).



Şekil 3.17. Cordova Binasının genel görünümü (D1 Sarno ve Elnashai, 2002)



Şekil 3.18. Cordova Binasının deprem sonrası bir görünümü (Dı Sarno ve Elnashai, 2002)

1964 yılında meydana gelen Alaska depremi sonrası Cordova binasında burulma hasarları oluşmuştur.



Şekil 3.19. Mexicocity’de yüksek katlı Pino Suarez binasında kutu kolonlarda oluşan lokal burulma

(Dı Sarno ve Elnashai, 2002)

1985 yılında meydana gelen Mexicocity Michoacan depreminde çelik çerçevesi 43 katlı Latin Amerika, 50 katlı PeMex yapıları zarar görmezken Pino Suarez Complex yapısında lokal olarak burulmalar görülmüştür (Köroğlu, 2012).

1994 yılında California’da oluşan Northridge depreminde bütün çelik yapılarda hasarlar oluşurken, en yoğun hasarların kolon-kiriş bölgelerinde olduğu gözlemlenmiştir (D₁ Sarno ve Elnashai, 2002).



Şekil 3.20. Peter J. Maranian tarafından çekilen Northridge depreminden sonra 2 katlı çelik bir yapıda oluşan hasar (D₁ Sarno ve Elnashai, 2002)

1995 yılında meydana gelen ve 6000 kişinin hayatını kaybettiği Kobe’deki Hyogoken-Nanbu depremi sonrasında da çelik yapılarda benzer hasarlar görülmüştür (Nakashima ve ark., 1998).



Şekil 3.21. EERI tarafından 1995 Kobe depreminde çelik çaprazlı bir çelik yapıda oluşan hasar (Tremblay ve ark. 1996)

Ülkemize geldiğimizde ise 1999 yılında yaşanan Adapazarı depremiyle çelik yapı hasarları tespit edilmeye başlanmıştır. Çelik yapı sorunlarının çok bilinmemesinin en büyük nedenlerinden biri olarak yapılarda betonarme tercih edilmesi gösterilebilir (Kaltakçı ve ark., 2007).

Adapazarı depreminde en çok hasar alan yapılardan biri Adapazarı Vagon Fabrikası’dır (Kaltakçı ve ark., 2007).



Şekil 3.22. Adapazarı vagon fabrikasında meydana gelen deprem hasarı (Kaltakçı ve ark., 2007)



Şekil 3.23. Adapazarı vagon fabrikasında meydana gelen deprem hasarı (Kaltakçı ve ark., 2007)

06.02.2023 tarihinde meydana gelen ve ülkemizi derinden yaralayan Kahramanmaraş depreminde resmi rakamlara göre en az 53537 insan hayatını kaybetmiş ve toplamda da 122000'den fazla insan yaralanmıştır. Depremi ardından da 40000'den fazla artçı sarsıntı meydana gelmiştir (URL-08).

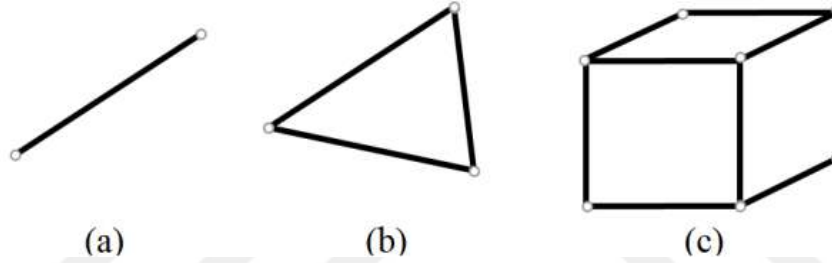
Çizelge 3.1. 6 Şubat Depremi sonrası yıkılan bina sayılarının illere göre dağılımları (URL-08)

DEPREMDEN ETKİLENEN İLLER	YIKIK BİNA
ADANA	88
ADİYAMAN	5.826
DİYARBAKIR	21
ELAZIĞ	56
GAZİANTEP	3.783
KAHRAMANMARAŞ	7.307
MALATYA	4.238
HATAY	13.883
KİLİS	448
OSMANİYE	649
ŞANLIURFA	633
TOPLAM	36932

Çelik yapı tasarımlarının dönüm noktası olarak kabul edilen Northridge depreminde belirlenen hasarlar Northridge öncesi ve sonrası depremler olarak iki kategoride incelenmiştir.

3.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi birçok mühendislik alanında karşılaşılan problemleri çözmek amacıyla kullanılan sayısal hesaplama yöntemlerindedir. Bu yöntem uygulanırken karmaşık yapıların daha küçük yapılara dönüştürülerek hesaplamaların kolaylaşması sağlanmaktadır. Sonlu eleman yönteminde farklı modeller mevcuttur. Tek boyutlu çizgi modeli, iki boyutlu düzlemsel model ve üç boyutlu katı model şeklinde gruplandırılabilir. Modellemenin şekline uygun olarak eleman tipi atanır (Değer, 2020).



Şekil 3.24. (a) Bir boyutlu çizgisel eleman, (b) iki boyutlu düzlemsel eleman, (c) üç boyutlu katı eleman (Değer, 2020)

Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak yapı analizi yapılması amacıyla kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda araştırmacılar tarafından yürütülen nonlineer problemler sonrasında, statik problemlerin dışında dinamik problemlerin de sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmesi çalışmaları yürütülmüştür. 1970-1980 yıllarında kullanılmaya başlayan sonlu elemanlar paket programları günümüzdeki hali ile mikro bilgisayarlarda kullanılmaktadır (Değer, 2020).

Sonlu elemanlar yöntemi, farklı sayısal yöntemler içinde bilgisayar yazılımı oluşturma konusunda daha uygun formülasyona sahiptir. Nonlineer malzeme davranışı, heterojen yapı malzemeleri ve karmaşık sınır koşulları gibi zor problemlerin çözümünde, sistematik olarak programlamaya uygun olması, farklı mühendislik dallarındaki problem çözümlerinde kolaylık sağlamaktadır (Değer, 2020).

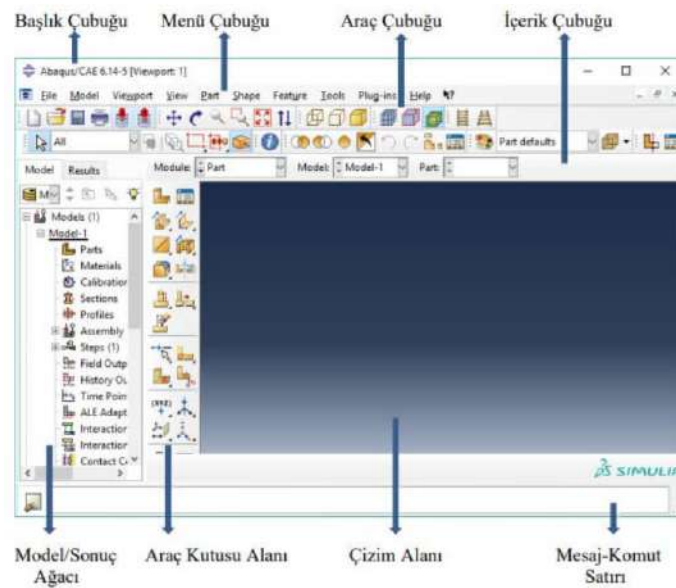
Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beraber yapılan analitik çözümler yerini sayısal çözümlere bırakmıştır. Mühendislik alanlarında sonlu elemanların kullanımı endüstriyel açıdan oldukça büyük gelişmelere yol açmıştır. Deneme yanılma ile elde edilen sonuçlar veya yapılan kabullerin yerine hassas çözümlerin elde edilebildiği, zaman

ve maliyet açısından avantaj sağlayan sonlu elemanlar analizi kullanılmaktadır. Temel olarak bu analizler, karmaşık bir yapıyı sonlu elemanlara ayırarak belirlenmiş sınır şartları ve dış yüklerin altında malzemede oluşacak davranışın tahmin edilmesini içeren sayısal bir yöntemden oluşmaktadır. Sonlu elemanların analizlerinde tahmin hassasiyeti çok önemli olup, oluşturulan sonlu elemanlar modelleri hesap parametreleri içermekte ve bu parametreler çözüm hassasiyetini doğrudan etkilemektedir (Ahmed, 2016).

Şekil verme yöntemlerinde malzemelerde oluşan plastik deformasyonların modellenmesi amacıyla malzemelerin elastik ve plastik davranışlarını tanımlayabilen modeller gerekmektedir. Bu modeller sonlu elemanlar yönteminde malzeme modelleri olarak tanımlanmaktadır. Malzeme modellerinin ve parametrelerinin doğru belirlenmesi mühendislik açısından oldukça yüksek bir öneme sahiptir (Ahmed, 2016).

Günümüzde kullanılan paket programlardan biri olan ABAQUS programı, mekanik bileşenlerin modellenmesi için kullanılan sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analiz sonuçlarını görselleştiren bir yazılımdır. Modelleme işlemlerinin çözümünü inceleme, sürece müdahil olma ve sonuçları inceleme gibi tüm bileşenleri gerçekleştirebilmektedir (URL-09).

ABAQUS programı ara yüzünde başlık çubuğu, komutların hepsine erişim sağlayan menü çubuğu, modellemenin farklı süreçlerinde kullanılan modülleri içeren içerik çubuğu, modellemenin yapıldığı çizim alanı, model parçalarının, malzemelerin, yüklerin ve tüm diğer modelleme detaylarının görüntülediği model ağacı, sonuçların verildiği sonuç ağacı ve komut satırı yer almaktadır (URL-09).



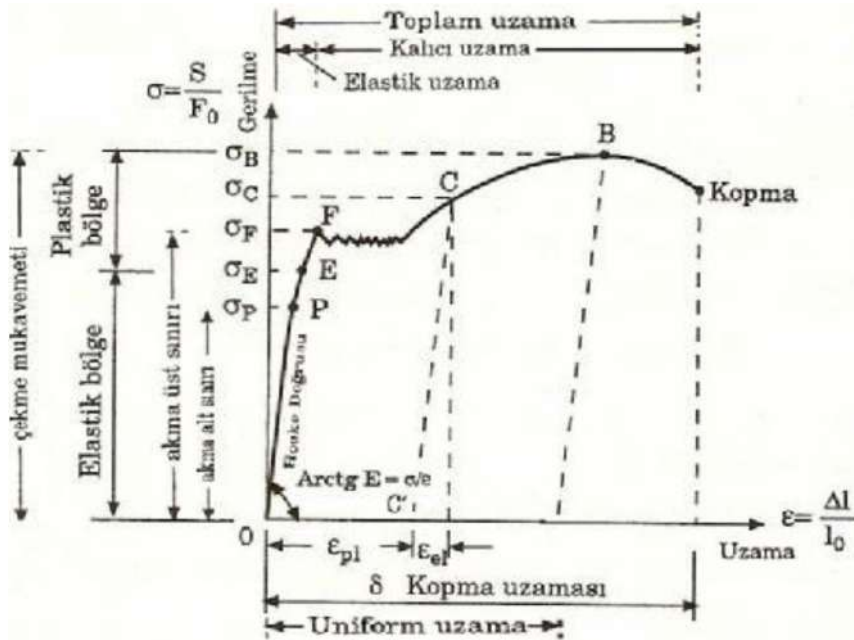
Şekil 3.25. ABAQUS programı menü ve panel

Model oluşturulurken menüde yer alan modüller kullanılmaktadır. Modelleme ve analiz için kullanılan modüller; Part, Interaction, Property, Load, Assembly, Mesh, Step ve Job modülüdür.

3.5 Çelik Malzemesi Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisinin Modellenmesi

Malzemelerin gerilme durumları altında plastik davranışlarının modellenmesi amacıyla akma kriteri, akma ve pekleşme kuralına ihtiyaç duyulmaktadır. Akma kriteri akmanın olduğu sıradaki gerilme bileşenleri arasındaki ilişkiyi, akma kuralı ise gerilme ve gerinim oranı bileşenlerinin arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Pikleşme kuralları, çeşitli kabullere göre pekleşme davranışlarının plastisite modeline entegre edilmesinde farklılık gösterebilmektedir. İzotropik ve kinematik pekleşmelerin ayrı ayrı kullanılması dışında her iki durumu birden modellenebilen plastisite modelleri de geliştirilmiştir (Qin vd., 2018).

Yapı çeliğinin işlenmesi ve kullanılması açısından en önemli özellikleri mukavemet, süneklik, işlenme özelliği, kaynaklanabilirlik ve korozyon dayanımı olarak gösterilebilir. Çekme kuvvetleri ile statik yükler altındaki çeliğin dayanımını tanımlamak için malzemenin çekme mukavemeti, akma sınırı, sertlik özelliklerinden faydalanılır. Çekme mukavemetine ve akma sınırına denk gelen karakteristik değerler çekme deneyi ile belirlenir ve elde edilen kuvvet- uzama diyagramı ile şekil değiştirme diyagramına geçilmektedir (Tansel, 2010).



Şekil 3.26. Gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Tansel, 2010)

Çelik malzemesinin akma üst sınırına ulaşmadan lineer bölgede yer alan doğrunun eğimi ile çelik malzemesinin elastite modülü hesaplanmaktadır. Gerilmelerin deformasyonlarla orantılı olan bu bölge içinde uygulanmış olan kuvvetlerin kaldırılması ile, o zamana kadar oluşan bütün deformasyonlar ortadan kalkar malzeme kuvvet uygulanmamış olan eski haline geri döner. Çeliğin akma sınırına ulaşmadan göstermiş olduğu deformasyona elastik deformasyon denir. Bu sınırların aşılması sonucu oluşan deformasyonlar kalıcı olacağından çizelge 3.2 ve çizelge 3.3'teki emniyet gerilmeleri, akma sınırı baz alınarak tespit edilmiştir (Tunaboğlu, 2007).

Çizelge 3.2. Çekme, basınç ve eğilme için emniyet gerilmeleri (Tunaboğlu, 2007)

ÇELİK CİNSİ	σ_F (kg/cm ²)	σ_{em} (kg/cm ²) (H)	σ_{em} (kg/cm ²) (HZ)
ST37	2400	1400	1600
ST52	3600	2100	2400

Çizelge 3.3. Kayma için emniyet gerilmeleri (Tunaboğlu, 2007)

ÇELİK CİNSİ	σ_{em} (kg/cm ²) (H)	σ_{em} (kg/cm ²) (HZ)
ST37	900	1050
ST52	1350	1550

Malzemenin akma alt sınırına kadar elastik deformasyon özelliği vardır. Bu değerden daha büyük gerilmelerde belirli süre daha elastik deformasyon görülür fakat görülen bu deformasyon lineer değildir. F noktasından itibaren yüklemeye devam edildiğinde ise gerilmelerde herhangi bir artış olmamasına karşın, deformasyonun devam ettiği bölgeye yani akma sınırına ulaşmaktadır. Yükü C noktasına kadar çektiğimizde ise lineer bölgeye paralel çizgi çekerek elde edilen C' noktası plastik şekil değiştirme miktarını göstermektedir. Yüklemeye devam edilip B noktasından sonra gerilme azalmasına rağmen şekil değiştirmeler devam etmekte ve bir süre sonra malzeme kopmaktadır (Tunaboğlu, 2007).

Çelik malzemesinin şekil değiştirme yeteneğinin çok fazla olması, elastite modülünün yükleme ve boşalmada az değişiklik göstermesi sebebiyle çelik malzemesi sünek davranış sergiler. Sünek davranışın görülmesi için yüklemenin elastik bölge üstünde olması gereklidir (Yılmaz, 2019).

Metalik malzemeler elastik deformasyona uğramalarının ardından, akma gerilmesi sınırının aşılmasıyla beraber plastik deformasyona uğrarlar. Plastik deformasyona dislokasyon yığılmaları sebebiyle malzemenin direnci artar ve şekil

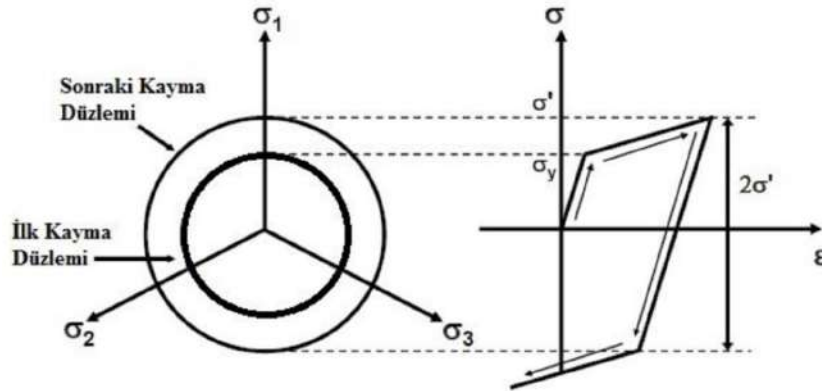
değişimi için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyar. Bu duruma pekleşme adı verilmektedir. Bir başka deyişle pekleşme, malzemelerin deformasyonu esnasında akma davranışlarının gelişim göstermesi olarak da tanımlanabilmektedir (Esener, 2020).

Pekleşme davranışı başlangıçtaki akma gerilmesinin deformasyon esnasındaki gelişimini göstermesi sebebiyle akma yüzeyleri, pekleşme davranışıyla beraber değişim gösterir. Sergilenen bu değişimler pekleşmenin tipini göstermektedir. Malzemelerin plastite davranışlarını temsil eden plastite modelleri pekleşme açısından değerlendirildiğinde izotropik ve kinematik pekleşme olarak iki gruba ayrılmaktadır (Esener, 2020).

3.5.1 Çevrimsel Yükleme Altında Davranış

3.5.1.1 İzotropik pekleşme

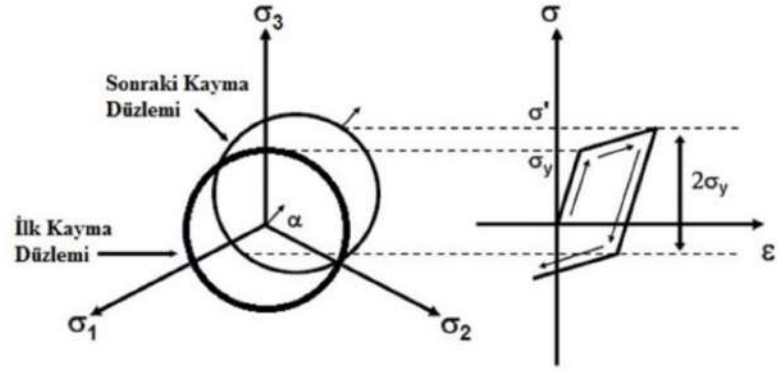
Akma yüzeyinin deformasyon esnasında orantısal olarak genişlemesiyle oluşan pekleşme tipine izotropik pekleşme adı verilmektedir. Bu tip pekleşmede akma davranışı çekme durumunda ve basınç durumunda aynı davranışı sergiler. Bu tip yaklaşım bazı malzemeler için doğru olsa da genel malzeme davranışını tanımlamak da yeterli olmadığı görülmüştür (Xie vd., 2018; Hakansson vd., 2005; Coombs ve Motlagh, 2017).



Şekil 3.27. İzotropik pekleşme davranışının şematik gösterimi (URL-03)

3.5.1.2 Kinematik pekleşme

Akma yüzeyinin deformasyon esnasında boyutsal olarak değişmeden gerilme uzayında konum değiştirmesi ile oluşan pekleşme tipine kinematik pekleşme adı verilmektedir. İzotropik pekleşmenin yeterli bulunmaması sebebiyle akma yüzeyinin boyut değiştirmedeği sadece yer değiştirmiş olduğu kinematik pekleşme kullanılmaktadır. Bu tip pekleşme çekme-basınç yüklemelerinin sonucunda malzeme davranışını tanımlayabilmektedir (Paul vd., 2016).



Şekil 3.28. Kinematik pekleşme davranışının şematik gösterimi (URL-03)

4 ÇELİK YAPILARIN DEPREME KARŞI GÜVENLİ TASARIMI

4.1 Kolon- Kiriş Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Sınıflandırılması

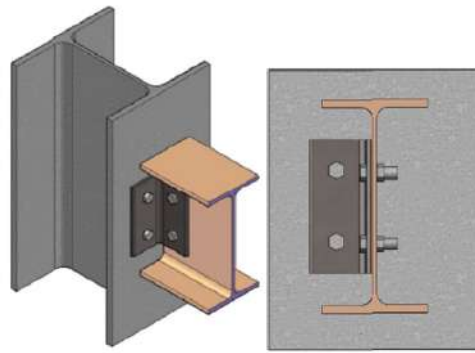
Eurocode 3 birleşimleri rijitliklerine ve taşıma güçlerine göre iki ayrı grupta sınıflandırılır (Yüksel, 2001).

4.1.1 Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması

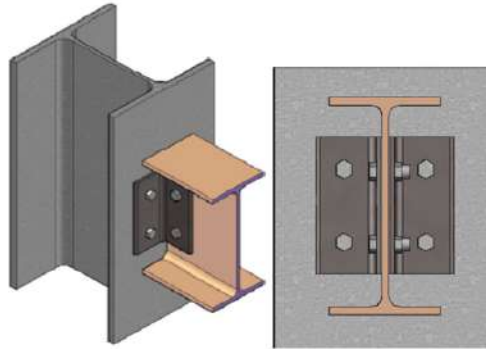
Elastik analizde birleşimler rijitliklerine göre şu tarzda sınıflandırılırlar (Yüksel, 2001).

4.1.1.1 Mafsallı birleşimler

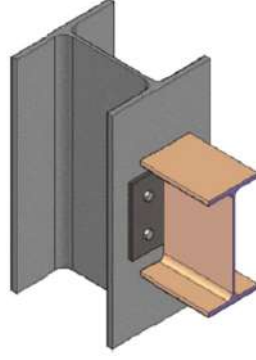
Bu tür bağlantılarda birleşen elemanlar arasında moment aktarımı olmadığı kabul edilir. Bu tip birleşimlerde kirişlerin mesnet reaksiyon kuvvetleri aktarılmasına karşı moment aktarması olmaz. Tek köşebentli gövde birleşimi, çift köşebentli gövde birleşimi ve kısa alın levhalı birleşim olarak üç şekilde birleşim yapılmaktadır (Yüksel, 2001).



Şekil 4.1. Tek köşebentli gövde birleşimi levhalı birleşim (Koroğlu, 2012)



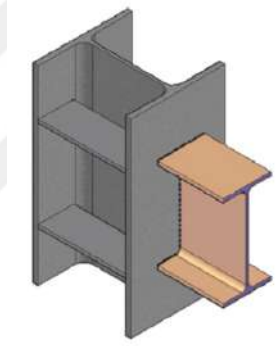
Şekil 4.2. Çift köşebentli gövde birleşimi levhalı birleşim (Koroğlu, 2012)



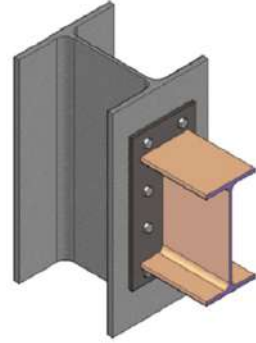
Şekil 4.3. Kısa alın levhalı levhalı birleşim (Köroğlu, 2012)

4.1.1.2 Rijit birleşimler

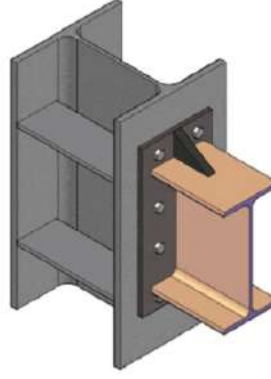
Birleşen elemanlar arasında moment, rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılır. Kısmen kaynaklı ve bulonlu olabilmektedir (Yüksel, 2001).



Şekil 4.4. Kaynaklı rijit birleşim (Köroğlu, 2012)



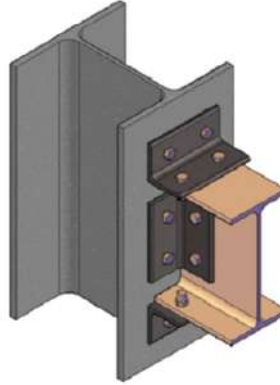
Şekil 4.5. Alın levhalı birleşim (Köroğlu, 2012)



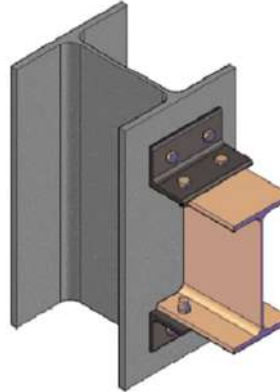
Şekil 4.6. Güçlendirilmiş aln levhalı birleşim (Koroğlu, 2012)

4.1.1.3 Yarı-rijit birleşimler

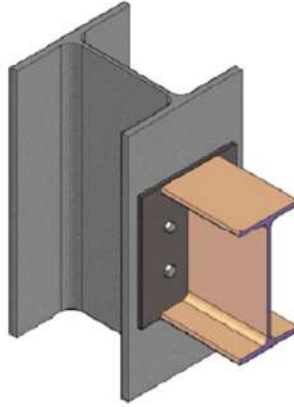
İlk iki sınıfa da girmeyen uygulamadaki gerçek birleşim davranışına uygun birleşimlerdir (Eurocode3,1993). Üretim ve montaj aşamalarında işçilik ve zamandan kazanç sağlaması sebebiyle basit ve rijit birleşimlere kıyasla daha az maliyetlidir (Yüksel, 2001).



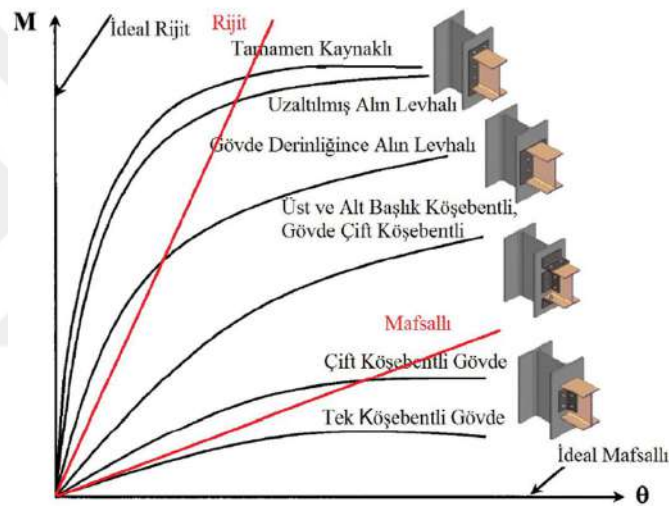
Şekil 4.7. Üst ve alt başlık köşebentli, gövde çift köşebentli birleşim (Koroğlu, 2012)



Şekil 4.8. Üst ve alt başlık köşebentli birleşim (Koroğlu, 2012)



Şekil 4.9. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim (Köroğlu, 2012)



Şekil 4.10. Farklı tiplerde birleşimler için moment-dönme eğrileri (Köroğlu, 2012)

Farklı tiplerde birleşimlere ait Şekil 4.10'daki grafik 1917 yılında Wilson ve Moore tarafından çalışılmıştır. Moment-dönme eğrisi, rijitlik, süneklik ve dayanım hakkında bilgi sağlamaktadır (Yüksel, 2001).

4.1.2 Birleşimlerin taşıma güçlerine göre sınıflandırılması

Plastik analizde birleşimler taşıma güçlerine göre üç farklı şekilde sınıflandırılırlar (Yüksel, 2001).

4.1.2.1 Mafsallı birleşimler

Birleşimin moment taşıma gücü, kirişin taşıyabileceği plastik moment kapasitesinin 0.25 katından büyük değilse ve birleşim yeterli rijitliğe sahip ise, birleşim mafsallı olarak tanımlanmaktadır (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995).

1.4.2.2. Tam dayanımlı birleşimler

Birleşimin taşıma gücünün kirişin plastik moment kapasitesine eşit ve yeterli rijitliğe sahip olduğu birleşimlerdir. Bu birleşimlerde, birleşimin taşıma gücü kirişin plastik moment kapasitesinin en az 1.2 katı ise rijitlik kontrol edilmemektedir (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995).

4.1.2.2 Kısmi dayanımlı birleşimler

Birleşimin taşıma gücü kirişin plastik moment kapasitesinden az ise, kısmi dayanımlı olarak tanımlanmakta ve rijitliğin kontrolüne gerek duyulmamaktadır (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995).

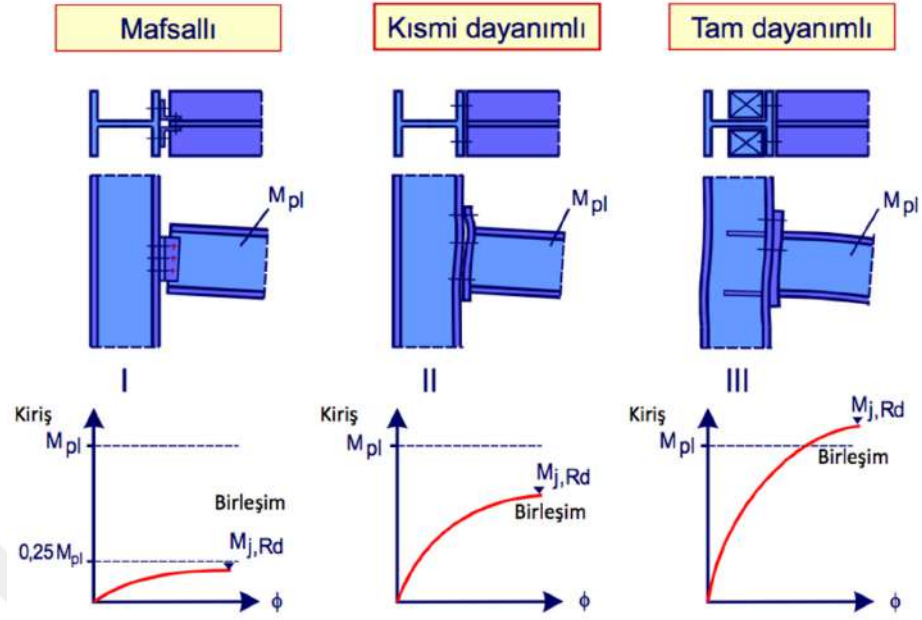
4.2 Çelik Yapıların Tasarım Standartları

Çelik yapı malzemeleri 18. yy. sonlarında ve 19. yy. başlarında kullanılmaya başlanmış ve özellikle endüstriyel devrimler ile beraber kullanımı yaygınlaşmıştır. Kullanılmaya başlandığı zamandan bu zamana kadar geçen süreçte çelik malzemeleri geliştirilerek yeni standartlar oluşturulmuştur. Ülkemizde yeterli itibar görmemesi, çelik hakkında bilgisizlik gibi nedenlerden dolayı dünya ülkeleriyle eş zamanlı çelik malzeme kullanımına geçilememiştir. Bu eksiklik sonrasında farkedilmiş ve çelik malzemesi kullanımı için güncellemeler yapılmıştır (Tüfekçi, 2019).

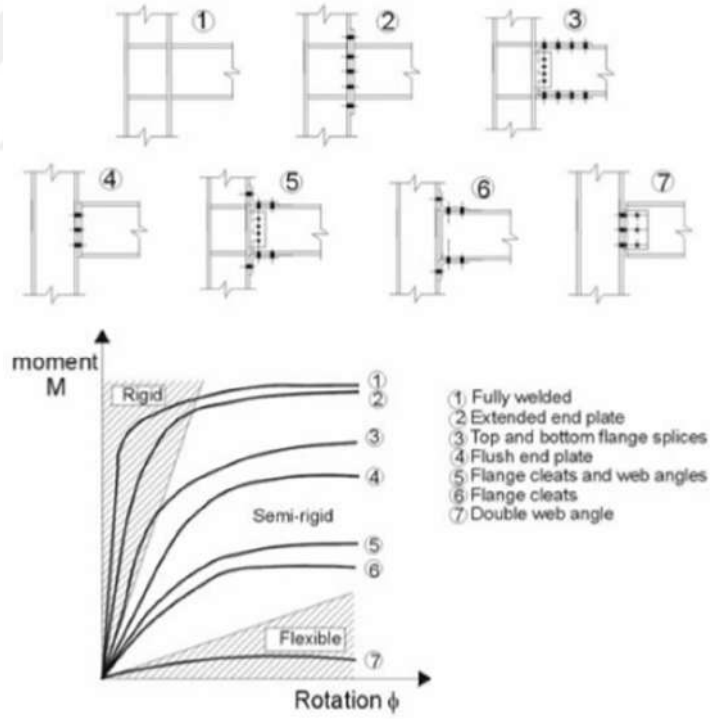
Tasarım olarak ilk maliyet düşünüldüğünce betonarme yapılar ön plana çıksa da çelik yapıların kullanım ömrü daha uzundur. Aynı zamanda çelik yapılar daha az bakıma ihtiyaç duyarlar (Tüfekçi, 2019).

1985'te meydana gelen Mexico City depreminde 107 adet betonarme yapıda göçme meydana gelmiş, 36 adet betonarme yapıda önemli hasarlar oluşmasına rağmen sadece 9 adet çelik yapıda göçme oluşmuştur. Emilio Rousenblueth tarafından yayınlanan bir yazıda bu depremin bir incelemesi yapılarak, deprem bölgelerinde çelik yapıların betonarme yapılara karşı üstünlüğünün tartışılmaz olduğu belirtilmiştir (Tansel, 2010).

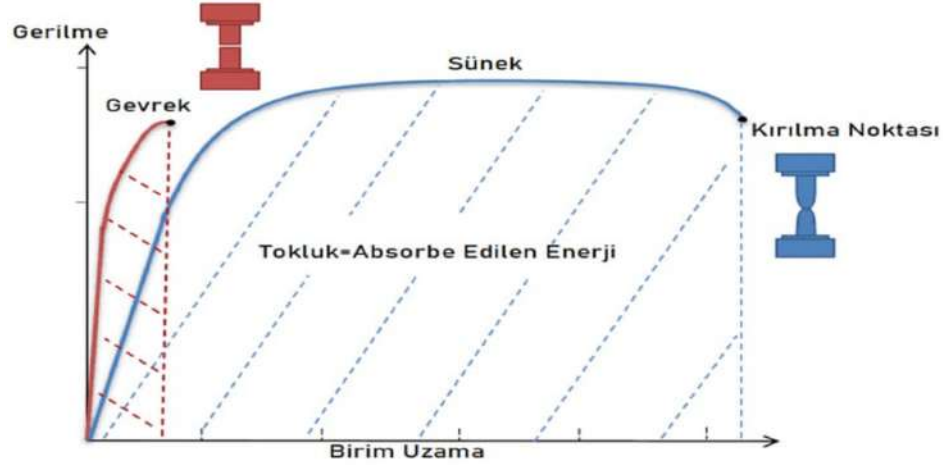
Çelik birleşim tasarımları; moment dayanımına, dönme rijitliğine ve dönme kapasitesine göre 3 başlık altında sınıflandırılabilir. Moment dayanımına göre mafsallı, kısmi dayanımlı ve tam dayanımlı olmak üzere şekilde 4.11'de gösterilmektedir. Dönme rijitliğine göre basit (mafsallı), rijit ve yarı-rijit olarak üçe ayrılır. Dönme kapasitelerine göre ise yüksek ve sınırlı süneklik olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 4.11. Moment dayanımına göre sınıflandırma (URL-04)



Şekil 4.12. Dönme rijitliğine göre sınıflandırma (URL-05)

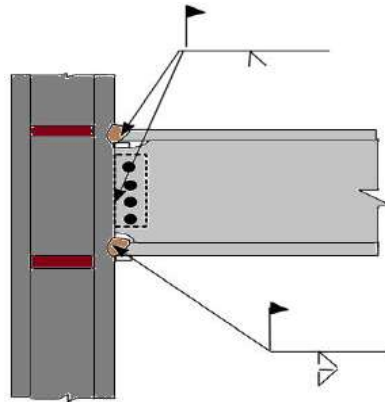


Şekil 4.13. Dönme kapasitelerine göre sınıflandırma (URL-06)

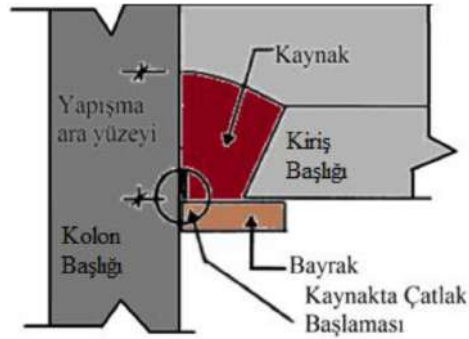
4.2.1.1 Northridge depremi öncesi tasarımlar

1994 yılında meydana gelen Northridge depreminden sonra çelik yapılarda oluşan hasarlar düşünülenin çok üstünde olmuştur. Yapılarda göçme veya ciddi bir kesit hasarı olmamasına karşın, deprem etkisinin çok yaşanmadığı yerlerde dahi kolon-kiriş birleşimlerinde gevrek hasarlar olduğu gözlemlenmiştir (Güler, 2015).

Bu birleşimde kiriş-kolon başlıklarını küt kaynaklar bağlamaktadır. Northridge depreminden önce kaynaklı kolon-kiriş birleşim detayı şekil 4.14'te gösterilmektedir. Bazı yapılarda çok az plastik değiştirmeden sonra, bazı yapılarda ise hala elastik sınırdayken, kolon-kiriş birleşimlerinde gevrek çatlaklar gözlemlenmiştir. Çatlakların çoğu Şekil 4.15'te görüldüğü gibi, kiriş başlığı ile kolon başlığı arasında bulunan kaynaktan başlamıştır (Koroğlu, 2012).



Şekil 4.14. Northridge depremi öncesinde kullanılan tipik birleşim (Koroğlu, 2012)



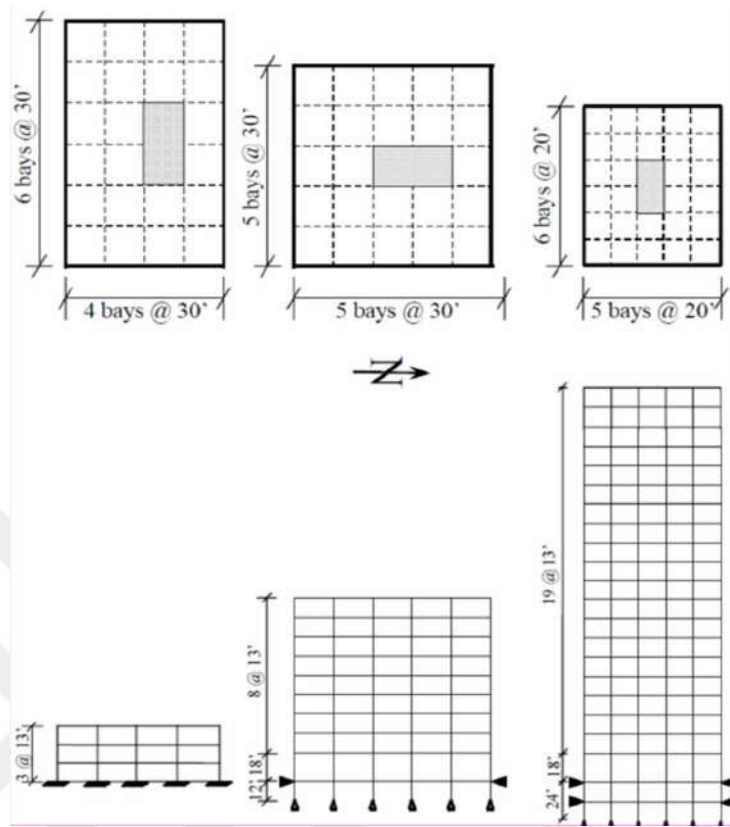
Şekil 4.15. Northridge depremi öncesinde kullanılan tipik birleşimde çatlak oluşumu (Köroğlu, 2012)

Oluşan bu hasarların sebebini araştırmak ve daha kapsamlı incelemek amacıyla SAC organizasyonu kurulmuştur. Bu organizasyonca yapılan araştırma ve testler çelik yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi bakımından kapsamlı bilgiler içermektedir (Güler, 2015).

Yapılar tasarlanırken deprem etkilerine karşı yapıların göçmemesi sadece yapısal hasarlar oluşması amaçlanmaktadır. Bu amaçla tasarımlarda genellikle süneklik düzeyi yüksek malzeme ve taşıyıcı sistem kullanılması gerekmektedir. Süneklik, yapıların ya da kesitlerin taşıma kapasitelerinde ciddi bir azalma olmaksızın plastik şekil değiştirme becerisi olarak adlandırılmaktadır. Süneklik düzeyi yüksek olan sistemler genel olarak yüksek elastik deformasyon kabiliyetleri sebebiyle süneklik düzeyi düşük sistemlere göre daha düşük yatay yükler altında boyutlandırılmaktadır (Güler, 2015).

Northridge depreminden önce kaynaklı kolon-kiriş birleşimli çelik çerçevelerin yönetmeliklerdeki en sünek taşıyıcı sistem olduğu düşünülüyordu. Fakat bu depremden sonra yapılan gözlemler ve kolon-kiriş birleşimlerinde meydana gelen gevrek hasarlar, bu düşüncenin değişmesine ve bu hasarların araştırılmasına sebebiyet vermiştir (Güler, 2015).

Northridge depreminden önce ve sonra yönetmelik şartları göz önünde bulundurularak Los Angeles, Seattle, Boston'da seçilmiş olan tasarım ofisleri tarafından 3,9,20 katlı çelik çerçevesel yapılar tasarlanmıştır. Deprem öncesi ve sonrası yapı tasarımlarının performanslarının karşılaştırılması amacıyla analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar kat ötemeleri, süneklik, akma sonrası rijitlik, elastik taşıma kapasiteleri gibi verilerle karşılaştırılmıştır. Bu yapılar Şekil 4.16'da gösterilmiştir (Güler, 2015).



Şekil 4.16. Tasarlanan yapıların plan ve kesitleri (Güler, 2015)

Aynı kat adedine sahip olan yapıların hepsinde ölçüler, kat yükseklikleri, yatay ve düşey yükler aynı tutulmuş, çerçevelerin yerleşim, adet, kolon ve kirişlerin kesitleri ise değişkenlik göstermiştir (Güler, 2015).

4.2.1.2 Northridge depremi sonrası tasarımlar

Northridge depremi sonrasında yapılan tasarımlarda FEMA 267 kriterleri dikkate alınmıştır. Bu deprem öncesi yapı tasarımlarına göre en belirgin fark, kirişlerde muhtemel plastik mafsalları kolon-kiriş birleşimlerinden uzaklaştırmak amacıyla eklenen plakalardır. Üç ve dokuz katlı yeni tasarımlar deprem öncesi tasarımlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda taşıyıcı sistemi oluşturan kolonların aynı kaldığı, kiriş kesitlerindeyse değişiklik yapıldığı görülmüştür. Yirmi katlı yapılar için hem kolon hem de kiriş kesitlerinde değişiklikler yapılmıştır. Tüm yapılar için en önemli farklılık birleşim detaylarında görülmektedir. Yapılan incelemelerde üç katlı yapılar arasındaki en belirgin farklılık, plastikleşme sonrası rijitliktir. Dokuz ve yirmi katlı yapılarda ise akma dayanımı ve sonrası rijitlikler değişmektedir. Northridge depremi sonrası tasarlanan yapıların daha sünek davranış gösterdiği gözlemlenmiştir (Güler, 2015).

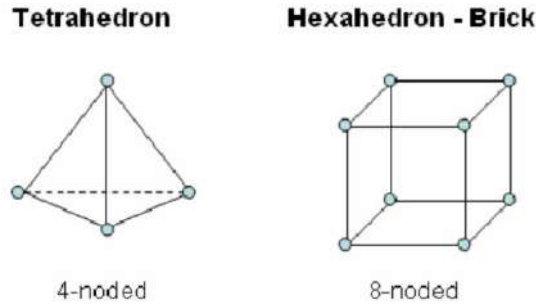
5 ÇELİK YARIKLI SÖNÜMLEYİCİLERİN SONLU ELEMAN YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

5.1 Katı Elemanlarla Modelleme (3D Hacimsel)

Bu modelleme tekniği ile bir cismin gerçeğe en yakın bir şekilde iç ve dış geometrisinin tanımı yapılmaktadır. İdealleştirme yapılarak çubuk elemanlarla modelleme ve yüzey modelleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı noktalarda bu yöntem kullanılmaktadır (Köroğlu, 2007).

Katı modellemenin asıl amacı cismin dış görüntüsünün elde edilmesi değil, iç ve dış geometrisinin doğru ölçüleriyle analiz programına aktarılmasıdır. Bu şekilde; cismin ağırlık ve moment gibi özellikleri hesaplanabilmekte veya kesitleri alınarak iç geometrik formu incelenebilmektedir. Tüm bu işlemler yapılırken kullanıcının müdahalesi minimum seviyededir (Köroğlu, 2007).

Sonlu eleman ağının oluşturulması sırasında, yapılan bölümlenme işlemleriyle beraber hangi bölgelerin eleman sayısı yoğunluğunun az veya fazla olacağına karar verilebilir. Genel olarak, gerilme ve deformasyonların hızlı değiştiği bölgelere birim alana daha fazla eleman yerleştirilir. Elemanlara bölümlenme işlemine sonlu eleman ağı veya 'mesh' oluşturma denilir. Mesh oluşturma sırasında modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bölünen bu elemanların belirli noktalardan birbirlerine bağlandığı noktalara düğüm adı verilir (Köroğlu, 2007).



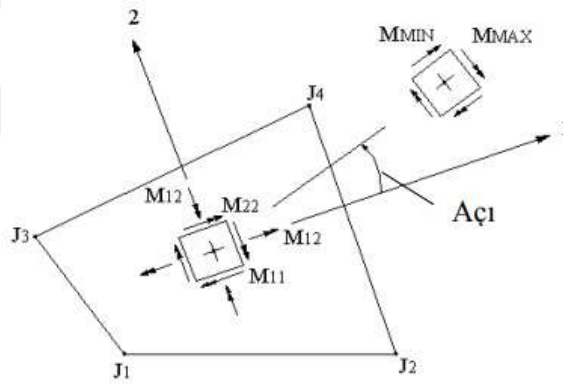
Şekil 5.1. Katı sonlu elemanlar (URL-11)

Örneğin katı modellerde her bir elemanda oluşan yer değiştirme, doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilendirilir. Düğüm noktalarında oluşan yer değiştirmeler ise elemanlarda oluşan gerilmelerle ilişkilidir. Bir model, ne kadar fazla sayıda elemana bölünürse, daha gerçekçi gerilme ve deplasman sonucu almak mümkündür (Köroğlu, 2007).

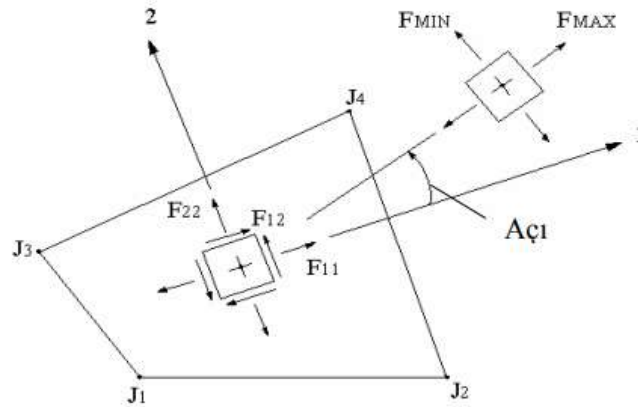
Katı modelde 3 boyutlu “solid” tipte elemanlar kullanılır. Bu modelleme ile yapılan bir analizde sonlu eleman sayısı, düğüm sayısı ve serbestlik derecesi sayısının fazla olması nedeniyle analiz süreleri oldukça uzun sürmektedir. Bu nedenle çok katlı bina türü yapıların katı modelini oluşturmak ve analiz etmek makul değildir. Piyasada yer alan mühendislik büroları bu tür analizleri gerçekleştirmeyi tercih etmemektedir (Oh et al, 2009).

5.2 Kabuk Elemanlarla Modelleme (2D Yüzeysel Eleman)

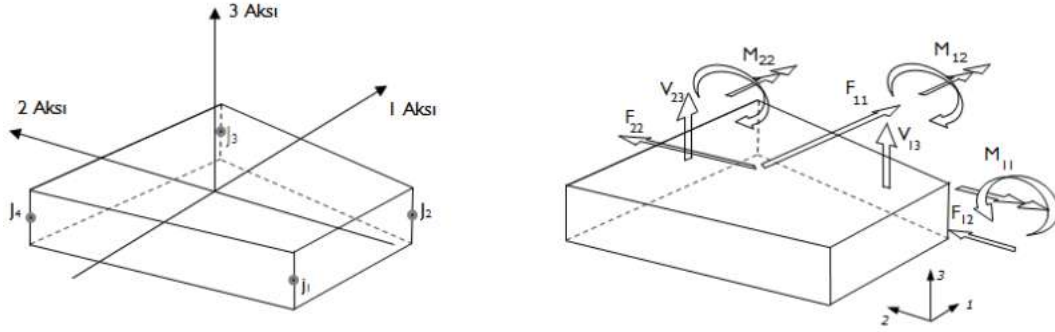
Kabuk sonlu elemanlar aynı zamanda Shell elemanlar olarak da isimlendirilmekte olup, bir boyutu, diğer iki boyutu yanında ihmal edilecek kadar küçük olan elemanlardır. Sonlu elemanlarla yapılacak olan analizlerin sonucu, kabuk sonlu elemanlarda hesaplanan gerilmelerden ve birim uzunluğa düşen kuvvetlerden meydana gelir. Bu gerilme ve kuvvetlerin yönleri kabuk elemanın lokal eksenlerine göre belirlenmektedir.



Şekil 5.2. Birim uzunluk için eğilme momentleri (Köroğlu, 2007)



Şekil 5.3. Membran kuvvetleri (Köroğlu, 2007)



Şekil 5.4. Solid Eleman Yüzeyleri (URL-07)

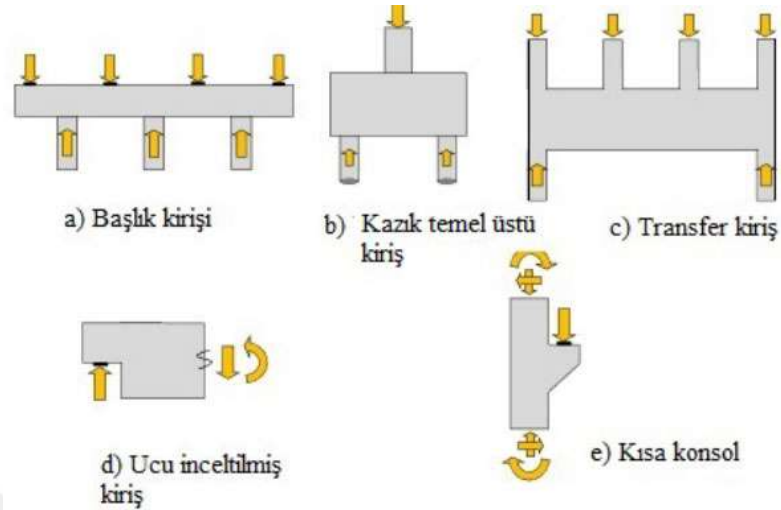
Kabuk elemanlar kullanarak farklı/karmaşık geometrik şekiller kolaylıkla modellenebilmektedir. Diğer taraftan, bilinmeyen serbestlik derecesi sayısının oluşturulan sonlu eleman ağ sıklığına göre artması sebebiyle çözüm süresi uzamaktadır. Ayrıca kabuk elemanlarda iç kuvvetlerin doğrudan hesaplanamaması bir dezavantajdır (Koçak, 2015).

Bu çalışmada kabuk modelleme konusu pek incelenmemiştir. Katı ve çubuk modeller üzerinde durulmuştur. Katı modelleme ile çok detaylı modelleme amaçlandığı gibi, çubuk modelleme ile de uygulamaya yönelik modelleme ve analiz amaçlanmıştır.

5.3 Çubuk Elemanlarla Modelleme

Çubuk model; kiriş-kolon birleşimleri, kısa kolonlar, yüksek kirişler, mesnet üzerine oturan kiriş bölgeleri gibi ayrı ayrı detay gerektiren yapıların tasarımlarında ve boyutlandırılmalarında etkili bir yaklaşım modeli olarak kullanılmaktadır. Bu model, deneysel yöntemlerle desteklenerek yapı elemanlarının davranışlarının anlaşılmasında tasarımcılara yardımcı olabilmektedir (Yılmaz, 2016).

Bu yaklaşım yapı elemanları için deneysel, tahmini veya yaklaşık hesap yöntemleri yerine fiziksel modellere dayanmaktadır. Aynı zamanda, yapı içerisinde oluşan gerilme dağılımının düzensiz olan bölgelerinde çözümü kolaylaştırmaktadır (Yılmaz, 2016).



Şekil 5.5. Birçok yapı türünde çubuk model örnekleri (Yılmaz, 2016)

Çubuk elemanlarla modellemede, oluşan kuvvetlerin, cismin sahip olduğu gövde ve başlık kısımları için ayrı ayrı elde edilememesi dezavantaj olarak gösterilebilir. Ayrıca kayma merkezlerine tanımlanacak bir çubuk eleman ile yapılan analizlerin sonucunda uç noktalarda gerçeği yansıtmayan düşey deplasmanlar oluşabilmektedir. Öte yandan, çubuk model tekniğinin basit, kullanışlı ve çoğu yapısal analiz programında kolay bir şekilde uygulanabilir olması bu modelin avantajlarından (Koçak, 2015).

5.4 Yarıklı Sönümleyicili Bir Kolon Kiriş Birleşiminin Sonlu Eleman Analizi

Bu çalışmada, deprem sonrası yapılarıdaki kolon-kiriş bölgelerinde oluşan enerjinin absorbe edilerek yapının maruz kaldığı enerjinin azaltılması amaçlanmıştır. Şekil 5.6'da gösterilen yarıklı sönümleyici şekil 5.7'de görüldüğü gibi sisteme monte edilmiştir.

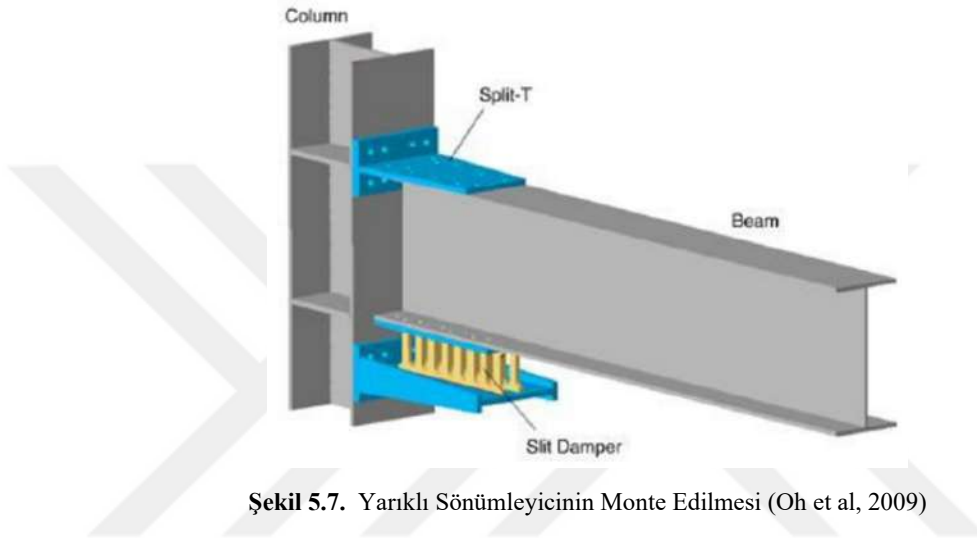
Tasarım yapılırken konu ile ilgili çalışmalar araştırılmış ve bir makalede oluşturulan sistem esas alınmıştır (Oh et al, 2009). Bu makaleden alınan fikir ile katı model ve çubuk modelin oluşturulması anlatılmıştır.

5.4.1 Katı elemanlarla modelleme

Seçilen makaleden alınan kolon, kiriş ve yarıklı sönümleyici elemanlarının kesit uzunlukları girilerek sistemin geometrisi oluşturulmuştur. Ayrı ayrı oluşturulan kesitler birleştirilerek şekil 5.7'deki sistem elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Yarıkli Sönümleyici (Oh et al, 2009)



Şekil 5.7. Yarıkli Sönümleyicinin Monte Edilmesi (Oh et al, 2009)

Çizelge 5.1. Kiriş ve kolonun kesit özellikleri (Oh et al, 2009)

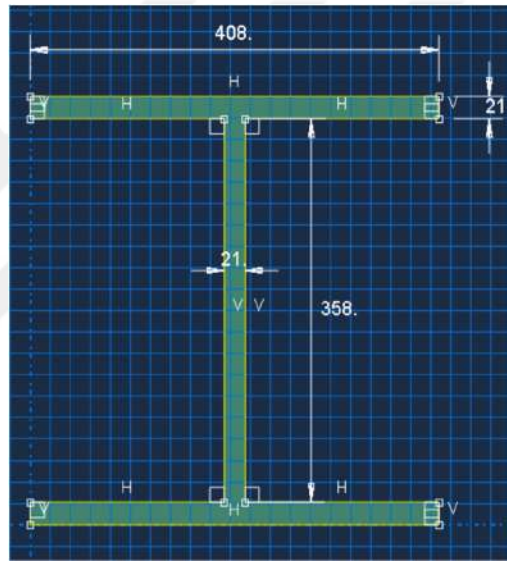
Yapı Elemanı	Element	Uzunluk	Birim
Kolon H-400x400x21x21	h	400	mm
	b	408	mm
	tf	21	mm
	tw	21	mm
Kiriş H-582x300x12x17	h	582	mm
	b	302	mm
	tf	17	mm
	tw	12	mm

Çizelge 5.2. Yarıkli sönümleyici kesit özellikleri (Oh et al, 2009)

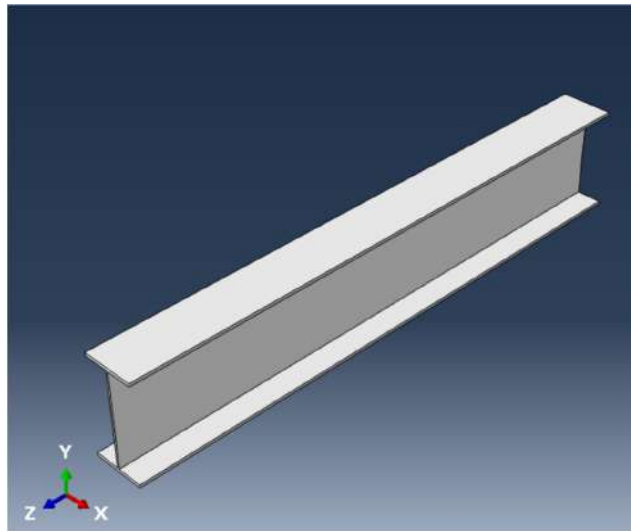
Yapı Elemanı	Element	Uzunluk	Birim
Slit Damper	D	620	mm
	T	32	mm
	W	300	mm
	Ha	224	mm
	Ht	140	mm
	H	100	mm
	B	30	mm
	r	20	mm
	t	19	mm
	n	16	mm

Çizelge 5.3. Split (destek elemanı) üst ve alt kısmın kesit özellikleri (Oh et al, 2009)

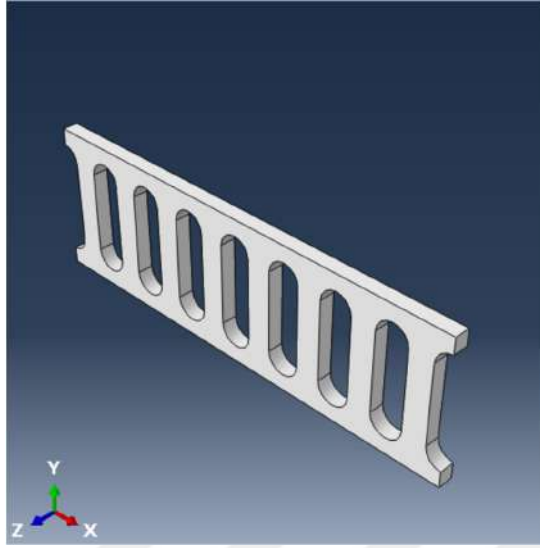
Yapı Elemanı	Element	Uzunluk	Birim
	lu	635	mm
	hu	239	mm
Split Üst Kısım	wu	300~400	mm
	tuf	35	mm
	tuw	22	mm
	lı	755	mm
	hı	239	mm
Split Alt Kısım	wı	400	mm
	tıf	35	mm
	tıw	22	mm



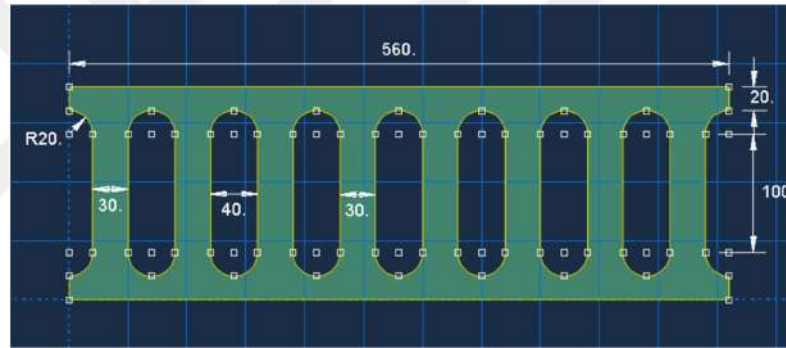
Şekil 5.8. Abaqus örnek kolon çizimi (ABAQUS sketch ortamında çizilmesi)



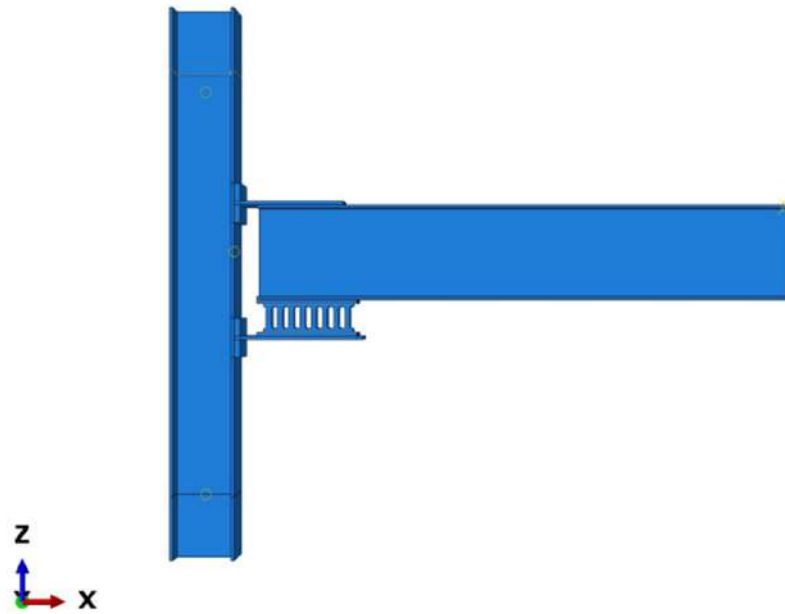
Şekil 5.9. ABAQUS'te örnek kesitin extrude olmuş hali



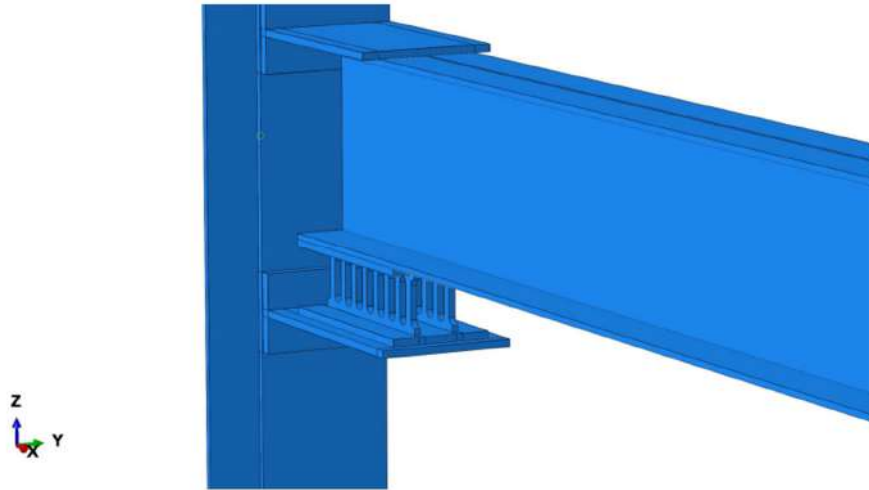
Şekil 5.10. ABAQUS yarıklı sönümleyicinin extrude olmuş hali



Şekil 5.11. ABAQUS yarıklı sönümleyici orta eleman kesiti (ABAQUS sketch ortamında çizilmesi)

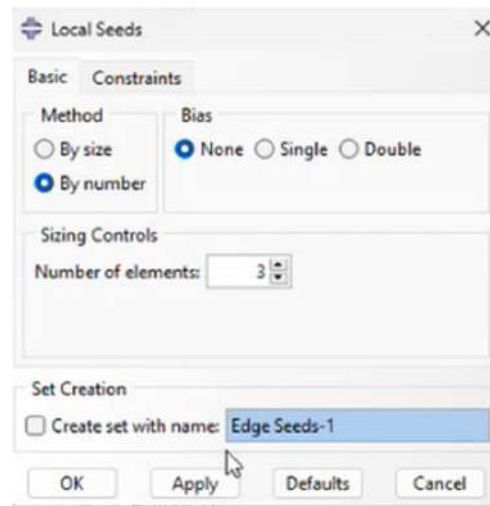


Şekil 5.12. ABAQUS solid model görünümü-1



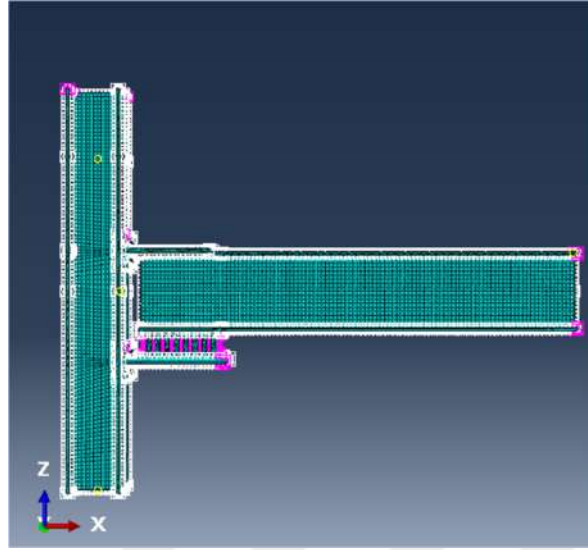
Şekil 5.13. ABAQUS solid model görünümü-2

Sonlu elemanlar yöntemiyle modelleme yapılırken her parça en temel elemanlarına ayrılır ve elemanlarda bir ağ sistemi oluşturulur. Parçalar, oluşturulan her parçanın köşelerinde bulunan noktalar üzerinden birbirlerine bağlanır ve hesaplamalar bu noktalar üzerinden yapılır. Bu nedenle sonlu elemanlar yöntemiyle hesap yapılırken modeldeki parçaların ayrılacağı ağ yapısı büyüklüğü sonuçların hassasiyeti açısından oldukça önemlidir.

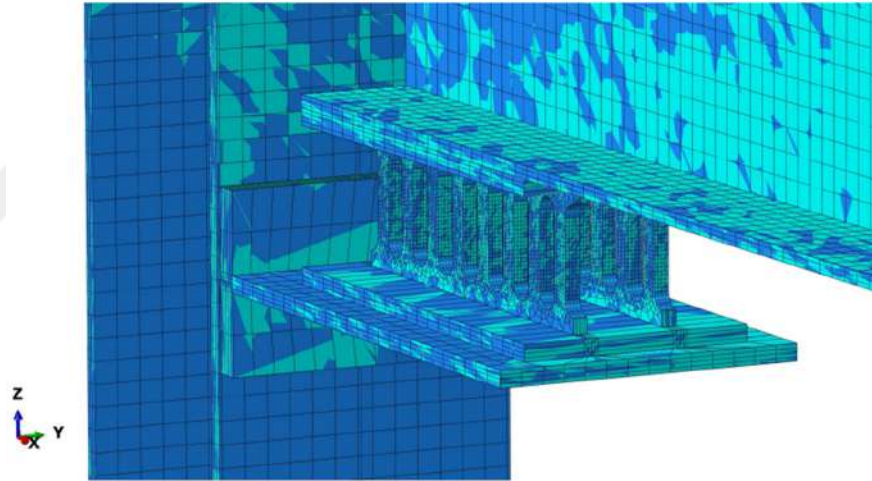


Şekil 5.14. ABAQUS'te bölümlenme işlemi

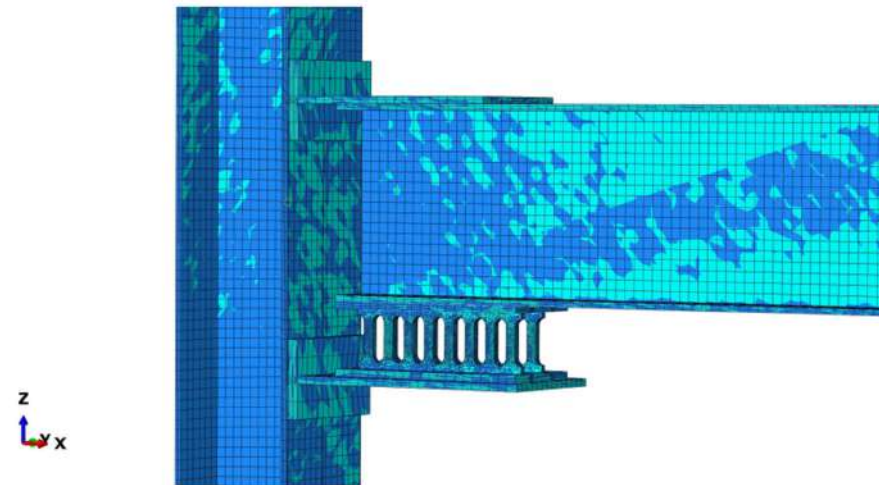
ABAQUS'te Seed Edge sekmesinden Local Seeds ekranı açılarak Şekil 5.14'te görüldüğü gibi kiriş başlıklarında üç, kiriş gövdesinde iki, kolon başlıklarında dört, kolon gövdesinde iki ve yarıklı sönümleyici de ise dört adet bölümlenme işlemi yapılarak hesabın hassasiyeti artırılmıştır. Yarıklı sönümleyicide yüksek gerilme ve yığılmalar oluşacağı için Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'da görüldüğü gibi elemanlar daha küçük seçilmiştir.



Şekil 5.15. Boyutlu Sistemin Sonlu Eleman Meshi

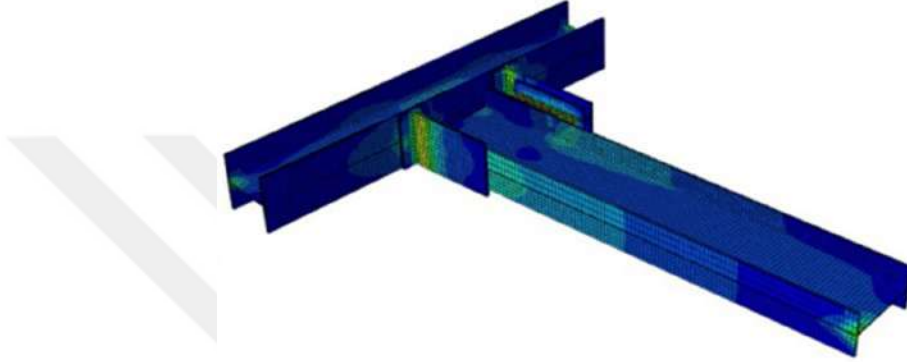


Şekil 5.16. Boyutlu Sistemin Sonlu Eleman Meshi

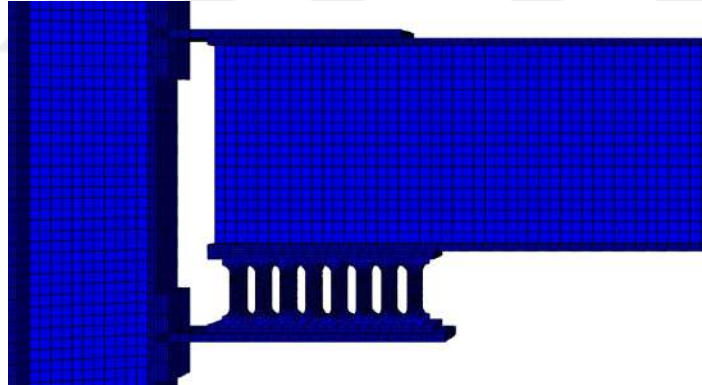


Şekil 5.17. Boyutlu Sistemin Sonlu Eleman Meshi

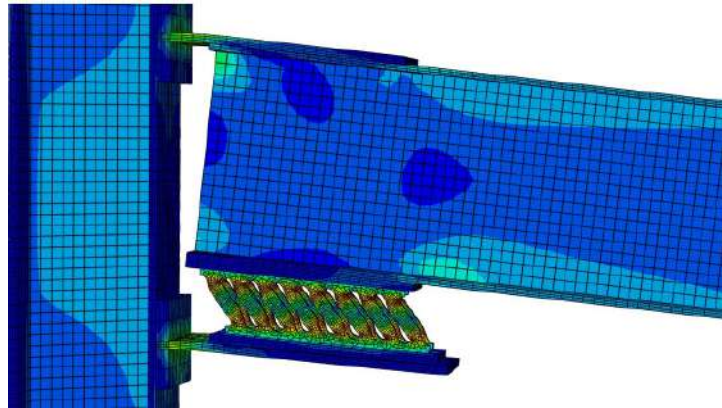
Kiriş ucundan verilen periyodik yükleme ile yapıda oluşan sonuçlar analiz edilmiştir. Her bir zaman aralığında $+\Theta$, $-\Theta$, $+2\Theta$, -2Θ , $+3\Theta$, -3Θ şeklinde yüklemeler yapılmıştır. İncelenen makalede verilen dönmeler ilgili çubuk modellemede detaylı anlatılacak olan formüller kullanılarak deplasmanlar hesaplanmıştır. Her bir zaman adımında 10.96mm, -10.96mm, +21.92mm, -21.92mm, +32.88mm, -32.88 mm şeklinde deplasman uygulanmıştır.



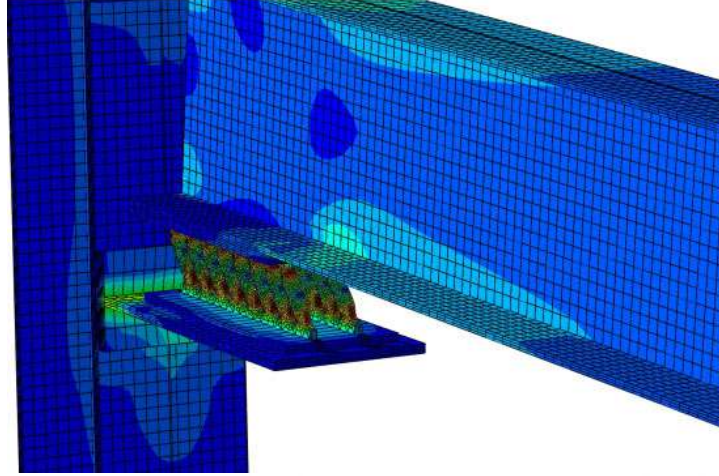
Şekil 5.18. Sistemin üç boyutlu görünümü-1



Şekil 5.19. Sistemin başlangıç görünümü



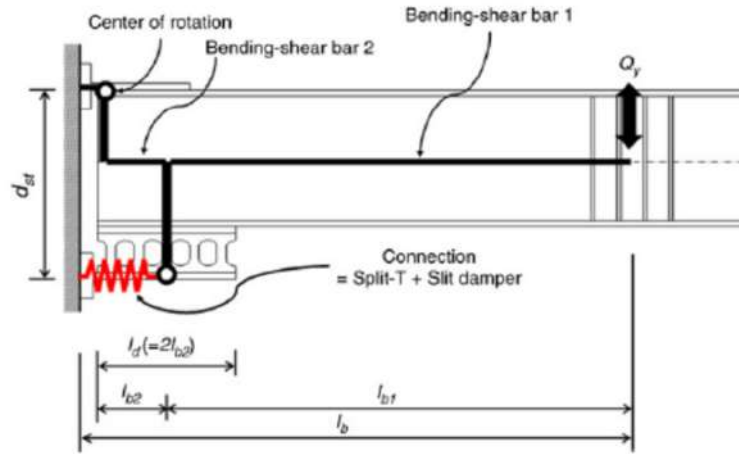
Şekil 5.20. Sistemin son görünümü-1



Şekil 5.21. Sistemin son görünümü-2

5.4.2 Çubuk elemanlarla modelleme

Bu çalışmada üç boyutlu model, sistem analizini daha hızlı ve etkili hale getirmek amacıyla tek boyuta indirgenmiştir. Bu kapsamda, araştırılan kaynaklar sonucunda elde edilen bilgilerden yola çıkılarak, ilgili makalede önerilen fikirler doğrultusunda Şekil 5.22'deki çubuk modelin hesaplamaları yapılarak analiz gerçekleştirilecektir (Oh ve ark. 2009). Böylece çok katlı bir yapının kısa süre içerisinde analizinin elde edilmesi amaçlanmıştır.



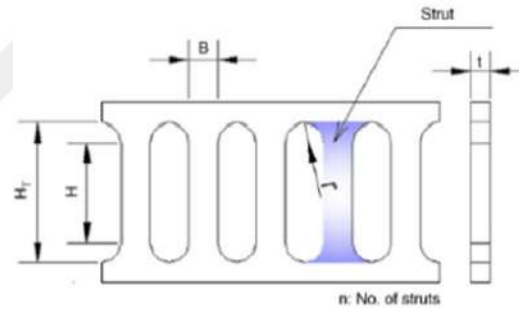
Şekil 5.22. 3 boyutlu sistemin çubuk model ile analizi (Oh et al, 2009)

Şekil 5.22'de görülen "Bending-shear bar 2" rijit sayılmıştır. Alt noktasına yerleştirilen bir yay, deprem etkisinin sönümlenmesine katkıda bulunacak şekilde konumlandırılmıştır. Kirişin kolona bağlandığı noktanın mafsallı bir bağlantıya sahip olduğu var sayılmıştır. Böylece; üç boyutlu sistemler tek boyuta indirgenerek çok katlı yapılarda çalışma kolaylığı amaçlanmıştır.

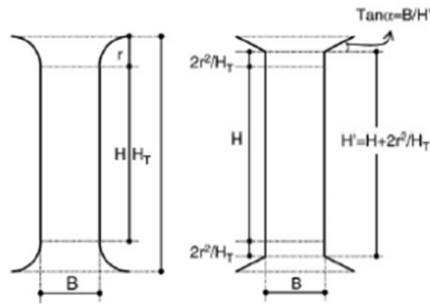
İlgili makaleden alınan değerler aşağıda verilmiştir (Oh et al, 2009).

σ_y	= 208 Mpa	l_b	= 3300 mm
σ_u	= 464 Mpa	l_d	= 620 mm
H_T	= 140 mm	l_{b2}	= 310 mm
H	= 100 mm	l_{b1}	= 2855 mm
B	= 30 mm	l_{st}	= 130.5 mm
t	= 19 mm	d_{st}	= 816 mm
r	= 20 mm	wA	= 6576 mm ²
n	= 16 adet	b_1I	= 978835992 mm ⁴
stI	= 1429167 mm ⁴	b_2I	= 63015977 mm ⁴

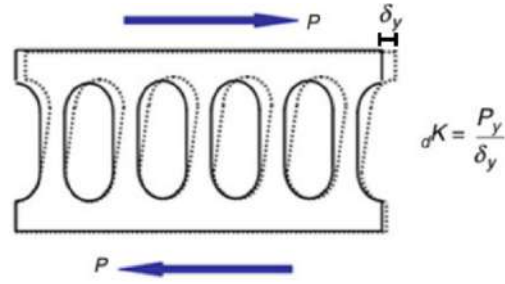
Oh ve ark. (2009) ve Hosseini ve ark. (2022) tarafından yapılan araştırmada kullanılan veriler baz alınarak sönümleyici kesitleri, sönümleyici rijitlikleri, akma dayanımları, akma gerilmeleri ve yer değiştirmeler hesaplanmıştır.



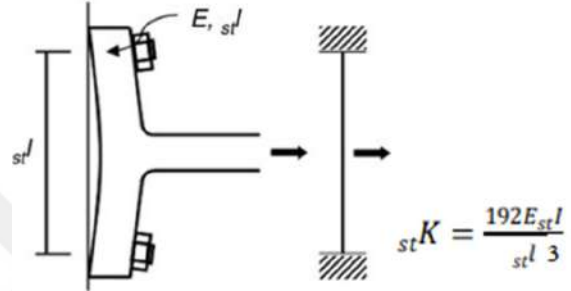
Şekil 5.23. Yarıklı Sönümleyicinin İdealleştirilmesi-1 (Oh ve ark,2009)



Şekil 5.24. Yarıklı Sönümleyicinin İdealleştirilmesi-2 (Oh ve ark,2009)



Şekil 5.25. Yarıklı sönümleyicinin deformasyonu (Oh ve ark, 2009)



Şekil 5.26. Split-T'nin deformasyonu (Oh ve ark, 2009)

$$H' = H + \frac{2r^2}{H_T} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (1)$$

$$= 100 + 2 \times (20)^2 / 140 = 105.714 \text{ mm}$$

$$P_y = \min \left\{ n \frac{\sigma_y t B^2}{2H'}, n \frac{2\sigma_y t B}{3\sqrt{3}} \right\} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (2)$$

$$P_y = \min \left\{ 16 \times 208 \times 19 \times 30^2 / (2 \times 105.714), 16 \times 208 \times 19 \times 30 / 3\sqrt{3} \right\}$$

$$P_y = \min \{ 269163, 365070 \}$$

$$P_y = 269163 \text{ N}$$

$$P_u = \min \left\{ n \frac{\sigma_u t B^2}{2H'}, n \frac{2\sigma_u t B}{3\sqrt{3}} \right\} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (3)$$

$$P_u = \min \left\{ 16 \times 464 \times 19 \times 30^2 / (2 \times 105.714), 16 \times 464 \times 19 \times 30 / 3\sqrt{3} \right\}$$

$$P_u = \min \{ 600441, 814387 \}$$

$$P_u = 600441 \text{ N}$$

$$\delta_y = \frac{1.5P_y H_T}{nEtB} \left[\left(\frac{H'}{B} \right)^2 + 2.6 \right] \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (4)$$

$$= 1.5 \times 269163 \times 140 \left[(105.714/30)^2 + 2.6 \right] / (16 \times 210000 \times 19 \times 30)$$

$$= 0.443 \text{ mm}$$

$$K^{-1} = b_1 K^{-1} + b_2 K^{-1} + c_{on} K^{-1} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (5)$$

$$b_1 K^{-1} = \frac{l_{b1}^3}{3E_{b1}l} + \frac{l_{b1}}{\omega AG} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (6)$$

$$b_1K^{-1} = 2855^3 / (3 \times 210 \times 10^3 \times 978835992) + 2855 (6576 \times 79300)$$

$$b_1K^{-1} = 4.32E-5$$

$$b_2K^{-1} = \frac{l_{b2}(l_{b1}^2 + l_{b1}l_{b2} + l_{b2}^2)}{3E_{b2}I} + \frac{2l_{b1}}{\omega AG} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (7)$$

$$b_2K^{-1} = 2855^3 / (3 \times 210 \times 10^3 \times 63015977) + 2 \times 2855 / (6576 \times 79300)$$

$$b_2K^{-1} = 7.2E-5$$

$$conK^{-1} = conk^{-1} \left(\frac{l_b}{d_{st}} \right)^2 \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (8)$$

$$stK = \frac{192E_{st}I}{stl^3} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (9)$$

$$stK = 192 \times 21000 \times 1429167 / (130.5)^3 = 25928176.12 \text{ N/m}$$

$$dK = \frac{P_y}{\delta_y} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (10)$$

$$dK = 269163 / 0.443 = 607591.4221 \text{ N/m}$$

$$conk^{-1} = stK^{-1} + dK^{-1} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (11)$$

$$conk^{-1} = 1/25985176.12 + 1/607591.4221 = 1.68E-6$$

$$conk = 593679.3566$$

$$conK^{-1} = conk^{-1} \left(\frac{l_b}{d_{st}} \right)^2 \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (12)$$

$$conK^{-1} = (1.89E-6) \times (3300/816)^2 = 2.747E-5$$

$$K^{-1} = 2.747E-5 + 4.32E-5 + 7.2E-5 = 0.000143$$

$$Q_y = \frac{P_y a_{st}}{l_{b1}} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (13)$$

$$M_y = Q_y l_b = \frac{P_y d_{st} l_b}{l_{b1}} \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (14)$$

$$K = \frac{dM}{d\theta_r} \quad (\text{Aksoğan ve ark, 2001}) \quad (15)$$

$$\{P\} = [K]\{D\} \quad (\text{Aksoğan ve ark, 2001}) \quad (16)$$

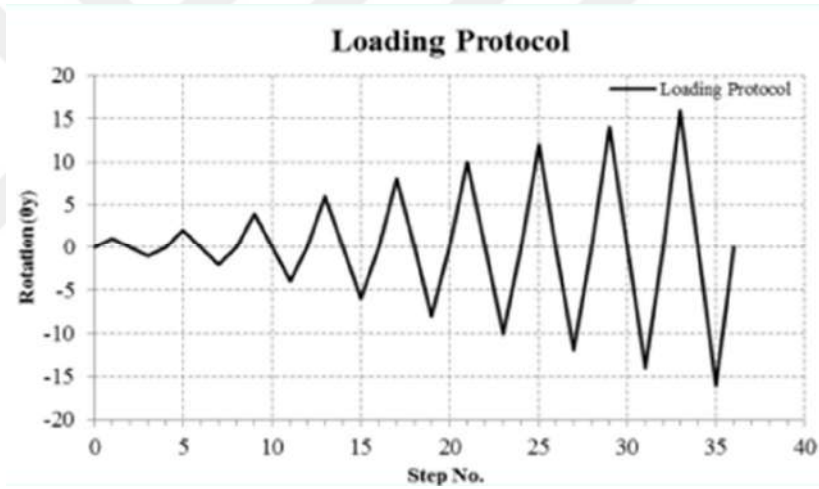
$$M = V \times l_b \quad (\text{Oh ve ark,2009}) \quad (17)$$

$$Q_y \times l_b = K \times \Theta$$

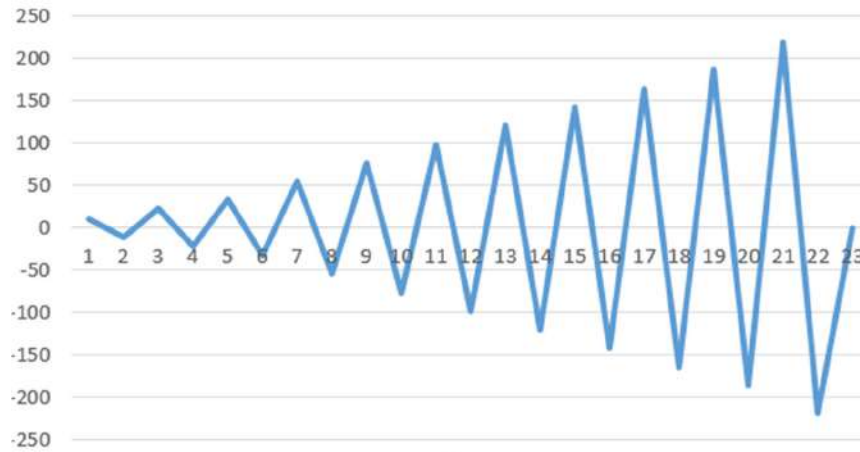
$$\Theta = Q_y \times l_b / K = 76931 \times 3300 / 0.000143 = 0.00332 \text{ rad}$$

$$D = \Theta \times l_b = 0.00332 \times 3300 = 10.96 \text{ mm}$$

İncelenen makale her bir zaman aralığında $+\Theta$, $-\Theta$, $+2\Theta$, -2Θ , $+3\Theta$, -3Θ şeklinde yüklemeler yapılmıştır. ABAQUS programında Θ değerlerine karşılık gelen deplasmanların girilmesi için bu makalede verilen dönme açıları, ilgili formüller kullanılarak deplasmanlara dönüştürülmüştür. Çubuk model her bir zaman adımında 10.96mm, -10.96mm, +21.92mm, -21.92mm, +32.88mm, -32.88 mm şeklinde deformasyon uygulanmıştır. Amplitude sekmesine tıklanarak şekildeki bölüme Time-Amplitude değerleri girilir.



Şekil 5.27. Yük-dönme grafiği



Şekil 5.28. Tekrarlı (Cyclic) yükleme-zaman grafiği

Çizelge 5.4. Tekrarlı (Cyclic) yükleme-zaman değerleri

Edit Amplitude

Name: cyclic

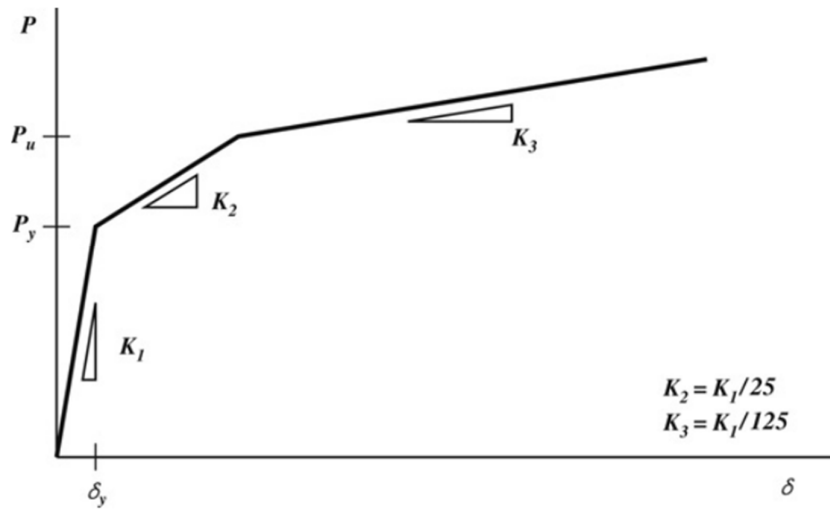
Type: Tabular

Time span: Step time

Smoothing: Use solver default
 Specify:

Amplitude Data		Baseline Correction
	Time/Frequency	Amplitude
1	0	0
2	1	10.96
3	2	-10.96
4	3	21.92
5	4	-21.92
6	5	32.88
7	6	-32.88
8	7	54.8
9	8	-54.8
10	9	76.72
11	10	-76.72
12	11	98.64
13	12	-98.64
14	13	120.56
15	14	-120.56
16	15	142.48
17	16	-142.48
18	17	164.4
19	18	-164.4
20	19	186.32
21	20	-186.32
22	21	219.2
23	22	-219.2
24	23	0

OK Cancel



Şekil 5.29. Yarıklı sönmleyicinin rijitlik diyagramı (Oh ve ark,2009)

$$P = 593679.3566 \times 0.443 = 262999.955 = 263 \text{ kN}$$

Burada amaç rijitlik kullanılarak yapılan deplasmana bağlı olarak oluşan gerilmeyi hesaplamaktır. Pu'ya karşılık gelen deplasman şöyle hesaplanabilir:

$$K2 = K1 / 25 = 607591.422 / 25 = 24303.7446$$

$$K3 = K1 / 125 = 607591.422 / 125 = 4860.7489$$

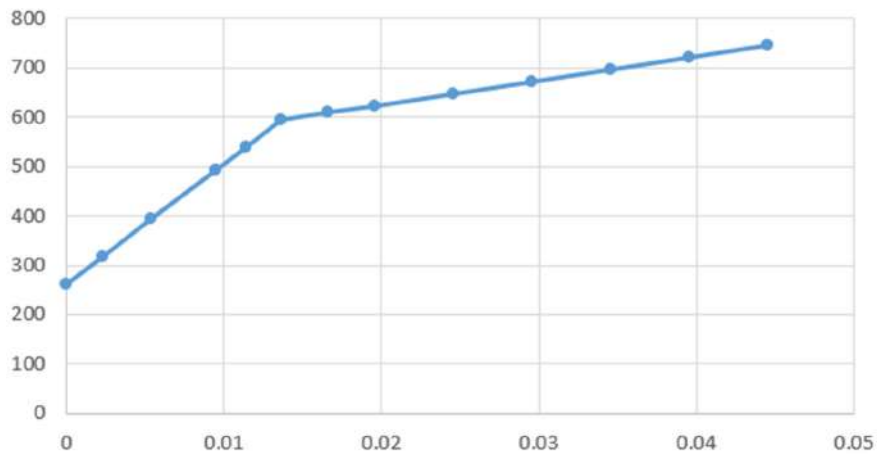
$$(Pu - Py) / K2 + \delta_y = (600441 - 269163) / 24303.7446 + 0.443 = 14.07374$$

$$(14.07374 - 0.443) \times 24303.7446 + 262999.955 = 594277.9787 \text{ N} = 594.278 \text{ kN}$$

Elde edilen verilerle kuvvet-deplasman grafiği oluşturulmuştur. Denklem (11) ile hesaplanan σ_{nk} değeri konnektörlerin "elasticity" değeri olarak Şekil 5.30'da ve Çizelge 5.5'te hesaplanan değerler ise konnektörlerin "plasticity" değerleri olarak Şekil 5.31'de ABAQUS'e tanıtılmıştır.

Çizelge 5.5. Kuvvet-Deplasman değerleri

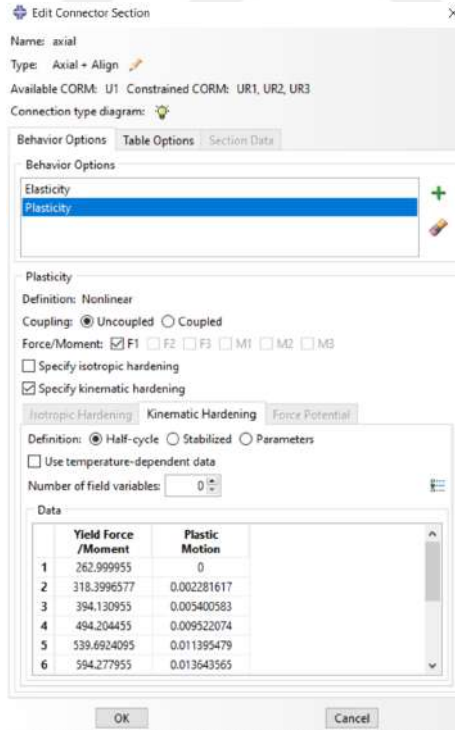
Numara	δ (mm)	P (N)
1	0	263
2	0.002282	318.3997
3	0.005401	394.131
4	0.009522	494.2045
5	0.011395	539.6924
6	0.013644	594.278
7	0.016557	608.4367
8	0.019557	623.0162
9	0.024557	647.3153
10	0.029557	671.6144
11	0.034557	695.9135
12	0.039557	720.2126
13	0.044557	744.5117



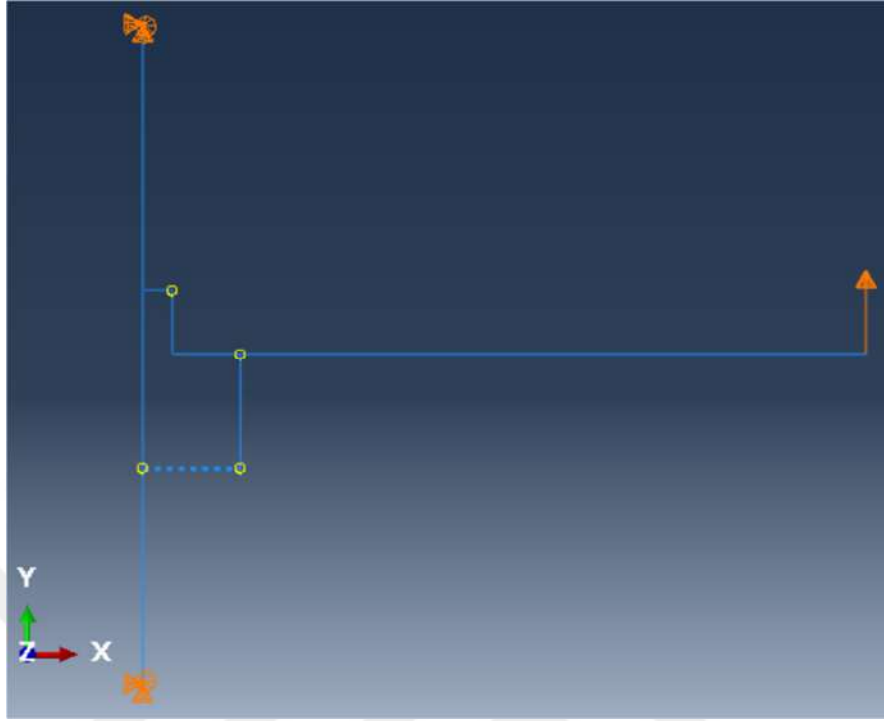
Şekil 5.30. Kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 5.31. Elasticity değerinin girilmesi



Şekil 5.32. Plasticity değerlerinin girilmesi

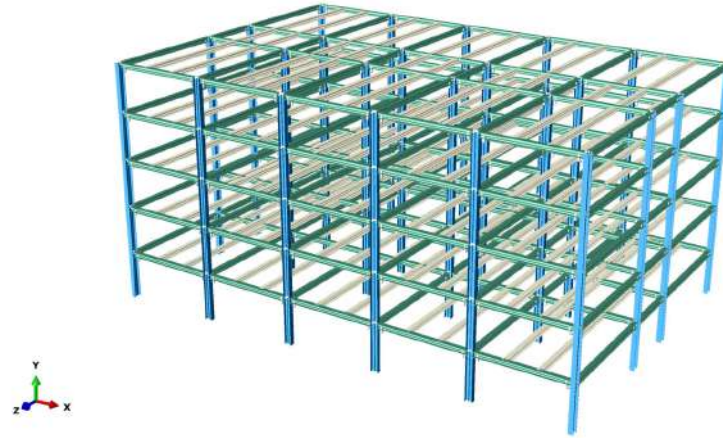


Şekil 5.33. ABAQUS'te kiriş ucuna yükleme (Çizelge 5.4'teki değerlere göre)

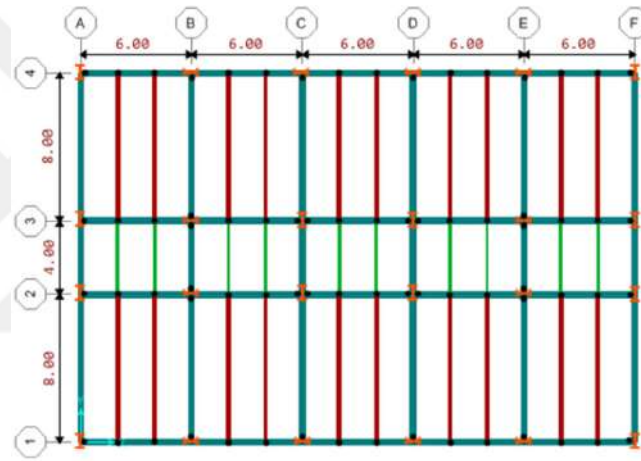
Şekilde 5.33'te görüldüğü gibi, kolon uçlarında x y z ötelenmeleri (translations) önlenmiştir, dönmelere izin verilmiştir (pinned support). Kiriş ucuna deplasman yüklemesi Boundary Condition menüsünden Çizelge 5.4'te yer alan tekrarlı (cyclic) yükleme değerlerine bağlı olarak yüklenmiştir.

5.5 Çelik Yarıklı Sönümleyici Kullanılan Bir Çelik Binanın Modellenmesi

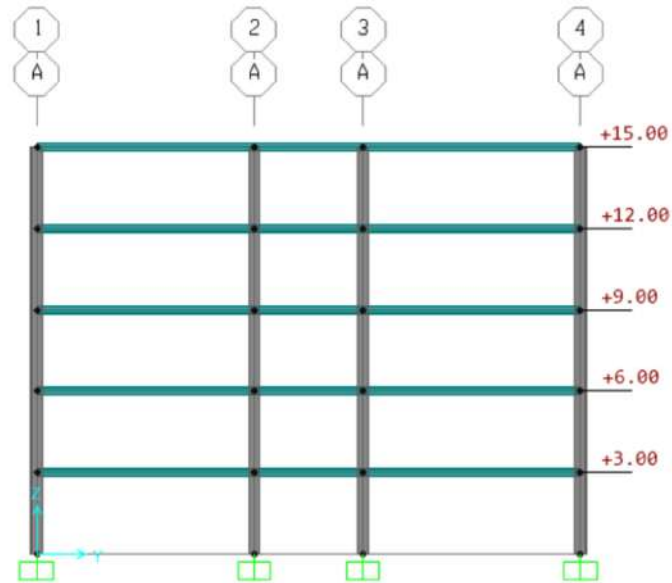
Bu çalışmada baştan bir bina oluşturmak yerine daha önce incelenmiş, ölçüleri, boyutları ve kesitleri standartlara uygun 4-5 katlı yüksek bir bina modellemesi düşünülerek kaynak araştırması yapılmış ve 2018 yılında yayımlanan bir tez seçilmiştir (Öz, 2018). Böylece çelik yarıklı sönümleyicilerin yerleştirileceği yapının gerçeğe yakın tasarımı bulunan bir yapı olmasına özen gösterilmiştir. Üç boyutlu genel sistemin görünüşü şekil 5.34'te, kat planı şekil 5.35'de ve en kesiti ise şekil 5.36'da verilmiştir. Bina 30 metre ve 20 metre boyutlarında 600 metrekarelik oturma alanına ait bir iş merkezi olarak tasarlanmaktadır. X yönünde 5 ve Y yönünde 3 açıklıktan oluşan bu yapının kat yükseklikleri ise 3'er metredir.



Şekil 5.34. Yapının ABAQUS programında hazırlanmış üç boyutlu genel görünümü



Şekil 5.35. Yapının kat planı



Şekil 5.36. Yapının enkesiti

2 metre aralıklarla konulan ikincil ara kirişler 4 metre ve 8 metre boyutlarında olup ana kirişlere bağlanmaktadır.

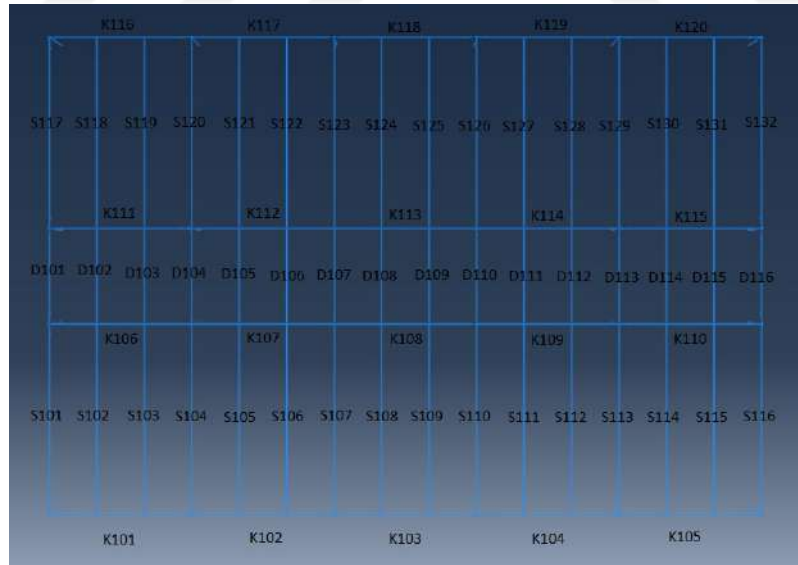
Yapının tasarımında S235 yapı çeliği kullanılmıştır. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'te S235 yapı çeliğinin $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$, $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$ ve $E = 200000 \text{ N/mm}^2$ 'dir.

5.5.1 Yapı geometrisinin oluşturulması ve parçaların birleştirilmesi

İlgili makaleden alınan verilerde, kiriş uzunluğu 3300 mm, kolon uzunluğu 3000 mm'dir. Sönümleyicinin bağlı bulunduğu split uzunlukları (35mm)x(239mm)x(400mm) ve (22mm)x(400mm)x(755mm) olarak alınmıştır.

Her bir kolon için ayrı bir part oluşturulur. Daha sonra bu kolonlar projedeki aralıklara uygun olarak alt ve üst katlara çoğaltılır. Bu kolonların çubuk modelde uygun bir şekilde bağlantı noktaları oluşturulması için belirli seviyelerde kesikler oluşturulur ve bu kesitlerin olduğu yerlerde hem yay bağlantıları için bir nokta oluşturulmuş olur hem de kirişlerin üst bağlantı noktaları için bir nokta oluşmuş olur.

Oluşturulan her bir parça Assembly sekmesinde Create Instance komutu kullanılarak bir araya getirilir.



Şekil 5.37. 1. Kattaki kirişlerin isimlendirilmesi

Şekil 5.37'de gösterilen 1. kat planında her bir kiriş isimlendirilerek belirtilmiştir. Dış yatay çerçeveler K, yatay ve 8 metrelik ikincil kirişler S ve 4 metrelik ikincil kirişler ise D ile gösterilmiş her kat başında bağlı bulunduğu kat sayısına göre numaralandırılmıştır. Örneğin 1. Kat için K101, K102, S101, S102, D101, D102 şeklinde iken ikinci katta K201, K202, S201, S202, D201, D202 şeklindedir.

Assemblyde oluşturulan her bir instance için rename komutu kullanılarak isim verilmiştir. Sonra bu isim numaraları kullanılarak constrain tanımlanmıştır. Constrain tanımlamaları bu isimlere bağlı oluşturulmuştur.

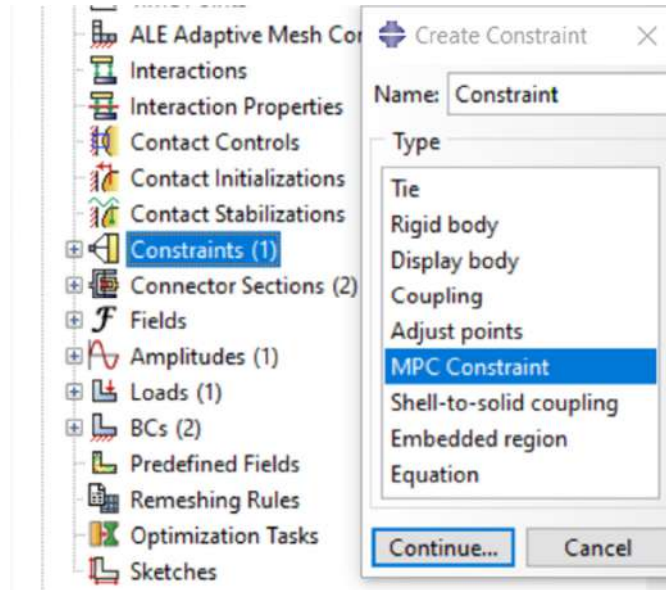
Oluşturulan kolonlar partının tabandaki düğüm noktaları seçilerek bir ankastre mesnet seti oluşturulmuştur. Daha sonra BCs (Boundary Conditation) sekmesinden kolonlar partının mesnet setine ankastre mesnet tanımlaması yapılır.

Her bir katın kolonları çizildikten ve mesnetleri tanımlanmasından sonra ABAQUS programında 'kolonlar' adı altında part oluşturularak her bir kattaki sağ ve sol dönme merkezleri tanımlanmıştır.

Dış çerçeve kirişleri olarak adlandırılan K kirişleri PKL ve PKR, 8 metrelik ikincil kirişler PSL ve PSR, 4 metrelik ikincil kirişler ise PDL ve PDR şeklinde tanımlanmıştır. Örneğin K101 kirişinin sağ ve solunda bulunan PK101L ve PK101R olarak gösterilmiştir.

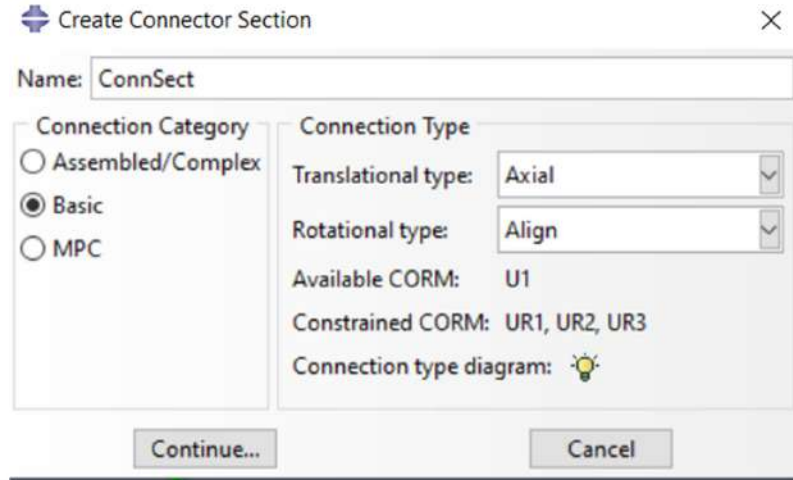
Her bir kiriş için 2 dönme noktası tanımlanarak her kat için 168, 5 kat için ise toplamda 840 adet dönme noktası tanımlanmıştır.

Dönme noktalarının tanımlanmasının ardından 'MPC Constraint' ile kirişlere bağlanmıştır. Kirişler kolonlara Pin ile bağlanarak kirişlerin dönmeleri sağlanmıştır.

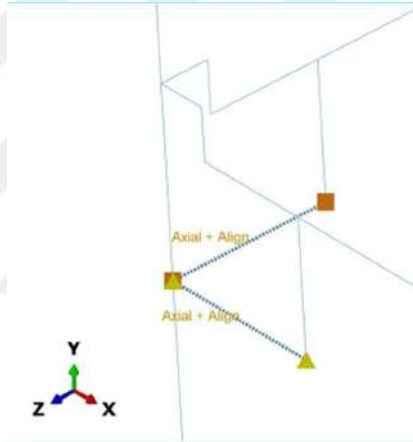


Şekil 5.38. MPC Constraint oluşturulması

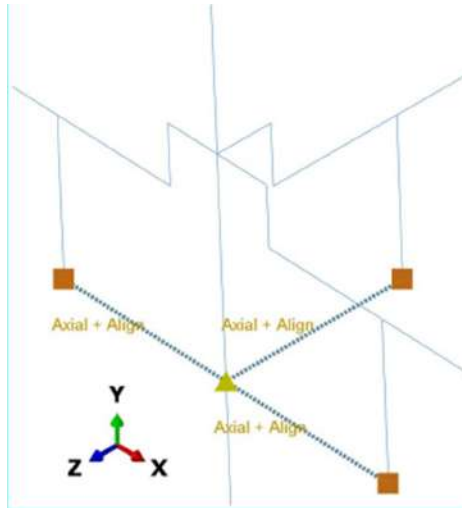
Constraints sekmesinde 'Create Connector Section' açılarak Basic bağlantı seçilir. Şekilde görüldüğü gibi translational type 'Axial' ve rotational type 'Align' olarak işaretlenerek Konnektörlerin UR1, UR2 ve UR3 yönünde dönmesi kısıtlanır.



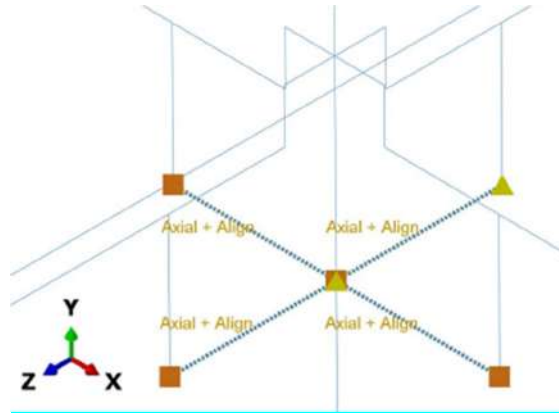
Şekil 5.39. Konnektör oluşturulması



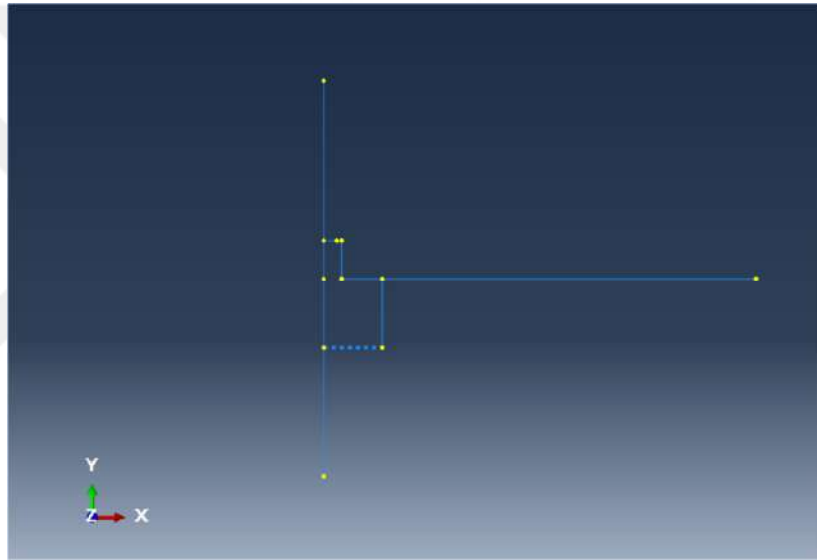
Şekil 5.40. İkili konnektör gösterimi



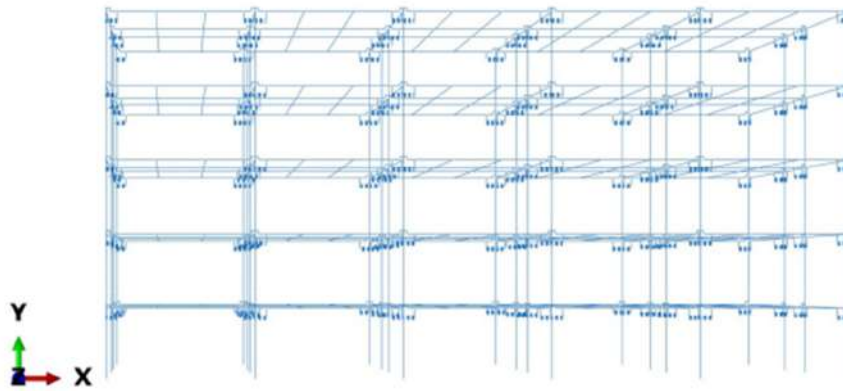
Şekil 5.41. Üçlü konnektör gösterimi



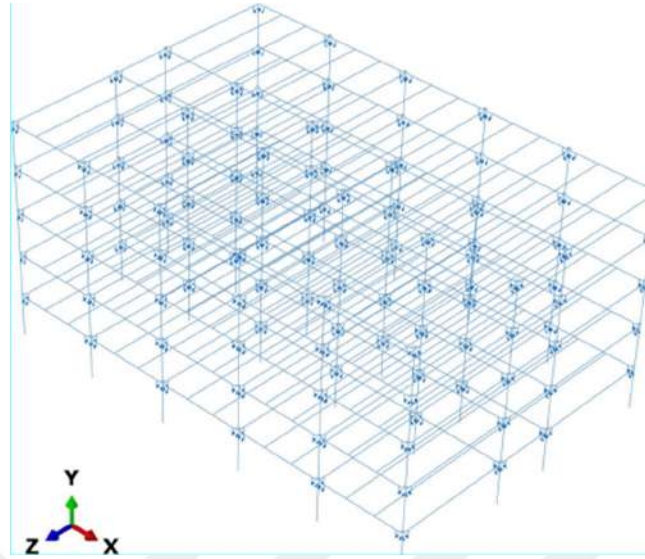
Şekil 5.42. Dörtlü konnektör gösterimi



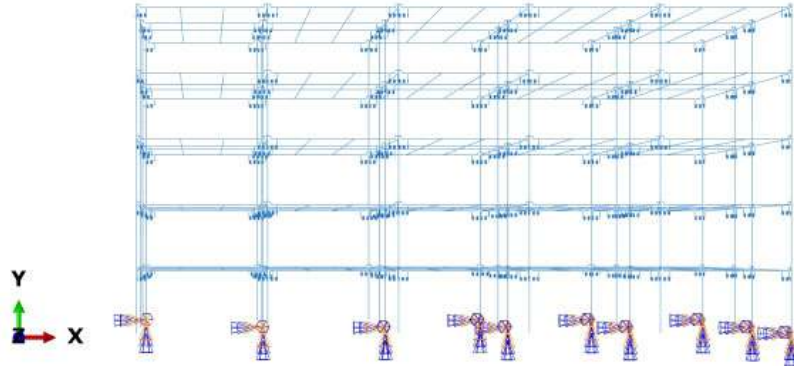
Şekil 5.43. Konnektör gösterimi



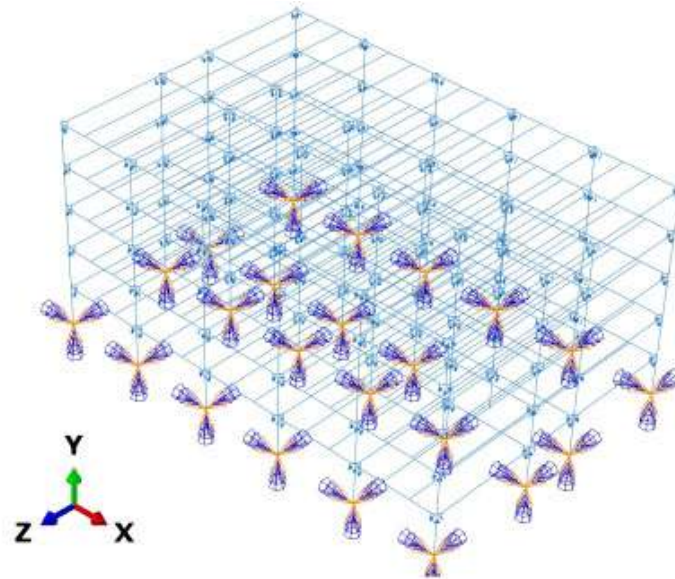
Şekil 5.44. Yapının 3 boyutlu görünümü (X-Y)



Şekil 5.45. Yapının 3 boyutlu görünümü (X-Y-Z)



Şekil 5.46. Ankastre Mesnet Gösterimi



Şekil 5.47. Yapının 3 boyutlu görünümü (X-Y-Z)

5.5.2 Sabit ve hareketli yükler

Tanımlama işlemlerinin ardından sisteme yükleme işlemine geçilmiştir. Döşemelerden kirişlere aktarılan yükler hesap edilerek her bir kirişe gelen yükler belirlenerek sisteme tanıtılmıştır.

Çizelge 5.6. Kat Döşemelerinde Uygulanacak Düşey Yükler (Öz, 2018)

Kat Döşemelerinde Bulunanlar	Yük	Birim
Zati Ağırlık	2.9	kN/m ²
Sıva	0.4	kN/m ²
Kaplama	1.1	kN/m ²
Asma Tavan	0.2	kN/m ²
Toplam Sabit Yük	4.6	kN/m ²

Çizelge 5.7. Çatı Döşemelerinde Uygulanacak Düşey Yükler (Öz, 2018)

Çatı Döşemelerinde Bulunanlar	Yük	Birim
Zati Ağırlık	2.9	kN/m ²
Sıva	0.4	kN/m ²
Çatı Kaplaması	1	kN/m ²
İzolasyon	0.2	kN/m ²
Asma Tavan	0.2	kN/m ²
Toplam Sabit Yük	4.7	kN/m ²

Çizelge 5.8. Uygulanacak Hareketli Yükler (Öz, 2018)

Hareketli Yükler	Yük	Birim
Ofis Alanlarında	2	kN/m ²
Ofis Koridorlarında	5	kN/m ²
Çatı Alanlarında	1.5	kN/m ²

Tablo 5.1. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (TBYD, 2018)

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

$$\text{Yük Birleşimi} = G + 0.3Q \quad (\text{Öz, 2018}) \quad (18)$$

S101-S116-S117-S132 Kirişlerinin Yük Hesabı (8m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük (G)} = \frac{1}{2} * 4.6 * 2 = 4.6 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2} * 2 * 2 = 2 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 4.6+0.3*2 = 5.2 \text{ kN/m}$$

S102-S103-...-S130-S131 Kirişlerinin Yük Hesabı (8m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük (G)} = \frac{1}{2}*4.6*2*2 = 9.2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2}*2*2*2 = 4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 9.2+0.3*4 = 10.4 \text{ kN/m}$$

D101-D116 Kirişlerinin Yük Hesabı (4m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük (G)} = \frac{1}{2}*4.6*2 = 4.6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2}*5*2 = 5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 4.6+0.3*5 = 6.1 \text{ kN/m}$$

D102-D103-...-D114-D115 Kirişlerinin Yük Hesabı (4m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük} = \frac{1}{2}*4.6*2*2 = 9.2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2}*5*2*2 = 10 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 9.2+0.3*10 = 12.2 \text{ kN/m}$$

S501-S516-S517-S532 Kirişlerinin Yük Hesabı (8m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük (G)} = \frac{1}{2}*4.7*2 = 4.7 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2}*1.5*2 = 1.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 4.7+0.3*1.5 = 5.15 \text{ kN/m}$$

S502-S503-...-S530-S531 Kirişlerinin Yük Hesabı (8m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük (G)} = \frac{1}{2}*4.7*2*2 = 9.4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2}*1.5*2*2 = 3 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 9.4+0.3*3 = 10.3 \text{ kN/m}$$

D501-D516 Kirişlerinin Yük Hesabı (4m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük (G)} = \frac{1}{2}*4.7*2 = 4.7 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2}*1.5*2 = 1.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 4.7+0.3*1.5 = 5.15 \text{ kN/m}$$

D502-D503-...-D514-D515 Kirişlerinin Yük Hesabı (4m İkincil Ara Kirişler)

$$\text{Sabit Yük (G)} = \frac{1}{2}*4.7*2*2 = 9.4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük (Q)} = \frac{1}{2}*1.5*2*2 = 3 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam (G+0.3Q)} = 9.4+0.3*3 = 10.3 \text{ kN/m}$$

Kat Ağırlıklarının Hesabı (1 Kat İçin)

$$\text{Toplam Döşeme Alanı} = 30*20 = 600 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam Enkesit Alanı} = 24*0.358*0.021+2*0.408*0.021= 0.592\text{m}^2$$

$$\text{Toplam Kiriş Uzunluğu} = 30*4+20*6 = 240\text{m}$$

$$\text{Toplam sabit yük} = 4.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
\text{Toplam Döşeme Ağırlığı} &= 120 * (4.6+03.*5) = 732\text{kN}(\text{Ofis koridorlarında}) \\
&= 480 * (4.6+0.3*2) = 2496\text{kN} (\text{Ofis alanlarında}) \\
\text{Toplam} &= 3228\text{kN}
\end{aligned}$$

$$\text{Toplam Kolon Ağırlığı} = 0.592\text{m} * (3-0.291)*78.5 = 125.893 \text{ kN}$$

$$\text{Toplam Kiriş Ağırlığı} = 0.302*0.012*2+0.548+0.012*240*78.5 = 317.341 \text{ kN}$$

$$1. \text{ katın toplam ağırlığı } (w_1) = 3671.233$$

$$1. \text{ katın toplam kütlesi } (m_1) = w_1/g = 374.234 \text{ kN}$$

Çatı Katı

$$\text{Toplam Döşeme Ağırlığı} = 600 * (4.7+03.*1.5) = 3090\text{kN}$$

$$\text{Toplam Kolon Ağırlığı} = 0.592\text{m} * (3-0.291)*78.5 = 125.893 \text{ kN}$$

$$\text{Toplam Kiriş Ağırlığı} = 0.302*0.012*2+0.548+0.012*240*78.5 = 317.341 \text{ kN}$$

$$\text{Çatı katının toplam ağırlığı } (w_5) = 3533.234$$

$$\text{Çatı katının toplam kütlesi } (m_5) = w_5/g = 360.167 \text{ kN}$$

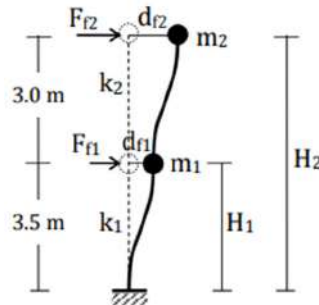
$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad (\text{TBDY, 2018}) \quad (19)$$

$$\text{Toplam ağırlık} = m_1+m_2+m_3+m_4+m_5 = 1857.108 \text{ kN}$$

5.5.3 Statikçe eşdeğer deprem yükü hesabı

5.5.3.1 Rijit diyafram kabulü ile binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabı

$$F_{fi} = (V_t - \Delta F_N) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (20)$$



Şekil 5.48. i. kata etkiyen fiktif yükler

Burada i. kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} , yukarıdaki denklemde $(V_t - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir değer (örneğin 100) yazılarak elde edilir (TBDY, 2018).

$$\begin{aligned}
 F_{f1} &= 374.234 \times 4 + 360.167 & = & 16629.525 \text{ kN} \\
 F_{f1} &= 100 \times (374.234) \times 3 / 16629.525 & = & 6.751 \text{ kN} \\
 F_{f2} &= 100 \times (374.234) \times 6 / 16629.525 & = & 13.502 \text{ kN} \\
 F_{f3} &= 100 \times (374.234) \times 9 / 16629.525 & = & 20.253 \text{ kN} \\
 F_{f4} &= 100 \times (374.234) \times 12 / 16629.525 & = & 27.004 \text{ kN} \\
 F_{f5} &= 100 \times (360.167) \times 15 / 16629.525 & = & 32.487 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

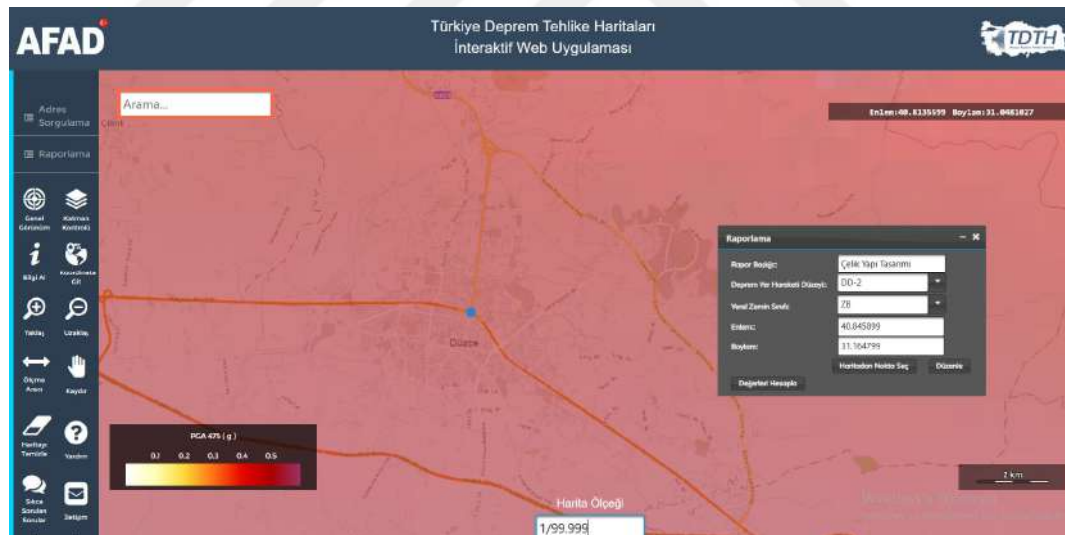
Ampirik doğal titreşim periyodu 21. Denklem ile hesaplanacaktır. Çelik çerçevelerden oluşan binalarda C_t değeri 0.08 alınır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (\text{TBDY, 2018}) \quad (21)$$

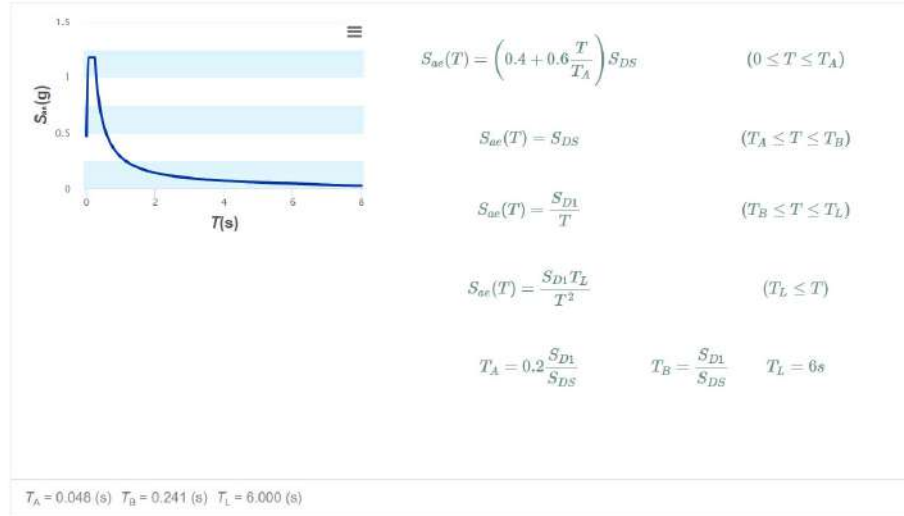
$$T_{pA} = 0.08 \times (15)^{3/4} = 0.60976$$

5.5.3.2 Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi

URL-10 adresinden, e-devlet şifresi ile “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması”na girilir.



Şekil 5.49. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (URL-10)



Şekil 5.50. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu (URL-10)

Seçilen Bölge	: Düzce
Rapor Başlığı	: Çelik Yapı Tasarımı
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	: DD-2 (Tasarım Depremi)
Yerel Zemin Sınıfı	: ZB
Enlem	: 40.845899
Boylam	: 31.164799
S_s	: 1.309
S_1	: 0.355
S_{DS}	: 1.178
S_{D1}	: 0.284
PGA	: 0.538 g
PGV	: 34.037 cm/sn

5.5.3.3 Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \quad (\text{TBDY, 2018}) \quad (22)$$

$$S_{ae}(T) = S_{D1} / T = 0.284 / 0.60976$$

$$S_{ae}(T) = 0.46576g$$

$$0.241 \leq 0.46576 \leq 6.0$$

Tablo 5.2. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
C12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	BYS ≥ 2
C13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	BYS ≥ 4
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	3	BYS ≥ 2
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	6	2.5	BYS ≥ 2
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	-
C2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
C21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	BYS ≥ 4
C22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2	BYS ≥ 4
C3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
C31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	BYS ≥ 7
C32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	BYS = 8
C33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 7

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı Tablo 5.2'den $R=4$ alınır.

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

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

(TBDY, 2018)

(23)

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)}$$

(TBDY, 2018)

(24)

$$S_{aR}(T) = 0.46576g/4 = 0.116425g$$

$$V_t = m_t S_{aR}(T) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

(TBDY, 2018)

(25)

$$0.04 \times 1857.108 \times 1 \times 1.178g \leq 1857.103 \times 0.116425g$$

$$858.44 \text{ kN} \leq 2121.052 \text{ kN}$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ 'in değeri 26. Denklem ile belirlenecektir.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{tE}^{(X)} \quad (\text{TBDY, 2018}) \quad (26)$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 \times 5 \times 2121.052 = 79.539 \text{ kN}$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün $\Delta F_{NE}^{(X)}$ dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına 27. Denklem ile dağıtılacaktır.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (\text{TBDY, 2018}) \quad (27)$$

$$F_1 = 2041.513 \times 374.234 \times 3 / 16629.525 = 137.828 \text{ kN}$$

$$F_2 = 2041.513 \times 374.234 \times 6 / 16629.525 = 275.656 \text{ kN}$$

$$F_3 = 2041.513 \times 374.234 \times 9 / 16629.525 = 413.483 \text{ kN}$$

$$F_4 = 2041.513 \times 374.234 \times 12 / 16629.525 = 551.311 \text{ kN}$$

$$F_5 = 2041.513 \times 360.167 \times 15 / 16629.525 = 663.235 \text{ kN}$$

1. katta B aksı tarafından taşınan yük 28. Denklem ile hesaplanmıştır.

$$F_{1B} = \frac{\sum k_{1Bx}}{\sum k_{1x}} F_1 \quad (\text{TBDY, 2018}) \quad (28)$$

$$K_{1z} = 712320 / 4 = 178080 \text{ kN / m (24 akstan 6 aksa düşen değer)}$$

$$F_{1x} = 178080 \times 137.828 / 712320 = 34.457 \text{ kN}$$

$$F_{2x} = 178080 \times 275.656 / 712320 = 68.914 \text{ kN}$$

$$F_{3x} = 178080 \times 413.483 / 712320 = 103.371 \text{ kN}$$

$$F_{4x} = 178080 \times 551.311 / 712320 = 137.828 \text{ kN}$$

$$F_{5x} = 178080 \times 663.235 / 712320 = 165.809 \text{ kN}$$

$$K_{1y} = 2029.44 / 6 = 338.24 \text{ kN / m}$$

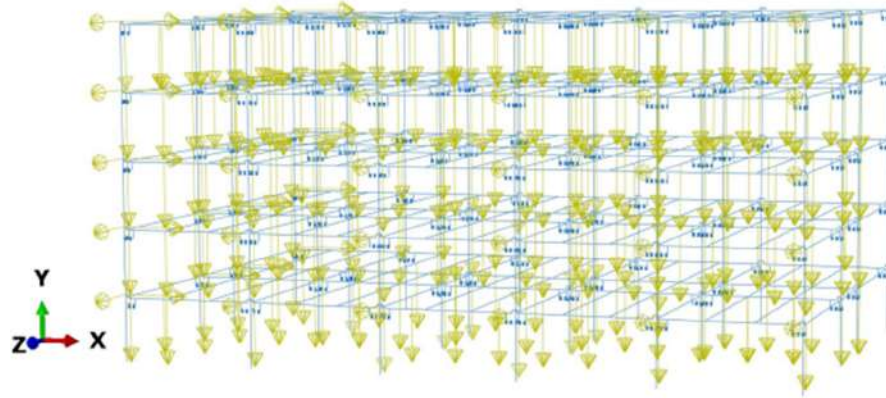
$$F_{1z} = 338.24 \times 137.828 / 2029.44 = 22.971 \text{ kN}$$

$$F_{2z} = 338.24 \times 275.656 / 2029.44 = 45.943 \text{ kN}$$

$$F_{3z} = 338.24 \times 413.483 / 2029.44 = 68.914 \text{ kN}$$

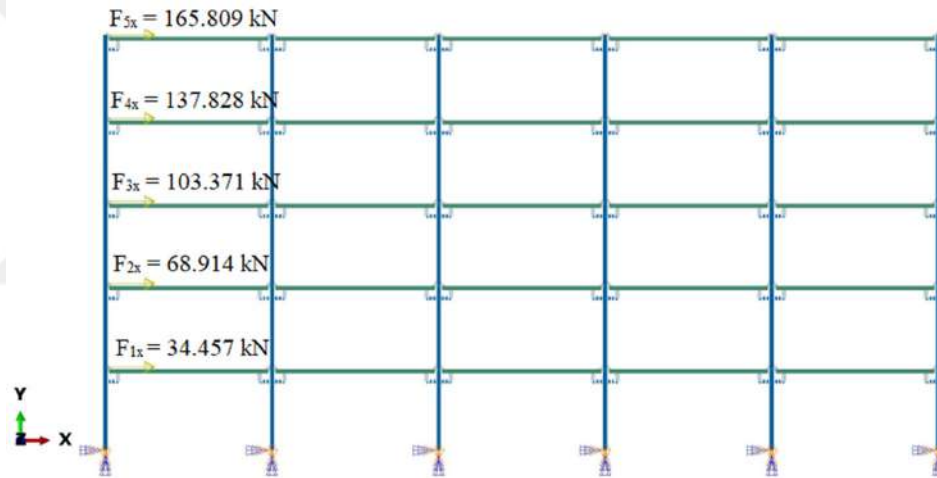
$$F_{4z} = 338.24 \times 551.311 / 2029.44 = 91.885 \text{ kN}$$

$$F_{5z} = 338.24 \times 663.235 / 2029.44 = 110.539 \text{ kN}$$

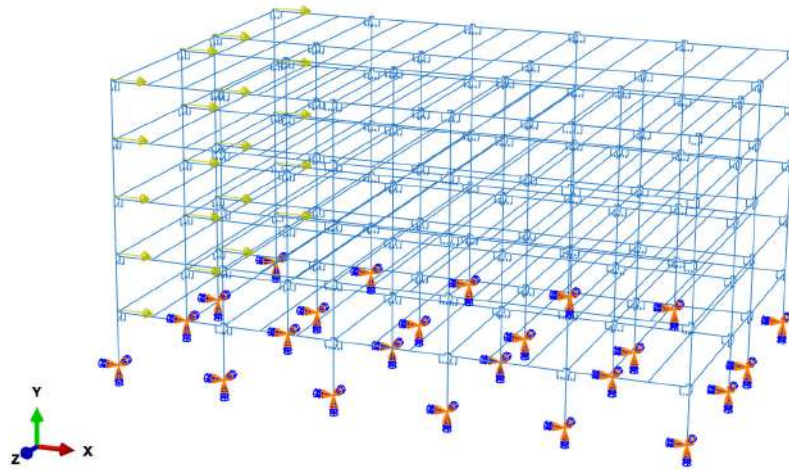


Şekil 5.51. Sisteme Etkiyen Yükler (Sabit, Hareketli, Deprem)

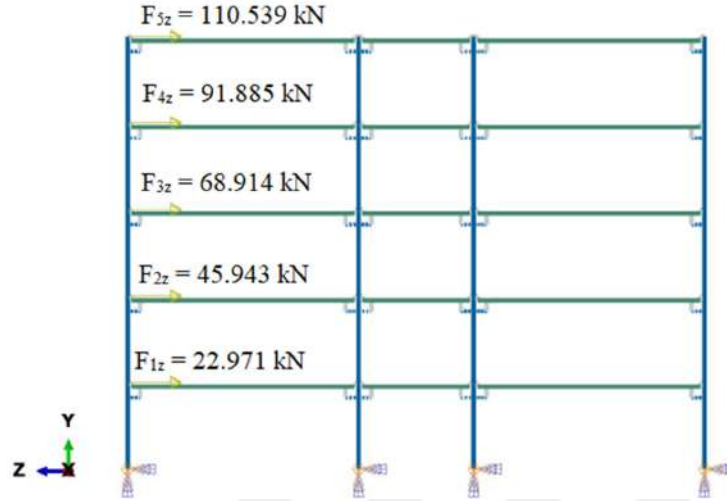
5.5.4 Analiz sonuçları



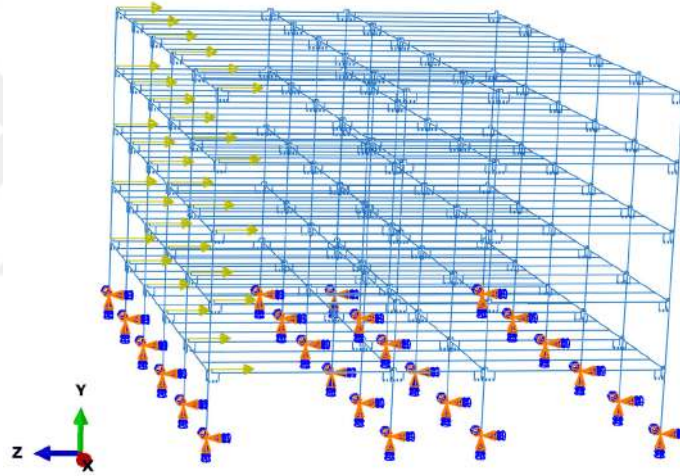
Şekil 5.52. X yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-1



Şekil 5.53. X yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-2



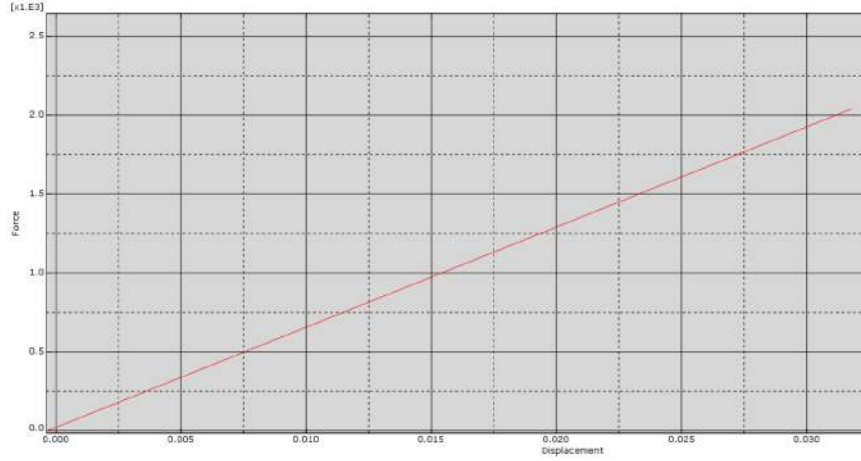
Şekil 5.54. Z yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-1



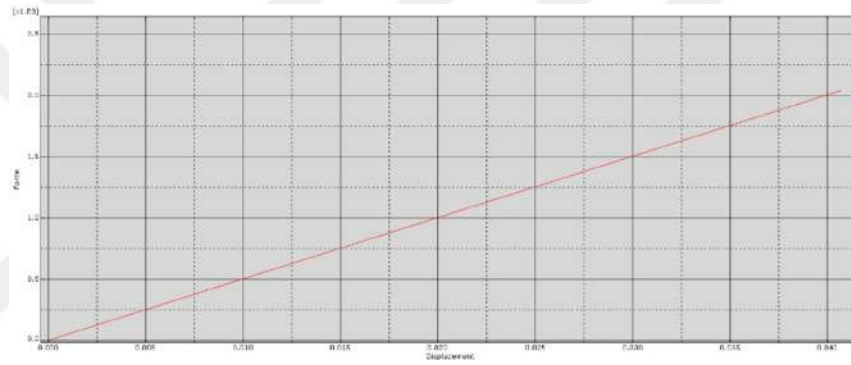
Şekil 5.55. Z yönü statik eşdeğer deprem yüklemesi görünüm-2

Binada X yönü planda uzun doğrultuya, Z yönü ise planda kısa doğrultuya tekabül etmektedir. Her ne kadar gerekirse de, tüm kolon-kiriş birleşim noktalarına yarıklı sönümleyici tanımlanmıştır.

Örnek binanın öncelikle hesaplanan statik eşdeğer deprem yükü altında, X ve Z doğrultularında ayrı ayrı analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu taban kesme kuvveti ve en üst kat tepe deplasmanı arası ilişki elde edilmiştir. X doğrultusunda maksimum tepe deplasmanı 0.0318 m (Şekil 5.56), Z doğrultusunda maksimum tepe deplasmanı -0.0407 m (Şekil 5.57) elde edilmiştir. Toplam eşdeğer deprem yükü değeri her iki durumda da 2041.52 kN olarak uygulanmıştır. Görüldüğü gibi mevcut deprem yükü altında elde edilen kuvvet deplasman ilişkileri doğrusaldır. Bu nedenle yarıklı sönümleyicilerde herhangi bir doğrusal olmayan davranış söz konusu olmamıştır.

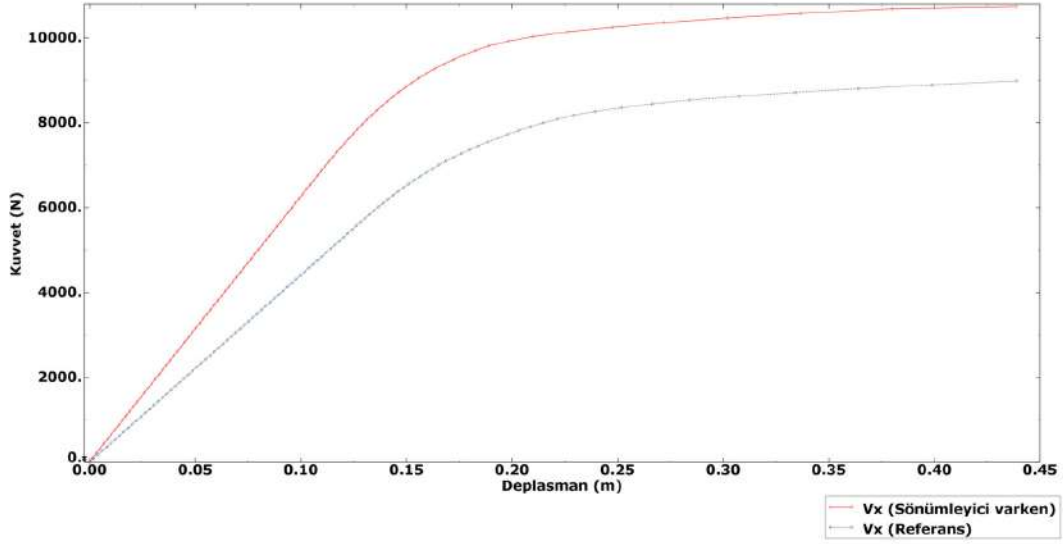


Şekil 5.56. X doğrultusunda statik eşdeğer deprem yükü altında analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi

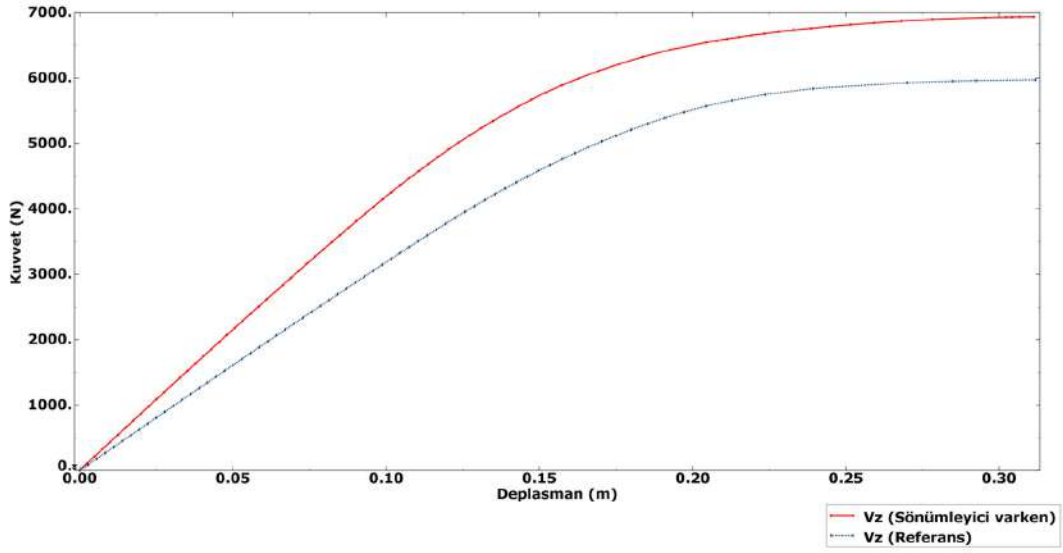


Şekil 5.57. Z doğrultusunda statik eşdeğer deprem yükü altında analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi

Doğrusal olmayan davranışı gözlemlemek amacıyla, statik eşdeğer deprem yükü orantısız olarak artırılmış ve her iki doğrultuda statik itme (push-over) analizleri gerçekleştirilmiştir. Yarıklı sönümleyicinin kullanılmadığı durumdaki davranış referans durum olarak kabul edilerek, yarıklı sönümleyicilerin var olduğu durumdaki davranış ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.58 ve 5.59'da statik itme analizi elde edilen doğrusal olmayan kuvvet deplasman ilişkileri gösterilmiştir. Sistem üzerindeki yarıklı sönümleyicilerin yük deplasman davranışları incelendiğinde en çok zorlanan sönümleyicilerin zemin kat ve 1. katta buldukları gözlemlenmiştir. Sönümleyicilerin bulunduğu durumda sistemin rijitliğinde ve enerji yutma kapasitesinde kayda değer artış gözlenmiştir.

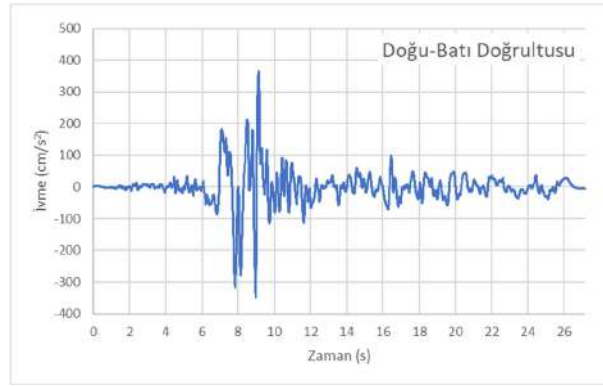


Şekil 5.58. X doğrultusunda statik itme analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi ($U_y=0.144\text{m}$ ve $P_y=8790\text{kN}$)

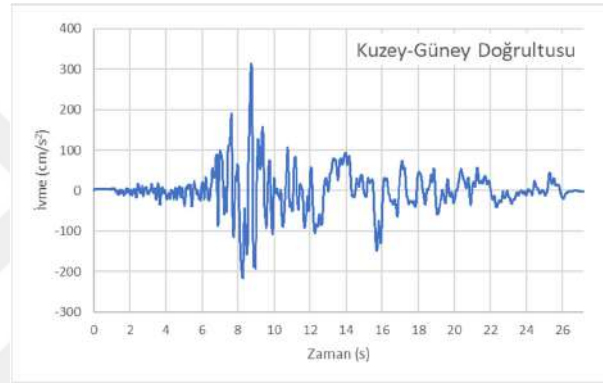


Şekil 5.59. Z doğrultusunda statik itme analizi sonucu kuvvet-deplasman ilişkisi ($U_y=0.115\text{m}$ ve $P_y=5120\text{kN}$)

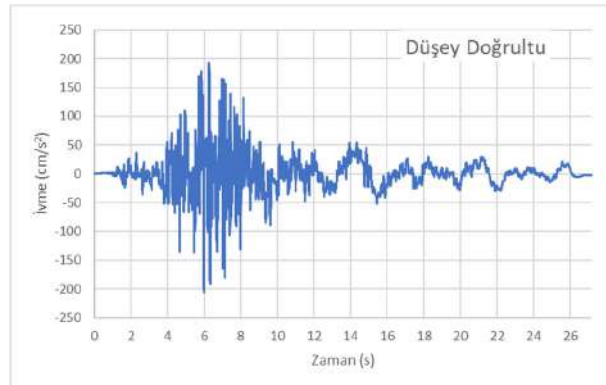
Binanın ve binadaki sönümleyicilerin güçlü bir yer hareketi altındaki davranışını incelemek amacıyla, 1999-Gölcük depremi sırasında Düzce merkez istasyonunda ölçülen deprem kayıtları (N-S, E-W ve U-D) kullanılarak zaman tanım alanında analiz (Time-history analysis) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.60. 1999-Gölcük depremi (D-B) doğrultusu ivme kaydı, Düzce merkez istasyonu

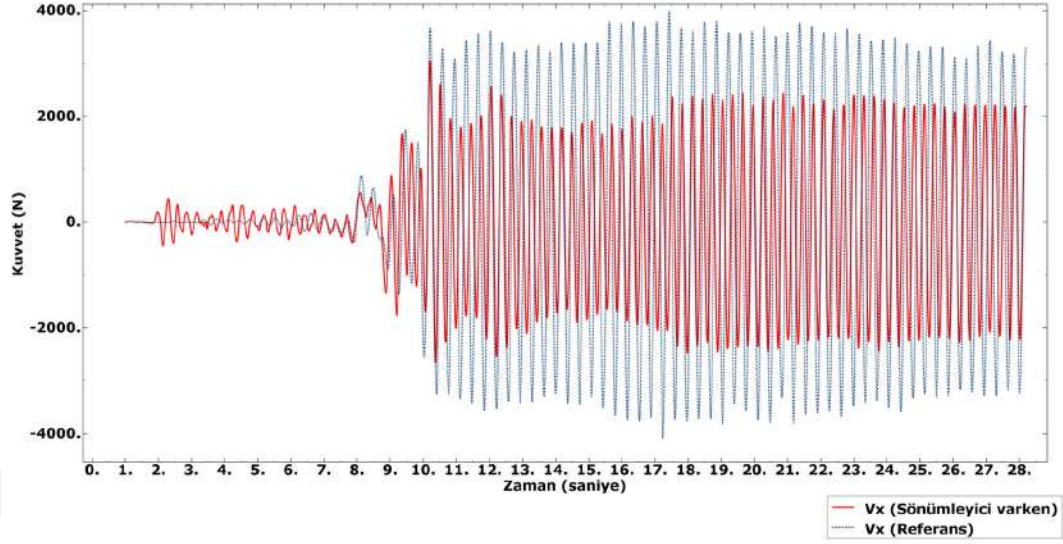


Şekil 5.61. 1999-Gölcük depremi (K-G) doğrultusu ivme kaydı, Düzce merkez istasyonu

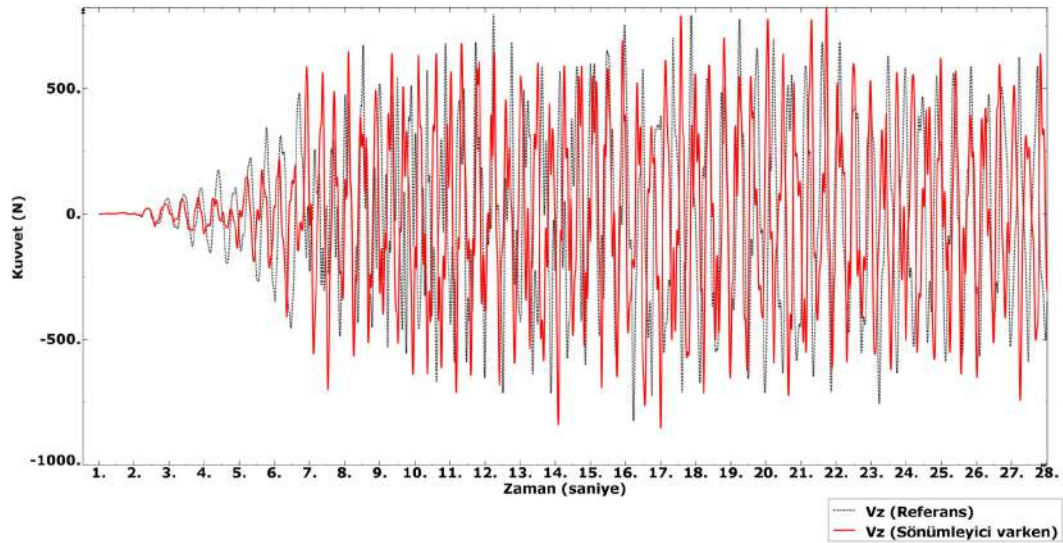


Şekil 5.62. 1999-Gölcük depremi (U-D) doğrultusu ivme kaydı, Düzce merkez istasyonu

Deprem kayıtları bina tabanından ivme sınır koşulu olarak ve eşzamanlı uygulanmıştır. Abaqus programında Dynamic, Implicit analizi gerçekleştirilerek taban kesme kuvvetinin ve bina tepe deplasmanının deprem süresince aldığı değerler grafik halinde çizilmiştir. Şekil 5.63 ve Şekil 5.64'te X ve Z doğrultusu için taban kesme kuvvetinin deprem sırasındaki değişimi çizilmiştir.



Şekil 5.63. Deprem süresince X doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin değişimi

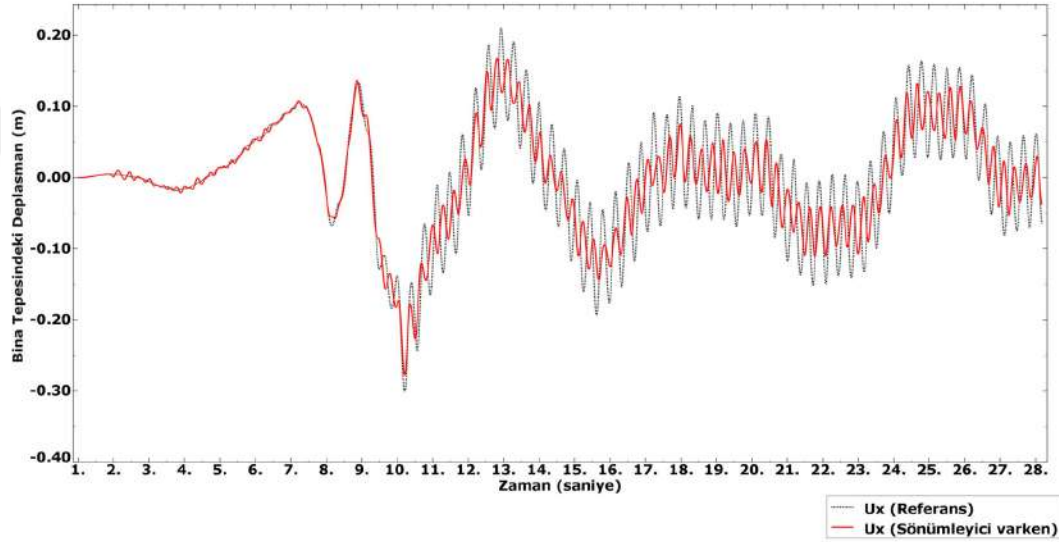


Şekil 5.64. Deprem süresince Z doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin değişimi

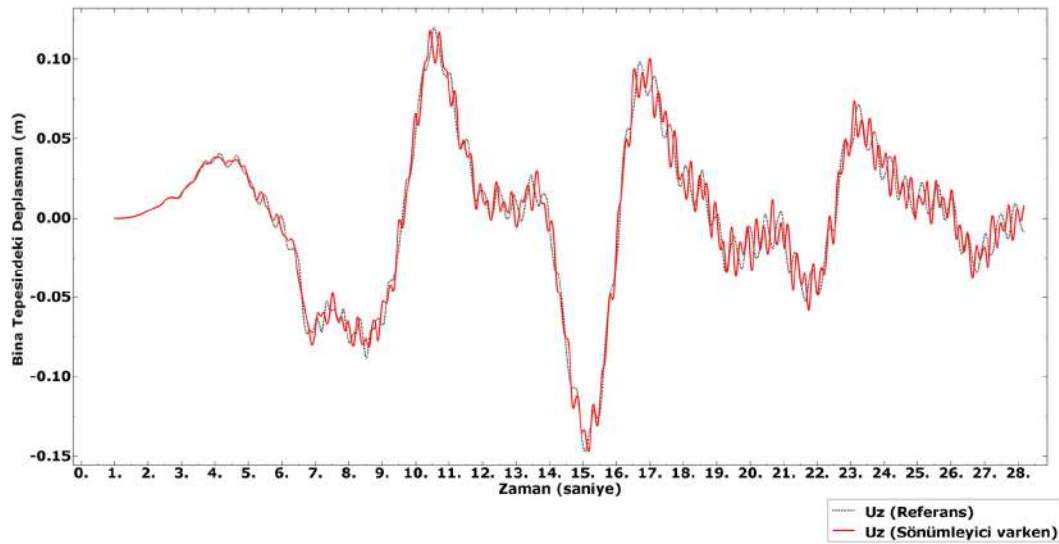
Şekil 5.63'te görüldüğü gibi, X doğrultusundaki deprem davranışında, yarıklı sönümleyicilerin kullanımı taban kesme kuvvetinin pik değerini referans sistemdeki 3998kN değerinden 3057 kN değerine indirmiştir. Bu da yaklaşık %30 civarında bir azalmaya karşılık gelmektedir. Ancak sadece deprem boyunca meydana gelen pik değer karşılaştırılması doğru olmaz. Deprem boyunca hesaplanan kesme kuvveti değerlerinin ortalama değerlerini karşılaştırmak daha doğru bir yöntemdir. Referans sistemde bu ortalama değer 1607kN iken, yarıklı sönümleyicili sistemde 1083kN değerine inmiştir. Bu da %48 civarında bir azalmaya karşılık gelmektedir.

Şekil 5.64'te görüldüğü gibi, Z doğrultusundaki deprem taban kesme kuvveti X doğrultusundaki deprem taban kesme kuvveti değerinin yaklaşık %25'i kadar olup, depremde etkin doğrultunun X doğrultusu olduğu görülmektedir. Bu durumun dikkate alınması ile, yarıklı sönümleyicilerin sistemin Z doğrultusundaki davranışını çok az etkilediği söylenebilir.

Şekil 5.65 ve Şekil 5.66'da ise X ve Z doğrultusu için bina tepe noktası deplasmanının deprem sırasındaki değişimi çizilmiştir.



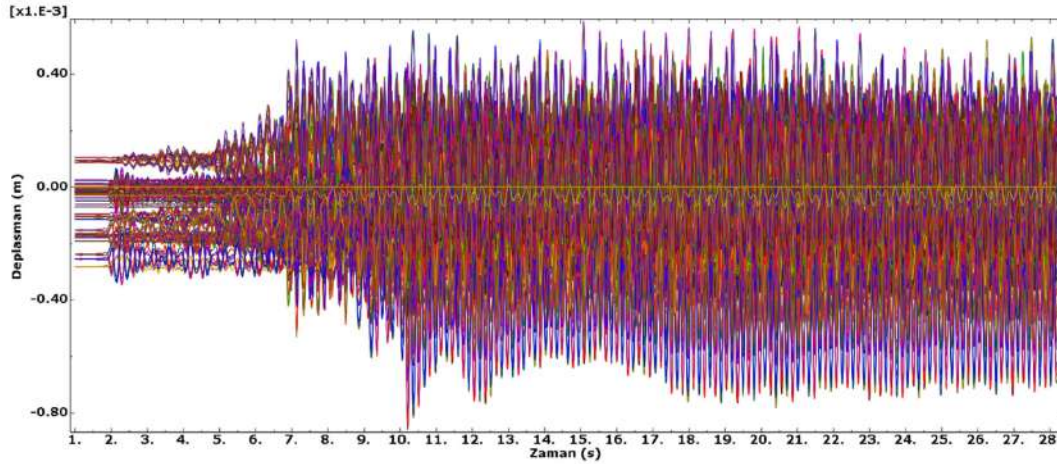
Şekil 5.65. Deprem süresince X doğrultusundaki bina tepe deplasmanı değişimi



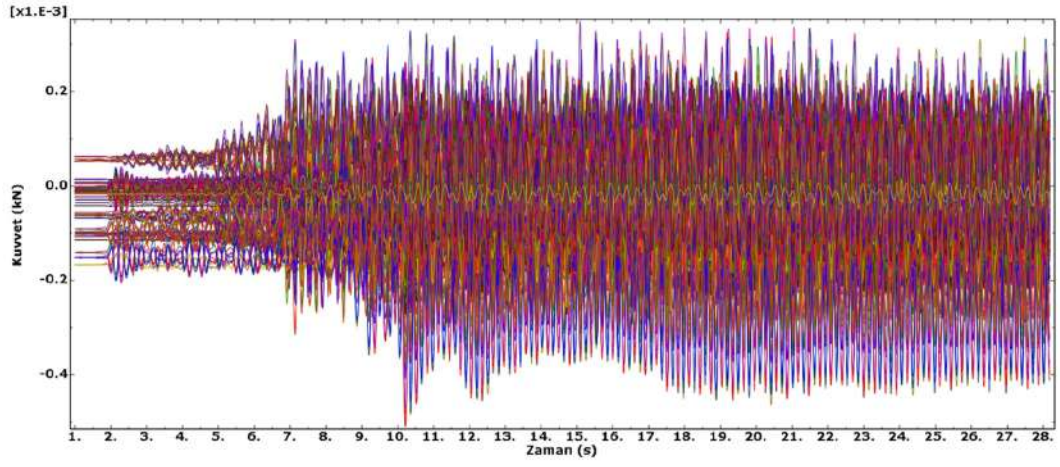
Şekil 5.66. Deprem süresince Z doğrultusundaki bina tepe deplasmanı değişimi

X doğrultusunda hesaplanan bina tepe deplasmanı pik değeri Referans sistem için 21cm olurken, yarıklı sönümleyicili sistem için bu değer 16.8 cm'ye inmiştir. Deplasman pik değerinde %25 civarındaki azalma, taban kesme kuvvetinde meydana gelen azalma ile paralellik arz etmektedir. Z doğrultusunda hesaplanan tepe deplasmanları, Referans sistem ile yarıklı sönümleyicili sistemde oldukça yakın değerlerdedir.

Deprem sırasında binadaki tüm yarıklı sönümleyicilerde ölçülen rölatif deplasmanlar ve eksenel iç kuvvet değerleri sırasıyla Şekil 5.67 ve Şekil 5.68'de verilmiştir. Yarıklı sönümleyicilerde meydana gelen rölatif deplasman ve eksenel kuvvet değerleri oldukça düşük bulunmuştur. Bu nedenle yarıklı sönümleyicilerde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Binadaki kolon-kiriş birleşimlerinin tamamında yarıklı sönümleyici teşkil edilmesi sistemdeki enerjinin büyük oranda sönümlenmesini sağlamıştır. Ancak çok sayıda sönümleyici teşkili yerine, en çok zorlanan sönümleyicilerin tespit edilmesi ve daha sonra az zorlanan sönümleyicilerin sistemden elimine edilmesi ile, sönümleyicilerde çok daha büyük iç kuvvetler oluşması ve sönümleyici hasarı meydana gelmesi sağlanabilir.



Şekil 5.67. Tüm yarıklı sönümleyicilerde deprem sırasında oluşan rölatif deplasmanlar



Şekil 5.68. Tüm yarıklı sönümleyicilerde deprem sırasında oluşan aksenal iç kuvvetler

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, literatürde mevcut çeşitli geometrik özelliklere sahip çelik yarıklı sönümleyicilere ait davranış incelenmiş ve mukavemet ve süneklik özellikleri bakımından en uygun olanı seçilerek modelleme ve analizlerde kullanılmıştır. Modelleme için katı sonlu elemanlar kullanılması en doğru sonuçları verse de, bu tür modellemenin uygulamada çok katlı bir yapı için kullanılmasının neredeyse imkansız olduğu açıktır. Ancak kiriş elemanlarla yapılacak benzeştirmeli bir modellemenin doğruluk derecesinin değerlendirilebilmesi için katı modellemeye ve analizine ihtiyaç bulunmaktadır. Örnek bir kiriş-kolon birleşimine bağlanan çelik yarıklı sönümleyicinin katı elemanlarla modellemesi yapılmış ve sistemde kiriş ucundan uygulanan tersinir-tekrarlı bir deplasman yüklemesi sonucunda sistemde meydana gelen iç kuvvetler ve deplasmanlar değerlendirilmiştir. Ardından, kiriş tipi sonlu elemanlar ile çelik yarıklı sönümleyicilerin modellenmesi konusu araştırılmış ve pratikte uygulanabilir bir model seçilmiştir. Kiriş tipi sonlu elemanların kullanıldığı örnek bir kolon-kiriş birleşimine bağlanan çelik yarıklı sönümleyicinin tersinir-tekrarlı yükleme altındaki davranışının katı modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması ve doğrulanmasının ardından, çok katlı çelik bir binaya uygulanmasına geçilmiştir. Örnek olarak seçilecek çok katlı çelik binanın mevcut tasarım standartlarına uygun olmasına bakılarak Öz (2018) tarafından tasarlanmış 5 katlı çelik bir bina dikkate alınmıştır. Çelik yarıklı sönümleyicilerin taşıyıcı sistemin kolon-kiriş birleşim bölgesine yerleştirildiği sonlu eleman modeli statik itme ve zaman tanım alanında deprem kaydı analizlerine tabi tutulmuştur. Statik-eşdeğer deprem yükleri Düzce merkezdeki bir lokasyon için hesaplanmıştır. Zaman tanım alanında analiz için, 1999 yılında Gölcük'te meydana gelen ve büyük yıkımlara neden olan Gölcük depremine ait K-G, D-B doğrultuları yanında, düşey doğrultudaki ivme kayıtları kullanılmıştır. Analizlerde malzemenin doğrusal olmayan pekleşmeli davranışı yanında, geometrik nonlineerlik etkileri de dikkate alınarak tamamıyla doğrusal olmayan tipte analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçların doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için, analizler sönümleyici bulunmayan referans sistem için de tekrarlanmıştır. Sönümleyicili sistem modelinin analiz sonuçlarına göre yarıklı sönümleyicilerin davranışının elastik bölgenin dışına çıkmadığı görülmüştür. Bu nedenle yapı sistemi büyük deformasyonlara uğramamaktadır. Bu durum; sistemin bütün kolon kiriş bölgelerinde yarıklı sönümleyici kullanılmasına gerek olmadığını, yapıların kat sayılarına bağlı olarak sönümleyicilerin

sadece ilk katlarda kullanılmasının veya daha küçük kesitli sönümleyiciler kullanılarak sönümleyicilerin daha etkin olarak kullanılabilmesi mümkündür. Öte yandan, sönümleyicilerin kullanımının sadece belirli bölgelerle sınırlandırılması, ekonomik bir çözüm sunacaktır. Bu sayede yapı maliyetlerinin optimize edilmesi ve sönümleyicilerin amacına uygun bir şekilde kullanılması mümkün olacaktır.

Örnek çok katlı çelik binada, seçilen güçlü yer hareketi için, çelik yarıklı sönümleyiciler kullanımı sayesinde, referans binadaki ortalama taban kesme kuvvetinde yaklaşık %48 azalma ve bina tepesi kat deplasmanının pik değerinde ise yaklaşık %25 azalma meydana geldiği görülmüştür. Yapıya eklenen sönümleyicilerin yapı üzerinde oluşan deprem etkilerini kayda değer derecede azalttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, çelik yarıklı sönümleyiciler sayesinde depremi en az hasar ile atlatabilecek, oldukça sünek ve sönümleyici hasarı kolayca onarılabilen bir yapı sistemi elde edilmiştir.

6.2 Öneriler

Bu çalışma, çubuk sonlu elemanlar modeli kullanılarak yapılan çelik yarıklı sönümleyicili çok katlı çelik bir binanın deprem analizi sonuçlarına dayanarak, deprem sonrası hasarın azaltılması için sönümleyici tasarımına yönelik önemli bir katkı sunmaktadır. Bu bulgular, gelecekteki benzer projelerin tasarım aşamalarına rehberlik etmek ve yapıların deprem performansını artırmak için kullanılabilir.

Bu çalışma; farklı malzemeler ile üretilen ve farklı kesitlerdeki sönümleyicilerin kullanılabilirliğini göstermektedir. Aynı zamanda kaynaklarda yer alan sönümleyicilerin hesap yöntemlerinin, yeni sönümleyici tipleri için de geliştirilmesi veya yeni hesap yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir. Böylelikle, yapı mühendisliği alanındaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yeni yollar açılabilir ve depreme karşı dayanıklı yapıların tasarımında daha etkili ve yenilikçi sönümleme çözümleri geliştirilebilir.

7 KAYNAKLAR

- Ahmed, M., 2016, Adaptive finite element simulation of sheet forming process parameters. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 30 (3), 269-265.
- Akdemir, İ., 2011, Çelik halatlarla güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemin bilgisayar destekli program analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 1-8.
- Aksoğan O. and Erdem H., 2001, Yarı rijit bağlı üç boyutlu çerçevelerin nonlinear analizi, *İmo Teknik Dergi*, No:162, Ankara, 2355-2377.
- Aldemir, Ü. and Aydın, E., 2005, Depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435 (50) , 81-89.
- Altay G., Deodatis G., Franco G., et.al. Benefit-Cost Analysis for Earthquake Mitigation: Evaluating Measures for Apartment Houses in Turkey, *2nd Annual ASA-DPRI Meeting, Integrated Disaster Management*, Laxenberg, Austria, 2002, 1-5.
- Altun, A., 2018, Afetlerin ekonomik ve sosyal etkileri: Türkiye örneği üzerinden bir değerlendirme1. *Turkish Journal of Social Work*, 2 (1), 1-15.
- Amiri, H. A., Najafabadi, E. P. and Estekanchi, H. E., 2018, Experimental and analytical study of Block Slit Damper, *Journal of Constructional Steel Research*, 141, 167-178.
- Atabey E., 2000, Deprem, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, No:34, Ankara, 27-32.
- Aynur, S., 2017, Mevcut betonarme bir insanın deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ve çelik çaprazla güçlendirme önerisi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 7-10.
- Balık, F.S., Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-19.
- Bergman D. M., Goel S.C., 1987, Evaluation of cyclic testing of steel plate devices for added damping and stiffness, *The University of Michigan*, USA, 87-(10), 1-37.
- Beyli, E., 2002, Betonarme binalara uygulanan güçlendirme yöntemleri ve perde yüksekliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-19.
- Castellano M., Colato G. P., Infanti S., 2009, The Experience Of Fip Industriale In The Retrofit Of Bridges Trough Seismic Isolation And Energy Dissipation, *Buletinul AGIR*, 2-3, 266-278.

- Chana, R.W.K. and Albermani, F., 2008, Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation, *Engineering Structures*, 30 (20), 1058-1066.
- Civjan, S.A., Engelhardt, M.D., Gross, J.L., 2000, Retrofit of Pre-Northridge Moment Resisting Connections, *Journal of Structural Engineering*, 126 (4), 445-452.
- Colunga, T. A. and Vergaro, 1997. Comporative Study on the Seismic Retrofit of a Mid-rise Steel Building, *Earth. Engrg. And Struct. Dyn.*, 26, 637-655.
- Coombs, W. M. and Motlagh, Y. G., 2017, Nurbs plasticity: Yield surface evolution and implicit stress integration for isotropic hardening, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 324, 204-220.
- Dı Sarno L., Elnashai A. S., 2002, Seismic Rettofitting of Steel and Composite Building Structures, *Mid-America Earthquake Center Civil and Environmental Engineering Department* University of Illinois at Urbana-Champaign, 4-140.
- Değer, H., 2020, Karasal rüzgar türbinlerinin zeminde oluşabilecek deformasyonların sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Burdur, 18-22.
- Dikmen, K., 2022, Korozyona uğramış çelik kutu profillerin farklı frp malzemelerle güçlendirilerek eğilme ve basınç davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-5.
- Dyke, S. J., Spencer, B. F., Jr., Sain, M. K. and Carlson, J. D., 1996, Modeling and control of magnetorheological dampers for seismic response reduction, *Smart Mater. Struct.*, 5, 565-575.
- Erkan, E., 2017, Özel bir yapı siteminin deprem güvenliğinin belirlenmesi ve çelik elemanlarla güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-6.
- Esener, E., 2020, Plastite modellerinde pekleşme etkisinin sonlu elemanlar analizi ile tespiti, 2020, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11 (1), 171-181.
- Gerengi, H. ve Şamandar, A., 2009, The necessity of corossion technology program, *1. Uluslararası 5.Ulusal Meslek Yüksek Okulları Sempozyumu*, Konya, 318-319.
- Güler, M. D., 2015, Üç katlı bir çelik yapının performansının belirlenmesi ve viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-12.
- Gültekin, A. ve Güneyisi, E.M., 2015, Yapısal çelik elemanlarla güçlendirilmiş sekiz katlı betonarme bir yapının doğrusal olmayan davranışı, *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 1021-1064.
- Hakansson, P., Wallin, M. and Ristinmaa, M., 2005, Comparison of isotropic hardening and kinematic hardening in thermoplasticity, *International Journal of Plasticity*, 21 (7), 1435-1460.

- Hattap S., Eşsiz Ö., 2005, Depreme karşı Çelik Konstriksiyon, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 950-959.
- Infanti S., Papanikolas P., Castellano M.G., 2004, Rion-antirion bridge: design and full-scale testing of the seismic protection devices, *Proceedings of 8th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structure*, Vancouver, 2174-2188.
- Kaltakçı, M., Y., Korkmaz, H., H., Köken, A. ve Arslan, M.,H., 2007, Kısmi dolgu duvarlı çelik çerçevelerin tersinir tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışının deneysel ve analitik olarak incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Konya, 28-41.
- Kitajima K, Chikui H, Ageta H, Yokouchi H., 2004, Application to response control retrofit method by means of external damping braces using friction dampers, *In: Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering*, Vancouver, 2112-2127.
- Kobori T., Miura Y., Fukusawa E., Yamada T., Arita T., Takenake Y. et al., 1992, Development and application of hysteresis steel dampers, *Proceedings of 11th world conference on earthquake engineering*, 2341-2346.
- Koçak, Y., (2015), Betonarme u-perdelerin modellenmesi ve dinamik etkiler altında performansının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 8-16.
- Koçdağ, S., 2008, Mevcut bir çelik endüstri yapısının 2007 deprem yönetmeliğine göre güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 147-149.
- Konuklu, S., 2007, Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sülfirik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 17 (7) , 105-113.
- Köken A. And Köroğlu M. A., 2011, Steel Plate Slit Damper Using on Steel Frames, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (4), 1093-1101.
- Köroğlu, M., 2007, Kompozit döşemelerde kayma bağlayıcısı olarak eksismik çeliğinin kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 86-98.
- Köroğlu, M., A., 2012, Seismic damper using on beam to column connections of steel frames, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 10-253.
- Lee, C. H., Lho, S. H., Kim, D. H., Oh, J. and Ju, Y. K., 2016, Hourglass-shaped strip damper subjected to monotonic and cyclic loadings, *Engineering Structures*, 119, 122-134.
- Lorents G., 2008, Enviromental performance reviews: Turkey 2008, OECD, 143-184.

- Mahin, S.A., 1998, Lessons from damage to steel buildings during the Northridge earthquake, *Engineering Structures*, 20 (4-6), 261-270.
- Malley, J. O., 1998, SAC Steel Project: Summary of Phase-1 testing investigation results, *Engineering Structures*, 20 (2-4), 300-309.
- Miller, D. K., 1998, Lessons learned from the Northridge earthquake. *Engineering Structures*, 20(4-6), 249-260.
- Mualla, I.Y. and Belev, B., 2002, Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation. *Engineering Structures*, 24 (3), 365-371.
- Nakashima, M., Inoue, K. and Tada, M., 1998, Classification of damage to steel buildings observed in the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake, *Engineering Structures*, 20(4-6), 271-281.
- Nuzzo, I., Losanno, D., Caterino, N., Serino, G. and Rotondo, L. M. B., 2018, Experimental and analytical characterization of steel shear links for seismic energy dissipation, *Engineering Structures*, 172, 405-418.
- Oh, S.-H., Y.-J. Kim, and H.-S. Ryu, 2009, Seismic performance of steel structures with slit dampers. *Engineering Structures*, 31 (9), 1997-2008.
- Onaran, K., 1991, Malzeme Bilimi, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul 237- 243.
- Paul, J. D., Hoppe, R. and Appel, F., 2016, On the bauschinger effect in TiAl alloys, *Acta Materialia*, 104, 101-108.
- Öz, D., 2018, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları Doğrultusunda Çelik Yapıların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 70-119.
- Şahin, Y., 2019, Mevcut bir betonarme binanın 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre zaman tanım alanında analizinin yapılarak performansının belirlenmesi ve çelik güçlendirme önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-5.
- Tunaboşlu, O., 2007, Bilgisayar destekli çelik yapı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-13.
- Tansel, M., 2010, Çok katlı çelik yapıların 2007 deprem yönetmeliğine göre analiz ve tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 33-42.
- Teng, J.G., Yu, T. and Fernando, D., 2012, Strengthening of Steel Structures with Fiber Reinforced Polymer Composites”, *Journal of Constructional Steel Research*, 78, 131-143.

- Tezer, Ö., 2005, Zayıflatılmış Kiriş Enkesitli Kiriş-Kolon Birleşimleri, *TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435 (50), 54-59.
- Tremblay, R., Bruneau, M., Nakashima, M., Prion, H., G., Fliatruault, A. and DeVall, R., 1996, Earthquake Engineering Research Institute, 23, 727-756.
- Tsai K., Chen H., Hong C., and Su Y.,1993, Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction, *Earthquake Spectra*, 9 (3), 505-528.
- Tüfekçi, E., 2019, Çelik ile güçlendirilmiş betonarme yapıların analiz değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-8.
- Xie, Q., Van Bael, A., An, Y. G., Lian, J. and Sidor, J. J., 2018, Effects of the isotropic and anisotropic hardening within each grain on the evolution of the flow stress, the r-value and the deformation texture of tensile tests for AA6016 sheets, *Materials Science and Engineering: A*, 721, 154-164.
- Yılmaz, E. E., Uzun, M. and Çöğürçü, M. T., 2018, Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi ve deprem performansının iyileştirilmesi, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 17 (3), 100-111.
- Yılmaz, M., 2016, Farklı donatı düzenine sahip betonarme yüksek kirişlerin davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 17-42.
- Yılmaz, U., 2019, Mevcut betonarme binanın çelik kat ilavesi sonrası güçlendirilerek 2018 Tbdy kapsamında performansının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-4.
- Yorgun, C., Yardımcı, N. ve Arda, T.S., 1995, ‘Kaynaklı Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3’e Göre Hesabı’, *İTÜ Dergisi*, 399-415.
- Yoshioka H., Ramallo J.C. and Spencer B.F., 2002, Smart Base Isolation Strategies Employing Magnetorheological Dampers, *Journal Of Engineering Mechanics*, 128 (5), 540-551.
- Yücekul, 2012, N. K., Çelik kafes sismlerin öngerilmiş kablolarla güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 3-12.
- Yüksel, 2001, Çelik yarı-rijit kiriş-kolon birleşimlerinin eurocode 3’e göre hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 21-28.
- URL-01 <https://www.emke.com.tr/sismik-izolasyon-nedir-sismik-izolator-kullanimi-deprem-izolasyonu/>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].
- URL-02 <https://www.sanalsantiye.com/sismik-izolatorler-2/>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].

- URL-03 <https://insapedia.com/peklesme-nedir/>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].
- URL-04 <https://proje81.com/wp-content/uploads/2016/01/Ders03-FatihSoylemez.pdf>
[Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2023].
- URL-05 <https://docplayer.biz.tr/23380169-D-ozhendekci-kesme-aktaran-basit-kiris-kiris-birlesimleri-1.html>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023]
- URL-06 <https://www.emlaknabzi.com/suneklik-nedir/>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].
- URL-07 <https://help.idecad.com.tr/ideCAD/kabuk-sonlu-eleman-lokal-akslari>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].
- URL-08 https://tr.wikipedia.org/wiki/2023_Kahramanmaraş_depremleri
[Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2023].
- URL-09 <https://volkanatabey.com.tr/abaqus-programi-ve-kullanım-alanlari/>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].
- URL-10 <https://tdth.afad.gov.tr/>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023]
- URL-11 <https://www.google.com.tr/search?q=solid+elements+finite>
[Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023]