

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KISMİ BAĞLI PREFABRİK YAPILARIN  
SİSMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Fezayil SUNCA**

**HAZİRAN 2016**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KISMİ BAĞLI PREFABRİK YAPILARIN**  
**SİSMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**İnş. Müh. Fezayil SUNCA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 / 05 / 2016**

**Tezin Savunma Tarihi : 13 / 06 / 2016**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE**

**Trabzon 2016**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Fezayil SUNCA Tarafından Hazırlanan**

**KISMİ BAĞLI PREFABRİK YAPILARIN  
SİSMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2016 gün ve 1654 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR** .....

**Üye : Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE** .....

**Üye : Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıların Sismik Performansının İncelenmesi” isimli bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı bana öneren, çalışmamın her aşamasında benimle yakından ilgilenen, engin bilgileri sayesinde hem akademik hem de gündelik yaşamımda bana yeni ufuklar açan, işim nedeniyle uzakta olmama rağmen ilgisini ve dikkatini benden bir an olsun esirgemeyen, çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden her daim yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE’ye sonsuz teşekkürlerimi sunmaktan büyük gurur ve mutluluk duyarım.

Tez çalışmamı inceleyerek bilgi ve tavsiyelerini paylaşan sayın hocalarım Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR ve Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN’e ayrı ayrı teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın İnş. Müh. Gülfem Çisem KÖSE’ye, Arş. Gör. Alperen TÜRKAY’a, Arş. Gör. Uğur SATILMIŞ’a, Arş. Gör. Erdinç Erkan BAŞBOLAT’a ve manevi desteklerinden dolayı Cumhuriyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ndeki kıymetli mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca, öğrenim hayatım süresince bana bilgi ve emeği geçen, değişik aşamalarda beni yönlendiren tüm hocalarımı saygıyla anar, teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen babam Sayım SUNCA’ya, annem Zeliha SUNCA’ya, kardeşlerim Şeyda SUNCA, Gamze SUNCA ve Kadir Yasin SUNCA’ya müteşekkir olduğumu belirtir, bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Fezayil SUNCA

Trabzon 2016

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıların Sismik Performansının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/06/2016

Fezayil SUNCA

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Prefabrik Yapılar Hakkında Genel Bilgiler.....	2
1.2.1. Prefabrik Yapıların Kullanım Alanları.....	3
1.2.2. Prefabrik Yapıların Avantaj ve Dezavantajları.....	4
1.2.3. Prefabrik Yapı Elemanları.....	6
1.2.4. Prefabrik Taşıyıcı Sistemler.....	12
1.2.5. Prefabrik Yapılarda Birleşim Noktaları.....	17
1.3. Literatür Araştırması.....	21
1.3.1. Kolon–Kiriş Birleşim Bölgelerini Kısmi Bağlı Olarak Dikkate Alan Çalışmalar.....	21
1.3.2. Prefabrik Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar.....	25
1.4. Tezin Amacı ve İçeriği.....	28
1.5. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme.....	30
1.5.1. Genel Kavram ve Kabuller.....	30
1.5.1.1. Betonarme Malzeme Modelleri.....	30
1.5.1.2. Beton Malzeme Modeli.....	30
1.5.1.3. Çelik Malzeme Modeli.....	31
1.5.2. Betonarme Kesitte Eğilme Etkisi.....	32
1.5.3. Süneklik.....	33

1.5.4.	Plastik Mafsal Kabulü.....	34
1.6.	DBYBHY 2007'ye Göre Performans Değerlendirmesi.....	38
1.6.1.	Binalardan Bilgi Toplanması.....	38
1.6.2.	Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	38
1.6.3.	Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar.....	39
1.6.4.	Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle Bina Deprem Performansının Belirlenmesi.....	40
1.6.5.	Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleriyle Bina Deprem Performansının Belirlenmesi.....	42
1.6.5.1.	Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi.....	43
1.6.5.2.	Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi.....	44
1.6.5.3.	Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi.....	48
1.6.5.4.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	48
1.6.5.5.	Binaların Performans Seviyelerinin Belirlenmesi.....	48
1.6.5.5.1.	Birim Şekil Değiştirme İstemlerinin Hesaplanması.....	48
1.6.5.5.2.	Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri.....	49
1.6.6.	Bina Deprem Performansının Belirlenmesi.....	49
1.6.7.	Binalar İçin Hedeflenen Performans Seviyeleri.....	51
1.7.	ABD'deki Yönetmeliklere Göre Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme.....	52
1.7.1.	ATC 40 Kapasite Spektrum Yöntemi.....	53
1.7.2.	FEMA 356 Katsayı Yöntemi.....	55
1.7.3.	Kapasite Spektrum ve Katsayı Yöntemleri İçin FEMA 440'ın Getirdiği Yenilikler.....	58
1.7.4.	ASCE 41-06 Katsayı Yöntemi.....	61
1.7.5.	ATC 40, FEMA 356 ve ASCE 41-06'ya Göre Performans Değerlendirmesi.....	62
1.7.5.1.	Bina Hedef Performans Seviyeleri.....	65
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	68
2.1.	Giriş.....	68
2.2.	İki Katlı Betonarme Düzlem Çerçeve Bir Binanın Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Performansının Değerlendirilmesi.....	68
2.2.1.	Bina Genel Bilgileri.....	68
2.2.2.	Kolon ve Kirişlere Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin Hesaplanması.....	71
2.2.3.	Artımsal İtme Analizinin Uygulanabilirlik Şartlarının İncelenmesi.....	72

2.2.4.	Düşey Yüklerin Göz Önüne Alındığı Doğrusal Olmayan Statik Analizin SAP2000 Programına Tanıtılması.....	73
2.2.5.	Artımsal İtme Analizinde Kullanılacak Yük Dağılımının Belirlenmesi.....	74
2.2.6.	Plastik Mafsalların Sisteme Atanması.....	76
2.2.7.	Binanın Modal Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi.....	79
2.2.8.	Deprem Etkisi Talep Eğrisinin Belirlenmesi.....	85
2.2.9.	Modal Kapasite ve Deprem Talep Eğrilerinin Kesiştirilmesi.....	86
2.2.10.	Hedef Tepe Yerdeğiştirme İsteminin Elde Edilmesi.....	88
2.2.11.	Gevrek Davranışa İlişkin Kuvvet Taleplerinin Hesaplanması.....	88
2.2.12.	Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Birim Şekil Değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi.....	93
2.2.13.	Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Seviyesinin Belirlenmesi.....	100
2.2.13.1.	Taşıyıcı Elemanların Kesit Hasar Durumunun Belirlenmesi.....	100
2.2.13.2.	Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Hasar Durumunun Belirlenmesi.....	101
2.2.13.3.	Taşıyıcı Sistem Performans Seviyesinin Belirlenmesi.....	102
2.3.1	Kayseri İlinde Mevcut Betonarme Prefabrik Bir Binanın Deprem Performansı.....	103
2.3.1.1.	Binanın Genel Özellikleri.....	103
2.3.1.2.	Prefabrik Yapı Elemanlarına Ait Bağlılık Oranlarının Belirlenmesi.....	108
2.3.1.3.	Kısmi Bağlı Prefabrik Yapının Artımsal İtme Analizi ile Deprem Performansının Belirlenmesi.....	113
2.3.1.3.1	Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliğinin Belirlenmesi.....	111
2.3.1.3.2.	Artımsal İtme Analizinin Uygulanabilirlik Şartlarının İncelenmesi.....	114
2.3.1.3.3.	Plastik Mafsalların Sisteme Atanması.....	115
2.3.1.3.4.	İncelenen Prefabrik Yapı İçin Hedeflenen Performans.....	115
2.3.1.3.5.	İtme Analizinde Kullanılacak Yük Vektörünün Belirlenmesi.....	115
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	117
3.1.	Giriş.....	117
3.2.	Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıya Ait Analiz Sonuçları.....	117
3.2.1.	Modal Analiz.....	117
3.2.2.	İtme Eğrileri.....	124
3.2.3.	Hedef Tepe Yer Değiştirme İstemleri ve Taban Kesme Kuvvetleri.....	126
3.2.3.1.	DBYBHY 2007.....	127
3.2.3.2.	ATC 40 Kapasite Spektrum Yöntemi.....	131



3.2.3.3.	FEMA 356 Katsayı Yöntemi.....	135
3.2.3.4.	FEMA 440 Kapasite Spektrum Yöntemi.....	138
3.2.3.5.	ASCE 41–06 Katsayı Yöntemi.....	142
3.2.4.	Gevrek Davranışa İlişkin İç Kuvvet İstemlerinin İç Kuvvet Kapasiteleri İle Karşılaştırılması.....	145
3.2.5.	Kısmi Bağlı Prefabrik Yapının Performans Seviyelerinin Belirlenmesi.....	148
3.2.5.1.	DBYBHY 2007'ye Göre Performans Değerlendirmesi.....	148
3.2.5.2.	ASCE 41–06'ya Göre Performans Değerlendirmesi.....	152
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	156
5.	KAYNAKLAR.....	160
6.	EKLER.....	166
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KISMİ BAĞLI PREFABRİK YAPILARIN SİSMİK PERFORMASININ İNCELENMESİ

Fezayil SUNCA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE  
2016, 165 Sayfa, 31 Ek Sayfa

Prefabrik yapılar ayırık elemanların birleşiminden meydana gelmektedir. Bu yapıların analizleri çoğu zaman ayırık elemanların birleştiği düğüm noktalarına mafsalsal tanımlanarak gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, prefabrik yapı elemanların civatalı birleşimlerle inşa edildiği düşünüldüğünde mafsalsal birleşim kabulü yerine kısmi bağlı birleşim kabulü daha gerçekçi bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple, prefabrik yapıların tasarım ve analizlerinde düğüm noktalarındaki kısmi bağlılığın etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, betonarme prefabrik yapıların sismik performansına kısmi bağlılığın etkisini belirlemek amacıyla mevcut bir prefabrik yapının birleşim noktalarında çeşitli bağlılık oranları dikkate alınarak yapının performans değerlendirilmesi doğrusal elastik olmayan yöntemlerden artımsal eşdeğer deprem yükü (itme analizi) yöntemiyle SAP2000 programında yapılmıştır. Yapının performans değerlendirmesinde, DBYBHY 2007, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41-06 yönetmelikleri kullanılmıştır. Böylece kısmi bağlılığın farklı yönetmeliklerdeki etkileri de ortaya koyulmuştur. Ayrıca statik itme yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi için iki katlı betonarme düzlem çerçeve bir yapının performans değerlendirmesinde izlenen adımlar ve SAP2000 programında yapılan işlemler detaylı olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Prefabrik yapılar, Kısmi bağlılık, Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (itme analizi), DBYBHY 2007, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440, ASCE 41-06,

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATING SEISMIC PERFORMANCE OF THE SEMI-RIGID CONNECTED  
PREFABRICATED STRUCTURES

Fezayil SUNCA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Mehmet AKKÖSE  
2016, 165 Pages, 31 Addition Pages

Prefabricated structures are constituted by connecting separated members. Analyses of these structures are usually performed defining hinges for the connection of separated members at the nodal points. However, the assumption of semi-rigid connection instead of hinge connection is a more realistic approach for bolted connection used in the combination of prefabricated elements. Therefore, the effects of semi-rigid connection at nodal points should be considered in design and analyses of prefabricated structures. The aim of this study is to investigate the effects of semi-rigid connections on seismic performance of prefabricated structures. To this aim, incremental equivalent seismic load analysis (pushover analysis) of a selected RC prefabricated structure is performed with SAP2000 structural analysis program by considering various partial fixity percentages for bolted connections. In performance evaluation of the structure, TEC 2007, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440, and ASCE 41-06 are used. Thus, effects of semi-rigid connection on different standards are investigated. For better understanding of the pushover analysis, calculation stages which are obtained analytically and analysis steps that are performed with SAP2000 are given in detailed for performance evaluation of two-story reinforced concrete plane frame structure.

**Key Words:** Prefabricated structure, Semi-rigid connection, Incremental equivalent seismic load method, TEC 2007 ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 and ASCE 41-06

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Prefabrik yapı elemanları.....	7
Şekil 1.2. Prefabrik kirişlere ait çeşitli örnekler.....	8
Şekil 1.3. Prefabrik kolon türleri.....	9
Şekil 1.4. Prefabrik kolonlara ait çeşitli örnekler.....	9
Şekil 1.5. Prefabrik döşeme türleri.....	10
Şekil 1.6. Sabit mafsallı birleşim örneği.....	12
Şekil 1.7. Rijit bağlantılı birleşim örneği.....	13
Şekil 1.8. Gergi elemanının kullanılmasıyla oluşan birleşim örneği.....	13
Şekil 1.9. Kolon-döşeme sistem.....	14
Şekil 1.10 Taşıyıcı duvarlı (panolu) sistem örneği.....	14
Şekil 1.11. Uzun doğrultuda yerleştirilen panolu sistem örneği.....	15
Şekil 1.12. Kısa doğrultuda yerleştirilen panolu sistem örneği.....	15
Şekil 1.13. Her iki doğrultuda yerleştirilen panolu sistem örneği.....	16
Şekil 1.14. Hücre sistemlere ait örnekler.....	16
Şekil 1.15. Islak birleşim detayları.....	19
Şekil 1.16. Kuru birleşim detayları.....	20
Şekil 1.17. Mafsallı birleşim örnekleri.....	20
Şekil 1.18. Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	31
Şekil 1.19. Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	32
Şekil 1.20. Betonarme kesitte eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.....	32
Şekil 1.21. Gevrek ve sünek davranışta elastik ve plastik enerji.....	33
Şekil 1.22. Eğrilik momenti-eğrilik diyagramı.....	34
Şekil 1.23. Plastik şekil değiştirmeler.....	35
Şekil 1.24. İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı.....	36
Şekil 1.25. Plastik mafsal boyu.....	37
Şekil 1.26. Hasar sınırları ve bölgeleri.....	39
Şekil 1.27. Moment-plastik dönme ilişkisi.....	43
Şekil 1.28. Spektral yer değiştirmenin bulunması.....	46
Şekil 1.29. Talep yer değiştirmesinin bulunması.....	47

Şekil 1.30. Kapasite ve talep eğrilerinin arasındaki ilişki.....	53
Şekil 1.31. Kapasite spektrum yöntemiyle eşdeğer sönümün belirlenmesi.....	54
Şekil 1.32. İndirgenmiş istem spektrumunun elde edilmesi.....	55
Şekil 1.33. Etkili periyot ve rijitliğin bulunması.....	56
Şekil 1.34. Pozitif eğimli idealleştirilmiş yatay kuvvet-tepe yer değiştirme eğrisi.....	58
Şekil 1.35. Negatif eğimli idealleştirilmiş yatay kuvvet-tepe yer değiştirme eğrisi.....	58
Şekil 1.36. Geliştirilmiş talep spektrumunun elde edilmesi.....	60
Şekil 1.37. Taşıyıcı eleman performans seviyeleri.....	63
Şekil 1.38. Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri.....	64
Şekil 1.39. Binalar için temel performans seviyeleri.....	65
Şekil 1.40. ASCE 41-06'da genelleştirilmiş yük-yer değiştirme ilişkisi.....	67
Şekil 2.1. İncelenen betonarme düzlem çerçeve sistem.....	69
Şekil 2.2. Sistem üzerindeki sabit ve hareketli yükler.....	70
Şekil 2.3. Kiriş ve kolonlara ait en kesit detayları.....	70
Şekil 2.4. G+0.3Q yüklemesi altında normal kuvvet (axial force) diyagramı.....	71
Şekil 2.5. Etkin eğilme rijitliklerinin SAP2000 programında dikkate alınması.....	72
Şekil 2.6. Doğrusal olmayan statik analizin SAP2000 programına tanıtılması.....	73
Şekil 2.7. Yük tipinin SAP2000 programına tanıtılması.....	75
Şekil 2.8. Yük dağılımının SAP2000 programına tanıtılması.....	76
Şekil 2.9. İtme analizinde kullanılacak yük dağılımı.....	76
Şekil 2.10. Kolon, perde, kiriş elemanlarda SAP2000 için plastik mafsal doğrultuları..	77
Şekil 2.11. SAP2000 programında kolonlar için plastik mafsal tanımlanması.....	78
Şekil 2.12. SAP2000 programında kirişler için plastik mafsal tanımlanması.....	78
Şekil 2.13. İki katlı binaya ait modal kapasite eğrisi.....	82
Şekil 2.14. Artımsal itme analizinin programa tanıtılması, tahmini hedef yer değiştirme değeri ve itme analizi için adım sayısının programa girilmesi....	84
Şekil 2.15. Z1 yerel zemin sınıfı için spektrum eğrisi.....	85
Şekil 2.16. Z1 yerel zemin sınıfı için davranış spektrumu eğrisi.....	86
Şekil 2.17. Doğrusal elastik spektral yer değiştirmenin bulunması.....	87
Şekil 2.18. İtme analizinin son adımında meydana gelen kesme kuvveti (shear force) diyagramı.....	90
Şekil 2.19. İtme analizinin son adımında elde edilen plastik mafsallar.....	94
Şekil 2.20. Malzeme özelliklerinin RESPONSE2000 programına tanıtılması.....	95

Şekil 2.21. Kesit boyutlarının RESPONSE2000 programına tanıtılması.....	95
Şekil 2.22. Boyuna donatıların RESPONSE2000 programına tanıtılması.....	96
Şekil 2.23. Boyuna donatıların RESPONSE2000 programına tanıtılması.....	96
Şekil 2.24. Etriyelerin RESPONSE 2000 programında tanıtılması.....	97
Şekil 2.25. Kolon üzerindeki eksenel yükün programa tanıtılması.....	97
Şekil 2.26. S101 kolonuna ait moment-eğrilik ilişkisi.....	98
Şekil 2.27. Hasar durumundan bina performans seviyesine geçiş.....	100
Şekil 2.28. Yapının montaj planı.....	104
Şekil 2.29. Kolon-çatı makası, kolon-oluk kirişi, çatı makası-aşık kirişi birleşim detayları.....	105
Şekil 2.30. Taşıyıcı sistem elemanlarına ait en kesitler ve donatı detayları.....	105
Şekil 2.31. Prefabrik yapının üç boyutlu sonlu elemanlar modeli.....	106
Şekil 2.32. Prefabrik yapıya ait çubuk eleman modeli.....	106
Şekil 2.33. Prefabrik yapı kolon elemanlarına ait çubuk numaraları.....	107
Şekil 2.34. İtme analizi için x doğrultusundaki 1 kN'luk yükleme.....	116
Şekil 2.35. İtme analizi için y doğrultusundaki 1 kN'luk yükleme.....	116
Şekil 3.1. %0 (mafsallı) bağıllık oranı için y doğrultusu itme eğrisi.....	124
Şekil 3.2. %25 bağıllık oranı için y doğrultusu itme eğrisi.....	125
Şekil 3.3. %50 bağıllık oranı için y doğrultusu itme eğrisi.....	125
Şekil 3.4. %75 bağıllık oranı için y doğrultusu itme eğrisi.....	125
Şekil 3.5. %100 (rijit) bağıllık oranı için y doğrultusu itme eğrisi.....	126
Şekil 3.6. DBYBHY 2007'ye göre %0 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme.....	128
Şekil 3.7. DBYBHY 2007'ye göre %25 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme.....	128
Şekil 3.8. DBYBHY 2007'ye göre %50 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme.....	128
Şekil 3.9. DBYBHY 2007'ye göre %75 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme.....	129
Şekil 3.10. DBYBHY 2007'ye göre %100 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme.....	129
Şekil 3.11. DBYBHY 2007'ye göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	129
Şekil 3.12. DBYBHY 2007'ye göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	130
Şekil 3.13. DBYBHY 2007'ye göre %50 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	130
Şekil 3.14. DBYBHY 2007'ye göre %75 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	130

Şekil 3.15. DBYBHY 2007'ye göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	131
Şekil 3.16. ATC 40'a göre %0 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	132
Şekil 3.17. ATC 40'a göre %25 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	132
Şekil 3.18. ATC 40'a göre %50 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	132
Şekil 3.19. ATC 40'a göre %75 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	133
Şekil 3.20. ATC 40'a göre %100 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	133
Şekil 3.21. ATC 40'a göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	133
Şekil 3.22. ATC 40'a göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	134
Şekil 3.23. ATC 40'a göre %50 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	134
Şekil 3.24. ATC 40'a göre %75 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	134
Şekil 3.25. ATC 40'a göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	135
Şekil 3.26. FEMA 356'ya göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	136
Şekil 3.27. FEMA 356'ya göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	136
Şekil 3.28. FEMA 356'ya göre %50 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	137
Şekil 3.29. FEMA 356'ya göre %75 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	137
Şekil 3.30. FEMA 356'ya göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	137
Şekil 3.31. FEMA 440'a göre %0 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	139
Şekil 3.32. FEMA 440'a göre %25 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	139
Şekil 3.33. FEMA 440'a göre %50 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	139
Şekil 3.34. FEMA 440'a göre %75 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	140
Şekil 3.35. FEMA 440'a göre %100 bağıllık oranı için kapasite eğrisi.....	140
Şekil 3.36. FEMA 440'a göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	140
Şekil 3.37. FEMA 440'a göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	141
Şekil 3.38. FEMA 440'a göre %50 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	141
Şekil 3.39. FEMA 440'a göre %75 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	141
Şekil 3.40. FEMA 440'a göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	142
Şekil 3.41. ASCE 41-06'ya göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	143
Şekil 3.42. ASCE 41-06'ya göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	143
Şekil 3.43. ASCE 41-06'ya göre %50 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	144
Şekil 3.44. ASCE 41-06'ya göre %75 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	144
Şekil 3.45. ASCE 41-06'ya göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi.....	144

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.....	38
Tablo 1.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranı..	41
Tablo 1.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranı	42
Tablo 1.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranı.	42
Tablo 1.5. Göreli kat ötelemesi sınırları.....	42
Tablo 1.6. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	51
Tablo 1.7. C <sub>2</sub> değerinin belirlenmesi.....	57
Tablo 1.8. $\alpha$ değeri.....	62
Tablo 1.9. Bina hedef performans seviyeleri.....	66
Tablo 2.1. Kolonlar için etkin eğilme rijitlikleri hesabı.....	72
Tablo 2.2. Yapının periyot ve kütle katılım oranları.....	74
Tablo 2.3. Eşdeğer deprem yükü dağılımı.....	75
Tablo 2.4. Modal kütle ve katkı çarpanının hesaplanması için gerekli veriler.....	80
Tablo 2.5. İki katlı binanın statik itme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri.....	81
Tablo 2.6. Tepe yerdeğiştirmesinin modal yerdeğiştirmeye, taban kesme kuvvetinin modal ivmeye dönüşümü.....	82
Tablo 2.7. Toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.....	98
Tablo 2.8. Toplam eğrilik istemine karşılık gelen birim şekil değiştirmeler.....	99
Tablo 2.9. Beton ve donatıda şekil değiştirme sınır değerleri.....	101
Tablo 2.10. Örnek bina sistemindeki taşıyıcı elemanların kesit hasar durumu.....	101
Tablo 2.11. Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumları.....	101
Tablo 2.12. Bina performans seviyesinin belirlenmesi için tanımlanan koşullar.....	102
Tablo 2.13. Her bir bağlılık oranı için 2-2 lokal ekseninde hesaplanan dönel yay rijitlikleri.....	111
Tablo 2.14. Her bir bağlılık oranı için 3-3 lokal ekseninde hesaplanan dönel yay rijitlikleri.....	112
Tablo 2.15. Prefabrik yapı kolonlarına ait etkin eğilme rijitliğinin katsayıları.....	113
Tablo 2.16. Her bir bağlılık oranı için prefabrik yapıdaki modal kütle katılım oranı...	114



Tablo 2.17.	X-doğrultusunda her bir bağıllık oranı için prefabrik yapıda elde edilen burulma düzensizliği katsayıları ( $\eta_{bix}$ ).....	114
Tablo 2.18.	Y-doğrultusunda her bir bağıllık oranı için prefabrik yapıda elde edilen burulma düzensizliği katsayıları ( $\eta_{biy}$ ).....	114
Tablo 3.1.	%0 (mafsallı) bağlı yapıya ait modal analiz sonuçları.....	119
Tablo 3.2.	%25 bağlı yapıya ait modal analiz sonuçları.....	120
Tablo 3.3.	%50 bağlı yapıya ait modal analiz sonuçları.....	121
Tablo 3.4.	%75 bağlı yapıya ait modal analiz sonuçları.....	122
Tablo 3.5.	%100 (rijit) bağlı yapıya ait modal analiz sonuçları.....	123
Tablo 3.6.	Performans noktası belirlenirken DBYBHY 2007'ye göre kullanılan değerler.....	127
Tablo 3.7.	Performans noktası belirlenirken ATC 40'a göre kullanılan değerler.....	131
Tablo 3.8.	Performans noktası belirlenirken FEMA 356'ya göre kullanılan değerler.....	135
Tablo 3.9.	Performans noktası belirlenirken FEMA 440'a göre kullanılan değerler.....	138
Tablo 3.10.	Performans noktası belirlenirken ASCE 41-06'ya göre kullanılan değerler.....	142
Tablo 3.11.	%0 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar.....	145
Tablo 3.12.	%25 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar.....	146
Tablo 3.13.	%50 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar.....	146
Tablo 3.14.	%75 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar.....	147
Tablo 3.15.	%100 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar.....	147
Tablo 3.16.	DBYBHY 2007'ye göre %0 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	149
Tablo 3.17.	DBYBHY 2007'ye göre %25 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	150
Tablo 3.18.	DBYBHY 2007'ye göre %50 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	150
Tablo 3.19.	DBYBHY 2007'ye göre %75 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	151
Tablo 3.20.	DBYBHY 2007'ye göre %100 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	151
Tablo 3.21.	ASCE 41-06'ya göre %0 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi...	153
Tablo 3.22.	ASCE 41-06'ya göre %25 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	154
Tablo 3.23.	ASCE 41-06'ya göre %50 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	154

Tablo 3.24.	ASCE 41–06’ya göre %75 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	155
Tablo 3.25.	ASCE 41–06’ya göre %100 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi.....	155
Ek Tablo 2.1.	%0 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri.....	167
Ek Tablo 2.2.	%25 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri.....	168
Ek Tablo 2.3.	%50 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri.....	169
Ek Tablo 2.4.	%75 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri.....	170
Ek Tablo 2.5.	%100 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri.....	171
Ek Tablo 3.1.	%0 bağlı yapı için ATC 40’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	172
Ek Tablo 3.2.	%25 bağlı yapı için ATC 40’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	174
Ek Tablo 3.3.	%50 bağlı yapı için ATC 40’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	175
Ek Tablo 3.4.	%75 bağlı yapı için ATC 40’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	176
Ek Tablo 3.5.	%100 bağlı yapı için ATC 40’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	177
Ek Tablo 4.1.	%0 bağlı yapıda FEMA 440’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	178
Ek Tablo 4.2.	%25 bağlı yapıda FEMA 440’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	180
Ek Tablo 4.3.	%50 bağlı yapıda FEMA 440’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	181
Ek Tablo 4.4.	%75 bağlı yapıda FEMA 440’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	182
Ek Tablo 4.5.	%100 bağlı yapıda FEMA 440’a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	183
Ek Tablo 5.1.	%0 bağlı yapıda DBYBHY 2007’ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	184
Ek Tablo 5.2.	%25 bağlı yapıda DBYBHY 2007’ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	186
Ek Tablo 5.3.	%50 bağlı yapıda DBYBHY 2007’ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	188
Ek Tablo 5.4.	%75 bağlı yapıda DBYBHY 2007’ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	190
Ek Tablo 5.5.	%100 bağlı yapıda DBYBHY 2007’ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri.....	192

Ek Tablo 6.1. Doğrusal olmayan analizlerde betonarme kirişlerdeki model özellikleri ve sınır değerleri.....	194
Ek Tablo 6.2. Doğrusal olmayan analizlerde betonarme kolonlardaki model özellikleri ve sınır değerleri.....	195
Ek Tablo 6.3. Doğrusal olmayan analizlerde betonarme perdelerdeki model özellikleri ve sınır değerleri.....	196



## SEMBOLLER DİZİNİ

$A_0$	:Etkin yer ivme katsayısı
$A_c$	:Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
$A_{s1}$	:Kolon – kiriş düğüm noktasının bir tarafında kirişin negatif momentini karşılamak için üste konulan çekme donatısının toplam alanını
$A_{s2}$	:Kolon – kiriş düğüm noktasının $A_{s1}$ 'e göre diğer tarafında kirişin pozitif momentini karşılamak için alta konulan çekme donatısının toplam alanını
$A_{sw}$	:Kesme donatısının toplam en kesit alanı
$\alpha_1^{(i)}$	:(i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
$\alpha_1$	:Birinci (hakim) moda ait modal ivme
$\alpha_{y1}$	:Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
$b_w$	:Kirişin gövde genişliği
$C_{R1}$	:Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı
$d$	:Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
$d_1^{(i)}$	:(i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yer değiştirme
$d_1^{(p)}$	:Birinci moda ait modal yer değiştirme istemi
$d_{y1}$	:Birinci moda ait eşdeğer akma yer değiştirmesi
$E$	:Elastisite modülü
$(EI)_e$	:Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	:Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
$f_{cm}$	:Mevcut beton dayanımı
$f_{ctm}$	:Mevcut betonun çekme dayanımı
$f_c$	:Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
$f_{cc}$	:Sargılı beton dayanımı
$f_{co}$	:Sargısız betonun basınç dayanımı
$f_{cd}$	:Mevcut beton dayanımı
$f_s$	:Donatı çeliğindeki gerilme
$f_{sy}$	:Donatı çeliğinin akma dayanımı
$f_{su}$	:Donatı çeliğinin kopma dayanımı
$f_{yk}$	:Donatı çeliğinin karakteristik dayanımı

$f_{ywd}$	:Enine donatıların tasarım akma dayanımı
$h$	:Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
$h_k$	:Kolon boyu
$h_i$	:Kat yüksekliği
$I$	:Kesitin atalet momenti
$I$	:Bina önem katsayısı
$k_{i,j}$	:Yapı elemanının her iki ucundaki dönel yay rijitlikleri
$L$	:Yapı elemanının uzunluğu
$L_p$	:Plastik mafsal boyu
$\ell_n$	:Kirişin kolon yüzünden kolon yüzüne net açıklığı
$M_{x1}$	:X deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
$M_A$	:Artık moment kapasitesi
$M_D$	:Düşey yüklerden oluşan moment
$M_E$	:Deprem yükü altında oluşan moment
$M_K$	:Mevcut malzeme kapasite dayanımlarından hesaplanan moment kapasitesi
$M_p$	:Deprem ve düşey yükler altında kesitte oluşan akma momenti
$n$	:Hareketli yük katılım katsayısı
$N$	:Deprem ve düşey yükler altında kolonda oluşan eksenel kuvvet
$N_A$	:Artık moment kapasitesine karşılık gelen eksenel kuvvet
$N_D$	:Düşey yükler altında oluşan eksenel kuvvet
$N_E$	:Deprem yükleri altında oluşan eksenel kuvveti
$N_K$	:Kolon kesitindeki moment kapasitesine karşılık gelen eksenel kuvvet
$R_a$	:Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_{y1}$	:Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
$r$	:Etki/kapasite oranı
$r_s$	:Etki/kapasite oranının sınır değeri
$s$	:Etriye aralığı
$S(T)$	:Spektrum katsayısı
$S^{(1)}_{ae1}$	:İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
$S^{(1)}_{de1}$	:İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme
$S_{di1}$	:Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme

$T_A, T_B$	:DBYBHY 2007’de tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyotlar
$T_1^{(1)}$	:Başlangıçtaki ( $i=1$ ) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
$u_{xN1(i)}$	:Binanın tepesinde ( $N$ ’inci katında) $x$ deprem doğrultusunda ( $i$ )’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme
$u_{xN1(p)}$	:Binanın tepesinde ( $N$ ’inci katında) $x$ deprem doğrultusunda tepe yer değiştirme istemi
$V$	:Deprem ve düşey yükler etkisi altında oluşan kesme kuvveti
$V_c$	:Betonun kesme dayanımına katkısı
$V_{cr}$	:Kesitin kesmede çatlama dayanımı
$V_d$	:Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
$V_e$	:Kolon ve kirişte enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti
$V_{kol}$	:İtme analizinin son adımında betonarme elemanlarda elde edilen kesme kuvveti
$V_r$	:Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
$V_{x1}^{(i)}$	: $X$ deprem doğrultusunda ( $i$ )’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti
$V_w$	:Donatının kesme dayanımına katkısı
$u_{i,j}$	:Yapı elemanının her iki ucundaki bağılılık oranı
$W$	:Yapı ağırlığı
$\omega_1^{(1)}$	:Başlangıçtaki ( $i=1$ ) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal açılmalık frekans
$\omega_B$	:İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açılmalık frekans
$(\delta_i)_{max}$	:İlgili kattaki en büyük göreceli kat ötelemesi
$\delta_u$	:Maksimum şekil değiştirme
$\delta_y$	:Elastik davranışın sona erdiği akma şekil değiştirmesi
$\epsilon_{cg}$	:Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{cu}$	:Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_s$	:Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_c$	:Beton basınç birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{cu}$	:Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi $\epsilon_{sy}$
	:Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{su}$	:Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi

$\phi_p$	:Plastik eğrilik istemi
$\phi_t$	:Toplam eğrilik istemi
$\phi_y$	:Eşdeğer akma eğriliği
$\Phi_{xN1}$	:Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
$\Phi$	:Donatı çapı
$\Gamma_{x1}$	:X deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
$\eta_{bi}$	:Binanın i. katında tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\lambda$	:Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
$\theta_p$	:Plastik dönme istemi
$\rho$	:Çekme donatısı oranı
$\rho'$	:Basınç donatısı oranı
$\rho_b$	:Dengeli donatı oranı
$\rho_s$	:Kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135° kancalı) enine donatının hacimsel oranı
$\rho_{sm}$	:Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
$\mu$	:Süneklik oranı
$T_e$	:Etkin periyot
$T_i$	:Bina hakim periyodu
$K_i$	:Bina elastik rijitliği
$K_e$	:Doğrusallaştırılan itme eğrisinin plastikleşme sonrası rijitliği
$\beta$	:Sönüm oranı
$\beta_{eq}$	:Etkin sönüm oranı
$\beta_o$	:Eşdeğer viskoz sönüm oranı
$C_0$	:Tek serbestlik dereceli sistemin elastik yer değiştirmesinin çok serbestlik dereceli sisteme çevrilmesi için kullanılan katsayı
$C_1$	:En büyük doğrusal olmayan yer değiştirmenin elastik yer değiştirmeye oranı
$C_2$	:Artımsal itme analizi boyunca yapı rijitliğinin azalmasının, taşıma gücünün azalmasının gibi etkenlerin yansıtılması için kullanılan katsayı
$C_3$	:Dinamik P- $\Delta$ etkisi düzeltme katsayısı
$S_{RA}, S_{RV}$	:Talep spektrumu azaltma katsayıları
$T_{eq}$	:Etkili periyot
$T_{eff}$	:Efektif periyot

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

20. yy başlarından itibaren, Avrupa'da yaşanan ekonomik ve sosyal gelişmeler neticesinde endüstriyel gelişim hızlanmıştır. Bunun bir sonucu olarak bir bina projesinin taşıyıcı sistemini oluşturan kolon, kiriş ve döşeme gibi yapı elemanlarının inşaat sahasına getirilmeden önce bu yapı elemanlarının üretimi için özel olarak tasarlanmış fabrika ortamında üretimi sağlanarak prefabrikasyonun temelleri atılmıştır. (TTSDTOTBB, 1998). Yapı elemanlarının belli bir fabrika ortamında üretilmesi ve şantiyeye en az işçilik bırakılması sebebiyle prefabrikasyon belirli bir kalite düzeyini ve standartlaşmayı sağlamaktadır. Prefabrikasyonun getirdiği bu avantajlara rağmen uzun yıllar Türkiye'de prefabrik yapılar kullanılmamıştır. Bu durumun sebebi yapı elemanlarının endüstriyel ortamda üretilen prefabrik yapıların işsizliği artıracığı ve yüksek başlangıç yatırımı gerektireceği düşüncesiyle yatırımların desteklenmemesidir. Fakat ülkemizde hızla artan sanayileşme, yapı sektörünü de etkilemiş ve 20. yy'ın ortalarından itibaren prefabrikasyon yapı üretimleri başlamıştır. Tek katlı endüstriyel yapılarla başlayan ilk uygulamalar sanayileşme hızına paralel olarak artmıştır (Aktikan, 2008).

Ülkemizdeki sanayi yapılarının büyük bir çoğunluğu sismik olarak aktif bölgeler üzerinde bulunmaktadır. Bu durum ülkemiz ekonomisi açısından oldukça büyük bir problemdir. Geçmiş yıllarda ülkemizde meydana gelen depremlerde, özellikle 1998 Adana-Ceyhan, 1999 Kocaeli-Düzce depremlerinin ardından yerinde yapılan incelemelerde mevcut sanayi yapılarının büyük bir kısmında proje, imalat ve kullanım hatalarından dolayı büyük hasarlar ve maddi kayıplar meydana gelmiştir (Şenel vd., 2013a). Bu sebeple prefabrike sanayi yapılarının depreme dayanıklı tasarımı ve değerlendirilmesi her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde ise son zamanlardaki ilerlemelerle birlikte kuvvete dayalı yapı tasarımının yanında performans dayalı tasarımı daha ön plana çıkmaktadır. Bu düşünce, ilk olarak ABD'de 1996 yılında çıkan ATC 40 (1996) ve 2000 yılında çıkan FEMA 356 (2000) gibi standartlarda bahsedilmiştir. Türkiye'de ise 2007 yılında yayımlanan DBYBHY (2007)'de yer almıştır.



Prefabrik yapılar ayrı elemanların birleştirilmesinden meydana gelmektedir. Bunun bir sonucu olarak yapı sistemlerinin tasarımı, analizi ve değerlendirilmesi yapılırken bazı kabuller yapılmaktadır. Prefabrik yapı elemanlarının düğüm noktalarında mafsallı olarak bağlı olduğu kabul edilmektedir. Ancak, bu elemanların birleşimi civatalı olduğundan tam mafsallı olamadıkları gibi tam rijit olarak da teşkil edilemezler. Bu sebeple, prefabrik yapıların hem tasarımı yapılırken hem de deprem sırasındaki davranışı incelenirken birleşim noktalarında uygun bağlılık oranları seçilmelidir. Prefabrik yapı elemanlarının birleşim bölgeleriyle ilgili geçmişte yapılan çalışmalarda, uygun bağlılık oranlarının hesabı için bir takım bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntılar kullanılarak yapılan tasarım ve değerlendirmeler çok daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Son zamanlarda meydana gelen yıkıcı depremlerde, mevcut prefabrik yapıların tasarımında uygun bağlılık oranlarının seçilmemesi sebebiyle en çok gözlemlenen hasar tipi, kolon üst ucunun fazla deplasman yapmasından dolayı kolon-kiriş birleşim bölgelerinin zarar görmesidir (Posada ve Wood, 2002). Ayrıca mevcut prefabrik yapılarda depremler sonucu oluşan diğer hasar sebepleri ise mesnetlerdeki yetersizlikler, diyafram yetersizliği, yanal rijitlik yetersizliği ve plastik mafsalların kolon tabanlarında oluşması sonucu yapının göçme modunun gevrek olmasıdır (Canbay vd., 2008).

Bu çalışmada, mevcut bir prefabrik yapının sismik performansına kısmi bağlılığın etkisi DBYBHY 2007’de bahsedilen doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle incelenmiştir. Çeşitli bağlılık oranları için yapılan analizlerde prefabrik yapının performans değerlendirmesi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi için yapılmıştır. DBYBHY 2007’deki artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle belirlenen yapıların hedef tepe yer değiştirme istemleri, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 (2005), ASCE 41–06 (2007) ile de belirlenmiştir. Amerika’daki yönetmelikler yapıların performans değerlendirmesinde aynı yöntemi benimsedikleri için incelenen prefabrik yapının performans değerlendirmesi ASCE 41–06 ve DBYBHY 2007’ye göre yapılmış olup elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Konunun daha iyi kavranabilmesi için düzlem çerçeve iki katlı bir yapının statik itme analizi detaylı bir şekilde verilmiştir.

## **1.2. Prefabrik Yapılar Hakkında Genel Bilgiler**

Geçmişte, özellikle savaşlar ve doğal afetler sonucu ortaya çıkan sorunlar, inşaat sektörünün gelişimini hızlandırmış ve yapı stoğunda ortaya çıkan açığı karşılamak için

gelişmiş ülkeler çözüm arayışı içinde girmişlerdir (Cansun, 1978; Eşiyok, 2000). Bu arayışın bir sonucu olarak hızlı üretim imkânı sağlayan prefabrikasyonun temelleri atılmıştır. Prefabrikasyon en genel anlamda, bir yapı sistemini oluşturan yapı elemanlarının endüstriyel ortamlarda seri bir şekilde üretilmesinin ardından, üretilen bu yapı elemanlarının fabrika ortamından inşaat sahasına nakledilmesi ve elemanların şantiye ortamında montajı yapılarak yapı sistemlerinin oluşturulduğu süreç olarak tanımlanabilir (Doğruöz, 2005). Bu elemanlar prefabriğe kolon, kiriş, döşeme ve duvar elemanları gibi taşıyıcı, parapetler vb. cephe elemanları gibi herhangi bir taşıyıcı özelliği olmayan elemanlarda olabilir (Türkmen vd., 2005). Prefabriğe yapı elemanlarının belli bir endüstriyel ortamda üretilmesi işçilik kalitesini ve kapasitesini kontrol etmeyi sağlayarak şantiye ortamına en az sayıda iş bırakmaktadır. Bu sebeple prefabrikasyon, üretilen yapı elemanları için belirli bir kalite düzeyini tutturmak ve standartlaşmayı sağlamaktadır (Kaleş, 1999).

Bir yapı projesinin yapımında prefabriğe yapı elemanlarının kullanılması, proje maliyetini azaltması, projedeki hedeflenen programa uygun hareket edebilme imkanı sağlaması, yapı elemanlarının istenilen kalitede ve dayanımda elde edilmesi, malzeme israfının azaltılması, tek bir kalıp ile bir çok üretim yapılabilmesinden dolayı seri üretim imkanı sağlaması, inşaat sahasında meydana gelebilecek olan iş kazalarını azaltabilmesi gibi bir çok fayda sağlamaktadır (Polat ve Damcı, 2007).

19. yy'dan itibaren dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan prefabrik yapılar, Türkiye'de ilk defa 1966 yılında inşa edilmiş, 1980'li yıllardan itibaren endüstriyel gelişmelerle birlikte üretimi hız kazanmıştır. Bunun bir sonucu olarak Türkiye'de prefabrik yapılarla ilgili bir yönetmeliğe ihtiyaç duyulmuştur ve 1992 yılında Türk Standartları Enstitüsü tarafından prefabrik yapılar hakkında TS 9967 (1992) standardını yayınlanmıştır.

Ülkemizde sanayi yapılarının büyük bir kısmı yapı elemanlarının birleşimi cıvatalar tarafından sağlanan tek katlı, büyük açıklıklı, kolon-kiriş ve diğer elemanların kullanıldığı çerçeve tipi prefabrik yapılardan oluşmaktadır. Ancak konut türü çok katlı yapılar yaygınlaşmamıştır (Çetinkaya, 2007).

### **1.2.1. Prefabrik Yapıların Kullanım Alanları**

Prefabrik yapılar kullanım amaçlarına göre geçici prefabrik yapılar ve kalıcı prefabrik yapılar olmak üzere iki farklı şekilde üretilirler. Geçici prefabrik yapılar, belli bir süre boyunca hizmet vermek için genellikle şantiyelerde baraka, yemekhane veya yatakhane

olarak kullanılan yapıların üretiminde kullanılırlar. Bunlar daha çok çelik ve ahşap malzemeden elde edilmektedir. Geçici prefabrik yapılar istenildikleri takdirde sökülerek başka bir yerde yeniden montajı yapılabilir. Kalıcı prefabrik yapılar ise genelde betonarme olarak inşa edilir ve çoğu zaman sökülmezler (Arslan, 2000).

Betonarme prefabrik yapılar;

- Tek katlı ve küçük açıklıklı yapılar (konut, okul vb.)
- Tek katlı ve büyük açıklıklı yapılar (endüstri, spor, toplantı binaları vb.)
- Birkaç katlı yapılar (konut, okul, idare, laboratuvar binaları vb.)
- Çok katlı yapılar (büro, otel, hastane, konut vb.) olarak inşa edilebilmektedirler (Ayaydın, 1981).

### **1.2.2. Prefabrik Yapıların Avantaj ve Dezavantajları**

Prefabrik sanayi yapılarının üretimi ve inşasında birçok olumlu ve olumsuz yönler mevcuttur. Prefabrikasyonda geleneksel sistemlerden farklı olarak başlangıç yatırım maliyetinin fazla olması ve üretimde birçok cihazın yoğun olarak kullanılması sebebiyle, prefabrik sistemlerin ekonomik olmadığı düşünülebilir. Ancak prefabrik yapılar olumlu yönleriyle ileriye yönelik yatırımlarda önemli kazançlar getirmektedir (Toprak, 2002). Bu olumlu yönler şu şekilde sıralanabilir (Hartland, 1975; Eşiyok, 2000; Toprak, 2002; Polat ve Damcı, 2007):

- Prefabrikasyon üretimi endüstriyel ortamlarda yapılmasından dolayı farklı boyut, biçim, renk ve dayanımda betonarme elemanlar üretilebilmektedir. Bu sayede geleneksel yöntemlerle üretilmesi oldukça güç olan yapı sistemleri, prefabrik yapı elemanlarıyla basit ve kısa zamanda üretilebilmektedir.
- Fabrikada şantiye ortamına göre daha iyi çalışma şartlarında üretim yapılması ve makinaların yoğun olarak kullanılması istenilen kalitede ürün elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra eldeki kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlayarak malzeme israfını minimum tutmaktadır.
- Prefabrik yapı elemanlarının endüstriyel ortamlarda üretilmesi sebebiyle, üretim mevsim koşullarından etkilenmez. Özellikle kış şartlarında projenin hedeflenen sürede ve kalitede tamamlanması açısından prefabrikasyon oldukça büyük faydalar sağlamaktadır.

- Şantiye ortamına minimum iş bırakılacak şekilde üretilmeleri ve üzerinde sıkı denetim yapma imkanı vermesi, inşaat süresince meydana gelebilecek olan iş kazası sayısını azaltmakta ve iş gücünü en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.
- Prefabrike yapıyı oluşturan elemanlar mükemmel yakın bir şekilde ve uygun standartlarda üretilebilirler. Çünkü bu tür elemanlar eğitilmiş ve uzmanlaşmış emek gücüyle fabrika koşullarında üretilmektedirler.
- Prefabrik yapı elemanlarıyla inşa edilen yapının biter bitmez servise hazır halde olması ve geleneksel yöntemlerle üretime göre oldukça kısa imalat süresi olması sayesinde yatırımcısına iyi bir gelir getirmektedir.
- Prefabrik yapıların bakım ve onarım ihtiyaçları diğer yapılara göre daha az olmaktadır.
- Prefabrik yapıların inşasında kereste kullanımının çok az olmasından dolayı ormanların azalması büyük ölçüde engellenmektedir.
- Prefabrik yapılarda, belirli yapı elemanlarına ihtiyaç duyulduğunda yapıyı oluşturan elemanlar birbirinden ayrılabilir ve tekrar birleştirilebilirler. Ayrıca mevcut yapıya istenildiği takdirde ek yapılabilir. Örnek olarak prefabrik kolonların dış cepheye bakan yüzlerinde guse bırakılması verilebilir.
- Fabrikada üretilen prefabrik elemanlar, yüksek dayanımlı betondan üretilmesi yapılabildiği ve ön gerilmeli elemanların üretimine imkan vermesi sayesinde, büyük açıklıkların daha küçük kesitlerle geçilebilmesine imkan sağlamaktadır.
- Prefabrik yapı elemanlarında geleneksel yöntemlerle üretilen yapı elemanlarına göre daha ince kesitler kullanılması, yapının hafiflemesine dolayısıyla olası bir depremde yapıya gelecek olan deprem yüklerinin azalmasına sebep olmaktadır.
- Düğüm noktalarının standartlara uygun yapılması halinde prefabrik yapılar, geleneksel yöntemlerle üretilen binalara oranla deprem sırasında daha fazla hareket etme yeteneğine sahiptir. Bu ise prefabrik yapılara, depremlerde enerji yutabilme ve sünük bir davranış sergileme imkanı sağlar.

Ekonomi, kalite, hız gibi önemli üstün özelliklerine rağmen prefabrikasyon teknolojisinin bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bunlar (Toprak, 2002; Tümer, 2006; Canbay vd., 2008):

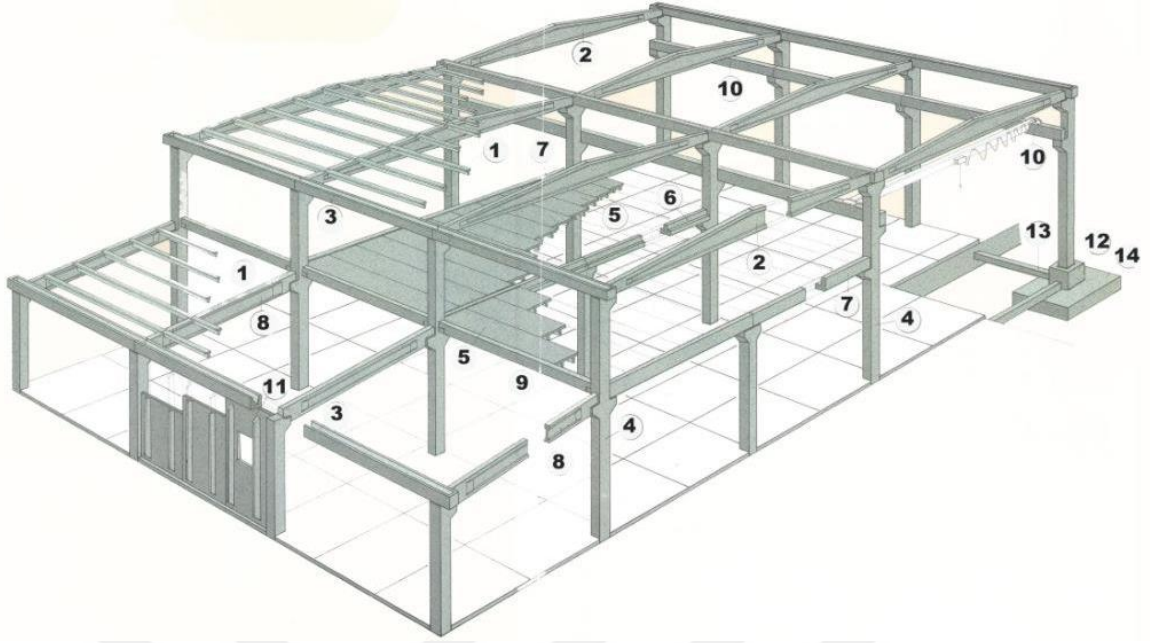
- Prefabrik yapı elemanlarının birleşim bölgeleri, tasarım ve analizde mühendisler için büyük bir problem teşkil etmektedir. Bu birleşim bölgelerinin tasarlanması, gerekli dayanımın sağlanması ve uygulama kolaylığının oluşturulması için,

uzmanlık ve beceri gerektirir. Geçmişte yaşanmış depremler sonucunda, prefabrik yapılarda en çok gözlenen hasar türü birleşim bölgesinin uygun teşkil edilmemesi sonucu çatı kirişlerinin birleşimini sağlayan cıvatalardan sıyrılarak devrilmesidir.

- Prefabrik yapıların deprem davranışının kestirilmesi zordur. Çünkü prefabrik yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler ayrı çalışmaktadır. Bunun bir sonucu olarak yatay yükler altında taşıyıcı sistem elemanları arasında kuvvet dağılımı olmamaktadır. Bu sebeple hasarların bazı elemanlarda toplanması kaçınılmazdır.
- Prefabrik sistemlerde kolonların alt uçları temellere ankastre ve üst uçları kirişlere cıvatalarla bağlı olması sebebiyle deprem esnasında en büyük kesit tesirleri kolon alt ucunda oluşmaktadır. Bunun bir sonucu olarak plastik mafsallar kolon alt ucunda meydana gelmektedir. Plastik mafsalların kirişlere oranla daha az sünek olan kolonların alt ucunda oluşması yapının göçme modunun gevrek olmasına sebep olmaktadır.
- Prefabrikasyon makineleşmeyi artırmasıyla beraber insan gücünün kullanımını azaltmakta ve buna bağlı olarak işsizliğin artmasına sebep olabilmektedir.
- Endüstriyel ortamda üretilen yapı elemanlarının depolanması, montaj ve taşıma sürecinde özel araç ve gereçlere ihtiyaç duyulması ek maliyetleri getirmektedir.
- Üretim ve montaj alanlarında yeterli bilgi ve tecrübeye sahip teknik eleman ve özellikle yeterli sayıda yetişmiş ara eleman bulunmadığından uygulamalarda istenilen kalite sağlanamamaktadır.
- Balkonlar, çıkıntılar ve cepheler gibi özel detayların prefabrik elemanlarla teşkil edilmesi maliyeti artırmaktadır.
- Standart ve seri üretim sebebiyle prefabrik yapı elemanları mimari manada yeni fikirlere açık değildir. Binanın benzer veya aynı tip planlar kullanılarak imal edilmesi sonucu yapılarda monoton bir görünüme sebep olmaktadır.

### **1.2.3. Prefabrik Yapı Elemanları**

Prefabrik yapı elemanları, Şekil 1.1’de görüldüğü gibi kolon, kiriş, kemer gibi çubuk elemanlar, döşeme ve duvar gibi yapı elemanlarını oluşturan düzlem elemanlar ve kabuk elemanlar olmak üzere başlıca üç gruba ayrılabilir.



(Resimdeki Elemanlar: 1-Aşık, 2-Çatı Makası, 3-Oluk Kirişi, 4-Kolon, 5-Çift T Kirişi, 6 Ters T Kiriş, 7-L Kirişi, 8-I Kirişi, 9-Hatıl (Dikdörtgen) Kiriş, 10-Vinç Kirişi, 11-Çift T Cephe Paneli, 12-Soket, 13-Bağ Hatılı, 14-Temel)

Şekil 1.1. Prefabrik yapı elemanları (URL-1)

Çubuk Elemanlar, bir boyutu diğer iki boyutundan çok büyük olan yapı elemanlarıdır. Prefabrik yapı sistemlerinde, kirişler, kolonlar, aşıklar vb. elemanlar çubuk eleman olarak adlandırılırlar.

Kiriş elemanlar, yapı elemanları arasında sürekliliği sağlayarak deprem, rüzgar vb. etkilerden kaynaklanan yatay yüklerin aktarılmasında önemli rol oynar. Prefabrik kirişlere ait çeşitli örnekler Şekil 1.2’de sunulmuştur. Bu elemanların birleşimleri mafsallı olduğu gibi rijit olarak da teşkil edilebilirler. Prefabrik kirişler, kullanım amacına göre birçok farklı kesit ve biçimde üretilirler. Kirişlerin kesit ve biçimini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler, seçilen statik sistem, geçilecek açıklık, öngerme yapma gereği, üretim yeri ve metodu, kalıp ve işçilik imkanları, üretilecek serinin büyüklüğü, kiriş üzerine oturan diğer yapı elemanları olarak sıralanabilir (Ayaydın, 1981).

Kolon elemanlar, prefabrik yapılarda kullanılan ve diğer yapı elemanlarından gelen düşey ve yatay yükleri temellere aktaran elemanlardır. Genellikle kolon elemanların alt ucu temellere ankastre olarak bağlanmaktadır. Üst ucu ise yapının kullanım amacına, deprem bölgesine, yapının yüksekliğine, vinç olup olmamasına, kolon açıklık ve aralıklarına bağlı

olarak mafsallı veya rijit olarak teşkil edilmektedir. Kolonlar genellikle dikdörtgen en kesitli olarak tasarlanırlar ve üzerleri kirişlerin sabitlenebilmeleri için inceltilmiş uçlu konsollar ve kısa konsollar olarak üretilirler (Osmancıklı, 2012). Ancak duvar plaklarının yaslanması, su iniş borularının saklanması gibi mimari isteklere karşı T, L, H kesitli kolonlarda yapılabilir. Prefabrik kolonlara ait çeşitli örnekler Şekil 1.3 ve Şekil 1.4’de verilmiştir.



a. Çatı Kirişi



b. Aşık Kirişi

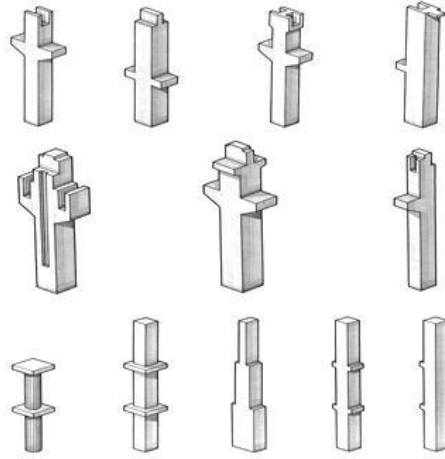


c. Kreyn Kirişi



d. Oluk Kirişi

Şekil. 1.2. Prefabrik kirişlere ait çeşitli örnekler



Şekil. 1.3. Prefabrik kolon türleri (Hamzaçebi, 2011)



Şekil. 1.4. Prefabrik kolonlara ait çeşitli örnekler (URL-1)

Düzlem elemanlar, bir boyutu diğer iki boyutundan oldukça küçük olan bu elemanlar, düzlemine paralel doğrultuda yük taşırlar. Düzlem elemanlar duvarlar ve düzlemine dik doğrultudaki yükleri taşıyan döşemeler olarak iki farklı şekilde teşkil edilirler (Şeren, 2006).

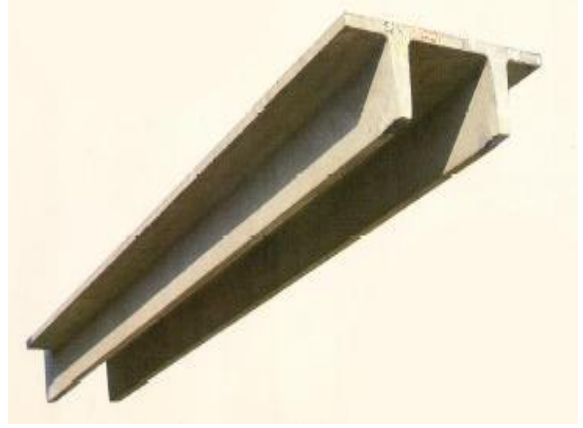
Döşemeler, prefabrik sistemlerde genellikle kolon ve kirişlerin oluşturduğu ana çerçevenin yanında ikincil taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yapıdaki katları birbirinden ayırarak farklı yaşama ortamları sağlayan, üzerine gelen yükleri kolonlara ve diğer taşıyıcı sistemlere aktaran önemli yapı elemanlarıdır. Döşemeler, rüzgar ve deprem gibi yatay yüklere maruz kaldıklarında yanal rijitliği artırarak yapının bu yükleri diğer yapı elemanlarına aktarmasını sağlarlar.

Prefabrik döşeme elemanları, T, çift T, U, boşluklu, düz, asmolen, filigran ve kaset döşemeler olarak birçok çeşitte teşkil edilebilirler. Prefabrik döşemelere ait çeşitli örnekler Şekil 1.5’de verilmiştir.





(a) T döşeme



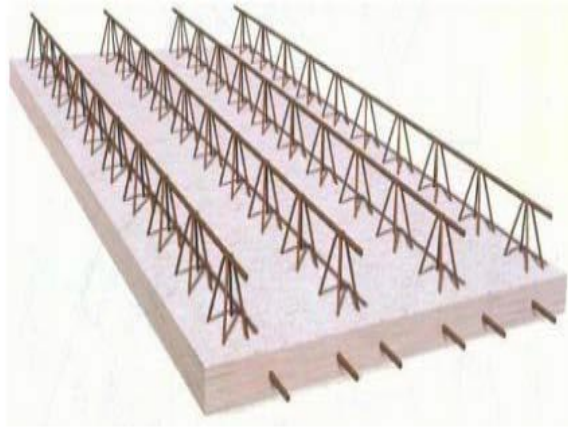
(b) Çift T döşeme



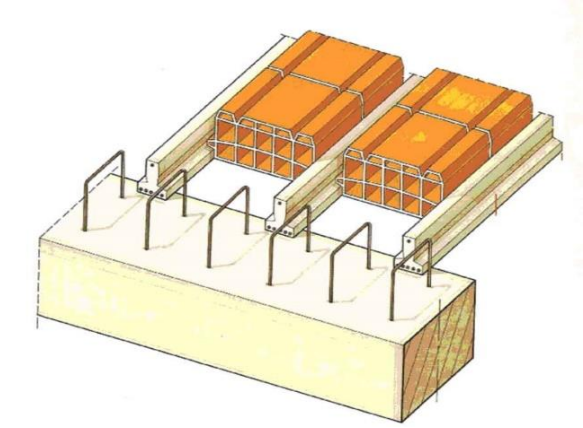
(c) U döşeme



(d) Boşluklu döşeme



(e) Filigran döşeme



(f) Asmolen döşeme

Şekil. 1.5. Prefabrik döşeme türleri (Osmancıklı, 2012)

Duvarlar, bir hacmin cephelerini yekpare olarak örten dolu kesitli elemanlar duvar panoları (levha) olarak adlandırılırlar. Deprem ve rüzgar etkileri sebebiyle oluşan yatay

yüklere karşı yapının her iki doğrultuda rijitleştirilmesini sağlamasının yanında düşey yüklere karşı da dayanım sağlarlar. Düşey düzlem yapı elemanları olan prefabrik duvarlar işlevlerine göre üç gruba ayrılırlar ve TS 9967'ye göre aşağıdaki özellikleri sağlamaları gerekmektedir;

1. Taşıyıcı duvarlar: Düşey yükleri taşıyan duvarlarla, yatay yükleri karşılayan ve eni kalınlığının 4 katından fazla olan panolardır.
2. Rijitlik duvarları: Taşıyıcı duvarların burkulmasını engellemek amacıyla kullanılan duvarlardır.
3. Taşıyıcı olmayan duvarlar: Yalnız kendi ağırlıklarını taşıyan ve yüzeylerine etkiyen yatay yükleri taşıyıcı elemanlara aktaran duvarlardır.

Taşıyıcı duvarlar ve rijitlik duvarları, merdiven sahanlıkları düzeyindeki ayarlama parçaları dışında kat yüksekliğinden daha kısa olamaz.

Taşıyıcı duvarlar ve rijitlik duvarlarının oluşturulmasında kullanılan prefabrik panoların genişlikleri, düşey ek yerlerinin, panolara dik bir taşıyıcı duvar veya bir rijitlik duvarı ile ara kesit çizgisi oluşturulmasını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Daha dar panolar, ayarlama parçaları dışında, ancak kat adedi 3 veya daha az olan binalarda kullanılabilir. Kat adedi 3'den fazla olan binalarda, özel hesaplar yapmak ve yerinde dökme döşemeler kullanmak şartıyla, dar panolarla oluşturulan duvarların yatay yük aldığı kabul edilebilir. Bu durumda, duvar hesap genişliği 5,00 m'yi geçmemelidir.

Dolu kesitli duvar panolarında taşıyıcı kısmın en az kalınlığı, tek katlı yükü hafif binalarda 120 mm diğerlerinde ise 150 mm veya  $h_s/25$ 'den küçük olamaz. Burada  $h_s$  panonun alt ve üst kenarındaki yatay mesnetler arasındaki uzaklıktır. Ayrıca profilli veya boşluklu panolarda en dar kesitte 50 mm'den veya en kısa pano nervür veya kiriş aralığının 1/10'u kadar olmalıdır (TS 9967, 1992).

Kabuklar elemanlar, bir boyutu diğer iki boyutuna oranla oldukça küçük olan eğrisel yüzeye sahip prefabrik yapı elemanlarıdır. Bu elemanlar yapısal özellikleri sayesinde üzerlerine etkiyen yükleri yüzeyleri boyunca yönlendirerek ve yüzeyinde membran gerilmeleri oluşturarak taşıma görevi yaparlar. Kabuk elemanların birçok avantaj ve dezavantajları vardır (Ayaydın, 1981). Avantajları:

- Kabuk elemanların kesitleri çok ince olması sebebiyle hem donatı hem de beton kullanımı açısından oldukça ekonomiktir.
- Değişik biçim ve şekillerde oluşturulabildiklerinden dolayı mimari istekleri oldukça iyi karşılamaktadır.

- Yapıları sayesinde her iki doğrultuda geniş açıklıkların geçilmesine imkan sağlarlar.

Kabuk elemanların bu faydalarının yanı sıra bir takım dezavantajları vardır. Bunlar:

- Kabuk elemanların tasarım ve değerlendirme hesapları oldukça karmaşıktır.
- Yapılarından dolayı diğer prefabrik yapı elemanlarına oranla kalıp maliyeti ve işçiliği pahalıdır.
- İmalatı sürecinde oldukça dikkat ve özen gerektirir. Bu işlemde yapılacak hatalar kabuk elemanın taşıyıcı özelliğini etkileyebilmektedir.
- Kabuk elemanlarda, çatı örtüsünün ve saçak detaylarının teşkili oldukça zordur.

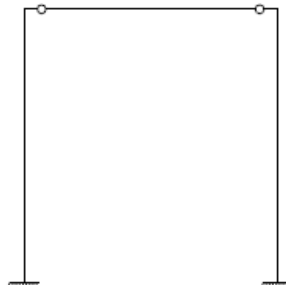
#### 1.2.4. Prefabrik Taşıyıcı Sistemler

TS 9967 (1992)'ye göre prefabrik taşıyıcı sistemler,

- Kolon-Kiriş Sistemler
- Kolon-Döşeme Sistemler
- Taşıyıcı Duvarlı (Panolu) Sistemler
- Hücre Sistemler
- ve bunların birleşiminden oluşan karışık sistemler olarak sınıflandırılmıştır.

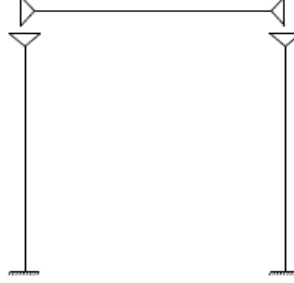
Kolon-kiriş sistemler, prefabrik kolon ve kirişlerden oluşan ve düğüm noktaları yerine göre rijit veya mafsallı olarak teşkil edilebilen, gerektiğinde yatay kuvvetleri alacak şekilde yerinde dökme perde veya prefabrik pano duvarlar ihtiva eden sistemlerdir (TS 9967, 1992). Bu tip sistemler konutlarda ve özellikle az sayıda bölme duvar isteyen sanayi yapılarında kullanılırlar. Kolon-kiriş sistemler statik açıdan üç farklı şekilde oluşturulabilirler. Bunlar:

- a) Temele ankastre bağlı olan kolonlar üzerine oturan sabit mafsallı kirişlerle kurulan sistemlerdir. Şekil 1.6'da bu sisteme ait örnek verilmiştir (Tümer, 2006).



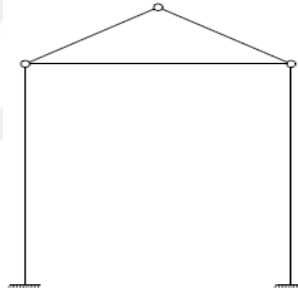
Şekil 1.6. Sabit mafsallı birleşim örneği

- b) Temele ankastre bağı olan kolonlar üzerine oturan rijit bağlantılı kirişlerle oluşturulan sistemlerdir. Şekil 1.7’de bu sistemlere örnek verilmiştir (Tümer, 2006).



Şekil 1.7. Rijit bağlantılı birleşim örneği

- c) İki kiriş ve bir gergi elemanı ile oluşturulan üçgen kirişli sistemlerdir. Şekil 1.8’de bu sistemlere örnek verilmiştir (Tümer, 2006).



Şekil 1.8. Gergi elemanının kullanılmasıyla oluşan birleşim örneği

Kolon-döşeme sistemler, döşeme panolarının doğrudan kolonlar, perde veya prefabrike pano duvarlar üzerine uygun detaylarla oturtulduğu ve döşemelerin diyafram oluşturarak yatay yükleri düşey taşıyıcılara aktardığı sistemlerdir (Şekil 1.9).

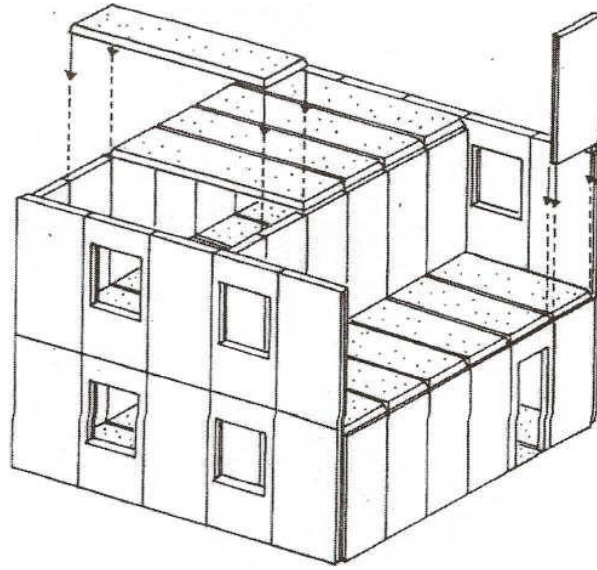
Genellikle konut türü binalarda kullanılan taşıyıcı duvarlı (panolu) sistemler, TS 9967 (1992)’ye göre birbirleri ile yatay ve düşey yönlerde bağlantıları yapılan düşey panolarla, tek veya çift yönde çalışan döşeme panolarından oluşan sistemler olarak tanımlanır. Yapısal özelliklerine göre panolar monolitik olarak imal edilebileceği gibi kompozit olarak da yapılabilmektedirler. Sistemin esas elemanları taşıyıcı duvar panelleridir. Bu paneller yükleri yüzeylerine paralel bir şekilde taşırlar. Panoların taşıyıcı sistemi oluşturmasının

yanında iç ve dış cephe duvarlarının da beraberinde teşkil edilebilmesi nedeniyle çok katlı prefabrik yapılarda daha çok tercih edilmektedir (Tümer, 2006).

Prefabrik panolu sistemlere gelen yatay yükler taşıyıcı duvarların birbirine sabitlendiği birleşme noktalarında karşılanır. Bu sebeple panolu sistemlerin birleşim bölgelerine gelecek yüklerin hesabının oldukça hassas yapılarak tasarımın bu yüklerle uygun yapılması gerekmektedir (Gedik, 2014). Şekil 1.10'da taşıyıcı duvarlı (panolu) sisteme ait bir örnek verilmiştir.



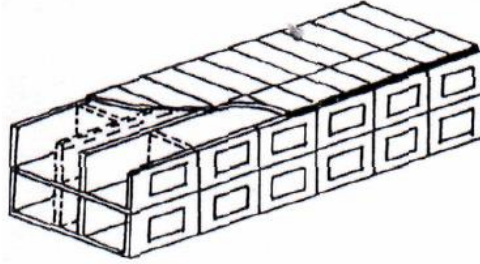
Şekil 1.9. Kolon-döşeme sistemi



Şekil 1.10. Taşıyıcı duvarlı (panolu) sistem örneği (Ayaydın, 1987)

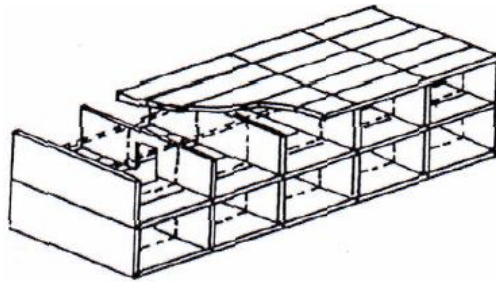
Panolar prefabrik yapılarda üç şekilde düzenlenebilirler:

1) Taşıyıcı panoların, yapının uzun doğrultusu boyunca düzenlenmesi durumunda, döşemelerden gelen düşey yükler uzun doğrultudaki panolar yardımıyla karşılanırken rüzgar ve deprem yükleri gibi yatay yükler ise her iki doğrultusundaki taşıyıcı duvarlar tarafından karşılanmaktadır (Tümer, 2006). Uzun doğrultuda yerleştirilen panolu sistemlere ait örnek Şekil 1.11’de verilmiştir.



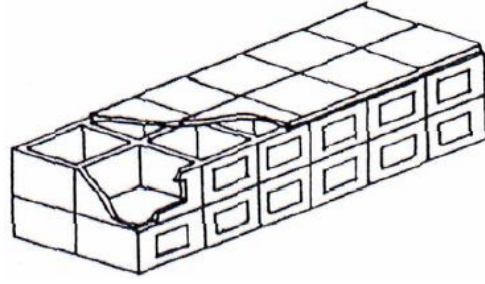
Şekil 1.11. Uzun doğrultuda yerleştirilen panolu sistem örneği

2) Taşıyıcı duvarların yapının kısa kenarı boyunca teşkil edilmesi durumunda, diğer elemanlardan gelen düşey yükler yapının kısa doğrultusu boyunca düzenlenen duvarlar yardımıyla karşılanır. Tek doğrultuda çalışan bu sistemde, yatay yükler ise yapının her iki eksenini boyunca uzanan panolar tarafından karşılanır (Tümer, 2006). Kısa doğrultuda yerleştirilen panolu sistemlere ait örnek Şekil 1.12’de sunulmuştur.



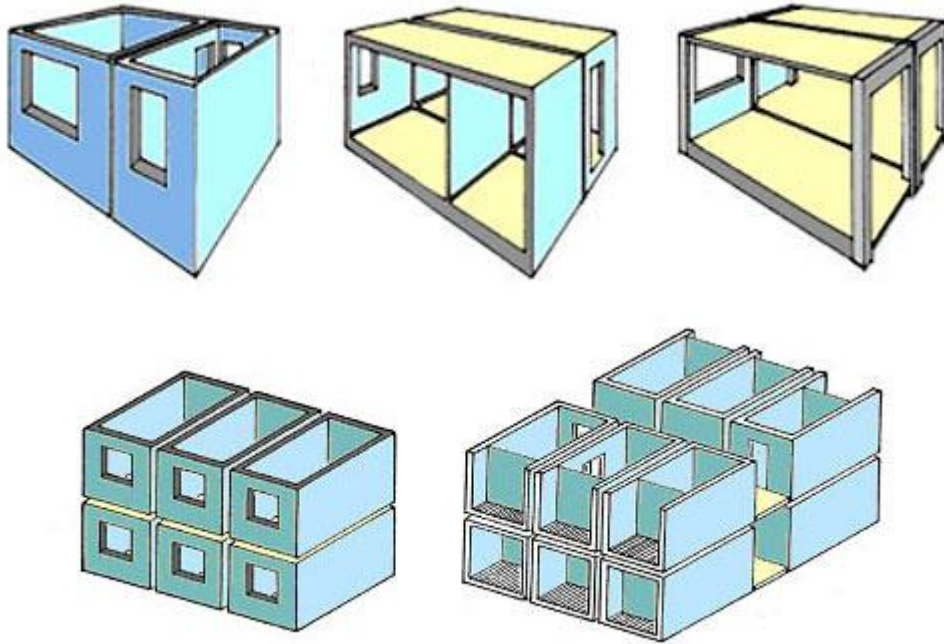
Şekil 1.12. Kısa doğrultuda yerleştirilen panolu sistem örneği

3) Taşıyıcı duvar panellerinin yapının her iki doğrultusu boyunca düzenlenmesi durumunda, döşemelerden gelen düşey ve yatay yükler yapının her iki doğrultusunda bulunan taşıyıcı duvar panoları tarafından karşılanır (Tümer, 2006). Her iki doğrultuda yerleştirilen panolu sistemlere ait örnek Şekil 1.13’de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Her iki doğrultuda yerleştirilen panolu sistem örneği

Hücre Sistemler, döşeme ve duvar elemanlarının fabrikada, birlikte veya ayrı ayrı dökülüp birleştirilerek hücrelerin teşkil edildiği ve bu hücrelerin tesisat armatürleri, doğrama, cam ve kaplama gibi ince işleri de tamamlanmış olarak şantiyeye sevk edildiği, montajı ve birbirleri ile bağlantılarının yapılarak yapının tamamlandığı sistemlerdir. Kutu halka ve iskeletli hücreler olarak üretilen bu tip sistemler, yapının yüksek hızda tamamlanması istendiğinde, uygun şantiye ortamının ve yapım koşulları için gerekli mevsim şartlarının bulunmaması durumunda tercih edilmektedirler. Ancak diğer prefabrik sistemlere göre daha ağır olduklarından uzun mesafelerde nakliyesi oldukça maliyetli olabilmektedir. Hücre sistemlere ait çeşitli örnekler Şekil 1.14’de verilmiştir.



Şekil 1.14. Hücre sistemlere ait örnekler (Eşsiz ve Koman, 2007)

Yapıların hücrelerle oluşturulması üç değişik biçimde gerçekleştirilebilmektedir (Eşsiz ve Koman, 2007):

- Yanyana, üstüste düzenleme (taşıyıcı hücreler)
  - Çift duvar ve döşemelerin ses yalıtımı ve tesisat açısından kullanılması
  - Hücre tablasının, tavanının veya yanlarının açılması
  - Dama şeklinde üst üste düzenleme
- Bir iskelet yapının içine yerleştirme veya rijit çekirdek teşkil etme
- Hem taşıyıcı sisteme hem de üst üste düzenlenmenin bir arada kullanılması

Karışık sistemler, prefabrik yapı sistemlerinden en az iki farklı sistemin çeşitli şekillerde birleştirilmesiyle oluşturulan prefabrik sistemlerdir. Örneğin esas taşıyıcı sistemi kolon-kiriş olan bir yapının dış cephesi taşıyıcı duvarlardan, asansör yuvası gibi bölmeler de hücre sistemlerden oluşabilir. Bu tür yapılarda birden fazla sistem kullanıldığı için imalatta farklı kapasitelerde birden fazla vinç ve alanında uzman şantiye elemanlarına ihtiyaç vardır. Ayrıca tasarım aşamasında montaj planlanmasının detaylı bir şekilde yapılması gerekmektedir.

### **1.2.5. Prefabrik Yapılarda Birleşim Noktaları**

Prefabrik yapı elemanlarının birleşim bölgeleri, tasarım ve analizde mühendisler için büyük problem teşkil etmektedir. Bu birleşim bölgesinin tasarlanması, gerekli dayanımın sağlanması ve uygulama kolaylığının oluşturulması, uzmanlık ve beceri gerektirir. Tasarımı yapılan ve uygulamaya geçirilmesi düşünülen yapı sistemlerindeki birleşim bölgelerinin sahip olması gereken en önemli özellik, kullanım süresi boyunca kendisine etki etmesi beklenen sabit yükler (taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların ağırlıkları), düşey hareketli yükler (yapı üzerinde bulunan eşya ve insan gibi geçici yükler), yatay yükler (deprem ve rüzgar kuvvetleri) veya olması muhtemel su ve toprak basınçlarından dolayı oluşan yüklere karşı koyabilecek yeterli dayanıma sahip olmasıdır.

Prefabrik yapılarda çok çeşitli bağlantı şekilleri vardır. Bu birleşim detaylarının seçiminde statik problemler, üretim şekli, elemanların öngerilmeli olup olmaması, üretimde sağlanabilen hassasiyet derecesi, imalat seçenekleri, üretim yapılacak olan bölgedeki işçilik şartları gibi faktörler önemli rol oynamaktadır (Ayaydın, 1981). Ayrıca prefabrik yapı elemanları ve birleşimlerinin tasarlanmasında kullanılan DBYBHY 2007, TS 500 (2000),



TS 9967 gibi yönetmeliklerde bağlantı bölgelerindeki birleşim detaylarının seçimini etkilemektedir.

Prefabrik elemanlar arasında veya prefabrik elemanlarla yerinde dökme beton arasındaki birleşimlerin ve bir birleşim çeşidi olan mesnetlerin projelendirilmesinde TS 9967'de bahsedilen aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

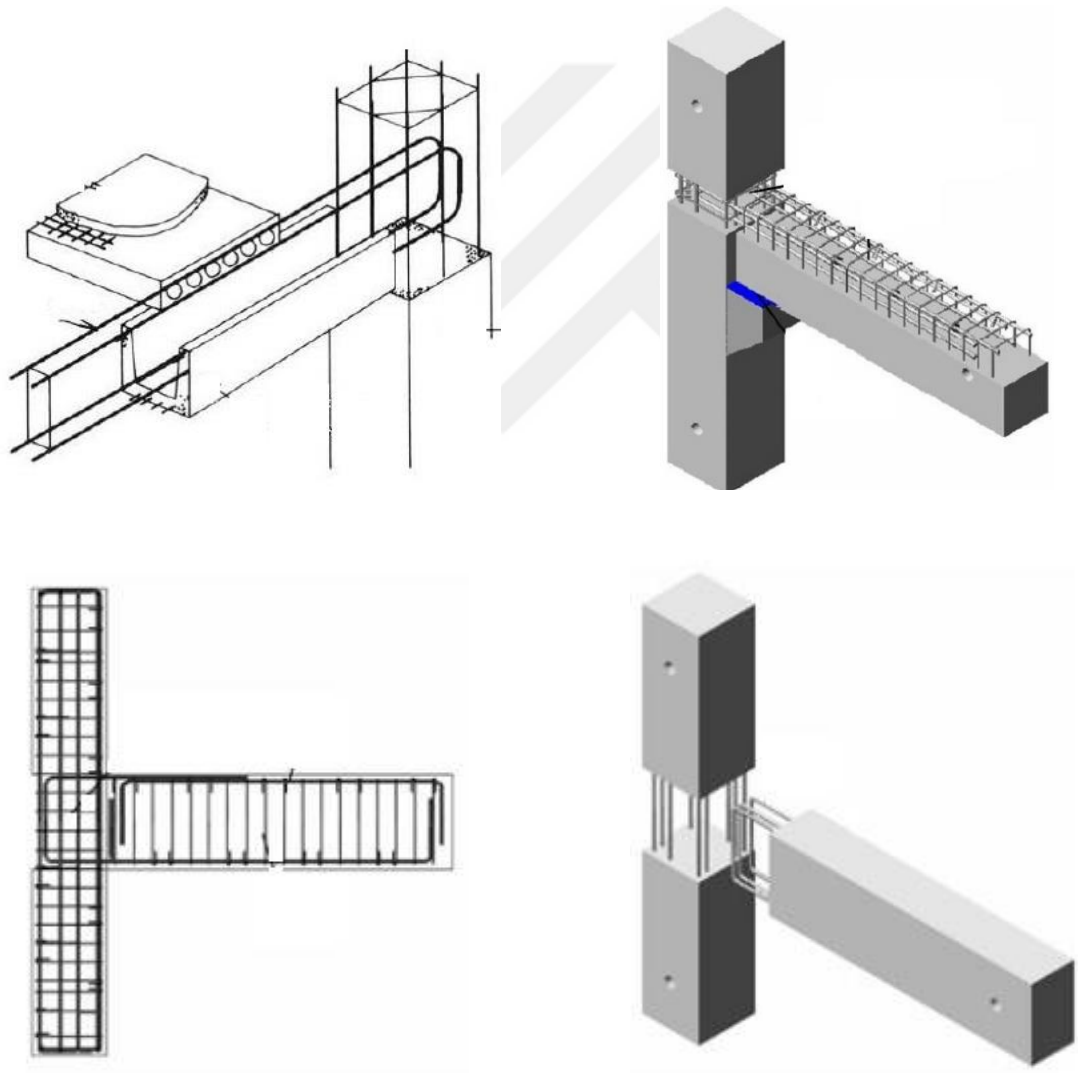
- Birleşimler veya mesnetler, üzerlerindeki normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momenti gibi kesit tesirlerini güvenle diğer taşıyıcı sistem elemanlarına aktarabilmelidir.
- Herhangi bir elemanın birleşim veya mesnedindeki dönme, yer değiştirme ve deformasyonlarla, o elemana bağlı elemanların birbirlerine göre deformasyonları kabul edilebilir sınırlar içinde kalmalıdır.
- Birleşim bölgeleri sünek olarak tasarlanmalıdır. Prefabrik taşıyıcı sistem birleşimlerinin, üzerlerindeki yükleri rahatlıkla sönmüleyebilmesi için plastik deformasyon yapabilme yeteneğine sahip olması gereklidir.
- Birleşim ve mesnet hesaplarında rötire, sıcaklık değişimi ve sünme etkileri hesaba katılmalı ve bu hesaplar TS 500'deki esaslara uygun olarak yapılmalıdır.
- Birleşim ve mesnetlerdeki elemanların farklı olabilecekleri göz önüne alınmalıdır. Ancak bu farklılıklar tolerans sınırları içinde kalmalıdır.
- Birleşim ve mesnetler istenildiğinde kolayca kontrol edilebilmeli ve gerekli olması durumunda düzeltmeler yapılabilmelidir.
- Birleşim ve mesnetler korozyona karşı korunmalı ve yangına karşı dayanıklı olmalıdır.

TS 9967'de bahsedilen hususlara ek olarak prefabrik yapılardaki birleşim noktalarının sağlaması gereken diğer koşullar aşağıda verilmiştir (Ayaydın, 1981):

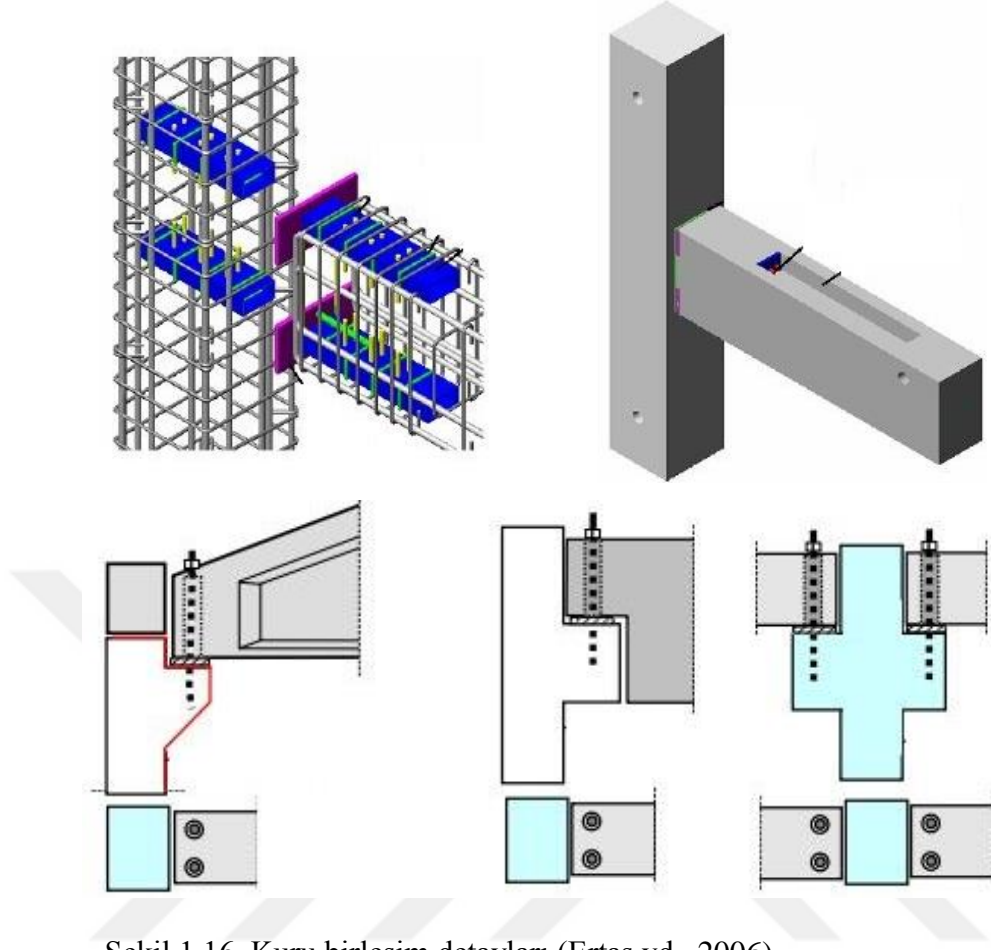
- Yapının montaj süresinin kısa ve ekonomik olması için birleşimler tasarlanırken kullanılan elemanların belli bir standartta olmasına dikkat edilmelidir.
- Birleşim bölgeleri yeteri kadar ses yalıtımı sağlamalıdır.
- Proje safhasında, uygulamada çıkabilecek zorluklar düşünülerek tasarım yapılmalı ve önlemler alınmalıdır.
- Yapının montaj süresini kısaltabilmek için, zaman alıcı ve uğraştırıcı birleşim detaylarından kaçınılmalıdır.

Prefabrik yapılarda kullanılan birleşim türleri moment aktaran ve mafsallı birleşimler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Moment aktaran birleşimler, bir elemandan diğer elemana normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment aktarabilen birleşim türleri olup ıslak ve kuru birleşim şeklinde yapılabilmektedir. Islak birleşimler, monolitik betonarme yapı davranışına benzer olacak şekilde prefabrik bileşenlerin her iki ucundan çıkan donatıların birbirine bağlanması, özel teçhizatla birleştirilmesi veya bindirme ile oluşturulması şeklindedir. Kuru birleşimler ise kaynak, bulon, ard-germe ve geçmeli olarak yapılan birleşimlerdir. Bu birleşimler rijit ve mafsallı olarak yapılabilirler. Islak ve kuru birleşimlere ait örnekler Şekil 1.15 ve 1.16'da verilmiştir.

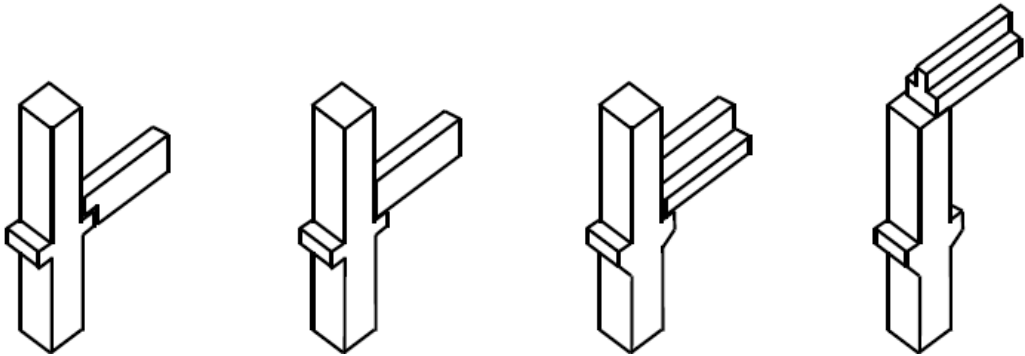


Şekil 1.15. Islak birleşim detayları (Englekirk, 1990; Ertaş vd., 2006)



Şekil 1.16. Kuru birleşim detayları (Ertaş vd., 2006)

Mafsallı birleşimler, kesme ve normal kuvvet aktarabilmelerine rağmen moment aktarma kabiliyetine sahip olmayan birleşimlerdir. Bu tip birleşimler deprem gibi yatay yükleri karşılamakta çok etkili olamamaktadırlar. Yatay kuvvetler yapıda düzenlenen prefabrik veya yerinde dökme betonarme perde duvarlar ile karşılanmaktadır. Mafsallı birleşimlere ait örnekler Şekil 1.17’de verilmiştir.



Şekil 1.17. Mafsallı birleşim örnekleri (Akgün, 2012)

### 1.3. Literatür Araştırması

#### 1.3.1. Kolon–Kiriş Birleşim Bölgelerini Kısmi Bağlı Olarak Dikkate Alan Çalışmalar

Çelik, prefabrik ve ahşap yapıların tasarım ve analiz aşamalarında, bu yapıları oluşturan elemanların birbirine bağlandığı düğüm noktalarının genellikle mafsallı olarak bağlı olduğu kabul edilir. Ancak, gerçekte hiçbir çubuk eleman düğüm noktalarında mafsallı olarak bağlı değildir. Bu sebeple, yapıların tasarımında yaygın olarak kullanılan tam mafsallı veya rijit birleşim kabulü doğru bir yaklaşım değildir. Bunun yerine yapı elemanlarının birleşim bölgelerinde uygun bağlılık oranlarının seçilmesi gerçeğe daha yakın sonuçlar vereceği düşünülmektedir (Kartal, 2004). Bu amaçla geçmiş yıllarda prefabrik ve çelik yapıların düğüm noktalarında uygun bağlılık oranının hesaplanabilmesi ve bu tip yapıların birleşim bölgelerinin olası yükler altında davranışının iyileştirilmesi için birçok analitik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda;

Ersoy vd. (1992), iki adet ölçeklendirilmiş kolon–kiriş birleşiminin, benzeştirilmiş deprem yükü altında davranışını incelemiştir. Deney elemanı olarak birinde prefabrik kolon ve kirişle oluşturulan sistem, diğerinde ise yerinde dökme beton ile elde edilmiş betonarme bir sistem kullanılan çalışmada ön üretimli elemanın, süneklik ve enerji tüketimi açısından oldukça iyi bir davranış sergilediği ve rijit bağlı sistemin taşıma gücüne yaklaştığını tespit etmiştir. Ancak rijit bağlı sistemde bütün hasar kirişte oluşurken, ön üretimli elemanlardan oluşturulan sistemde hasarların birleşim bölgesinde oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu sebeple prefabrik sistemlerdeki birleşim bölgelerine ait davranışların iyileştirilmesi amacıyla donatı detaylarında bazı değişikliklerin yapılmasını önermiştir.

Ersoy (1997), mafsallı ve moment aktaran prefabrik taşıyıcı sistemlerin deprem davranışını incelemiş ve özellikle prefabrik yapıların tasarımı sırasında yanal ötelenmelerin sınırlandırılması gerektiğini belirtmiştir.

Ivanyi (2000), gerçek boyutlarda tasarlanmış bir çelik yapının, elemanlarının birleşimi için farklı özelliklerde civatalar kullanarak kısmi bağlılığın etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmada, yapıya uyguladığı yükler altında elemanlarda oluşan deformasyon ve diğer iç kuvvet değerlerini karşılaştırmalı olarak elde etmiştir. Birleşim bölgelerinin rijitliği arttıkça civatalara gelen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerlerinin arttığını gözlemlemiştir.

Sekulovic ve Salatic (2001), statik yüklemeye maruz düzlem çubukların birleşim noktalarında, eksantrisitenin ve bağıllığın etkisini hem bağlantıdaki hem de geometrideki lineer olmayan davranışı dikkate alarak araştırmışlardır. Analizlerde, geometrideki lineer olmayan davranış çubuktaki eğilmenin etkisi göz önüne alınarak iki ayrı modelle temsil edilmiştir. Ayrıca birleşim noktalarında eksantrik bağlı çubuklar için ikinci derece denklem çözümlmesine dayalı rijitlik matrisi geliştirmişlerdir.

Filho vd. (2004), kısmi bağlı yapıların rüzgâr etkisi altında dinamik davranışlarını incelemiştir. Yapının düğüm noktalarında kısmi bağıllığı temsil edebilmek için kolon-kiriş bağlantı noktalarının moment–eğrilik ilişkilerini tanımlamıştır. Yaptıkları çalışma sonucunda yapılardaki yer değiştirmelere ve doğal frekans değerlerine kısmi bağıllığın etkilerini tespit etmiştir. Birleşim noktalarındaki rijitliğin arttıkça yapıların daha rijit hale geldiğini ve rüzgâr etkisi altında daha az yer değiştirme yaptıklarını tespit etmiştir.

Kartal (2004) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde düğüm noktalarında farklı bağıllık oranlarına sahip çubuklardan oluşan kafes ve prefabrik sistemler incelenmiştir. Bu çalışma için bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Bu programı sonlu eleman yöntemini kullanarak oluşturmuştur. Çalışmada, kısmi bağlı yapı sistemlerinde meydana gelen kesit etkileri ve yer değiştirme değerlerindeki değişimleri incelemiştir. Yapı elemanlarının bağıllık oranları arttıkça yatay yer değiştirmelerin önemli ölçüde azaldığını ve kesit tesirlerinde önemli değişiklikler olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca prefabrik yapı sistemlerinden elde edilen yer değiştirme ve kesit tesirlerindeki değişimlere bağlı olarak, bu sistemlerin daha yüksek bağıllık oranları ile tasarlanması ve inşa edilmesi gerektiğini tespit etmiştir. Böylece yapıların dış etkilere karşı daha dirençli olacağını vurgulamıştır.

Öztürk ve Çatal (2005), kısmi bağlı çubukların dinamik davranışını incelemişlerdir. Modellerinde kısmi bağıllığı temsil edebilmek için elemanların düğüm noktalarında lineer elastik dönel yaylar kullanmışlardır. Gerçek yapı davranışına en yakın modeli oluşturabilmek için bir takım azaltma katsayıları ve yatay rijitlik değerleri kullanmışlardır. Yapılan analizlerde kısmi bağıllığın yapıların periyot değerlerindeki değişimine olan etkileri incelenmiştir. Kısmi bağlı yapıların sismik davranışları, mafsallı ve rijit bağlı yapıların sismik davranışlarından oldukça farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Elemanların düğüm noktalarında kullanılan dönel yay rijitlikleri artırıldıkça yapı periyotlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Fu vd. (2007), prefabrik bir kirişin birleşim detaylarını üç boyutlu olarak modellemiş ve yapı davranışını anlayabilmek için düğüm noktalarındaki moment–eğrilik ilişkilerini

incelemiştir. Yaptıkları bu analitik çalışmada kiriş boyutları, döşeme kalınlığı, kolon boyutları ve konsol uzunluğu gibi değerleri değiştirerek birleşim bölgelerinde kullanılan cıvatalardaki gerilme değerlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucu, konsol uzunluğunun, döşeme kalınlığının ve kiriş boyutlarının büyütülmesi cıvatalardaki gerilmeleri artırmış olup birleşim bölgelerinin dönme kapasiteleri düşük olan yapılarda göçmeye sebep olduğunu tespit etmiştir.

Türker vd. (2009), kısmi bağıllığın çelik yapı sistemlerinin dinamik davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çubuk elemanların rijitlik matrislerinden elde edilen formüllerle elemanlara ait dönel yay rijitliklerini hesaplamışlardır. Bu değerleri kullanarak oluşturdukları analitik modellerden ve deneysel verilerden alınan sonuçları karşılaştırarak bağıntıların doğruluğu incelemişlerdir. Analitik ve deneysel modellerden, farklı bağıllık yüzdeleri için yapının mod şekillerini, modal katkı oranlarını ve frekans değerlerini tespit etmişlerdir. Elde edilen bu değerler kullanılarak yapıya ait yeni dönel yay rijitliklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çelik yapılarda birleşim noktalarının aslında tam rijit olmadığını ve yapı modellerinde kısmi bağıllığın dikkate alınmasının daha gerçekçi sonuçlar vereceğini tespit etmişlerdir.

Kartal vd. (2010), FORTRAN programlama dilinde geliştirilmiş bir sonlu eleman programı olan SEMIFEM ve ANSYS programlarını kullanarak, çeşitli prefabrik ve çelik yapı sistemlerinde kısmi bağıllığın etkilerini araştırmışlardır. Yapı elemanlarının bağıllık oranının hesabında, dönel yay rijitlikleri ile kesitin bağıllık oranının yüzde cinsinden karşılığını veren bağıntılar kullanmışlardır. Yapılan analizlerde yapılara ait normal kuvvet, kesme kuvveti, moment ve yer değiştirme değerlerinin, çubuklarda kullanılan bağıllık oranlarıyla değişimini incelemişlerdir.

Farsangi (2010), düğüm noktaları mafsallı, kısmi bağıllı ve rijit olarak teşkil edilmiş prefabrik yapı elemanlarına ek olarak kendisinin geliştirdiği yeni birleşim detayını sunmuştur. Farsangi, prefabrik yapılar için oluşturduğu yeni birleşim modelinde 10mm ve 22mm çapında bulonlar kullanmıştır. Çalışmalarda farklı birleşim türlerinde sismik yüklerden dolayı oluşan kesit tesirlerini incelemiştir. Ayrıca oluşturduğu yeni birleşim modelinin yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olduğunu tespit etmiştir.

Meydanlı (2010) yaptığı doktora çalışmasında, geleneksel ardgerme metoduna alternatif olarak yeni bir birleşim detayı geliştirmiştir. Bu birleşim detayında, yüksek akma dayanımına sahip yay çeliğiyle üretilen cıvataları kullanmıştır. Böylece, yeni ardgerme yöntemiyle moment aktarabilen farklı bir prefabrik kolon–kiriş birleşim detayını sunmuştur.

Deneysel olarak moment aktarabilen prefabrik birleşim numuneleri ve rijit bağlı elemanlardan oluşan referans numunesine ait sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda, cıvatalar ile üretilen yeni birleşim detayının diğer deney numunelerine göre daha iyi bir davranış sergilediğini tespit etmiştir.

Doğramacı Aksoylar vd. (2011), her iki doğrultuda üç açıklıklı ve kısmi bağlı olarak tasarladıkları yapının, farklı deprem seviyelerinde düğüm noktalarındaki her bir bağlılık yüzdesi için performans değerlendirmesini yapmışlardır. Yapıların performans değerlendirmesinde lineer olmayan statik ve zaman tanım alanında analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Lineer olmayan dinamik analiz için 25 adet deprem hareketi kaydı kullanarak yapıların performans noktalarını belirlemişlerdir. Analizler neticesinde farklı bağlılık yüzdeleri için yapılara ait kapasite eğrilerini elde etmişlerdir. Ayrıca bu eğriler üzerinde ivme kayıtlarından elde ettikleri performans noktalarını işaretlemişlerdir.

Apostolska vd. (2012), cıvatalarla bağlı prefabrik kolon-kiriş birleşimlerinin sismik davranışını incelemek için Ljubljana Üniversitesi'nde Fischinger vd. (2011) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan kesit özelliklerini dikkate alarak oluşturdukları analitik modellerle, yapı elemanlarının birleşiminde kullanılan cıvata düzenindeki cıvata sayısının ve boyutlarının prefabrik yapı davranışına etkisini incelemişlerdir. Birleşim bölgelerinde kolon merkezine yerleştirilmiş tek cıvatalı, eksantrik yerleştirilmiş tek cıvatalı ve eksantrik yerleştirilmiş iki cıvatalı analitik modelleri incelemişlerdir. Analiz neticesinde deneysel ve analitik modellerden elde edilen verilerin birbiriyle uyumlu olduklarını tespit etmişlerdir.

Şenel vd. (2013-b), mevcut prefabrik yapıların mafsallı birleşimlerinin kesme ve devrilme güvenliğini araştırmışlardır. Bu çalışma kapsamında Denizli Organize Sanayi Bölgesinde bulunan tüm tek katlı ve mafsallı prefabrik sanayi yapılarını inceleyerek yapısal özelliklerini tespit etmişlerdir. Olası deprem etkileri altında yapılarda oluşabilecek talebin belirlenebilmesi için 40 adet ivme kaydı kullanmışlardır. Zaman tanım alanında lineer olmayan analizler ile binalara ait deprem taleplerini hesaplayarak birleşim bölgelerinin güvenliğini belirlemişlerdir. Analizler neticesinde makas kirişinin devrilmesi durumunun kesme hasarına göre daha kritik sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca incelenen yapılarda yaygın olarak kullanılan 20 mm çapındaki tek pimli birleşimlerin hem kesme, hem de devrilme açısından yetersiz olduklarını göstermişlerdir.

Osmancıklı vd. (2015), yaptıkları çalışmada prefabrik yapıların sonlu eleman modelleri oluşturulurken düğüm noktalarında kullanılacak uygun dönel yay rijitliği

değerlerinin tespiti için ortam titreşimlerini kullanmıştır. Çalışmalarında, prefabrik bir sanayi yapısı ve üst geçit olmak üzere iki adet prefabrik yapı seçmiş, yapıların dinamik davranışlarının tespit edilebilmesi için deneysel çalışmalarda operasyonel modal analiz metodunu kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, deneysel ve analitik modellerden elde edilen veriler arasında büyük farklılıklar elde etmişlerdir. Bu sebeple prefabrik yapıların statik ve dinamik davranışları değerlendirilirken analitik modellerin kalibre edilmesinin önemini vurgulamışlardır.

### **1.3.2. Prefabrik Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar**

Özellikle Avrupa, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde, yapıların sismik performanslarının belirlenmesine yönelik oldukça kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda Applied Technology Council (ATC) tarafından “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings–ATC 40”, Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından “Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings–FEMA 356”, American Society of Civil Engineers (ASCE) tarafından “Seismic Rehabilitation of Existing Buildings–ASCE 41–06” ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından “Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures–FEMA 440” yayımlanmıştır. Ülkemizde ise “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” konusu 2007 yılında yayımlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte (DBYBHY 2007) Bölüm 7 olarak yer almaktadır. Geçmiş yıllarda, yapıların deprem etkisi altındaki sismik davranışının daha iyi kavranabilmesi ve depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda birçok deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda;

Posada ve Wood (2002), Türkiye’de geçmiş yıllarda meydana gelen büyük depremler sonucu tek katlı betonarme prefabrik yapılarda meydana gelen hasar tiplerini araştırmışlardır. Bu tip prefabrik yapılarda hasara sebep olan en önemli etmenlerin temele bağlı olan kolonların aşırı deformasyon yapması, prefabrik yapı elemanlarının çatı makaslarına çarpması ve çatı makaslarının yetersiz birleşim rijitliği sebebiyle devrilmesi olarak sıralamışlardır. Ayrıca farklı kolon boyutlarının ve zemin sınıflarının dikkate alındığı analitik çalışmada, zaman tanım alanında analiz yöntemini kullanarak kolon boyutunun ve zemin özelliklerinin prefabrik yapıların sismik davranışlarına etkilerini araştırmış, analizler neticesinde bu tip yapılarda kolon boyutlarının artırılmasının hasarları azaltacağını



vurgulamışlardır. Zemin özelliklerinin hasar seviyesi üzerinde etkisinin kolonlara oranla daha az olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Blandón ve Rodríguez (2005), 1/2 ölçekli iki katlı bir prefabrik yapının sismik performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel olarak yapının sismik davranışını daha iyi gözlemlemek için yapıya göçme bölgesine gelene kadar yükleme yapmışlardır. Çalışmalarında yapının kolon-kiriş birleşimini, kolon-temel birleşimini ve kat düzeyinde diyafram davranışını incelemişlerdir. Prefabrik yapıların tasarım ve analizlerinde kullanılan ACI 318-08 (2008) ve MCBC (1993) yönetmeliklerindeki şartların ve uygulamaların ne kadar gerçekçi olduğunu araştırmışlardır. Analizler neticesinde kolon-temel birleşiminde yönetmeliklerde verilen sınır değerlerinin yeterli olduğu ancak kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kullanılan alt cıvataların yeterli performans göstermediğini tespit etmişlerdir.

Çetinkaya (2007) yaptığı doktora çalışmasında, tek katlı prefabrik bir yapının sismik davranışı deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada, mevcut prefabrik bir yapının 1/3 oranında küçültülerek oluşturulan deneysel modelin, tekrarlı tersinir yatay yük altında davranışını üç boyutlu olarak incelemiştir. Ayrıca ölçeklendirilmiş yapı analitik olarak modellenerek elde edilen verileri deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Analitik çalışmada, statik itme analizi kullanılmış ve plastik mafsal özelliklerinin tanımlanabilmesi için kenar ve orta kolonların moment-eğrilik ilişkilerini hesaplamıştır. Yaptığı deneylerde, başlangıçta sistemin tümünde eşit ötelenmeler elde etmiş ancak ileri safhalarda çatının rijit diyafram olarak çalışmaması sebebiyle hasarların bazı elemanlarda yoğunlaştığını tespit etmiştir. Ayrıca çatı makas kirişlerinin kısa konsola tek cıvata ile teşkil edildiği durumda bağlantılardaki cıvataların kendisinden veya cıvata etrafındaki bağlayıcı dolgu harcında sınırlanmalarına sebep olduğu ve prefabrik yapılarda plastik mafsalların sadece kolonların alt bölgelerinde oluştuğu sonucuna varmıştır.

Kayhan (2008), yaptığı doktora tezinde mafsalı prefabrik yapıların hasar ve ekonomik kayıp tahminleri için zaman tanım alanında lineer olmayan analiz yöntemini kullanmıştır. Bu amaçla kolon enkesit boyutu, kolon yüksekliği, boyuna donatı oranı ve etriye aralığı gibi parametreleri dikkate alarak oluşturduğu prefabrik sanayi yapılarına ait kapasite eğrilerini elde etmiştir. Talep ile kapasite eğrilerini karşılaştırarak, binaların performans seviyelerini belirlemiştir. Ayrıca yer hareketi parametresi olarak dikkate aldığı maksimum yer hızı (PGV) değerine bağlı olarak, binaların hasar düzeylerine ait hasar görülebilirlik eğrilerini elde etmiştir.

Magliulo vd. (2008), 1950–1970 yılları arasında İtalya’da inşa edilmiş iki farklı prefabrik yapının sismik performansını doğrusal elastik olmayan statik itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle gerçekleştirmiştir. Zaman tanım alanında analiz yöntemi için 3 farklı ivme kaydı kullanmış ve yapılardaki kolonlarda meydana gelen dönme, yatay yer değiştirmeler, normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerini elde etmiştir. Analizler neticesinde incelenen yapılarda kolon–kiriş birleşim bölgelerinin zayıf olması sebebiyle hasar görebileceğini tespit etmişlerdir.

Karahan (2008), dolgu duvarların prefabrik betonarme sanayi yapılarının sismik davranışlarına etkilerini araştırmıştır. Çalışmasında tek ve çift açıklıklı iki prefabrik sanayi yapısını ele almış, bu yapılarda dolgu duvar etkisini araştırabilmek için dolgu duvarsız ve farklı düzenlerde yerleştirilmiş dolgu duvarlı 12 adet yapı modelini dikkate almıştır. Betonarme prefabrik sanayi yapılarının analizleri için artımsal eşdeğer deprem yükü (statik itme) yöntemini kullanmıştır. Prefabrik yapıların sismik davranışlarını ve performans düzeylerini kapasite spektrumu yöntemiyle belirlemiştir. Ayrıca oluşturduğu bu modellerden elde ettiği sonuçlar ile prefabrik yapıların deprem etkisi altında muhtemel davranışlarını belirlemek için kırılma eğrileri elde etmiştir. Yaptığı incelemeler sonucu dolgu duvarlı yapı ile duvarsız yapı taşıma kapasitesi arasında büyük farklar olduğunu gözlemlemiştir. Prefabrik betonarme yapılarda, genellikle büyük açıklıklı ve yüksek duvarlar kullanılmasından dolayı; yapıdaki duvar yoğunluğu ile doğru orantılı olarak yapıya gelen taban kesme kuvvetlerinin ve yapı taşıma kapasitesinin arttığını vurgulamıştır. Dolgu duvarların farklı düzende yapıya yerleştirilmesi durumunda ise yapının yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığını gözlemlemiştir.

Demiralın (2009), 1. ve 2. deprem bölgesinde DBYBHY-2007 (2007)’ye göre tasarlanmış beş farklı prefabrik sanayi yapısının yer hareketleri etkisi altında sismik davranışlarını incelemiştir. Analizlerde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemlerini kullanmıştır. Analizler neticesinde prefabrik elemanların tekil olarak taşıdıkları ve deprem esnasında etki eden yüklere karşı dayanımlarının yeterli olduğu ancak elemanların birleşim bölgelerinin yeteri kadar rijit olmadığını, bunun sonucunda da prefabrik yapıların deprem yüklerine karşı düğüm noktalarından sıyrılarak ayrıldığı ve çatıda kullanılan prefabrik elemanların kayarak devrildiğini belirtmiştir.

Kaplan vd. (2009) tek katlı mafsallı bir prefabrik sanayi yapısının sismik davranışını iyileştirmek amacıyla dış perde duvarlar kullanmıştır. Prefabrik yapının sismik davranışının incelenmesinde statik itme analizi kullanmıştır. Yaptıkları deneysel çalışmada, dışarıdan

eklenen perde duvarlar prefabrik yapının itme etkisi altında fazla deplasman yapmasını önleyerek, çatı seviyesinin diyafram çalışmasını sağlamıştır. Ayrıca bu perde duvarlar sayesinde yapının rijitliği % 380, yatay yük kapasitesi % 686 artığını tespit etmiştir.

Şenel ve Kayhan (2010), prefabrik yapıların hasar görebilirlik eğrilerini elde etmek için mevcut 65 farklı prefabrik yapının rijitliğine, dayanımına ve sünekliğine bağlı olarak kırılma eğrileri elde etmişlerdir. Yapıların sismik davranışının belirlenmesinde 360 farklı yer hareketi kullanmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan yapıların birçoğunun 1998 yönetmeliğinden önce inşa edildiği ve yapıların yatay rijitliklerinin oldukça zayıf olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri kırılma eğrilerinin, Kocaeli ve Düzce depremleri sonucu hasar gören binalardan elde edilen değerlere oldukça yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Yılmaz (2013), yüksek lisans tezinde tek katlı mevcut prefabrik sanayi yapılarının sismik performanslarını etkileyen parametreleri araştırmıştır. Bu kapsamda, Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan 98 adet prefabrik sanayi yapısını incelemiştir. İncelediği yapıların rijitlik, yatay dayanım ve süneklik kapasitelerini belirlemiştir. Ayrıca binalara ait yer değiştirme taleplerini, binaları temsil eden tek serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleriyle belirlemiştir. Doğrusal olmayan analizler için hafif, orta, şiddetli deprem kayıtları kullanmıştır. Analizler neticesinde, hangi performans düzeyi üzerinde hangi yapısal parametrenin daha etkili olduğunu tespit etmiştir. Çalışma sonucunda yatay dayanım oranının bütün hasar seviyeleri üzerinde etkili olduğunu, sünekliğin ise sadece ileri hasar seviyelerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

#### **1.4. Tezin Amacı ve İçeriği**

Literatür araştırması sonucu, betonarme prefabrik yapılar üzerinde yapılan çalışmaların çoğunlukla düğüm noktaları mafsalı, prefabrik yapıların performans değerlendirmesi ve yeni birleşim detaylarının geliştirilmesi üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak bu çalışmaların birçoğunda prefabrik yapıların düğüm noktalarındaki kısmi bağıllığın dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Prefabrik yapı elemanlarının civatalı birleşimlerle inşa edildiği düşünüldüğünde mafsalı birleşim kabulü yerine kısmi bağıllık birleşim kabulü daha gerçekçi bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında, tek katlı betonarme prefabrik yapıda kısmi bağıllığın, prefabrik yapının sismik davranışına etkisini belirlemek amacıyla mevcut bir prefabrik yapının birleşim noktalarında

çeşitli bağıllık oranları dikkate alınarak yapının performans değerlendirmesi doğrusal elastik olmayan yöntemlerden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapılmıştır. Yapının sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında ve itme analizlerinde SAP2000 programı, kesit analizlerinde ise RESPONSE2000 programından faydalanılmıştır. Ayrıca statik itme yönteminin daha iyi tanıtılması ve anlaşılabilmesi için iki katlı betonarme düzlem çerçeve bir yapının performans değerlendirmesinde kullanılan adımlar, SAP2000 ve RESPONSE2000 programında yapılan işlemler detaylı olarak incelenmiştir. Prefabrik yapı elemanlarının bağıllık oranlarının hesabında Monforton ve Wu (1963) ile Sekulovic ve Salatic (2001) tarafından tanımlanan dönel yay rijitlikleri ile kesitin bağıllık oranının yüzde cinsinden karşılığını veren denklem kullanılmıştır. Çeşitli bağıllık oranları için yapılan analizlerde, prefabrik yapının performans değerlendirmesinde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi kullanılmıştır. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapıların hedef tepe yer değiştirme istemleri DBYBHY 2007'ye göre elde edilmiş, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440, ve ASCE 41-06 yönetmelikleri ile karşılaştırılmıştır. Kısmi bağlı prefabrik yapının performans değerlendirmelerinde ise DBYBHY 2007 ve ASCE 41-06 yönetmelikleri kullanılmış olup elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. ATC 40, FEMA 356 ve ASCE 41-06, yapıların performans değerlendirmesinde aynı sınır değerleri kullanmasından dolayı çalışma için ASCE 41-06 yönetmeliği seçilmiştir. Bu çalışmada, ilk olarak performansa dayalı yapı tasarımı ve değerlendirmesi tanıtılmış, genel kavram ve kabullerden bahsedilmiştir. DBYBHY 2007'ye göre performans değerlendirmesinin nasıl yapılması gerektiği hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Ayrıca yönetmelikte geçen doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri tanıtılmış, binaların deprem performans düzeylerinin nasıl tespit edileceği hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41-06 standartları tanıtılmış, bu standartlara göre yapıların performans değerlendirmesinin nasıl yapılması gerektiği, standartlarda tanıtılan kapasite spektrumu yöntemi ve katsayı yöntemi arasındaki farklılıklar hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan çalışmalar kısmında, araştırmaya konu olan prefabrik yapı detaylı olarak tanıtılmış ve düğüm noktalarındaki kısmi bağıllığı temsil eden dönel yay rijitlikleri verilmiştir. Çalışmanın son kısmında ise analizler neticesinde elde edilen hesap sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiş, prefabrik yapıların tasarım ve analizleri için bir takım önerilerde bulunulmuştur.

## **1.5. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme**

### **1.5.1. Genel Kavram ve Kabuller**

#### **1.5.1.1. Betonarme Malzeme Modelleri**

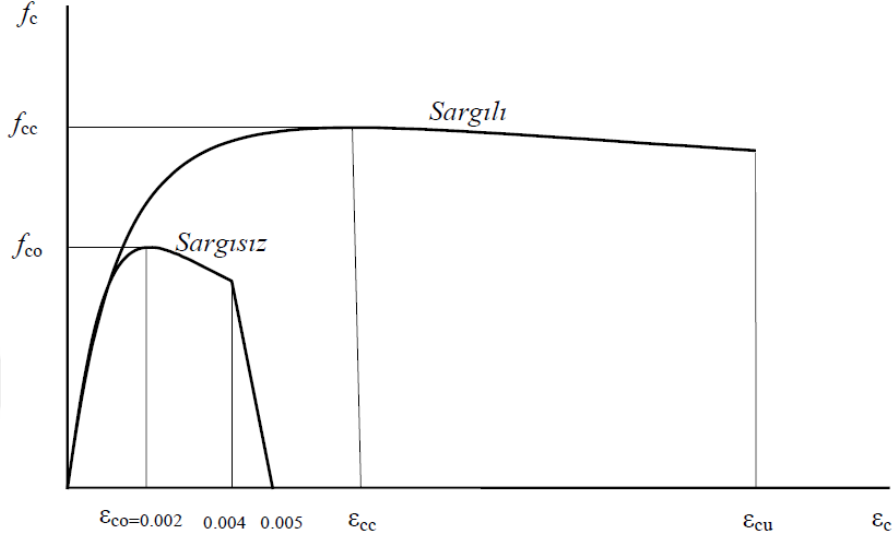
Çelik ve betondan oluşan malzemenin betonarme olabilmesi için bu iki malzemenin birbirine çok iyi kaynaşarak birlikte çalışması gerekmektedir. Çelik ve betonun birbirine iyi bir şekilde kaynaşması çelik ve betonun farklı deformasyon yapmasını engeller. Beton ve çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan bu hadise, kenetlenme veya aderans olarak adlandırılır. Bu iki malzeme arasında oluşan kenetlenme gerilmeleri, çeliğin betondan sıyrılmasını önleyerek birlikte çalışmalarını sağlar (Ersoy ve Özcebe, 2012). Betonarmede donatının üzerine düşen görev, çekme etkilerini ve bazı durumlarda azda olsa kayma gerilmelerini karşılamak, betona düşen görev ise basınç gerilmelerini karşılamak ve donatının etrafını sararak hem dış etkilere karşı korumak hem de donatının burkulmasını önlemektir (Doğangün, 2011).

Betonarme homojen olmayan ve doğrusal olmayan bir davranış sergileyen bir malzeme olması sebebiyle ideal malzeme varsayımı ile geliştirilen hesap yöntemlerini geçersiz kılar. Betonarmenin gerçek davranışını göz önünde bulundurmayan tüm yaklaşımlar yanlış sonuç vereceğinden, betonarme davranışının olabildiğince detaylı incelenmesi yapılan analiz ve değerlendirmelerin doğruluğu açısından oldukça önemli olacaktır. Bunun içinde betonarmeyi oluşturan beton ve çeliğin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Canbay vd., 2008).

#### **1.5.1.2. Beton Malzeme Modeli**

Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi birçok parametreden etkilenir. Bu sebeple her bir durum için tek bir eğrinin tanımlanması mümkün değildir. Bununla birlikte problemlerin çözümü ve beton davranışının anlaşılabilmesi için gerilme-şekil değiştirme ilişkisini belirleyen malzeme modellerine ihtiyaç vardır. Bu gereksinimin bir sonucu olarak, günümüze kadar çeşitli araştırmacılar birçok beton modeli önermiştir (Özmen vd., 2007). DBYBHY 2007, mevcut yapıların deprem performansını değerlendirirken Mander Beton Modelinin kullanılmasını önermiştir.

Şekil 1.18’de 2007 deprem yönetmeliği bilgilendirme eki-7B’de bahsedilen Mander Beton Modeline ait sargılı ve sargısız betonların gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir.

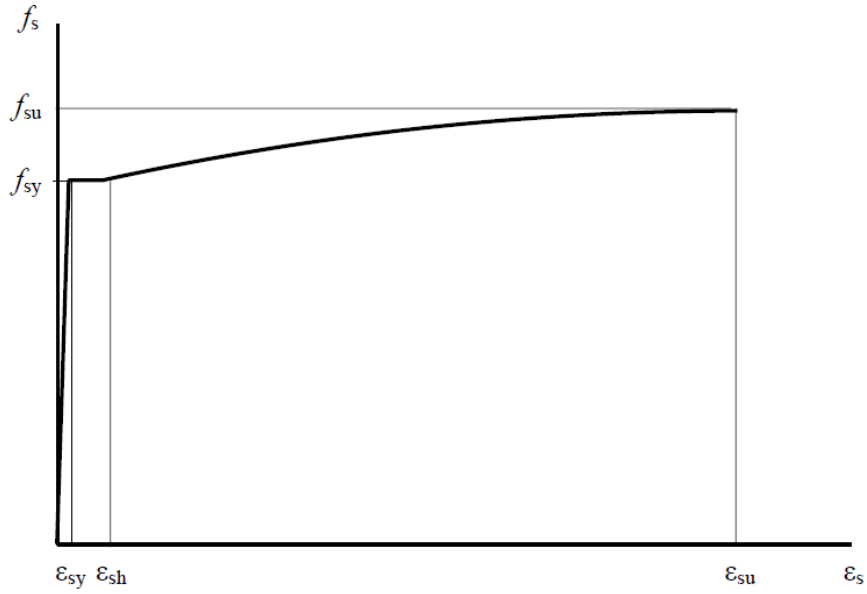


Şekil 1.18. Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

### 1.5.1.3. Çelik Malzeme Modeli

Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisini elde etmek için çekme deneyleri yapılır. Doğal sertlikteki çeliğin belirli bir akma eşiği vardır. Bu eşiğe erişinceye kadar gerilme ve birim uzama arasında doğrusal bir ilişki vardır. Akma eşiğine ulaşıldığında birim uzama artarken, gerilme sabit kalır. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin, akma eşiğinden sonraki bölümüne akma sahanlığı adı verilir. Akma sahanlığını pekleşme bölgesi izler. Pekleşme sınırına gelindiğinde, gerilme yeniden artmaya başlar ve belirli bir noktadan sonra numune kesiti küçülerek o noktadan kopar (Ersoy ve Özcebe, 2012).

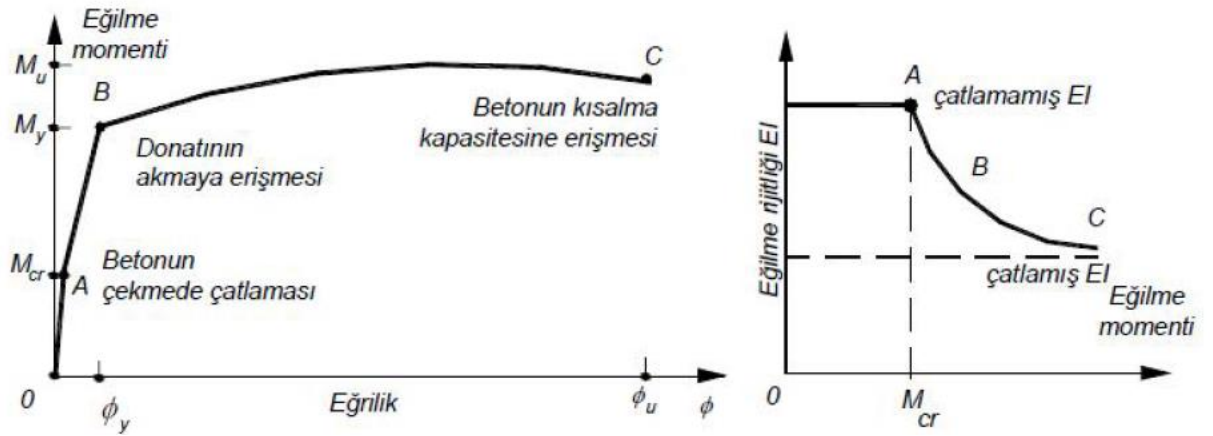
Şekil 1.19’de DBYBHY 2007 bilgilendirme eki-7B’de bahsedilen donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir.



Şekil 1.19. Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

### 1.5.2. Betonarme Kesitte Eğilme Etkisi

Eğilme momenti etkisi altında betonarme bir dikdörtgen kesitteki eğilme moment-eğrilik ilişkisi Şekil 1.20’de gösterilmektedir.



Şekil 1.20. Betonarme kesitte eğilme momenti-eğrilik ilişkisi (Celep, 2014)

Eğilme momentinin küçük olduğu değerlerde donatı elastik davranır ve betonda bazı gerilmeler meydana gelir. Beton kesitinin tamamı davranış üzerinde etkili olduğu için donatının bu safhada etkisi sınırlı olmaktadır. Eğilme momentindeki artış beton kesitini

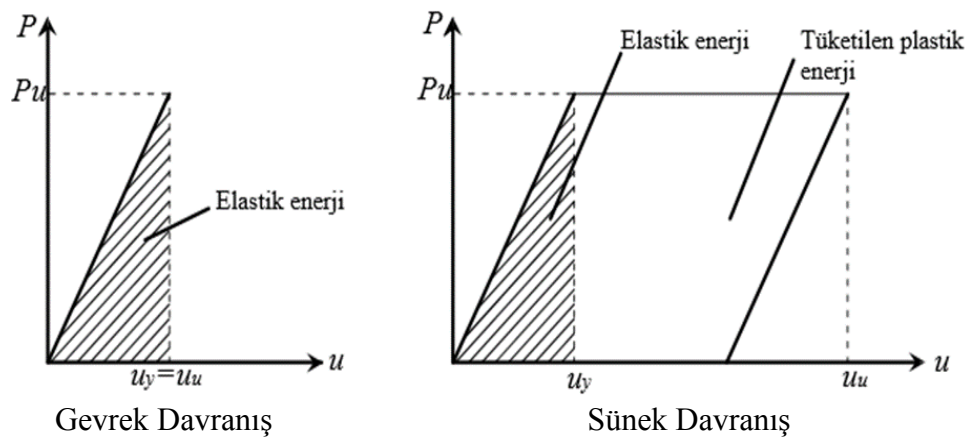
çatlatır ve bu çatlaklar tarafsız eksene doğru ilerler. Çekme gerilmelerinin arttığı bölgelerde betonun çatlaması sonucu moment-eğrilik değişiminde az da olsa doğrusal olmayan davranışa geçiş vardır. Gerilmeler arttıkça betonun doğrusal olmayan davranışı daha belirgin hale gelir. Donatı akma gerilmesine ulaşmasının ardından donatı plastik uzama yaparken, betonda da doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi çok daha belirgin olur. Genellikle güç tükenmesi donatının uzama kapasitesinin fazla olması sebebiyle, betonun en büyük kısalma kapasitesine erişmesiyle meydana gelir ve kesit taşıma gücüne erişir. (Celep, 2014).

### 1.5.3. Süneklik

Kesitin dayanımında önemli bir azalma olmaksızın, elastik sınırın ötesinde deformasyon yapabilme yeteneğine süneklik denir. Sayısal olarak, kesitin güç tükenme durumu ile elastik sınır şekil değiştirmesinin oranı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Celep, 2014);

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (1.1)$$

Gevrek ve sünek davranışa ilişkin iki eğri Şekil 1.21’de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi gevrek davranışta  $u_y \approx u_u$  iken, sünek davranışta  $u_y \ll u_u$  geçerlidir. Her iki davranışta tüketilen enerjiler karşılaştırıldığında, sünek davranışta tüketilen enerjinin, gevrek davranışta tüketilen enerjiden oldukça fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 1.21. Gevrek ve sünek davranışta elastik ve plastik enerji (Celep 2014)

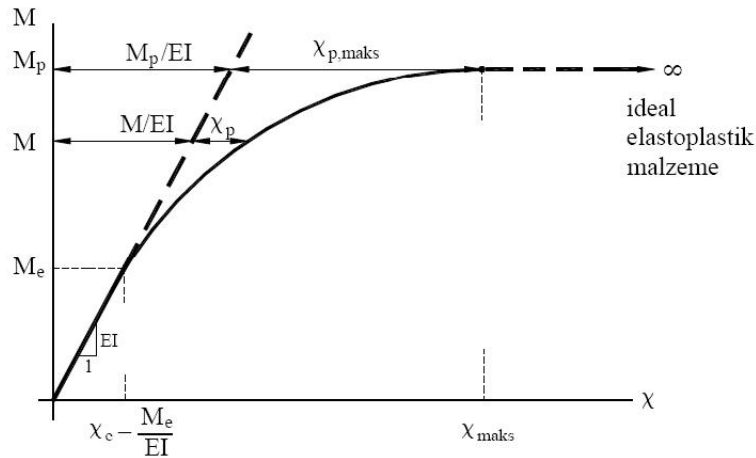


Eğrinin yataya yakın olarak devam etmesi göçme olmadan yapının yük taşımaya devam ettiğini gösterir. Bu durumda sisteme giren enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış sebebiyle tüketilirken, büyük deplasmanlar yapı elemanları arasında yardımlaşmaya imkan verecek ve göçmeyen elemanlar devreye girecektir. Depremlerde en büyük hasar sebebi sünekliğin sağlanamaması olarak gözlemlenmiştir (Celep, 2013).

#### 1.5.4. Plastik Mafsalsal Kabulü

Yapı sistemlerini oluşturan elemanlarda moment etkisi altında belli bir miktar dönme meydana gelir. Bu elemanlarda moment, elemanın eksenine boyunca değişir. Bazı kesitlerde moment değerlerinin küçük olmasından dolayı davranış doğrusal elastikken, elemanların birleşim bölgelerine yakın bazı yerlerde ise moment değerlerinin artmasından dolayı bu bölgelerde davranış elastik ötesidir.

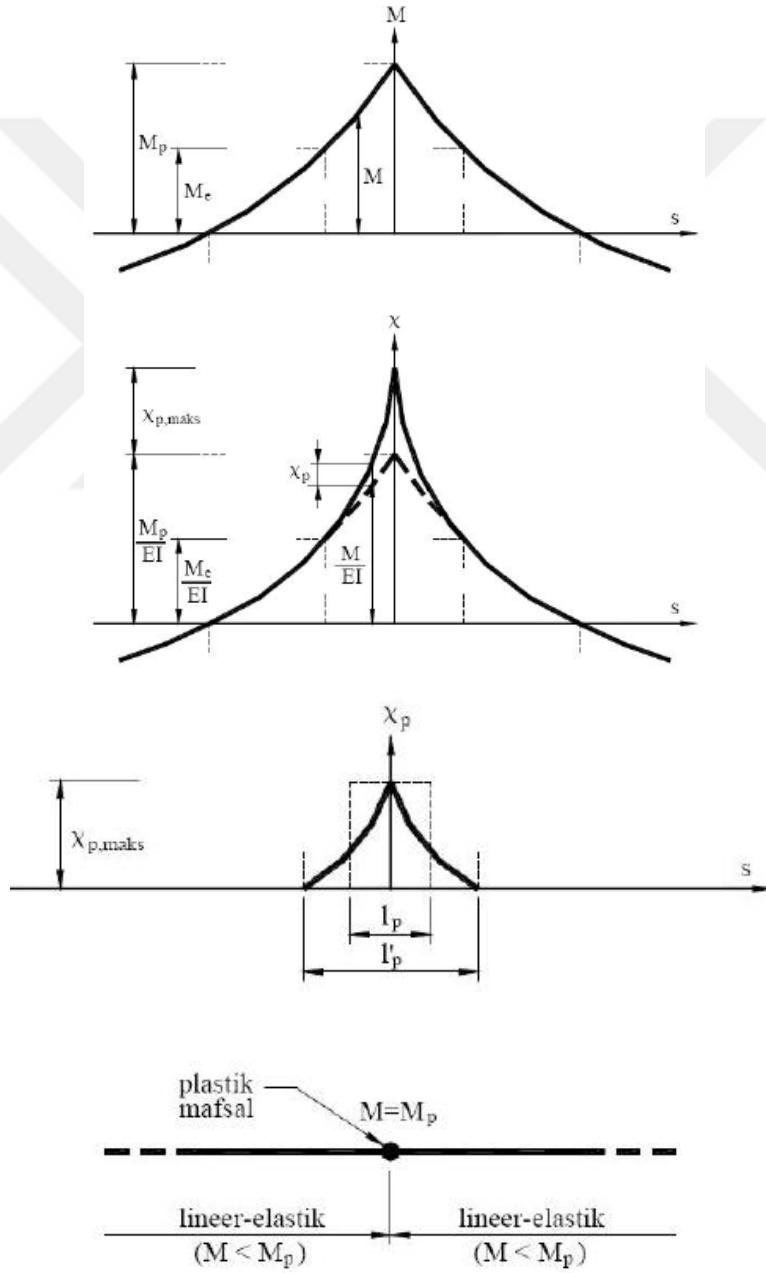
Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsalsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitler dışında kalan bölgelerin ise elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze plastik mafsalsal hipotezi adı verilir. Eğilme momenti–eğrilik ilişkisi Şekil 1.22’de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirme ve doğrusal olmayan şekil değiştirme diyagramları Şekil 1.23’de verilmiştir. (Özer, 2009). Burada  $M_e$ , kesitin elastik sınırlar içinde kaldığı moment değerini,  $M_p$  plastik şekil değiştirmenin başladığı momentini temsil etmektedir.  $\chi_e$  ve  $\chi_p$  sırasıyla elastik ve plastik şekil değiştirmeyi temsil etmektedir.



Şekil 1.22. Eğrilik momenti-eğrilik diyagramı (Özer, 2009)

Plastik mafsal hipotezinde, yapı elemanları üzerinde  $l_p$  uzunluğundaki bir bölgeye yayılan plastik (doğrusal olmayan) şekil değiştirmelerin ( $\chi_p$ ) denklem 1.2'deki gibi tanımlanarak bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada  $\theta_p$  aşağıdaki gibi tanımlanan plastik mafsaldaki dönmeyi temsil etmektedir;

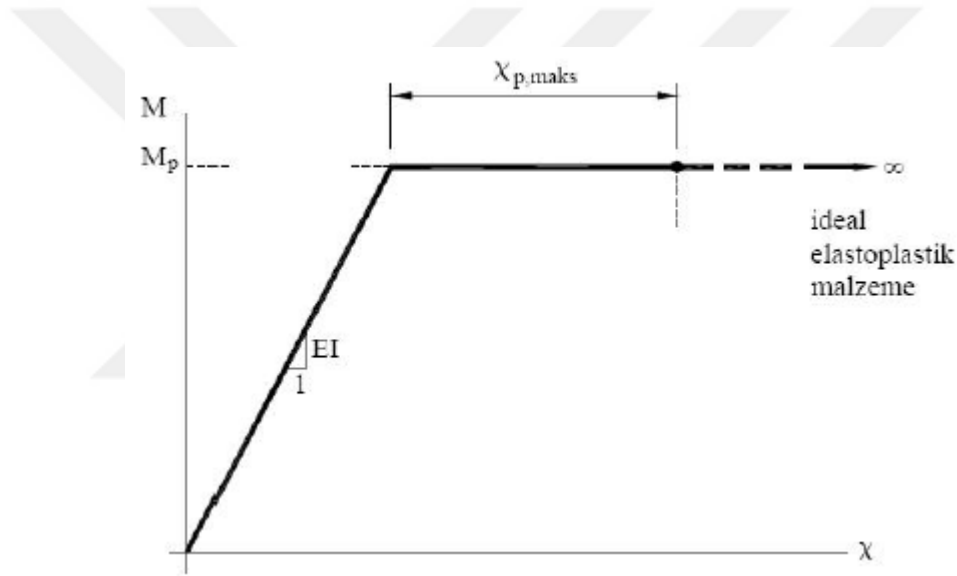
$$\theta_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (1.2)$$



Şekil 1.23 Plastik şekil değiştirmeler (Özer, 2009)

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek moment–eğrilik bağıntısının Şekil 1.24’de gösterildiği gibi iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirmesine karşı gelmektedir. Kesitte meydana gelen moment değerinin, kesitin akma momentinden küçük olması durumunda kesit elastik sınırlar içinde kalır. Kesitteki momentin, kesitin akma momentinden daha büyük olması durumunda ise kesit plastik şekil değiştirme yapmaya başlar. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} M \leq M_p & \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \\ M = M_p & \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,\text{maks}} \end{aligned} \quad (1.3)$$



Şekil 1.24. İdealleştirilmiş eğilme momenti – eğrilik bağıntısı (Özer, 2009)

Artan kesit tesirleri sebebiyle plastik mafsalardaki dönmeler artarak dönme kapasitesi adı verilen sınır değeri aşar, bu durumda oluşan büyük plastik şekil değiştirmeler sebebiyle kesitte göçme meydana gelebilir. Yapı sistemlerinin bir veya birden çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin dönme kapasitesine sınırına ulaşması, yapının tümünü kullanılmaz hale getirebilir.

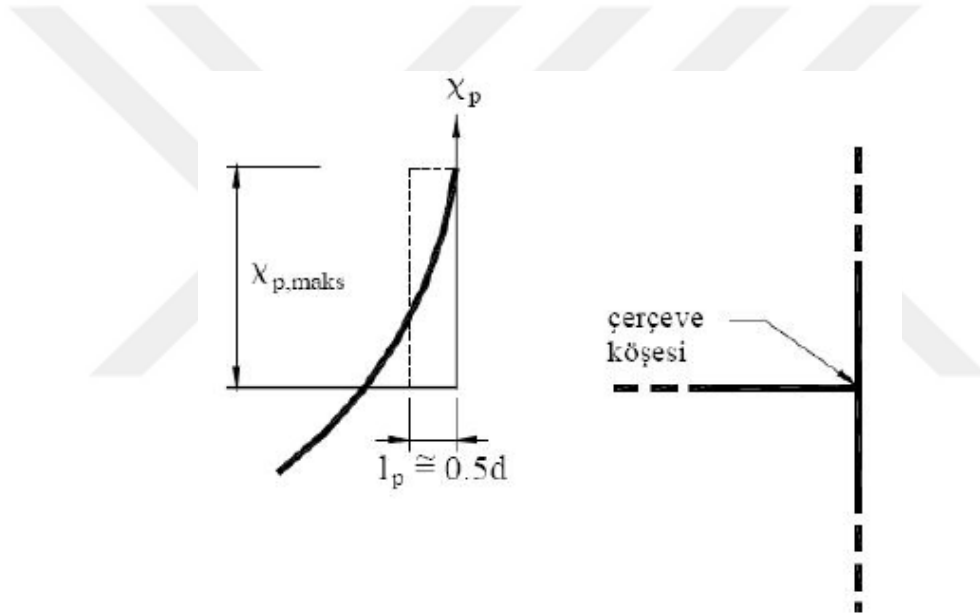
Plastik mafsalın dönme kapasitesi aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\theta_p = \int_{l_p} \chi_p d_s \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{\text{maks}}) \quad (1.4)$$

Kesitteki dönme değeri, yukarıdaki bağıntıya ek olarak aşağıdaki gibi de elde edilebilir.

$$\theta_p = l_p \chi_{p,\text{maks}} \quad (1.5)$$

Eğilme davranışının hakim olmasından dolayı meydana gelen plastik mafsallardaki, plastik mafsal boyu (plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu,  $l_p$ ) için geçmiş yıllarda bir çok çalışma yapılmıştır ancak kesin bir değer elde edilememiştir. Bununla birlikte DBYBHY 2007, plastik mafsal boyunu dikkate alınan deprem doğrultusundaki kesit boyutunun yarısına eşit alınmasını önermiştir.



Şekil 1.25. Plastik mafsal boyu (Özer, 2009)

Sonuç olarak plastik mafsal hipotezinin esasları şu şekilde sıralanabilir;

- Bir kesitteki dış yükler sebebiyle eğilme momenti artarak  $M_p$  plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsalda meydana gelen dönme değeri, kesitin dönme kapasitesine ulaşıncaya kadar kesit kullanılamaz hale gelmektedir.
- Plastik moment değerine ulaşıncaya kadar sistem doğrusal elastik davranmaktadır.
- Kesitte eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde,  $M_p$  plastik momentini yerine, kesitteki  $N$  normal kuvvetine bağlı olarak indirgenmiş plastik moment ( $M^1_p$ ) değeri kullanılır.

## 1.6. DBYBHY 2007'ye Göre Performans Değerlendirmesi

Bu kısımda, DBYBHY 2007'de verilen yapıların sismik performansını değerlendirirken uyulması gereken hesap kuralları ve esaslarının özeti verilmektedir.

### 1.6.1. Binalardan Bilgi Toplanması

Binalardan elde edilen mevcut durum bilgilerinin kapsamına bağlı olarak, her bina türü için Tablo 1.1.'de bilgi düzeyleri ve yapıların performans seviyelerini belirlerken kullanılan bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir.

Tablo 1.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

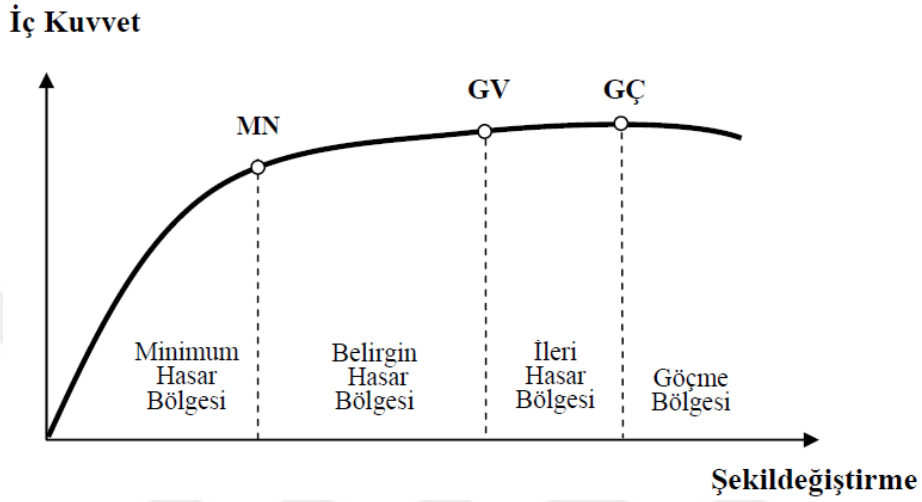
Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Sınırlı bilgi düzeyinde, yapıya ait taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir ve taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle elde edilir. Deprem sonrasında hemen kullanılacak binalar ve insanların yoğun olarak uzun süre bulunduğu binalarda uygulanamaz. Orta bilgi düzeyinde, eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır. Eğer mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Kapsamlı bilgi düzeyinde ise binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğruluğunun tespit edilmesi amacıyla yeterli miktarda ölçüm yapılır.

### 1.6.2. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

DBYBHY 2007'de yapı elemanları için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bu sınır durumlar, sünek olarak hasar gören yapı elemanları için geçerlidir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar, güçlendirilmez ise performans değerlendirmesinde doğrudan göçme bölgesinde sayılır. Sünek elemanlar için verilen sınırlar; Minimum hasar sınırı (MN) ilgili

kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, Güvenlik sınırı (GV) kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, Göçme sınırı (GÇ) ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Şekil 1.26’da DBYBHY 2007’de verilen hasar sınırları grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.26. Hasar sınırları ve bölgeleri

### 1.6.3. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Yapıların performans değerlendirmesinde kullanılacak olan genel ilke ve kurallar doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin her ikisi için de geçerlidir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır;

- Deprem etkisinin tanımında, elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, fakat farklı deprem düzeyleri için bu spektrum üzerinde gerekli değişiklikler yapılmalıdır. Ayrıca deprem hesabında, bina önem katsayısı uygulanmaz ( $I=1.0$ ).
- Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilmelidir.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanır, ancak ek dış merkezlik uygulanmaz.

- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan elde edilen verilerin kapsamına göre DBYBHY 2007’de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılır.
- Betonarme kesitlerin etkileşim diyagramları tanımlanırken; analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre mevcut dayanımları esas alınır. Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi 0.01 olarak dikkate alınabilir. Etkileşim diyagramları uygun bir biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenebilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.
- Eğilme etkisindeki elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri:
  - Kirişlerde  $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$
  - Kolon ve perdelerde  $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$   
 $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$
 ile hesaplanır.
- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.
- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momenti hesaplanırken ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.
- Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılmalıdır.

#### **1.6.4. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle Bina Deprem Performansının Belirlenmesi**

Doğrusal elastik hesap yöntemleriyle binaların deprem performansları belirlenirken eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılır. Bu yöntemler kullanılırken aşağıda belirtilen ek kurallara uyulması gereklidir.

- Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için binanın toplam kat sayısının 8’i, toplam yüksekliğinin ise 25 metreyi aşmaması gerekmektedir. Ayrıca burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi}$ ’nin 1.4’den küçük olması gerekmektedir. Eşdeğer deprem

yükü hesaplanırken  $R_a = 1$  alınır ve denklemin sağ tarafı  $\lambda$  katsayısı ile çarpılır.  $\lambda$  katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde ise 0.85 olarak hesaba katılır.

- Mod birleştirme yöntemi uygulanırken  $R_a = 1$  alınarak hesap yapılır.

Sünek betonarme elemanların hasar düzeyleri belirlenirken doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılır ise, yapıdaki kiriş, kolon, perde ve güçlendirilmiş dolgu duvarı kesitlerinin etki/kapasite oranları ( $r$ ) olarak ifade edilen değerler kullanılır.

Betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise sünek, kesme ise gevrek olarak sınıflandırılırlar. Yapı taşıyıcı sistem elemanlarının sünek eleman olarak sınıflandırılabilmesi için, bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvvetinin, elemanın hesaplanan kesme kapasitesini aşmaması gerekir. Süneklik koşulunu sağlamayan elemanlar gevrek olarak hasar gören elemanlar olarak sınıflandırılır.

Etki/kapasite oranı, yalnızca deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesiyle elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi ise kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Bu oranın hesabıyla ilgili detaylar DBYBHY 2007'nin bilgilendirme eki 7-A'da verilmektedir.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin ve güçlendirilmiş dolgu duvarlarının etki/kapasite oranları ( $r$ ), Tablo 1.2 – 1.4'de verilen sınır değerler ( $r_s$ ) ile karşılaştırılarak taşıyıcı elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

Tablo 1.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
$\leq 0.0$	Var	$\leq 0.65$	3	7	10
$\leq 0.0$	Var	$\geq 1.30$	2.5	5	8
$\geq 0.5$	Var	$\leq 0.65$	3	5	7
$\geq 0.5$	Var	$\geq 1.30$	2.5	4	5
$\leq 0.0$	Yok	$\leq 0.65$	2.5	4	6
$\leq 0.0$	Yok	$\geq 1.30$	2	3	5
$\geq 0.5$	Yok	$\leq 0.65$	2	3	5
$\geq 0.5$	Yok	$\geq 1.30$	1.5	2.5	4



Tablo 1.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K}{A_c f_{cm}}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
$\leq 0.1$	Var	$\leq 0.65$	3	6	8
$\leq 0.1$	Var	$\geq 1.30$	2.5	5	6
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Var	$\leq 0.65$	2	4	6
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Var	$\geq 1.30$	1.5	2.5	3.5
$\leq 0.1$	Yok	$\leq 0.65$	2	3.5	5
$\leq 0.1$	Yok	$\geq 1.30$	1.5	2.5	3.5
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Yok	$\leq 0.65$	1.5	2	3
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Yok	$\geq 1.30$	1	1.5	2
$\geq 0.7$	-	-	1	1	1

Tablo 1.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Doğrusal elastik hesap yöntemleriyle her bir deprem doğrultusunda hesaplanan etki/kapasite oranlarıyla elde edilen hasar seviyelerine ek olarak, binanın her hangi bir katındaki kolon veya perdelerin görelî kat ötelemeleri Tablo 1.5’de verilen değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğu tespit edilir. Bu karşılaştırmada belirlenen hasar, r katsayısı ile belirlenen hasardan daha olumsuz ise görelî kat ötelemelerinden elde edilen hasar durumu yapının performansında dikkate alınmalıdır.

Tablo 1.5. Görelî kat ötelemesi sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
$\delta_{ji} / h_{ji}$	0.01	0.03	0.04

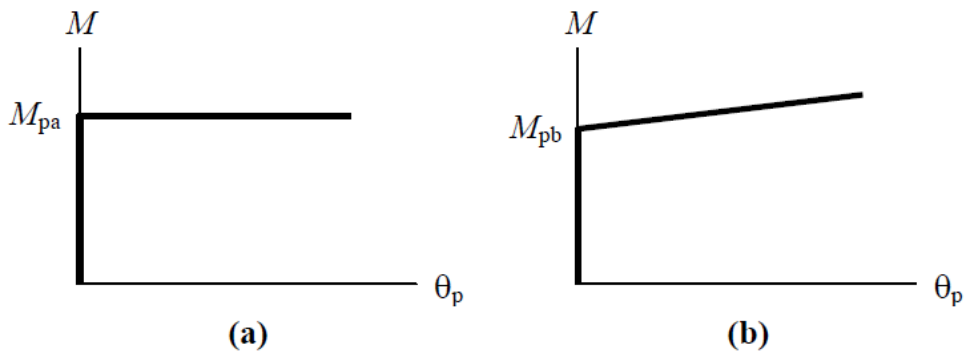
### 1.6.5. Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleriyle Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Deprem etkisi altında binaların performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirme analizlerinde kullanılacak olan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen

bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. DBYBHY 2007’de doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü (Statik İtme, Pushover Method) Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

### 1.6.5.1. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

DBYBHY 2007’de, doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Bu modelde taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmıştır. Plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu yani plastik mafsal boyu kesitin çalışan doğrultudaki boyutunun yarısı olarak hesaplarda kullanılır. Yönetmelikte, plastik kesitlerin kolon ve kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulmasına müsaade edilmiştir. İtme analizi yapılacak modelde, moment–plastik dönme bağıntılarında pekleşme etkisi yaklaşık olarak terk edilebilir. (Şekil 1.27a) Böyle bir durumda plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınır. Pekleşme etkisi göz önüne alınacaksa plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekil değiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanır. (Şekil 1.27.b)



Şekil 1.27. Moment–plastik dönme ilişkisi

### 1.6.5.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminin amacı, birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. İlk olarak kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılarak, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları oluşturulur. Bu düşey yük analizinin devamında itme analizinin her bir adımında meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait kümülatif değerler ve son adımdaki deprem istemine karşı gelen maksimum değerler (bina tepe yerdeğiştirme istemi–taban kesme kuvveti) hesaplanır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, bina kat sayısının bodrum kat hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta (ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın) doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

İtme analizi sonucunda eksenleri tepe yer değiştirmesi–taban kesme kuvveti olan itme eğrisi elde edilir. Daha sonra itme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, eksenleri modal yer değiştirme–modal ivme olan modal kapasite eğrisi elde edilir.

Modal kapasite eğrisinin elde edilmesinde kullanılacak denklemler aşağıdaki gibidir: (i)'inci itme adımında birinci moda (deprem doğrultusunda hakim mod) ait modal ivme  $a_1^{(i)}$  aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (1.6)$$

(i)'inci itme adımında birinci moda (deprem doğrultusunda hakim mod) ait modal yer değiştirme  $d_1^{(i)}$ 'nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılır:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (1.7)$$

İtme eğrisinden elde edilen modal kapasite eğrisi ile birlikte, yapıda hakim moda ait maksimum modal yer değiştirme, yani yapının modal yer değiştirme istemi hesaplanacaktır. Modal yer değiştirme istemi,  $d_1^{(p)}$ , doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme  $S_{di1}$ 'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (1.8)$$

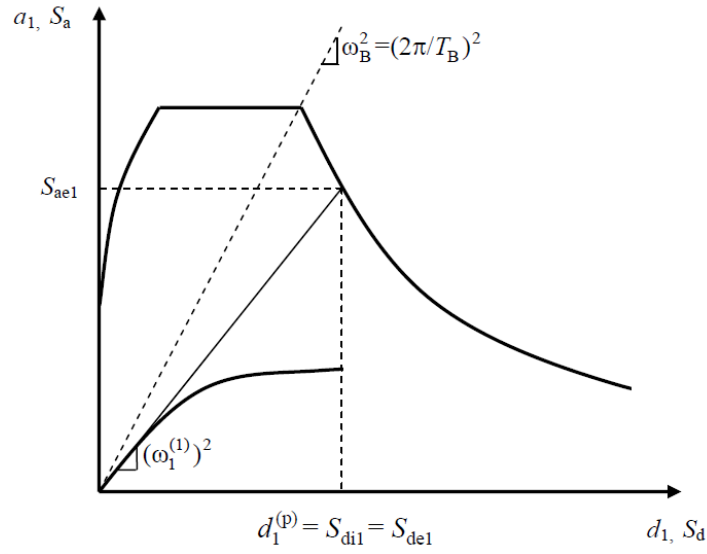
Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme,  $S_{di1}$ , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (linear) spektral yer değiştirme  $S_{de1}$ 'e bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (1.9)$$

Doğrusal elastik spektral yer değiştirme  $S_{de1}$ , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme  $S_{ae1}$ 'den aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (1.10)$$

Spektral yer değiştirme oranı, bina hakim periyodunun elastik tasarım ivme spektrumundaki  $T_B$ 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda eşit iş-eşit yer değiştirme kuralınca  $C_R = 1$  alınarak hesap yapılır (Şekil 1.28).



Şekil 1.28. Spektral yer değıştirmenin bulunması

Spektral yer değıştirme oranı, başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki  $T_B$ 'den daha kısa olması durumunda ise  $C_R$  aşağıda belirtilen ardışık yaklaşımla hesaplanır (Şekil 1.29):

- İtme analizi sonucu elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 1.29.a'da görüldüğü üzere, yaklaşık olarak iki doğrusu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki doğrunun eğimi olan birinci moda ait öz değere eşit alınır.
- Ardışık yaklaşımın ilk adımında  $C_{R1} = 1$  alınarak, eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 1.29.a'da görülen  $a_{y1}^0$  esas alınarak  $C_{R1}$  aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

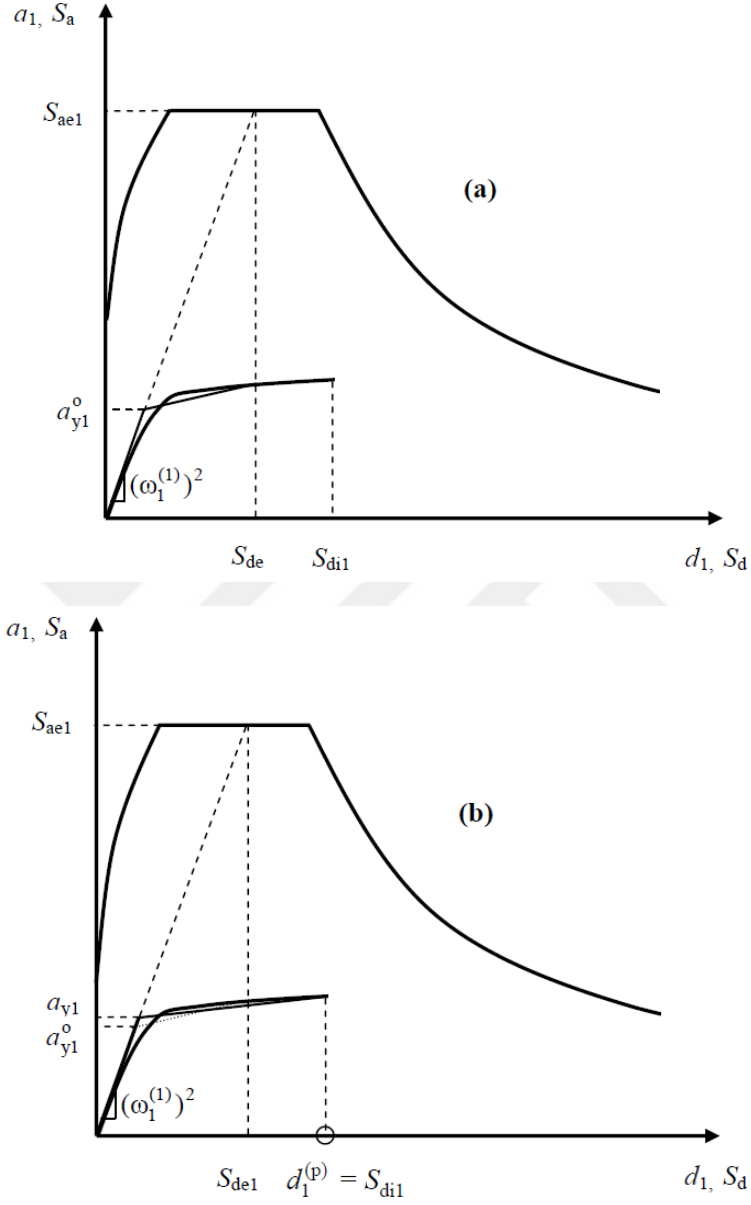
$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (1.11)$$

Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı ( $R_{y1}$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (1.12)$$

$S_{di1}$  esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, eşit alanlar kuralınca yeniden belirlenir ve bunlara göre  $a_{y1}$ ,  $R_{y1}$  ve  $C_{R1}$  tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen

sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda, ardışık yaklaşıma son verilir. (Şekil 1.29.b)



Şekil 1.29. Talep yer değiştirmesinin bulunması

Son itme adımı  $i = p$  için x-doğrultusundaki deprem için tepe yer değiştirme istemi  $u_{XN1}^{(p)}$  hesaplanır. Bu değere karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri mevcut itme analizi sonucundan elde edilecek veya tepe yer değiştirmesi istemine ulaşincaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile yeniden hesaplanacaktır.

### 1.6.5.3. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır.

### 1.6.5.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Bu yöntemin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

### 1.6.5.5. Binaların Performans Seviyelerinin Belirlenmesi

#### 1.6.5.5.1. Birim Şekil Değiştirme İstemlerinin Hesaplanması

Plastik eğrilik istemi ( $\phi_p$ ), doğrusal olmayan itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen  $\theta_p$  plastik dönme istemine bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\phi_p = \theta_p / L_p \quad (1.13)$$

Eşdeğer akma eğrilik istemi ( $\phi_y$ ), amaca uygun olarak seçilen malzeme modellerinin kullanılarak, kesitte oluşan aksenal kuvvet altında yapılan analizden elde edilen akma momentine karşılık gelen eğriliktir. Kesitteki toplam eğrilik istemi ( $\phi_t$ ) ise plastik eğrilik istemiyle eşdeğer akma eğrilik isteminin toplanmasıyla elde edilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (1.14)$$

### 1.6.5.5.2. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değişirme Kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem talepleri, birim şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenir.

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme elemanlarda, çeşitli birim şekil değiştirme üst sınırlarına göre kesit hasar sınırları aşağıda tanımlanmıştır:

- Minimum Hasar Sınırı (MN): Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırlarının aşağıdaki gibi olması durumunda kesitin minimum hasar sınırında olduğu kabul edilir.

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (1.15)$$

- Güvenlik Sınırı (GV): Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırlarının aşağıdaki gibi olması durumunda kesitin güvenlik sınırında olduğu kabul edilir.

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (1.16)$$

- Göçme Sınırı (GÇ): Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırlarının aşağıdaki gibi olması durumunda kesitin göçme sınırında olduğu kabul edilir.

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (1.17)$$

### 1.6.6. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Taşıyıcı sistem elemanlarının deprem performans düzeyleri, doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen verilerin DBYBHY 2007'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılmasıyla elde edilir. Bu elemanların hasar seviyelerine göre binanın performans seviyesi belirlenir. DBYBHY 2007'de 4 farklı performans düzeyinden bahsedilmektedir. Bu performans düzeyleri aşağıda tanımlanmıştır;



- Hemen Kullanım Performans Seviyesi

Deprem doğrultularının her biri için yapılan hesap sonucunda, herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesinde kalmalıdır. Gevrek olarak hasar gören eleman varsa bu elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların hemen kullanım performans düzeyinde olduğu kabul edilir.

- Can Güvenliği Performans Seviyesi

Gevrek olarak hasar gören eleman varsa bu elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların can güvenliği performans düzeyinde olduğu kabul edilir:

- 1) Her bir deprem doğrultusunda yapılan hesap sonucunda yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ileri hasar bölgesine geçebilir.
- 2) Bir binadaki ileri hasar bölgesinde bulunan kolonların, her katta tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta ileri hasar bölgesinde bulunan kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
- 3) Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

- Göçme Öncesi Performans Seviyesi

Gevrek olarak hasar gören elemanların göçme bölgesinde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların göçme öncesi performans düzeyinde olduğu kabul edilir:

- 1) Her bir deprem doğrultusunda yapılan hesap sonucunda ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir.
- 2) Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- 3) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

- Göçme Durumu Performans Seviyesi

Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlayamıyorsa göçme durumundadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

### 1.6.7. Binalar İçin Hedeflenen Performans Seviyeleri

DBYBHY 2007’de binaların tasarımında, performanslarının değerlendirilmesinde ve güçlendirme projelerinde kullanılmak üzere 3 farklı depremden bahsedilmektedir.

- Kullanım depremi (50 yılda aşılma olasılığı %50), ivme spektrumunun ordinatları tasarım depremininkinin yaklaşık yarısı olarak dikkate alınır.
- Tasarım depremi (50 yılda aşılma olasılığı %10) yeni yapılacak binalar için tanımlanan ivme spektrumu bu deprem düzeyini esas almaktadır.
- Şiddetli deprem (50 yılda aşılma olasılığı %2), bu depremde ivme spektrumunun ordinatları tasarım depremininkinin yaklaşık 1.5 katı olarak dikkate alınır.

Binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 1.6’da verilmiştir.

Tablo 1.6. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem sonrası kullanımı gereken binalar: hastaneler, sağlık tesisleri, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar: okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar: sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli madde içeren binalar: toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer binalar: yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

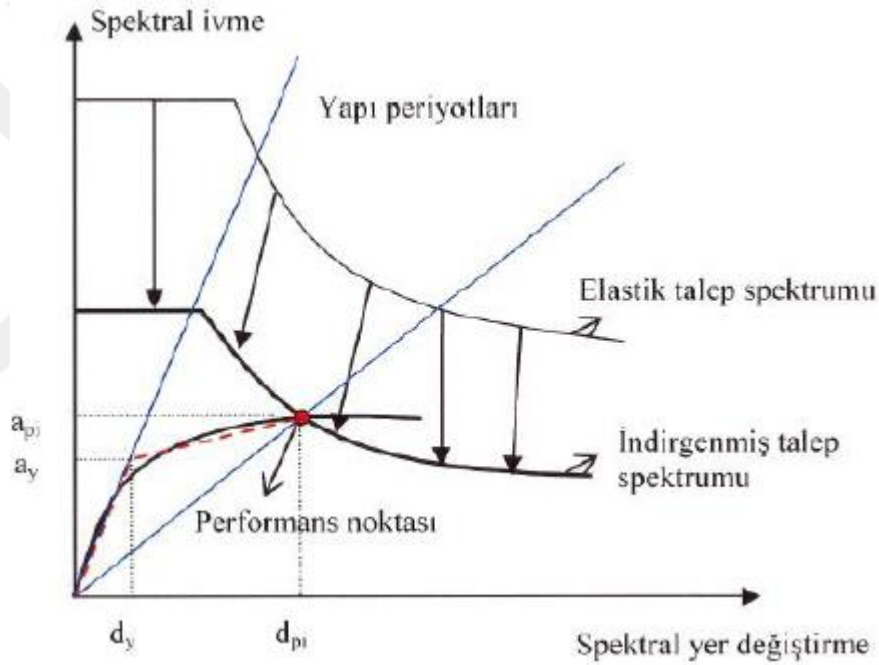
### 1.7. ABD'deki Yönetmeliklere Göre Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme

Deprem etkisi altındaki yapıların elastik olmayan bir davranış sergilediği bilinen bir gerçektir. Son zamanlara kadar yapıların tasarım ve değerlendirmesinde kullanılan analiz yöntemlerinin çoğu, yapıların deprem davranışını hesaba katarken yapının elastik sınırlar içinde kalacağını kabul etmekteydi. Amerika Birleşik Devletleri, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremleri gibi arka arkaya geçirdiği büyük depremler sonucunda çok daha gerçekçi sonuçlar veren hesap yöntemlerini ve performans kriterlerini oluşturmaya başlamıştır. 1996, 1997 ve 2000 yıllarında sırasıyla ATC 40'ın, FEMA 273 (1997)'ün ve FEMA 356'nın yayımlanmasıyla birlikte yapıların depremlere karşı davranışlarının doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle daha gerçekçi olarak temsil edilebildiği ortaya çıkmış ve bu yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. 2005 yılında, FEMA 440 yeni yapılacak ve mevcut yapıların sismik davranışlarını araştırmak amacıyla yayımlanmıştır. FEMA 440'ın yayımlanmasının temel amacı, FEMA 356 ve ATC 40 yönetmeliklerinde belirtilen doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin verdiği farklı sonuçları iyileştirmektir. 2007 yılında ASCE 41-06 yayımlanmış ve dünya genelinde yapıların performans değerlendirilmesi için halen yaygın olarak kullanılmaktadır. ASCE 41-06, ATC 40 ve FEMA 356 standartlarının geliştirilmesi sonucu meydana gelmiştir. Bu yönetmelikler, NEHRP (Ulusal Deprem Afetleri Risklerinin Azaltılması Programı) kapsamında çıkarılmışlardır. (Türkey, 2013). Yukarıda bahsedilen çalışmalar neticesinde doğrusal olmayan statik itme yöntemleri geliştirilmiş ve binaların depreme karşı davranışlarının tahmin edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

ATC 40 ve FEMA 356 standartları, doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile binaların deprem istemlerini belirlerken hemen hemen aynı metotları kullanmaktadır. Her iki standartta da binaların doğrusal olmayan davranışını temsil etmek için kuvvet-deformasyon eğrileri (itme eğrileri) kullanılır. Ancak belirli bir deprem etkisi altında yapıların doğrusal olmayan yer değiştirme taleplerini hesaplama yöntemleri bu iki standart için birbirinden farklıdır. Bu yer değiştirme istemleri ATC 40'da kapasite spektrum yöntemi ile hesaplanırken, FEMA 356'da katsayı yöntemi ile belirlemektedir. Bu yöntemlerin yaygınlaşmasıyla, aynı bina için her iki yöntemle elde edilen performans noktasındaki yer değiştirme istemlerinin çok büyük farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum üzerine 2000 yılında farklılıkların tespiti için ATC 55 projesi başlatılmıştır. ATC 55 projesinin sonuçlarına bağlı olarak FEMA 440 prosedürü oluşturulmuştur (Duman, 2012).

### 1.7.1. ATC 40 Kapasite Spektrum Yöntemi

Kapasite spektrum yöntemi, lineer olmayan statik itme analizi neticesinde elde edilen kapasite eğrisi ile deprem talebini karşılaştırarak yapının performans noktasını bulmayı amaçlamaktadır (ATC 40, 1996). Bu yöntemde, kapasite ve talep bahsedilmesi gereken en önemli iki husustur. Kapasite, yapının deprem etkisindeki davranışını, talep ise yer hareketlerinin etkisini temsil eder. Kapasite spektrum yönteminde temel amaç, indirgenmiş deprem talep eğrisiyle yapının kapasite eğrisinin kesiştiği noktayı tayin etmektir. Bu nokta aynı zamanda yapının performans noktasıdır (Şekil 1.30).



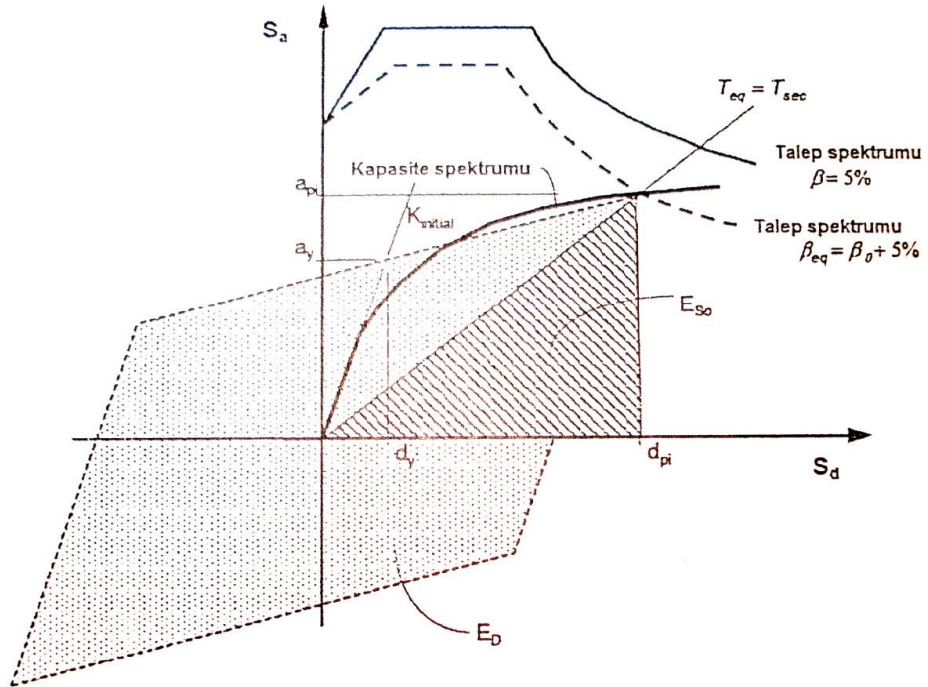
Şekil 1.30. Kapasite ve talep eğrileri arasındaki ilişki

Deprem etkisi altında yapılarda oluşan doğrusal olmayan yer değiştirmeler sebebiyle sönüm artmaktadır. Bu artan sönüm oranına bağlı olarak, elastik talep spektrumu indirgenmesi daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Talep eğrisini indirgeme işleminin yapılabilmesi için etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır. Etkili sönüm yüzdesi, histerik ve viskoz sönüm toplamının kritik sönüme oranı olarak tanımlanmaktadır. Histerik sönüm eşdeğer sönüm cinsinden ifade edilebilir. Viskoz sönüm ise yapılar için genellikle %5 alınmaktadır. Bir sistemin eşdeğer sönümü, kapasite eğrisi altında kalan alanla alakalı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\beta_{eq} = \kappa\beta_0 + 5 = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (1.18)$$

Bu denklemde  $\beta_{eq}$  yüzde cinsinde etkin sönüm oranını,  $\beta_0$  eşdeğer viskoz sönüm ile ifade edilen histerik sönümü,  $\kappa$  ise yapının taşıyıcı sistemi ve deprem süresine bağlı olarak elde edilen ve değeri 0.33 ile 1.00 arasında değişen katsayıyı temsil etmektedir.

Şekil 1.31’de görüldüğü üzere, etkili sönüm oranının belirlenebilmesi için performans noktasının başlangıç değerlerinin bilinmesi veya tahmin edilmesi gerekmektedir.



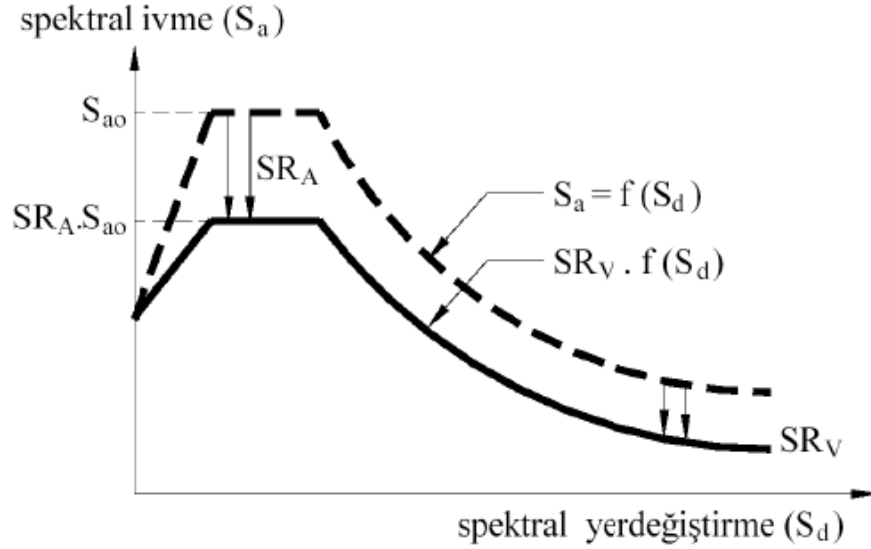
Şekil 1.31. Kapasite spektrum yöntemiyle eşdeğer sönümün belirlenmesi

Bu başlangıç noktalarının belirlenebilmesi için kapasite spektrum ile indirgenmiş talep spektrumunun kesim noktası bulunmalıdır. İndirgenmiş talep spektrumunun hesaplanabilmesi için aşağıda verilen formüllerin kullanılması önerilmiştir

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \geq SR_{A, \min} = 0.33 - 0.56 \quad (1.19a)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{\text{eff}})}{1.65} \geq SR_{V, \text{min}} = 0.50 - 0.67 \quad (1.19b)$$

Denklem (1.19)'daki ifadeler kullanılarak Şekil 1.32 elde edilebilir.



Şekil 1.32. İndirgenmiş talep spektrumunun elde edilmesi

### 1.7.2. FEMA 356 Katsayı Yöntemi

Katsayı yönteminde amaç yapının hedef yer değiştirme istemini, lineer elastik tepki spektrumuyla çeşitli parametrelere göre belirlenmiş katsayıları çarparak hesaplamaktır.

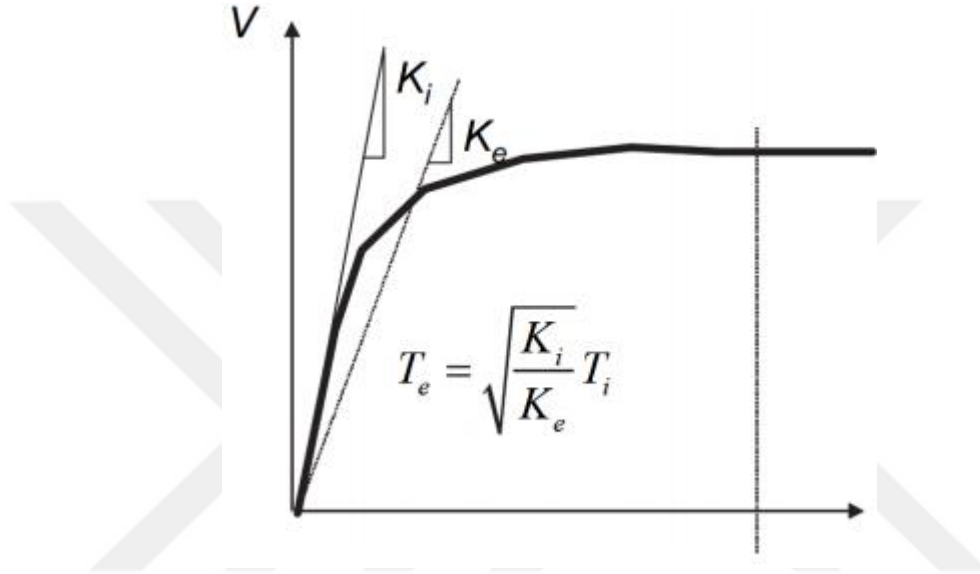
FEMA 356 katsayı yöntemine göre (FEMA 356, 2000) bir yapının hedef tepe yer değiştirme talebi aşığıdaki gibi hesaplanır.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1.20)$$

Burada  $S_a$  tepki spektrumunda bina etkin periyoduna tekabül eden spektral ivme değerini,  $g$  yer çekimi ivmesini,  $T_e$  incelenen doğrultudaki bina etkili periyodunu temsil etmektedir Bu etkin periyot;

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1.21)$$

bağıntısı ile elde edilmektedir. Burada  $T_i$  başlangıç periyodunu,  $K_e$  idealleştirilen itme eğrisinin eğimini (etkili yanal rijitlik),  $K_i$  bina elastik rijitliği temsil etmektedir.



Şekil 1.33. Etkili periyot ve rijitliğin bulunması

(1.20) bağıntısındaki,  $C_0$ ; tek serbestlik dereceli sistemin elastik yer değiştirmesinin çok serbestlik dereceli sisteme çevrilmesi için kullanılan katsayı,  $C_1$ ; en büyük doğrusal olmayan yer değiştirmenin elastik yer değiştirmeye oranını göstermektedir.  $C_1$ ,  $T_e$  ve  $T_s$  'ye bağlı olarak aşağıdaki denklem yardımıyla seçilir.

$$C_1 = \begin{cases} 1.0; & T_e \geq T_s, \\ \frac{1.0 + (R-1)T_s/T_e}{R}; & T_e < T_s, \\ 1.5; & T_e < 0.1s \end{cases} \quad (1.22)$$

(1.20) bağıntısındaki,  $C_2$ ; artımsal itme analizi boyunca yapı rijitliğinin azalmasının, malzeme çevrimsel şeklinin ve taşıma gücü azalması gibi faktörlerin yansıtılması için kullanılan katsayıyı temsil etmekte olup Tablo 1.7 yardımı ile belirlenir.

Tablo 1.7. C<sub>2</sub> değerin belirlenmesi

Yapı Performans Seviyesi	T ≤ 0.1 saniye		T ≥ T <sub>s</sub>	
	Çerçeve Tipi 1	Çerçeve Tipi 2	Çerçeve Tipi 1	Çerçeve Tipi 2
HK	1.0	1.0	1.0	1.0
CG	1.3	1.0	1.1	1.0
GÖ	1.5	1.0	1.2	1.0

C<sub>3</sub>; P-Δ etkisi düzeltme katsayısı olup α'ya (etkin elastik rijitliğin akma sonrası rijitliğe oranı) bağlı olarak denklem 1.24 yardımıyla seçilir.

$$C_3 = \begin{cases} 1.0; & \alpha \geq 0, \\ 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}; & \alpha < 0 \end{cases} \quad (1.23)$$

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (1.24)$$

α, itme eğrisinin idealleştirilmesiyle eğrinin artan veya azalan yönde olmasına bağlı olarak değişir (Şekil 1.34-1.35). Denklem (1.24)'de verilen R katsayısı, elastik dayanım talebinin akma dayanımına oranını, W yapı ağırlığını, V<sub>y</sub> itme eğrisinden elde edilen akma dayanımını, C<sub>m</sub> ise etkili modal kütle faktörünü göstermektedir.





detaylı olarak incelenmesini ve karşılaştırmalarını yaparak bu yöntemlerde bazı iyileştirmeleri kapsamaktadır (FEMA 440, 2005).

FEMA 440, etkili periyot ve etkili sönüm ile kapasite spektrum yöntemi için çeşitli yenilikler getirmiştir. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar, etkin sönüm ve etkin periyot değerlerinin ATC 40'daki hesaplamalara oranla daha düşük olması gerektiğini göstermektedir. Bunun için süneklik oranına  $\mu$  bağlı olarak aşağıda verilen formüller geliştirilmiştir. FEMA 440 ile etkin periyot ve etkin sönümdeki yeni yaklaşımın yansıtılabilmesi için azaltılmış talep spektrumu, geliştirilmiş talep spektrumuna dönüştürülmektedir. Bu da etkin sönümün bir modifikasyon katsayısı (M) ile çarpılması sonucu oluşturulan talep spektrumu ile sağlanmaktadır (Şekil 1.36).

$$T_{\text{eff}} = \begin{cases} \left[ 0,2(\mu-1)^2 - 0,038(\mu-1)^3 + 1 \right] T_0 & \mu < 4,0 \\ \left[ 0,28 + 0,13(\mu-1) + 1 \right] T_0 & 4,0 \leq \mu \leq 6,5 \\ \left[ 0,89 \left( \sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0,05(\mu-2)}} - 1 \right) + 1 \right] T_0 & \mu > 6,5 \end{cases} \quad (1.25)$$

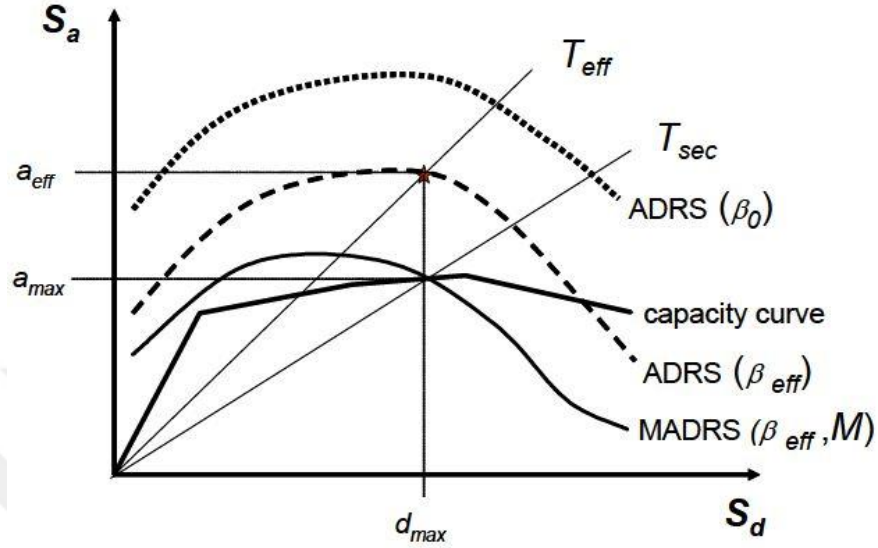
$$\beta_{\text{eff}} = \begin{cases} 4,9(\mu-1)^2 - 1,1(\mu-1)^3 + \beta_0 & \mu < 4,0 \\ 14,0 + 0,32(\mu-1) + \beta_0 & 4,0 \leq \mu \leq 6,5 \\ 19 \left[ \frac{0,64(\mu-1) - 1}{0,64(\mu-1)^2} \right] \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 & \mu > 6,5 \end{cases} \quad (1.36)$$

Bu M katsayısı aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunur.

$$M = \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{sec}}} \right)^2 = \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 \left( \frac{T_0}{T_{\text{sec}}} \right)^2 \quad (1.27)$$

$$\left( \frac{T_0}{T_{\text{sec}}} \right)^2 = \frac{1 + \alpha(\mu-1)}{\mu} \quad (1.28)$$

Burada  $\mu$  süneklik katsayısını,  $T_{eff}$  efektif periyodu,  $T_{sec}$  secant periyodunu,  $B_0$  eşdeğer viskoz sönümü temsil etmektedir.



Şekil 1.36. Geliştirilmiş talep spektrumunun elde edilmesi

Katsayı yöntemi için yapılan iyileştirmeler neticesinde binaların hedef yer değiştirme isteminin hesabında kullanılan denklemdaki katsayılar bazı değişikliklere gidilmiştir. Yapılan değişiklikler sonucunda FEMA 356'da önerilen hedef yer değiştirme formülü aşağıdaki gibi düzenlenmiştir;

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1.29)$$

$C_1$  katsayısı için aşağıdaki formül önerilmiştir.

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{\alpha T_e^2} \quad (1.30)$$

Burada  $\alpha$  yapının bulunduğu zemin sınıfına göre farklılık gösteren bir katsayı olup yönetmelikten elde edilmektedir.  $C_2$  katsayısı için, belirgin biçimde taşıma gücü ve rijitlik

kaybı taşıyan özel yapılar için ek bir formül geliştirilmiş ve aşağıda verilmiştir. Ayrıca FEMA 440'da  $C_3$  katsayısının kaldırılması önerilmiştir.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T_e} \right)^2 \quad (1.31)$$

#### 1.7.4. ASCE 41-06 Katsayı Yöntemi

ASCE 41-06 yönetmeliği, daha önce bahsedilen FEMA 440 yönetmeliğinde yer alan katsayı yönteminin iyileştirme önerilerini dikkate alarak güncellenmiş ve geliştirilmiştir. ASCE 41-06, FEMA 356'da kullanılan sembollerin aynısını benimsemiştir.

ASCE 41-06 katsayı yöntemine göre bir yapının hedef tepe yer değiştirme istemi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1.32)$$

ASCE 41-06'da  $C_1$  katsayısı  $T_e$ 'nin ara değerleri için aşağıdaki hesaplamalar kullanılmaktadır;

$$C_1 = \begin{cases} 1.0; & T_e > 1.0s, \\ 1.0 + \frac{R-1}{\alpha T_e^2}; & 0.2s < T_e < 1.0s \\ 1.0 + \frac{R-1}{0.04\alpha}; & T_e \leq 0.2s \end{cases} \quad (1.33)$$

Burada  $\alpha$  farklı zemin tipleri için sabit bir değer almaktadır (Tablo 1.8). (1.34) denklemindeki  $C_2$  katsayısı;

$$C_2 = \begin{cases} 1.0; & T_e > 0.7s, \\ 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T_e} \right)^2; & T_e \leq 0.7s \end{cases} \quad (1.34)$$

Tablo 1.8.  $\alpha$  değeri

Zemin Sınıfı	$\alpha$
A ve B	130
C	90
D,E ve F	60

bağıntısıyla elde edilir. FEMA 440'da kaldırılması önerilen  $C_3$  katsayısı kaldırılmış fakat denklem (1.36) ile R katsayısı sınırlanarak taşıma gücü için bir sınır getirilmiştir.

$$R \leq R_{\max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{-h}}{4}; \quad h = 1.0 + 0.15 \ln(T_e) \quad (1.35)$$

Burada,  $\Delta_d$  itme eğrisinde en büyük taban kesme kuvvetine karşılık gelen yer değiştirme,  $\Delta_y$  ise akma dayanımındaki yer değiştirme değeridir.

### 1.7.5. ATC 40, FEMA 356 ve ASCE 41-06'ya Göre Performans Değerlendirmesi

ATC 40, FEMA 356 ve ASCE 41-06 yönetmelikleri, binaların performanslarının değerlendirilmesinde aynı yöntemi kullanırlar. Bu yöntem, binaların performans değerlendirmeleri açısından dünya genelinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir.

DBYBHY 2007'de olduğu gibi bu standartlarda da, depremler 50 yılda aşılma olasılıklarına göre 3 gruba ayrılmıştır. Her deprem düzeyi için ayrı sınır değerler verilmiştir. Bu deprem düzeyleri:

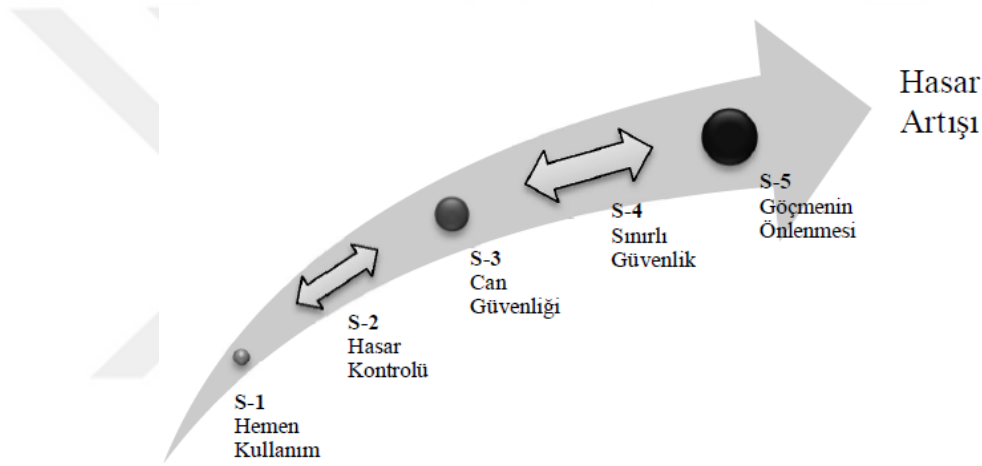
- SE (Service Earthquake): 50 yılda aşılma olasılığı %50 (servis depremi)
- BSE-1 (Basic Safety Earthquake-1): 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tasarım depremi )
- BSE-2 (Basic Safety Earthquake-2): 50 yılda aşılma olasılığı %2 (şiddetli deprem)

ASCE 41-06'da yukarıdaki deprem düzeylerine ek olarak dördüncü bir deprem düzeyi tanımlanmış ve bu deprem düzeyi 50 yılda aşılma olasılığı %20 olan bir deprem olarak tanımlanmıştır. Ayrıca ATC 40'da şiddetli deprem için 50 yılda aşılma olasılığı %5 olarak verilmiştir.

ATC 40, FEMA 356 ve ASCE 41-06 standartlarında, yapısal performans seviyesi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden

oluşmaktadır. Yani bu standartlara göre her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların sismik performans seviyelerinin birleşimiyle belirlenir.

Taşıyıcı elemanlar için dört farklı performans seviyesi ve iki farklı performans aralığı belirlenmiştir. Bu iki performans aralığı, bir üst ve bir alt performans seviyelerinin şartlarını belirli oranlarda sağlayan performans seviyeleridir. Taşıyıcı sistem elemanlarının performans seviyeleri, S-(1 ile 6 arasında bir sayı) olarak tanımlanmaktadır. Bu gösterimde S, taşıyıcı elemanlardan bahsedildiğini, sayı ise yapının performans düzeyini sembolize eder. Bu sayı arttıkça taşıyıcı elemandaki hasar düzeyi de artmaktadır (Şekil 1.37). Taşıyıcı elemanlardaki performans seviyeleri aşağıda verilmiştir:

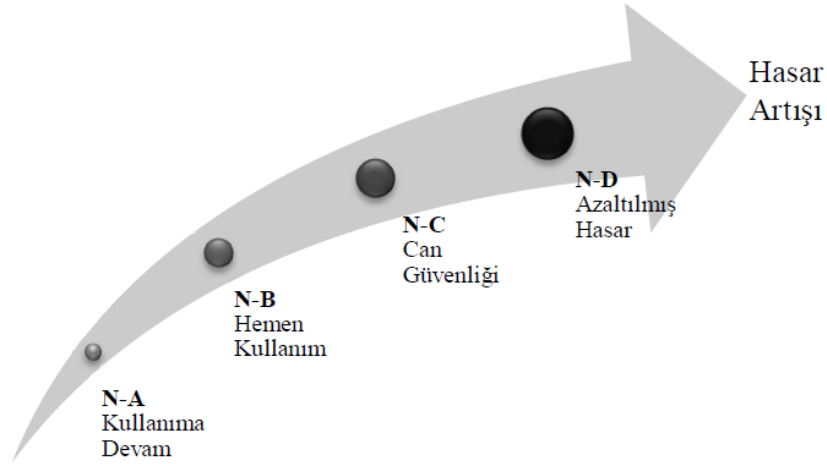


Şekil 1.37. Taşıyıcı eleman performans seviyeleri (Duman, 2012)

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1): Herhangi bir deprem sonrasında taşıyıcı sistem elemanlarının, deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliğini büyük oranda korunduğu seviyedir.
- Hasar Kontrolü Performans Seviyesi (S-2): Deprem sonrasında oluşan hasarın hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3): Ölüm riskinin çok düşük olduğu, taşıyıcı sistem elemanlarında önemli hasarlar oluşmasına rağmen, bölgesel veya toptan göçmenin bulunmadığı seviyedir.

- Sınır Güvenlik Performans Seviyesi (S-4): Taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamasa da göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha güvenli tarafta kalan seviyedir.
- Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (S-5): Yapı elemanlarının düşey yükleri taşımaya yeterli olmasına rağmen, taşıyıcı elemanlarda büyük hasarların olduğu, dayanım ve rijitlikte önemli azalmaların meydana geldiği ve can güvenliği riskinin bulunduğu seviyedir.

Taşıyıcı olmayan yapı elemanları için beş farklı performans seviyesi belirtilmiştir. Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri, N-(A ile E arasında bir sayı) olarak tanımlanmaktadır. Bu gösterimde N, taşıyıcı olmayan elemanlardan bahsedildiğini, yanındaki harf ise performans düzeyini sembolize eder. (Şekil 1.38). Bu performans seviyeleri aşağıda verilmiştir:



Şekil 1.38. Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri (Duman, 2012)

- Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A): Taşıyıcı olmayan elemanlarda ve tesisatta kullanımı etkilemeyecek kadar az hasarın meydana geldiği veya hasarın meydana gelmediği seviyedir.
- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B): Taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların çok kısa zamanda giderilebileceği performans seviyesi olarak tanımlanabilir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C): Taşıyıcı olmayan elemanlarda ve tesisatta hasarlar meydana gelebilir. Ancak yapının içindeki veya dışındaki ağır

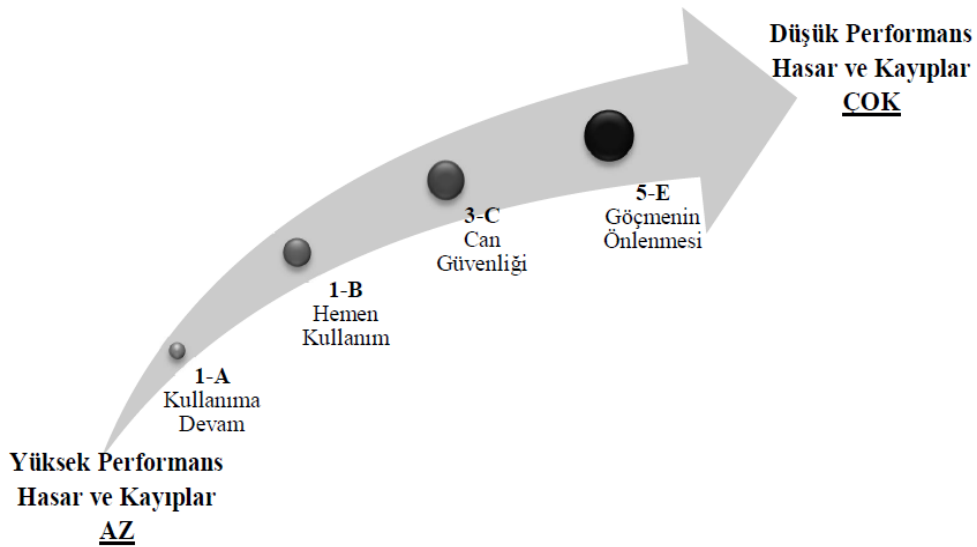
elemanlarda yaralanmalara sebep olabilecek herhangi bir hasarın meydana gelmediği seviyedir.

- Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D): Taşıyıcı olmayan elemanlarda ve tesisatta ciddi hasarlar oluşmasına rağmen, insanların toplu halde yaralanmalarına sebep olabilecek hasarların meydana gelmediği seviyedir.
- Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E): Bazı hallerde yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek yoktur.

### 1.7.5.1. Bina Hedef Performans Seviyeleri

Binaların toplam performans seviyeleri, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Bina hedef performans seviyelerinin gösterimi, taşıyıcı elemanların performans seviyelerinin temsil edildiği 1 ile 5 arasında bir sayı; taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin temsil edildiği A ile E arasında bir harf ile yapılmaktadır.

Şekil 1.39'da bu birleşimlerden en yaygın olarak kullanılan ve kullanımları tavsiye edilen bina performans seviyeleri verilmiştir. Bu birleşimlerin gösterildiği tablo, ASCE 41-06 ile en son halini almıştır (Tablo 1.9).



Şekil 1.39 Binalar için temel performans seviyeleri (Duman, 2012)



Tablo 1.9. Bina hedef performans seviyeleri

Taşıyıcı Olmayan Elm. Per. Sev.	Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri					
	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Hasar Kontrolü	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınır Güvenlik	S-5 Göçme Önlenmesi	S-6 Per. Dikkatte Alınmaması
N-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A	Tercih Edilmez	Tercih Edilmez	Tercih Edilmez	Tercih Edilmez
N-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B	Tercih Edilmez	Tercih Edilmez	Tercih Edilmez
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış Hasar	Tercih Edilmez	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Perf. Dikkatte Alınmaması	Tercih Edilmez	Tercih Edilmez	Tercih Edilmez	4- E	5-E Göçmenin Önlenmesi	Onarım Yapılmaz

Tablo 1.9’da belirtilen performans seviyeleri aşağıda açıklanmıştır:

- Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A): Deprem sonrası hasarın meydana gelmediği veya hasarların kolaylıkla onarılabilecek düzeyde olduğu seviyedir.
- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B): Deprem sonrası yapının orijinal dayanım ve rijitliğini büyük ölçüde koruduğu, deprem sırasında yaralanma riskinin oldukça düşük olduğu performans seviyesidir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C): Yapı deprem sonrasında dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiştir. Ancak yapısal veya yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit edecek bir hasara sahip olmadığı seviyedir. Yapıda oluşan hasarların onarılmadan yapının kullanımı uygun olmayacaktır.
- Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-E): Yapının taşıyıcı sistemi sadece düşey yükler altında stabilitesini koruyabildiği, artçı depremlere karşı dayanımının kalmadığı ve kullanılmaması gerektiği seviyedir.

İtme analizi sonucunda hedef tepe yer değiştirme istemine kadar itilen yapının taşıyıcı sisteminde meydana gelen plastik dönmeler, ASCE 41-06’da farklı performans seviyeleri



## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

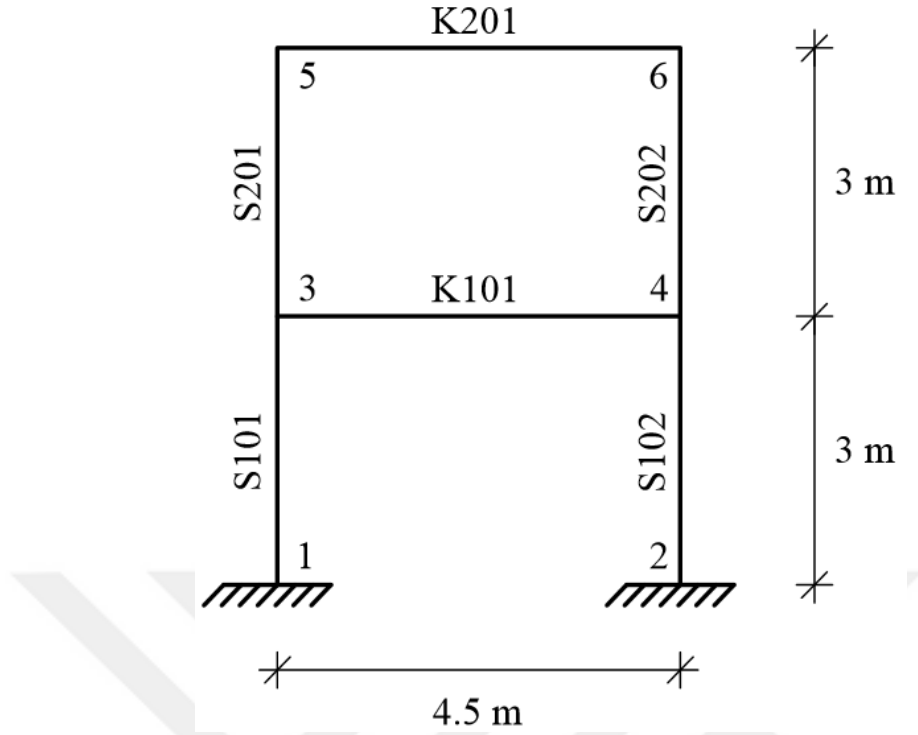
### **2.1. Giriş**

Bu bölümde, öncelikli olarak iki katlı betonarme düzlem çerçeve modeli ele alınarak DBYBHY 2007’de tanımlanan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle betonarme binaların deprem performansının nasıl belirlendiği ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çalışmada, incelenen modelin analizleri sırasında yapılan işlemler ve SAP2000 programında yöntemin uygulanabilmesi için gerekli adımlar ayrıntılı olarak verilmiştir. Çalışmanın devamında, prefabrik yapıların düğüm noktalarındaki kısmi bağıllığın yapının sismik davranışına etkisini araştırmak için çalışmaya konu olan mevcut bir prefabrik yapının özellikleri tanıtılmıştır. Prefabrik yapıya ait malzeme bilgileri, taşıyıcı sistem bilgileri, yerel zemin sınıfı özellikleri, kalıp planı, kesit ve perspektif görünüşler, düğüm noktalarında kısmi bağıllığı temsil eden dönel yay rijitliklerinin hesabında kullanılan formülasyonlar ve hesaplanan dönel yay rijitlik değerleri verilmiştir. Prefabrik yapıların, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle performanslarının belirlenmesinde SAP2000 programı kullanılmıştır.

### **2.2. İki Katlı Betonarme Düzlem Çerçeve Bir Binanın Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Performansının Değerlendirilmesi**

#### **2.2.1. Bina Genel Bilgileri**

Betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışlarının ve performans seviyelerinin belirlenmesi amacıyla iki katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve modeli üzerinde inceleme yapılmıştır. İncelenen modelin, deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışını araştırmak amacıyla DBYBHY 2007’de tanımlanan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Çalışmaya konu olan bina, yükleme durumu, taşıyıcı sisteminde kullanılan kolon-kiriş enkesitleri ve donatı detayları aşağıda verilmiştir.

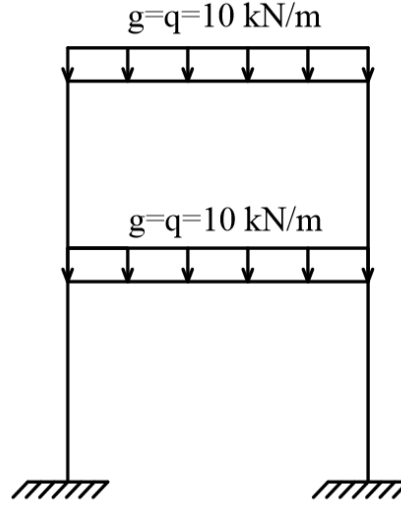


Şekil 2.1. İncelenen betonarme düzlem çerçeve sistem

- Genel Yapı Bilgileri (Şekil 2.1)
  - Kat adedi: 2
  - Kat yüksekliği: 3.00 m (toplam bina yüksekliği = 6.00 m)
  - Kullanım amacı: Konut
- Malzeme Bilgileri
  - Beton (tüm betonarme elemanlar): C25 ( $f_{ck} = f_{cm} = 25$  Mpa)
  - Donatı çeliği: S420 ( $f_{yk} = 420$  Mpa)
  - Betonarme elastisite modülü,  $[E_c]$ : 30000 Mpa
  - Donatı çeliği elastisite modülü,  $[E_s]$ : 200000 Mpa
  - Beton malzeme güvenlik katsayısı: 1.5
  - Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı: 1.15
- Deprem ve Zemin Parametreleri
  - Deprem bölgesi: 1. Derece
  - Etkin yer ivme katsayısı,  $[A_0]$ : 0.4
  - Bina önem katsayısı,  $[I]$ : 1 (Konut amacıyla kullanılan bina)
  - Yerel zemin sınıfı: Z1
  - Spektrum karakteristik periyotları:  $T_A = 0.10$  s,  $T_B = 0.30$  s

Hareketli yük katılım katsayısı, [n]: 0.3

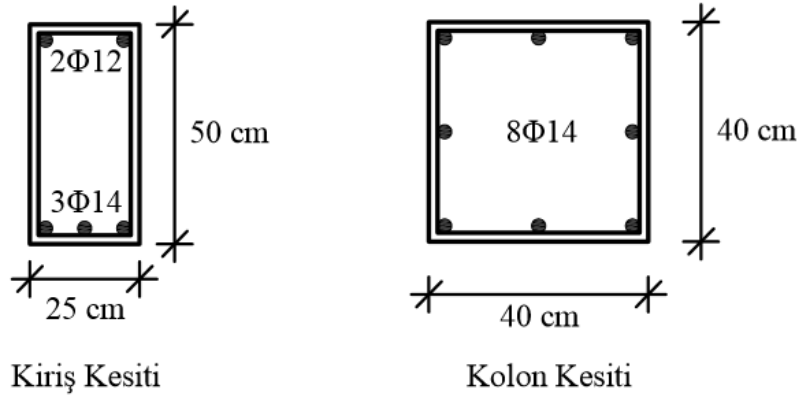
- Taşıyıcı Sisteme Etki Eden Yükler (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Sistem üzerindeki sabit ve hareketli yükler

- Taşıyıcı Eleman Bilgileri

Binada kullanılan kolon boyutları 40x40 cm ve kolonda bulunan boyuna donatı 8 $\phi$ 14'dür. Kolon etriyeleri sarılma bölgesi ve açıklık ortasında  $\phi$ 8/150'dir (Şekil 2.3). Binada kullanılan kiriş boyutları 25x50 cm'dir. Kirişte bulunan boyuna donatılar üst ve altta sırasıyla 2 $\phi$ 12 ve 3 $\phi$ 14'dir (Şekil 2.3). Kirişlerde de kolonlarda olduğu gibi etriyeler sarılma bölgesi ve açıklık ortası için  $\phi$ 8/150'dir.



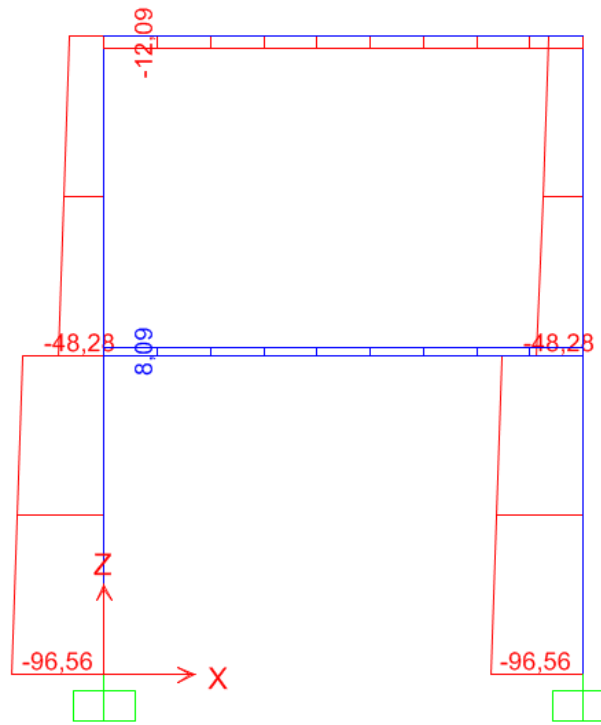
Şekil 2.3. Kiriş ve kolonlara ait en kesit detayları

### 2.2.2. Kolon ve Kirişlere Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin Hesaplanması

Deprem performansı belirlenecek binaların analiz modeli oluşturulurken, eğilme etkisindeki elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  kullanılır. Etkin eğilme rijitliklerinin hesabında aşağıda verilen değerler kullanılmalıdır (DBYBHY 2007).

- Kirişlerde:  $(EI)_e = 0.40(EI)_o$
- Kolon ve Perdelerde,  $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.40(EI)_o$   
 $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.80(EI)_o$

Burada,  $N_D$  eksenel kuvveti,  $A_c$  taşıyıcı elemanın en kesit alanını,  $f_{cm}$  ise mevcut beton dayanımını temsil etmektedir. Yukarıda da görüldüğü gibi kirişlerde çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliği, çatlama kesitin eğilme rijitliğinin 0.40 ile çarpılmasından elde edilir. Fakat kolonlarda çatlama kesite ait eğilme rijitliği bulunurken, deprem hesaplarında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin  $(G+nQ)$  altında, çatlama kesitler kullanılarak ön düşey yük hesabı yapılması gerekir. Bu sebeple  $G+0.3Q$  yüklemesi altında çatlama kesitler kullanılarak düşey yük hesabı SAP2000 programında yapılmış ve elde edilen normal kuvvet (axial force) diyagramı Şekil 2.4’de verilmiştir.



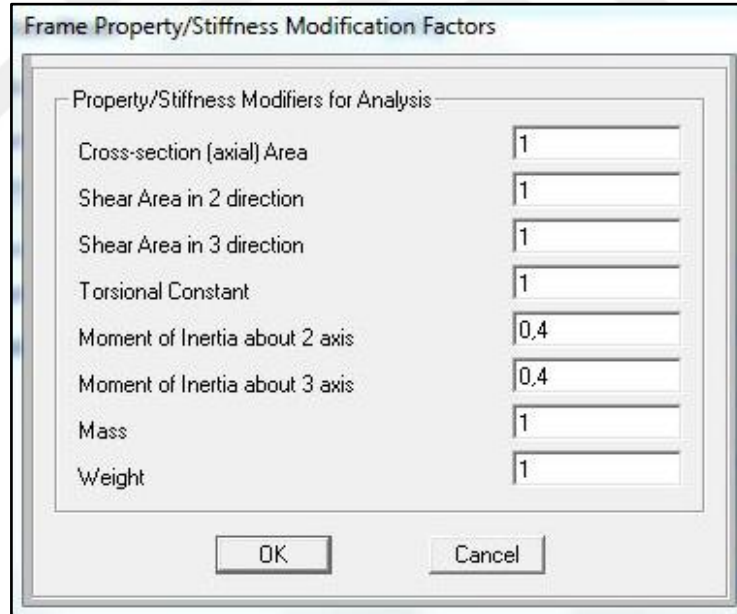
Şekil 2.4.  $G+0.3Q$  yüklemesi altında normal kuvvet (axial force) diyagramı

Kolonlar için hesaplanan çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kolonlar için etkin eğilme rijitlikleri hesabı

Kolon	b (m)	h (m)	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$N_D$ (kN)	$N_D/(A_c f_{cm})$	$(EI)_0$	$(EI)_e$
S101-S102	0.40	0.40	0.16	96.56	0.02	1.00	0.40
S201-S202	0.40	0.40	0.16	48.28	0.01	1.00	0.40

Tablo 2.1’de görüleceği gibi kolon aksenal basınç kuvveti oranı 0.10’dan küçük olduğu için kolonlarda etkin eğilme rijitliği, çatlama kesitin eğilme rijitliğinin 0.40 katı alınmıştır. SAP2000 programında etkin eğilme rijitlikleri, ilgili kesitin atalet momentlerinin 0.40 katsayısı ile çarpılmasıyla dikkate alınır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Etkin eğilme rijitliklerinin SAP2000 programında dikkate alınışı

### 2.2.3. Artımsal İtme Analizinin Uygulanabilirlik Şartlarının İncelenmesi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum kat hariç 8’den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının

$\eta_{bi} < 1.40$  koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

- Bina kat sayısı =  $2 < 8$  ✓
- Bina burulma düzensizliği  $< 1.40$  ✓
- Birinci hakim modun kütle katılım oranı =  $0.8908 > 0.70$  ✓

Yukarıda verilen şartların tamamı sağlandığı için artımsal itme analizinin uygulanmasında bir sakınca yoktur.

#### 2.2.4. Düşey Yüklerin Göz Önüne Alındığı Doğrusal Olmayan Statik Analizin SAP2000 Programına Tanıtılması

Artımsal itme analizine başlamadan önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin (G+nQ) göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır ve bu analiz sonuçları artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmalıdır. Doğrusal olmayan statik analiz SAP2000 programına tanıtımı Şekil 2.6'da verilmiştir.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PODUSEY [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:
 

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [ ]

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Q	0.3
Load Pattern	G	1
Load Pattern	Q	0.3

[Add] [Modify] [Delete]

Analysis Type:
 

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:
 

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: [Previous]

Other Parameters:
 

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 2.6. Doğrusal olmayan statik analiz SAP2000 programına tanıtılması



### 2.2.5. Artımsal İtme Analizinde Kullanılacak Yük Dağılımının Belirlenmesi

Artımsal itme analizinin amacı, yapının birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, binanın en fazla zorlandığı düşünülen duruma kadar monotonik olarak adım adım artırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında itme analizinin yapılmasıdır. Artımsal itme analizi için yukarıda belirtildiği gibi itme hesabında kullanılacak yapının birinci titreşim mod şekli ile orantılı olan yük dağılımının belirlenmesi gerekir. Bu analiz, yer değiştirme kontrollü olduğu için yükün şiddetinin herhangi bir önemi yoktur. Ancak yükler arasındaki oran önemlidir.

Artımsal itme analizinde kullanılacak olan yük dağılımı, her katta deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kat kütlelerinin çarpımından elde edilen değerle ( $m\Phi_{i1}$ ) orantılı olacak şekilde tanımlanmaktadır. Yapının hakim periyotları ve kütle katılım oranları Tablo 2.2’de, itme analizinde kullanılacak olan yük dağılımı ise Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Yapının periyot ve kütle katılım oranları

Mod Numarası	Periyot (s)	Titreşim Doğrultusundaki Kütle Katılım Oranı	Toplam Kütle
1	0.3400	0.8887	0.8887
2	0.1083	0.1113	1.0000

Sistemin birinci mod vektörü, SAP2000 programından elde edilemediği için MATLAB programı kullanılarak bulunmuştur (Ek 1). Yapıya ait rijitlik matrisi (K), birim kuvvet matrisi (F)’nin tersinin alınması suretiyle oluşturulmuştur. Birim kuvvet matrisi elde edilirken SAP2000 programında her kata 100000 kN’luk birim kuvvet tanımlanır ve o noktalarda dikkate alınan deprem doğrultusunda oluşan yer değiştirmeler okunarak birim kuvvet matrisi elde edilir. Burada 100000 kN’luk yüklemenin bir önemi yoktur. SAP2000 programında küçük bir yükleme yapılması durumunda elde edilen yer değiştirmeler çok küçük olacaktır ve bu değerlerle işlem yapmak zaman alacağı için 100000 kN’luk yükleme seçilmiştir. Ayrıca, Ek 1’de verilen MATLAB kodunda  $10^{-5}$  ile bu büyük yüklemenin etkisi kaldırılmıştır. Yapıya ait birim kuvvet matrisi, rijitlik matrisi, kütle matrisi ve mod vektörleri aşağıda verilmiştir.

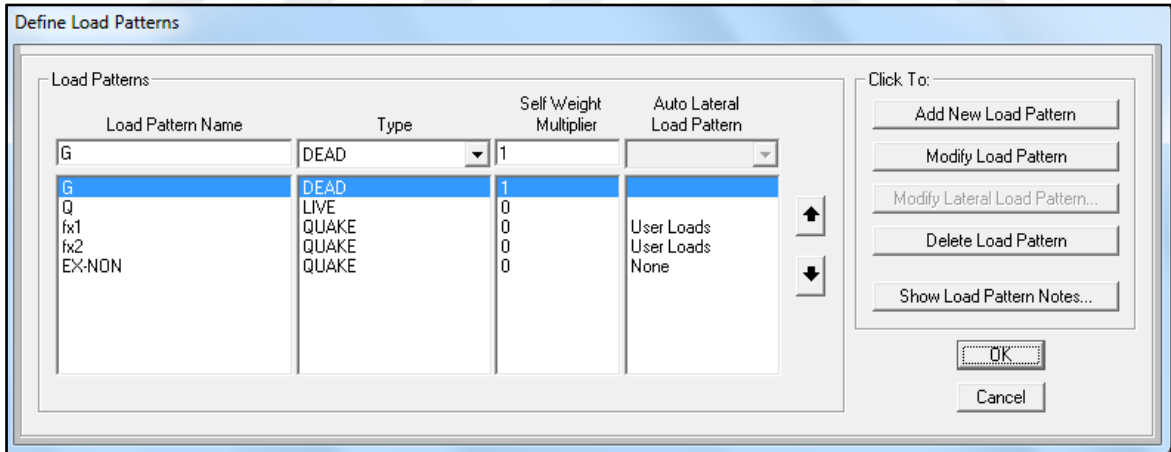
$$\text{Birim Kuvvet Matrisi (F)} = 10^{-5} \times \begin{bmatrix} 6.5092 & 8.8289 \\ 8.8289 & 20.7455 \end{bmatrix} \quad \text{Kütle Matrisi (m)} = \begin{bmatrix} 9.843 & 0 \\ 0 & 9.843 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rijitlik Matrisi (K)} = \begin{bmatrix} 36340 & -15466 \\ -15466 & 11402 \end{bmatrix} \quad \text{Mod Vektörü } (\Phi_1) = \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ 0.4783 \end{Bmatrix}$$

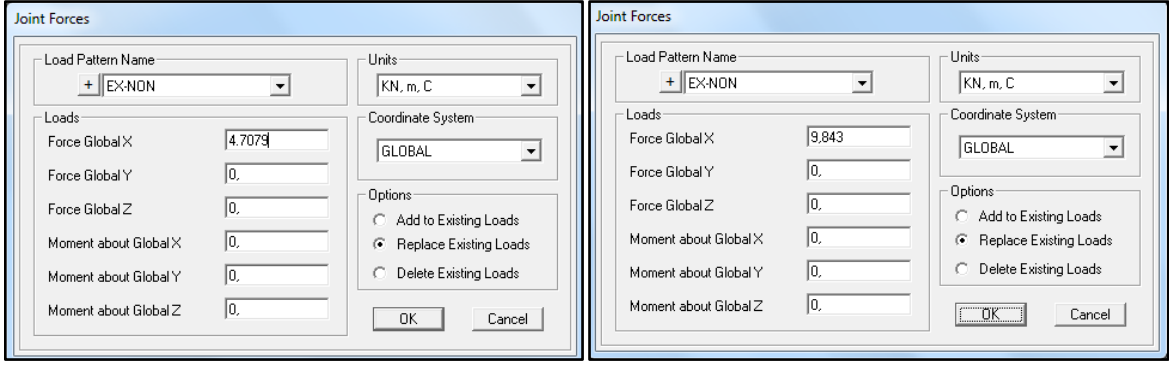
Tablo 2.3. Eşdeğer deprem yükü dağılımı

Kat	Mod Genliği ( $\Phi_{i1}$ )	Kat Kütle (m)	Yük Dağılımı ( $m\Phi_{i1}$ )
1	0.4783	9.8430	4.7079
2	1.0000	9.8430	9.8430

Elde edilen bu yük dağılımının SAP2000 programına tanıtımı için EX-NON adında bir yük tipi oluşturulmuştur. Ayrıca bu yük tipi üzerine, 3 ve 5 numaralı düğüm noktalarına (Şekil 2.1) Tablo 2.3’de elde edilen yükler atanmıştır. SAP2000 programında yapılan bu işlemler Şekil 2.7 ve 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Yük tipinin SAP2000 programına tanıtılması

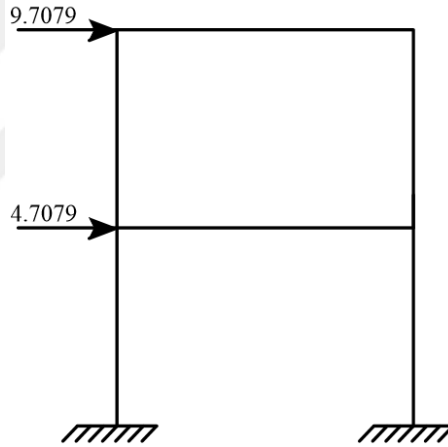


(a) 1. Kat eşdeğer deprem yükü

(b) 2. Kat eşdeğer deprem yükü

Şekil 2.8. Yük dağılımının SAP2000 programına tanıtılması

Katlara yapılan kütlelerle uyumlu yüklemeler Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



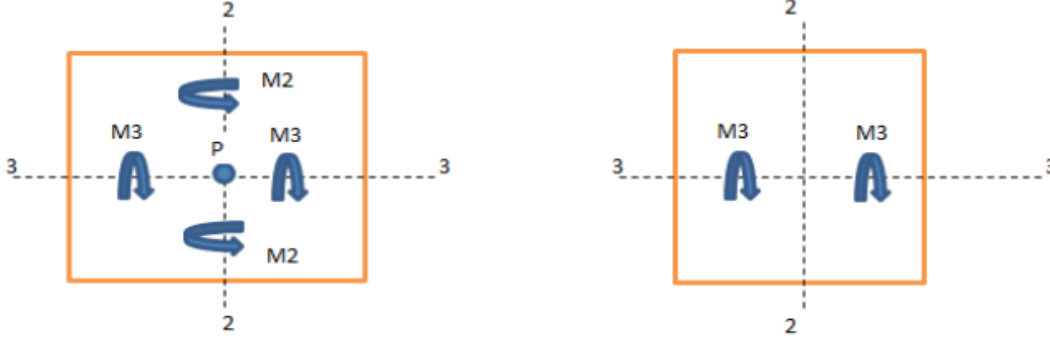
Şekil 2.9. İtme analizinde kullanılacak yük dağılımı

### 2.2.6. Plastik Mafsalların Sisteme Atanması

FEMA 356'nın önerdiği plastik mafsal özellikleri SAP2000 programının kendi algoritmasında mevcuttur. Düşey elemanlarda (kolon, perde) genel olarak her iki yönde normal kuvvet ve eğilme momentine bağlı olarak plastik mafsal özellikleri göz önüne alınır. Kirişler ise sadece eğilmeye çalıştığı için eğilme momentine bağlı olarak plastik mafsal özellikleri hesaba katılır.

Şekil 2.10'da kolon ve perdelerde bileşik eğilme, kirişlerde ise basit eğilme etkisinin plastik mafsal özelliklerini belirlemede etkili olduğu gösterilmiştir. SAP2000 programında,

taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen dönmelerin doğru olarak elde edilebilmesi için kolon ve perdelerde P-M2-M3, kirişlerde ise sadece M3 plastik mafsali tanımlanmalıdır.



(a) Kolon ve perdeler için plastik mafsali doğrultuları

(b) Kirişler için plastik mafsali doğrultuları

Şekil 2.10. Kolon, perde, kiriş elemanlarda SAP2000 için plastik mafsali doğrultuları (Bayraktar, 2013)

Bu örnek çalışmada plastik mafsali özellikleri için SAP2000 programı algoritmasında mevcut FEMA 356'da önerilen plastik mafsali özellikleri kullanılmıştır. Ancak binanın performans değerlendirmesi DBYBHY 2007'de belirtilen yöntemle yapıldığı için itme analizi sonucunda plastik mafsallardan elde edilen değerler doğrudan kullanılmayacaktır. İlerleyen bölümlerde plastik mafsallarda elde edilen plastik dönme değerleri DBYBHY 2007'ye uygun hale getirilerek kullanılacaktır. SAP2000 programında kolonlar için plastik mafsalların tanımlanması Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

Şekil 2.11'de görüleceği gibi kolonlar hem eğilmeye hem normal kuvvete maruz kalması sebebiyle plastik mafsali özelliği için P-M2-M3 seçilmiştir. Binada kullanılan taşıyıcı sistemin kolonlarının her iki ucuna plastik mafsali tanımlanacağı için Şekil 2.11'de yapılan işlem kolonların her iki ucunada uygulanmalıdır. SAP2000 programında kirişler için plastik mafsalların tanımlanması Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Eksenel yük düzeyi oldukça düşük olan kirişler sadece eğilmeye çalıştıkları için plastik mafsali özelliği olarak sadece M3 seçilmiştir (Şekil 2.12).

Bu işlemlerin yapılabilmesi için SAP2000 programında ilgili çubuk seçilerek Assign → Frame → Hinges komutları kullanılır.

**Auto Hinge Assignment Data**

Auto Hinge Type  
From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table  
Table 6-8 (Concrete Columns - Flexure) Item i

Component Type  
 Primary  
 Secondary

Degree of Freedom  
 M2  
 M3  
 M2-M3  
 P-M2  
 P-M3  
 P-M2-M3

P and V Values From  
 Case/Combo G  
 User Value  
V2  V3

Transverse Reinforcing  
 Transverse Reinforcing is Conforming

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity  
 Drops Load After Point E  
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Şekil 2.11. SAP2000 programında kolonlar için plastik mafsals tanımlanması

**Auto Hinge Assignment Data**

Auto Hinge Type  
From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table  
Table 6-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Component Type  
 Primary  
 Secondary

Degree of Freedom  
 M2  
 M3

V Value From  
 Case/Combo G  
 User Value  
V2

Transverse Reinforcing  
 Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio  $(p - p') / p_{balanced}$   
 From Current Design  
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity  
 Drops Load After Point E  
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Şekil 2.12. SAP2000 programında kirişler için plastik mafsals tanımlanması

### 2.2.7. Binanın Modal Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi

Taşıyıcı sistem geometrisi, kesit ve malzeme özellikleri ile taşıyıcı sistem elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak sistem adım adım yüklenir (Artımsal İtme Analizi–Pushover Analysis). Bu yükleme sonucunda toplam yatay yükle tepe yer değiştirmesi arasında ilişki elde edilir (Statik İtme Eğrisi–Static Pushover Curve). Statik itme eğrisi tamamen sistemin özelliklerine bağlı olup eğride yatay kuvvet arttıkça yatay yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler büyümekte ve sistemde hasar artarak ortaya çıkmaktadır (Celep, 2014).

Statik itme analizi sonucunda elde edilen statik itme eğrisini, deprem talep eğrisi ile bir araya getirebilmek için bir eksen değişimi uygulamak gerekir. Bu işlemin amacı, binanın kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin çakıştığı noktayı tespit etmektir. İki eğrinin çakıştığı bu nokta, binanın performans noktasını temsil edecektir. Taban kesme kuvveti ( $V_1$ ), modal ivmeye ( $a_1$ ) ve tepe yer değiştirmesi ( $u_{N1}$ ) modal yerdeğiştirmeye ( $d_1$ ) dönüştürülür. Bu dönüşümler için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$$S_a = a_1 = \frac{V_1}{M_1^*} \quad (2.1)$$

$$S_d = d_1 = \frac{u_{N1}}{\Phi_{N1}\Gamma_1} \quad (2.2)$$

Burada  $\Phi_{N1}$  hakim mod genliği,  $M_1^*$  birinci modal kütle ve  $\Gamma_1$  hakim moda ait modal katkı faktörünü temsil etmektedir ve aşağıdaki gibi tanımlanırlar:

$$M_1^* = \frac{\left[ \sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1} \right]^2}{\sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1}^2} \quad (2.3)$$

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1}^2} \quad (2.4)$$

Modal kapasite eğrisini elde etmek için ilk olarak binanın tahmini bir noktaya kadar itilmesi gerekir. Belirlenen noktaya kadar itilen binadan elde edilen statik itme eğrisi denklem 2.1-2.4’de verilen formülasyonlarla modal kapasite eğrisine dönüştürülür. Bu dönüşüm için gerekli olan değerler Tablo 2.4 verilmiştir.

Tablo 2.4. Modal kütle ve modal katkı faktörünün hesaplanması için gerekli veriler

Kat	Mod Genliği ( $\Phi_{i1}$ )	Kat Kütlesi ( $m_i$ )	Yük Dağılımı ( $m_i\Phi_{i1}$ )	$m_i\Phi_{i1}^2$
1	0.4783	9.8430	4.7079	2.2510
2	1.0000	9.8430	9.8430	9.8430
Toplam		19.6860	14.5509	12.0940

Bu tablodan yararlanılarak birinci moda ait modal kütle aşağıdaki hesaplanır;

$$M_1^* = \frac{\left[ \sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1} \right]^2}{\sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1}^2} = \frac{14.5509^2}{12.0940} = 17.5069 \text{ kNsn}^2/\text{m}$$

Hakim moda ait modal katkı faktörü ise aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır;

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \Phi_{n1}^2} = \frac{14.5509}{12.0940} = 1.2031$$

İki katlı binanın statik itme analizi sonucu elde edilen tepe yer değiştirme, taban kesme kuvveti değerleri ve statik itme eğrisi Tablo 2.5’de verilmiştir. Statik itme eğrisi, Şekil 2.14’deki işlemlerin ardından SAP 2000 programında Display → Show Static Pushover Curves komutları tıklanarak elde edilir. Bu komutlar sonrasında açılan pencereden ilgili yükleme seçilerek File komutundan Tablo 2.5’deki değerler alınabilir.

Tablo 2.5. İki katlı binanın statik itme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirme değerleri

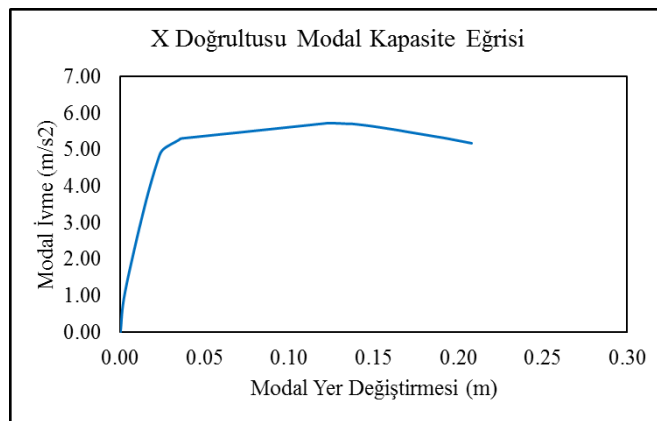
Adım	Yer Değiştirme (uXN1-m)	Taban Kesme Kuvveti (Vt-kN)	Statik İtme Eğrisi
0	0.000	0.000	
1	0.003	19.347	
2	0.017	60.284	
3	0.028	84.842	
4	0.031	88.135	
5	0.041	92.080	
6	0.043	92.909	
7	0.053	93.635	
8	0.063	94.362	
9	0.073	95.060	
10	0.083	95.759	
11	0.093	96.462	
12	0.103	97.166	
13	0.113	97.873	
14	0.123	98.582	
15	0.133	99.294	
16	0.143	100.007	
17	0.148	100.305	
18	0.153	100.236	
19	0.163	99.945	
20	0.166	99.862	
21	0.176	99.077	
22	0.193	97.460	
23	0.203	96.327	
24	0.213	95.195	
25	0.223	94.063	
26	0.233	92.931	
27	0.250	90.645	

Statik itme analizi sonucunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri denklem (2.1) ve denklem (2.2) yardımıyla modal ivme ve modal yer değiştirme değerlerine dönüştürülür. Tablo 2.6'da her bir adım için modal yerdeğiştirme ve modal ivme değeri verilmiştir. Buna göre binanın modal kapasite eğrisi ise Şekil 2.13'deki görölmektedir.



Tablo 2.6. Tepe yerdeğiştirmesinin modal yerdeğiştirmeye, taban kesme kuvvetinin modal ivmeye dönüşümü

Adım	Taban Kesme Kuvveti (V <sub>t</sub> -kN)	Modal Kütle (M <sub>X1</sub> -ton)	Modal İvme (S <sub>a</sub> =a <sub>1</sub> -m/sn <sup>2</sup> )	Tepe Yer Değiştirme (u <sub>XN1</sub> -m)	Hakim Mod Tepe Noktası Genliği (Φ <sub>X1</sub> )	Birinci Modun Katkı Faktörü (Γ <sub>X1</sub> )	Modal Yer Değiştirme (S <sub>d</sub> =d <sub>1</sub> -m)
0	0.000	17.506	0.000	0.000	1.000	1.203	0.000
1	19.347	17.506	1.105	0.003	1.000	1.203	0.003
2	60.284	17.506	3.444	0.017	1.000	1.203	0.014
3	84.842	17.506	4.846	0.028	1.000	1.203	0.023
4	88.135	17.506	5.035	0.031	1.000	1.203	0.026
5	92.080	17.506	5.260	0.041	1.000	1.203	0.034
6	92.909	17.506	5.307	0.043	1.000	1.203	0.036
7	93.635	17.506	5.349	0.053	1.000	1.203	0.044
8	94.362	17.506	5.390	0.063	1.000	1.203	0.053
9	95.060	17.506	5.430	0.073	1.000	1.203	0.061
10	95.759	17.506	5.470	0.083	1.000	1.203	0.069
11	96.462	17.506	5.510	0.093	1.000	1.203	0.078
12	97.166	17.506	5.550	0.103	1.000	1.203	0.086
13	97.873	17.506	5.591	0.113	1.000	1.203	0.094
14	98.582	17.506	5.631	0.123	1.000	1.203	0.103
15	99.294	17.506	5.672	0.133	1.000	1.203	0.111
16	100.007	17.506	5.713	0.143	1.000	1.203	0.119
17	100.305	17.506	5.730	0.148	1.000	1.203	0.123
18	100.236	17.506	5.726	0.153	1.000	1.203	0.127
19	99.945	17.506	5.709	0.163	1.000	1.203	0.136
20	99.862	17.506	5.704	0.166	1.000	1.203	0.138
21	99.077	17.506	5.660	0.176	1.000	1.203	0.147
22	97.460	17.506	5.567	0.193	1.000	1.203	0.160
23	96.327	17.506	5.503	0.203	1.000	1.203	0.168
24	95.195	17.506	5.438	0.213	1.000	1.203	0.177
25	94.063	17.506	5.373	0.223	1.000	1.203	0.185
26	92.931	17.506	5.309	0.233	1.000	1.203	0.193
27	90.645	17.506	5.178	0.250	1.000	1.203	0.208



Şekil 2.13. İki katlı binaya ait modal kapasite eğrisi

SAP2000 programında statik itme analizinin tanımlanması Şekil 2.14’de verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken iki husus vardır. Bunlardan birincisi, artımsal itme analizine başlamadan önce yapılan kütlelerle uyumlu düşey yüklerin (G+nQ) göz önüne alındığı doğrusal olmayan statik analiz, artımsal itme analizinin başlangıç adımı olarak dikkate alınmasıdır. İkinci husus, modal kapasite eğrisini elde etmek için programa tanıtılan ve tahmini olarak belirlenen hedef tepe yer değiştirme değerinde oluşacak plastik dönmeler binanın performans değerlendirmesinde kullanılacak değerler olmadığına dikkat etmektir. İlerleyen aşamalarda modal kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin karşılaştırılmasıyla bulunan hedef tepe yer değiştirme değeriyle yeniden itme analizi yapılmalıdır.

Artımsal itme analizi ile binanın statik itme eğrisini elde etmek için ilk olarak binanın tahmini belirlenen bir noktaya kadar itilmesi gereklidir. Bu değer için SAP2000 programında Define → Load Cases → Load Application komutları tıklanır. Açılan pencereden itme analizi yer değiştirme kontrollü olması sebebiyle Load Application kısmında Displacement Control seçilir. Aynı pencerede Load to Monitored Displacement Magnitude of kısmına binanın ne kadar itileceği tanıtılır. İncelenen bina tahmini olarak belirlenen 0.24 m değerinde itileceği için programa bu değer girilmiştir. En son işlem olarak binadaki hangi noktanın baz alınarak işlem yapılacağını programa tanıtmak için Monitored Displacement kısmından binadaki istenilen nokta seçilir. Bu işlem genellikle binanın en üst katındaki bir noktanın seçilmesiyle yapılır. İncelenen yapı için 5 nolu düğüm noktası dikkate alınmıştır. Artımsal itme analizi için adım sayısı belirlenirken için SAP2000 programında Define → Load Cases → Results Saved komutları seçilir. Analizlerde en az 50 adım en çok ise 200 adım dikkate alınmıştır.

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: PUSHOVER\_X  Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:  
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
 Continue from State at End of Nonlinear Case: PODUSEY  
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:  
 Linear  
 Nonlinear  
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:  
All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Geometric Nonlinearity Parameters:  
 None  
 P-Delta  
 P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: Previous

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EX-NON	1.
Load Pattern	EX-NON	1.

Other Parameters:  
Load Application: **Displ Control**   
Results Saved: **Multiple States**   
Nonlinear Parameters: Default

---

**Load Application Control for Nonlinear Static Analysis**

Load Application Control:  
 Full Load  
 Displacement Control

Control Displacement:  
 Use Conjugate Displacement  
 Use Monitored Displacement  
Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 0,24

Monitored Displacement:  
 DOF: U1 at Joint: 5  
 Generalized Displacement

---

**Results Saved for Nonlinear Static Load Cases**

Results Saved:  
 Final State Only  Multiple States

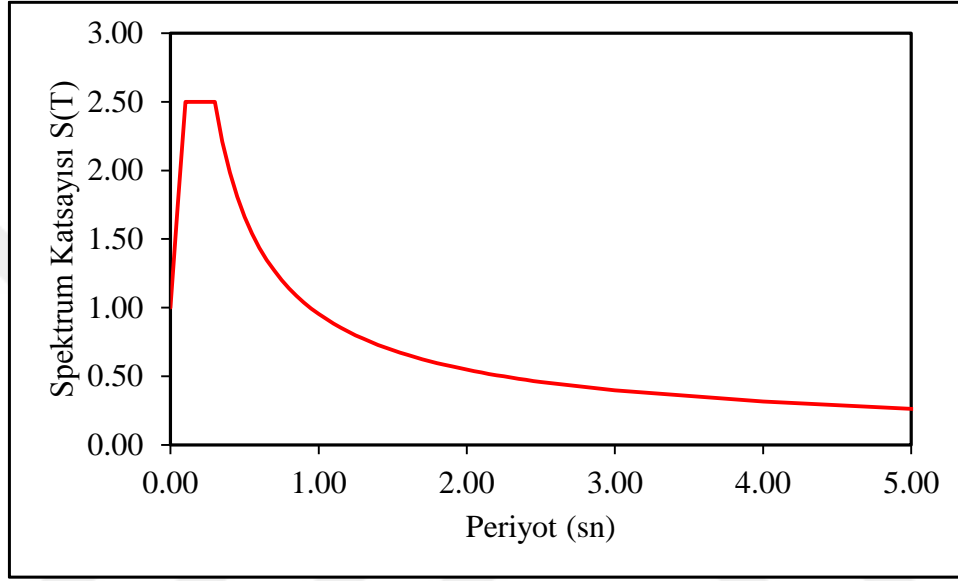
For Each Stage:  
Minimum Number of Saved States: 50  
Maximum Number of Saved States: 200

Save positive Displacement Increments Only

Şekil 2.14. Artımsal itme analizinin programa tanıtılması, tahmini hedef yer değıştirme değeri ve itme analizi için adım sayısının programa girilmesi

### 2.2.8. Deprem Etkisi Talep Eğrisinin Belirlenmesi

DBYBHY 2007’de deprem talep eğrisinin elde edilebilmesi için, deprem etkisi spektrum eğrisiyle dikkate alınmaktadır. Bunun için Z1 yerel zemin sınıfı için elde edilen spektrum eğrisi Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



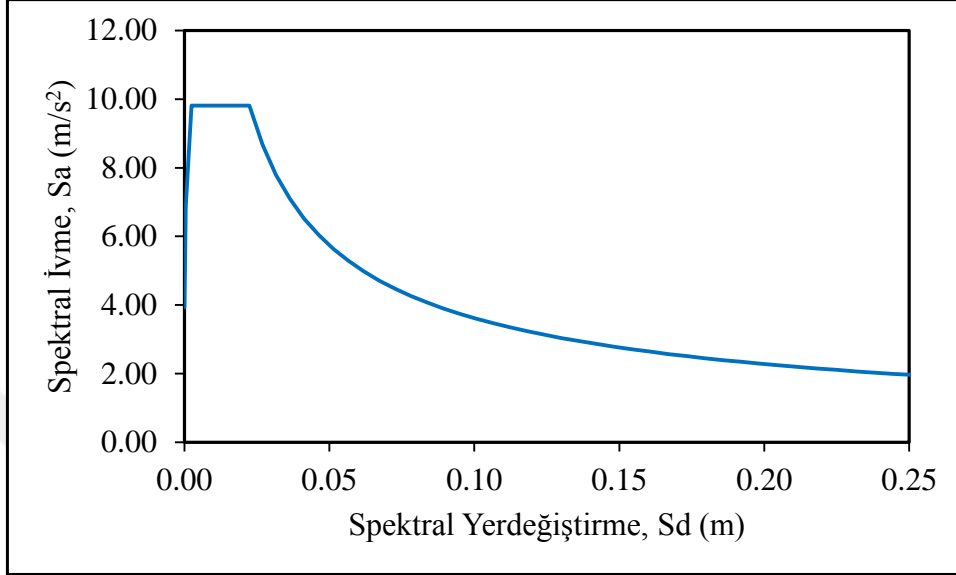
Şekil 2.15. Z1 yerel zemin sınıfı için spektrum eğrisi

Bu eğri kullanım depremi (50 yılda aşılma olasılığı %50) için yarıya indirilirken ( $A_0$  yerine  $0.5 A_0$ ), en büyük deprem (50 yılda aşılma olasılığı %2) için %50 artırılır ( $A_0$  yerine  $1.5 A_0$ ). Tasarım depreminde (50 yılda aşılma olasılığı %10) ise DBYBHY 2007’de verilen eğride herhangi bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. Modal kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesiştirilebilmesi için,  $S(T)$ – $T$  (spektrum katsayısı–periyot) eksenlerinde tanımlı olan deprem talep eğrisinin  $S_a$ – $S_d$  (elastik spektral ivme elastik spektral yer değiştirme) eksen takımının oluşturduğu spektrum eğrisine dönüştürülmesi gerekir. Bu eğriye davranış spektrumu adı verilir. Bu dönüşümü yapmak için denklem (2.5)–(2.6) kullanılmaktadır.

$$S_a = A_0 g S(T) \quad (2.5)$$

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} = S_a \frac{T^2}{(2\pi)^2} \quad (2.6)$$

Z1 yerel zemin sınıfı için elde edilen davranış spektrumu eğrisi Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Z1 yerel zemin sınıfı için davranış spektrumu eğrisi

### 2.2.9. Modal Kapasite ve Deprem Talep Eğrilerinin Kesiştirilmesi

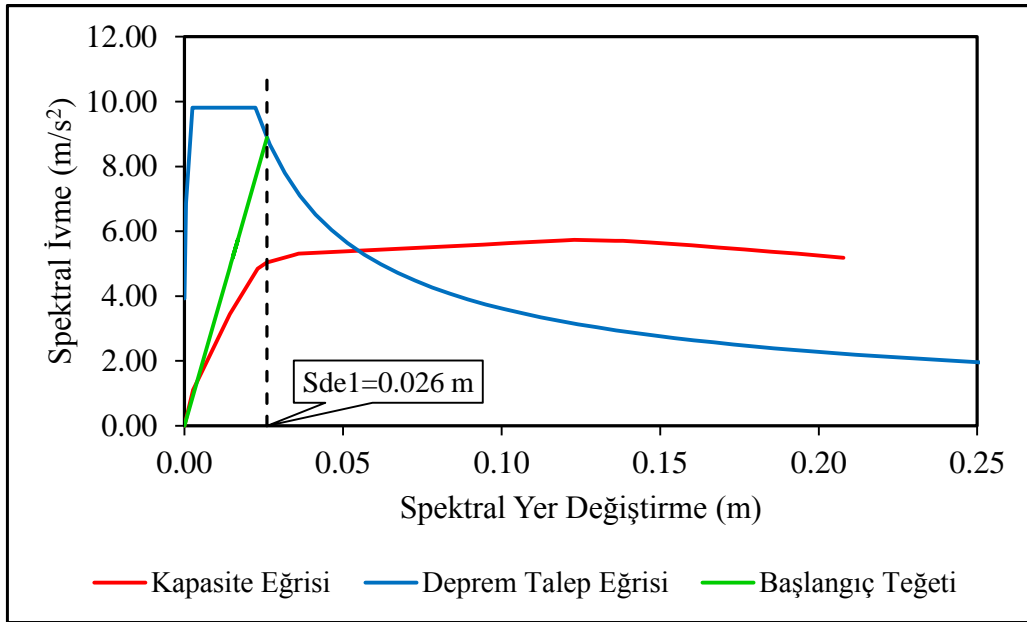
Modal kapasite ve deprem talep eğrisinin kesiştirilmesiyle binanın performans noktası tespit edilir. Ancak bu kesişmenin yapılabilmesi için iki eğrinin aynı türden olması gerekir. Deprem talep eğrisi elastik spektrum eğrisi ile tanımlanırken, sistemin modal kapasite eğrisi doğrusal olmayan davranıştan elde edilir. Bu durumda, bu iki eğrinin aynı cinsten ifade edilmesi gereklidir. Eğrileri aynı türden elde edebilmek için yönetmeliklerde çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. ATC 40, depremin elastik talep eğrisinin sistemin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak azaltıldıktan sonra kesişme noktasının bulunmasını önermiştir. Ancak deprem talep eğrisinin bu şekilde azaltılması değişik parametrelere bağlı olduğu için, basit bir azaltma katsayısı ile bu işlemin yapılması uygun değildir. DBYBHY 2007 ise ATC 40'ın tersine kapasite eğrisinin, deprem talep eğrisi gibi elastik duruma çevrilmesi ile dönüşümün yapılmasını önermektedir. Bu işlem modal kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin çizilmesiyle yapılır. Teğetin eğimi birinci moda ait öz değere ( $\omega_1^2$ ) eşit alınır. Bu teğetin elastik talep spektrumunu kestiği nokta, binanın hedef tepe yer değiştirme değeridir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, her iki eğride elastik tabanlı olduğu için bulunan noktada

sistemin elastik davranışıyla, yani taşıyıcı sistemin hasarsız olarak depremi karşılamasıyla ilgilidir. Doğrusal elastik olmayan davranışa geçiş yapabilmek için “Eşit Yer Değiştirme Kuralı” kullanılarak elastik eğrilerden (kapasite ve deprem talep eğrisi) elde edilen doğrusal elastik spektral yer değiştirme ( $S_{del}$ ), doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme ( $S_{dil}$ )’ye dönüştürülür. Eşit yer değiştirme kuralınca, periyodu büyük binalarda elastik ve elastik olmayan yer değiştirmelerin yaklaşık olarak eşit olduğu kabul edilirken, periyodu küçük binalarda elastik olmayan yer değiştirme elastik yer değiştirmenin bir katsayı veya spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ) yardımıyla büyütülmesinden elde edilir (Celep, 2014). Spektral yer değiştirme oranı, denklem (2.7) yardımıyla yapının hakim periyoduna bağlı olarak elde edilir.

$$C_{R1} = 1 \quad (T_B < T) \quad (2.7.a)$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T}{R_{y1}} \geq 1 \quad (T < T_B) \quad (2.7.b)$$

İki katlı bina için modal kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesştirilmesi ve doğrusal elastik spektral yer değiştirme ( $S_{del}$ ) değerinin elde edilişi Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17. Doğrusal elastik spektral yer değiştirmenin bulunması

Şekil 2.17 üzerinde doğrusal elastik spektral yer değiştirme değeri  $S_{de1} = 0.026$  m olarak bulunmuştur. Bu değer analitik olarak denklem (2.8)'de verilen formülle de bulunabilir.

$$S_{de1} = \frac{S_a}{(\omega_1)^2} = \frac{S_a T_1^2}{(2\pi)^2} = \frac{A_0 g S(T) T_1^2}{(2\pi)^2} \quad (2.8)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ ) değeri, spektral yer değiştirme oranı ile çarpılmasıyla aşağıdaki gibi elde edilir;

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.9)$$

İki katlı bina için  $T_B = 0.30$  s <  $T_1 = 0.34$  s olduğu için spektral yer değiştirme oranı  $C_{R1} = 1$  olarak hesaplanır. Bu durumda elastik yer değiştirme ile elastik olmayan yer değiştirme aynı değerleri alır ve  $S_{de1} = S_{di1} = d_1 = 0.026$  m olarak elde edilir.

### 2.2.10. Hedef Tepe Yerdeğiştirme İsteminin Elde Edilmesi

Sistemin dikkate alınan deprem doğrultusundaki hedef tepe yer değiştirme istemi denklem 2.10 ile elde edilebilir;

$$u_{xN1} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1 = 1 \times 1.2031 \times 0.026 = 0.03128 \text{ m} \quad (2.10)$$

Bina bu hedef tepe yer değiştirme noktasına kadar itilir. Bu itme analizi sonucunda elde edilen plastik mafsal değerleri binanın performans değerlendirmesinde kullanılmaktadır.

### 2.2.11. Gevrek Davranışa İlişkin Kuvvet Taleplerinin Hesaplanması

Statik itme analizi adımlarında elemanların güç tükenmesi durumlarının kontrol edilmesi gerekir. Yani betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinin yapılması gerekir. DBYBHY 2007, kolon-kiriş birleşim bölgeleri dışında bütün betonarme

taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinde kullanılacak kesme kuvveti dayanımlarının TS 500'e göre belirlenmesini önermektedir. Kesme kuvveti dayanımının kesme kuvveti isteminden daha küçük olduğu elemanlar, gevrek olarak hasar gören elemanlar şeklinde tanımlanmıştır. Yani taşıyıcı sistem elemanlarının herhangi biri gevrek olarak hasar gören eleman olması durumunda o elemanın göçme bölgesinde olduğu kabul edilir. Bu durumda bina göçme bölgesi performans düzeyinde bulunur. Bu durumun önüne geçmek için gevrek hasar gören elemanlar istenirse güçlendirme ile kesit veya eleman kapasitesi artırılarak yapının yeniden performans değerlendirmesi yapılabilir. TS 500'e göre kolonların kesme kuvveti dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$V_r = V_c + V_w \quad (2.11)$$

Burada  $V_r$  kesitin kesme dayanımı,  $V_c$  betonun kesme dayanımına katkısı,  $V_w$  ise donatının kesme dayanımına katkısıdır. Betonun kesme dayanımına katkısı, kesitin kesmede çatlama dayanımının ( $V_{cr}$ ) %80'ine eşittir. Kesitin kesmede çatlama dayanımı denklem 2.12 yardımıyla elde edilebilir;

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd}b_w d \left( 1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right) \quad (2.12)$$

Burada  $f_{ctd}$  betonun hesap çekme dayanımı,  $b_w$  kesitin genişliğini,  $d$  faydalı yüksekliğini,  $N_d$  eksenel yükü,  $A_c$  ise kesit alanını temsil etmektedir.  $\gamma$  ise eksenel basınç durumunda  $\gamma=0.07$ , eksenel çekme durumunda  $\gamma=-0.3$  alınır. Etriye katkısı ise denklem 2.13'den hesaplanabilir;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad (2.13)$$

$s$  etriye aralığını,  $f_{ywd}$  enine donatı tasarım akma dayanımını temsil etmektedir.  $A_{sw}$  kesme donatısı toplam kesit alanı olup denklem 2.14 ile bulunur;

$$A_{sw} = n \frac{\pi \Phi_w^2}{4} \quad (2.14)$$



n etriye kol sayısını ve  $\Phi$  etriye donatısı çapını temsil etmektedir. TS 500'e göre kirişlerin kesme kuvveti dayanımının hesabı, kolonların kesme kuvveti dayanımının hesabına oldukça benzemektedir. Tek fark  $\gamma$  katsayısının 0 olmasıdır.

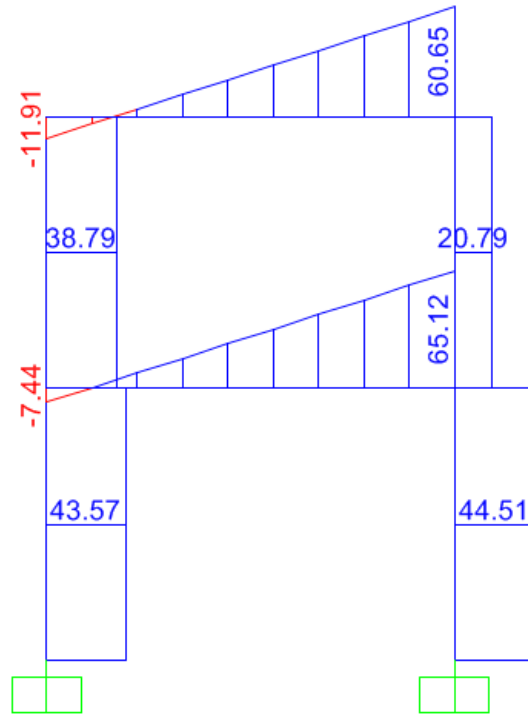
Buna göre S101 ve S102 kolonlarının kesme kuvveti dayanımları aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd} b_w d \left( 1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right) = 0.65 \times 1.17 \times 400 \times 370 \times \left( 1 + 0.07 \frac{99.56}{400 \times 400} \right) = 112.55 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8V_{cr} = 0.8 \times 112.55 = 90.04 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d = \frac{2\pi 8^2}{150} \times 365 \times 370 = 90.48 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_w = 90.04 + 90.48 = 180.52 \text{ kN}$$



Şekil 2.18. İtme analizinin son adımında meydana gelen kesme kuvveti (shear force) diyagramı

İtme analizinin son adımında S101 ve S102 kolonları için elde edilen kesme kuvveti istemleri sırasıyla 43.57 kN ve 44.51 kN'dur (Şekil 2.18). Kolonların kesme dayanımları bu iki değerden de büyük olduğu için elemanlar gevrek olarak hasar gören elemanlar değildir.

S201 ve S202 kolonlarının kesme kuvveti dayanımları ise aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd}b_w d \left( 1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right) = 0.65 \times 1.17 \times 400 \times 370 \times \left( 1 + 0.07 \frac{48.28}{400 \times 400} \right) = 112.55 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8V_{cr} = 0.8 \times 112.55 = 90.04 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d = \frac{2\pi 8^2}{150} \times 365 \times 370 = 90.48 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_w = 90.04 + 90.48 = 180.52 \text{ kN}$$

İtme analizinin son adımında S201 ve S202 kolonları için elde edilen kesme kuvveti istemi sırasıyla 38.79 kN ve 20.79 kN'dur (Şekil 2.18). Kolonların kesme dayanımları bu iki değerden de büyük olduğu için elemanlar gevrek olarak hasar gören elemanlar değildir. Ancak gevrek olarak hasar görmüş olsalardı ya göçme bölgesinde oldukları düşünülürdü ya da güçlendirmeleri kaydıyla tekrar performans değerlendirmesi yapılırdı.

K101 ve K201 kirişlerinin kesme kuvveti dayanımları aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd}b_w d = 0.65 \times 1.17 \times 400 \times 370 = 112.55 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8V_{cr} = 0.8 \times 112.55 = 90.04 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d = \frac{2\pi 8^2}{150} \times 365 \times 370 = 90.48 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_w = 90.04 + 90.48 = 180.52 \text{ kN}$$

İtme analizinin son adımında K101 ve K201 kirişleri için elde edilen kesme kuvveti istemi sırasıyla 65.12 kN ve 60.65 kN'dur. Kirişlerin kesme dayanımları bu iki değerden de büyük olduğu için elemanlar gevrek olarak hasar gören elemanlar değildir.

Binadaki kolon-kiriş birleşim bölgeleri dışında betonarme taşıyıcı sistem elemanları gevrek olarak hasar görmeyen eleman olarak sınıflandırılabilir.

Betonarme kolon-kiriş birleşimleri için denklem 2.16'dan hesaplanacak kesme kuvveti istemi, denklem (2.16)'de verilen kesme dayanımını aşmaması gerekir. Denklem (2.15)'de verilen  $V_{kol}$  yerine doğrusal olmayan analizde ilgili kolon için hesaplanan kesme kuvveti istemi kullanılır. Kesme kuvveti istemi kesme dayanımını aşması durumunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi gevrek olarak hasar gören eleman şeklinde tanımlanır.

$$V_e = 1.25f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (2.15)$$

$$\text{Kuşatılmış birleşimlerde: } V_e \leq 0.60b_j h f_{cd} \quad (2.16.a)$$

$$\text{Kuşatılmamış birleşimlerde: } V_e \leq 0.45b_j h f_{cd} \quad (2.16.b)$$

Burada  $V_e$  kolon, kiriş ve perdede enine donatı hesabında dikkate alınan kesme kuvvetini,  $A_{s1}$  kolon-kiriş düğüm noktasının bir tarafında kirişin negatif momentini karşılamak için üste konulan çekme donatısının toplam alanını,  $A_{s2}$  kolon-kiriş düğüm noktasının  $A_{s1}$ 'e göre diğer tarafında kirişin pozitif momentini karşılamak için alta konulan çekme donatısının toplam alanını temsil etmektedir.  $b_j$ , göz önüne alınan deprem doğrultusunda, birleşim bölgesine saplanan kirişin kolonla aynı genişlikte olması veya kolonun her iki yanından da taşması durumunda kolon genişliği, aksi durumda kirişin düşey orta ekseninden itibaren kolon kenarlarına olan uzaklıklardan küçük olanın iki katıdır (kiriş genişliği ile birleşim derinliğinin toplamını aşamaz).  $h$ , kolonun en kesit boyutu olup  $f_{cd}$  ise betonun mevcut beton dayanımıdır.

Örnek binada birleşim bölgelerinin kontrolü için en olumsuz durum S102-S202 kolonları ile K101 kirişinin birleşiminde meydana geleceği açıktır ( $V_{kol}$  değeri için itme analizinin son adımında sistemde elde edilen en düşük kesme kuvvetinin kullanılması en olumsuz durumu vermektedir. S202 kolonunda 20.79 kN kesme kuvveti elde edilmiştir. Bu

ise sistemdeki kolonlarda elde edilen en düşük kesme kuvvetidir). S102–S202 kolonları ile K101 kirişinin birleştiği birleşim bölgesi esas alınırsa  $V_e$  değeri:

$$V_e = 1.25f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \Rightarrow V_e = 1.25 \times 420 \times (344 + 344) - 20790 \Rightarrow V_e = 340.41 \text{ kN}$$

Bu birleşim bölgesi kuşatılmış olduğundan,  $V_e \leq 0.60b_j h f_{cd}$  koşulunu sağlamalıdır.

Buna göre

$$V_e \leq 0.60b_j h f_{cd} \Rightarrow 340.41 < 0.60 \times 0.4 \times 0.4 \times 25000 \Rightarrow 340.41 < 2400 \text{ kN}$$

Buradan sistemdeki bütün kolon–kiriş birleşim bölgelerinin gevrek olarak hasar görmeyen eleman olarak sınıflandırılabilceği görülmektedir.

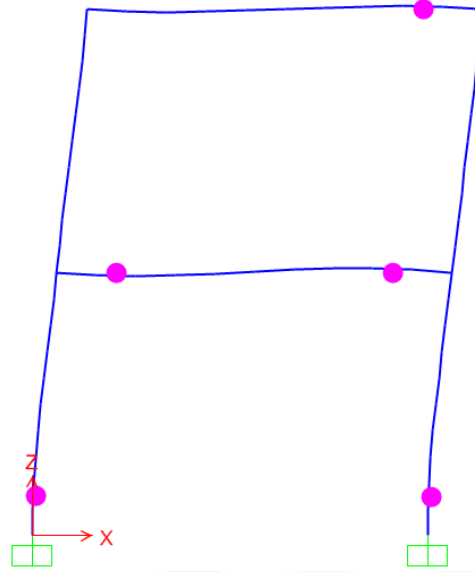
### 2.2.12. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Birim Şekil Değişirme İstemlerinin Belirlenmesi

Taşıyıcı sistem elemanlarının birim şekil değişirme istemleri ( $\phi_t$ ), kesitteki plastik eğrilik istemiyle ( $\phi_p$ ) eşdeğer akma eğriliğinin ( $\phi_y$ ) toplamından elde edilir (denklem 2.17).

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.17)$$

İtme analizinin son adımında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik mafsallar Şekil 2.19’da gösterilmiştir. SAP2000 programına plastik mafsallar, FEMA 356’da tarif edilen değerler kullanılarak tanımlanmıştır. Bu sebeple SAP2000 programından elde edilen plastik mafsal değerleri doğrudan kullanılamaz. DBYBHY 2007’de kesit hasar sınırları birim şekil değiştirmeler cinsinden verildiği için itme analizinin son adımında SAP2000 programından elde edilen plastik mafsal dönmeleri ( $\theta_p$ ), plastik mafsal boyuna ( $L_p$ ) bölünerek *plastik eğrilik istemine* ( $\phi_p$ ) dönüştürülmelidir (denklem 2.18).  $L_p$ , çalışan doğrultudaki kesit boyunun ( $h$ ) yarısına eşit alınır ( $L_p = 0.5h$ ).

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.18)$$



Şekil 2.19. İtme analizinin son adımında elde edilen plastik mafsallar

Eşdeğer akma eğriliği için kesitlerdeki moment–eğrilik ilişkisi RESPONSE2000 programı ile elde edilmiştir. Kesitteki moment eğrilik ilişkisi elde edilirken amaca uygun bir beton modeli ve pekleşmeyi göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılmalıdır. Örnek bina için deprem yönetmeliğinde önerilen beton ve donatı modelleri dikkate alınmıştır (Şekil 1.18–Şekil 1.19).

RESPONSE2000 programı, kesitin akma momentini, birim şekil değiştirmelerini, moment–eğrilik ilişkisini elde etmemizi sağlar. Bu sayede kesitin eşdeğer akma eğriliği RESPONSE2000 programından elde edilmiş olur. RESPONSE2000 programında taşıyıcı sistem elemanları için elde edilen moment–eğrilik grafiğinden kesitin aktığı noktada meydana gelen eğrilik değeri eşdeğer akma eğriliği olarak dikkate alınır. Daha sonra plastik eğrilik istemiyle eşdeğer akma eğrilik istemi toplanarak kesitteki toplam eğrilik istemi elde edilir. RESPONSE2000 programında bulunan bu toplam eğrilik istemine denk gelen betondaki ve çelikteki birim şekil değiştirme istemi elde edilir. Kesitte kullanılan malzemeler için elde edilen birim şekil değiştirme istemleri DBYBHY 2007'deki sınır şartlarla kıyaslanarak elemanın performansı belirlenir. RESPONSE2000 programında örnek binaya ait kesitin modellenmesi, moment–eğrilik ilişkisinin elde edilmesi, eşdeğer akma eğrilik isteminin belirlenmesi ve malzemelerde meydana gelen birim şekil değiştirme istemlerinin bulunuşu aşağıda verilmiştir. En kesit özellikleri programda **Define** komutuyla dört adımda tanımlanır.

1. adımda malzeme özellikleri programa tanımlanır (Şekil 2.20);

Quick Define - Step 1 of 4

General Information

Title: S101

Analysis By: F.S

Material Properties

Concrete Cylinder Strength: 25.0 MPa

Long. Steel Yield Strength: 420 MPa

Transverse Steel Yield: 420 MPa

Prestressed Steel Type: None

< Geri İleri > İptal

Şekil 2.20. Malzeme özelliklerinin RESPONSE2000 programına tanıtılması

2. adımda kesit boyutları tanımlanır (Şekil 2.21);

Quick Define - Step 2 of 4

Title

Rectangle Section

Circular Section

T-Beam Section

I-Beam Section

General hollow core slab

b: 400 mm

h: 400 mm

0

0

0

0

Height of the Rectangle

< Geri İleri > İptal

Şekil 2.21. Kesit boyutlarının RESPONSE2000 programına tanıtılması

3. adımda boyuna donatılar programa tanımlanır (Şekil 2.22);

Şekil 2.22. Boyuna donatıların RESPONSE2000 programına tanıtılması

Etriyeler tanımlandıktan sonra Define → Longitudinal Reinforcement komutuyla gövdedeki diğer donatılar da tanımlanır

Şekil 2.23. Boyuna donatıların RESPONSE2000 programına tanıtılması

4. ve son adımda boyuna donatılar programa tanıtılır (Şekil 2.24);

Şekil 2.24. Etriyelerin RESPONSE2000 programına tanıtılması

S101 kolonunun moment–eğrilik ilişkisinin programda oluşturulmadan önce programa kolon üzerindeki eksenel yükün tanımlanması gereklidir. Bu işlem için programda **Loads** komutu kullanılır (Şekil 2.25).

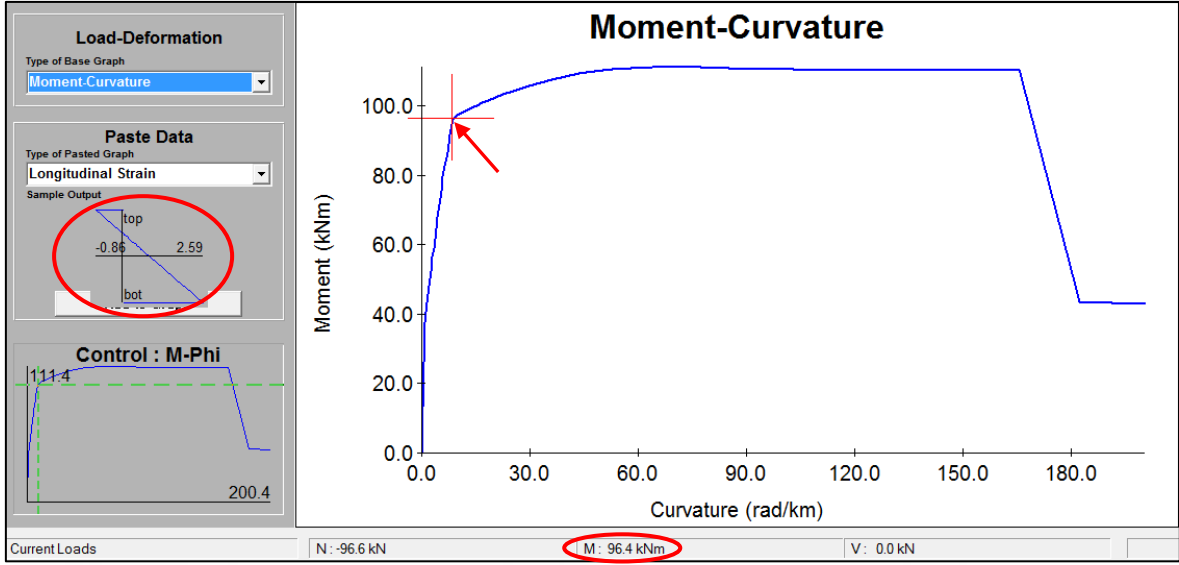
	Constant	+	Increment	
Axial Load	-96.59	+	0.00	kN
Moment	-0.00	+	1.00	kNm
Shear	0.00	+	0.00	kN

For a "One Load" analysis, only use the left side

Şekil 2.25. Kolon üzerindeki eksenel yükün programa girilmesi

Daha sonra **Solve** komutuyla kesit analizleri yapılır. Analizler neticesinde elde edilen moment–eğrilik ilişkisi ve kolonun aktığı nokta elde edilir (Şekil 2.26).





Şekil 2.26. S101 kolonuna ait moment–eğrilik ilişkisi ve akma noktası

Bu akma noktası için okunan momente denk gelen eşdeğer akma eğrilik değerini elde etmek için ekranda grafik üzerinde herhangi bir yere sağa tıklanarak **View Data** komutuna seçilir. Bu sayede bütün moment değerlerine karşılık gelen eğrilik değerleri elde edilmiş olur. S101 kolonu için akma momenti 96.4 kNm, eşdeğer akma eğrilik değerleri ise beton için 0,0008631 rad/m, çelik için 0.00259 rad/m olarak elde edilmiştir (Şekil 2.26). Bu işlemler diğer kolon ve kirişler içinde yapılarak kesitlere ait eşdeğer akma eğrilik istemleri elde edilmiş olur. RESPONSE2000 programından dönme ve şekildeğiştirme değerleri km cinsinden elde edilir. Bu sebeple dönme ve şekildeğiştirme değerleri daha sonra m'ye çevrilmelidir.

Örnek binanın taşıyıcı sistem elemanları için elde edilen plastik, eşdeğer akma ve toplam eğrilik istemleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Toplam eğrilik isteminin elde edilmesi

Çubuk Eleman	Uç	Plastik Dönmeler (rad)	Kesit Boyu (h-m)	$L_p$ (0.5h-m)	Plastik Eğrilik (1/m)	Eşdeğer Akma Eğriliği (1/m)	Toplam Eğrilik (1/m)
S101	0	0.001527	0.4	0.2	0.007635	0.008631	0.016266
S102	0	0.000611	0.4	0.2	0.003055	0.008631	0.011686
K101	0	0.000020	0.5	0.25	0.000080	0.005675	0.005755
K101	1	0.007310	0.5	0.25	0.02924	0.005675	0.034915
K201	1	0.005619	0.5	0.25	0.022476	0.005675	0.028151

Tablo 2.7’de, plastik dönmeler SAP2000 programından elde edilerek denklem (2.18) kullanılarak plastik eğriliklere çevrilmiştir. Eşdeğer akma eğrilikleri ise RESPONSE 2000 programında kesitler analizleri sonucunda elde edilmiştir.

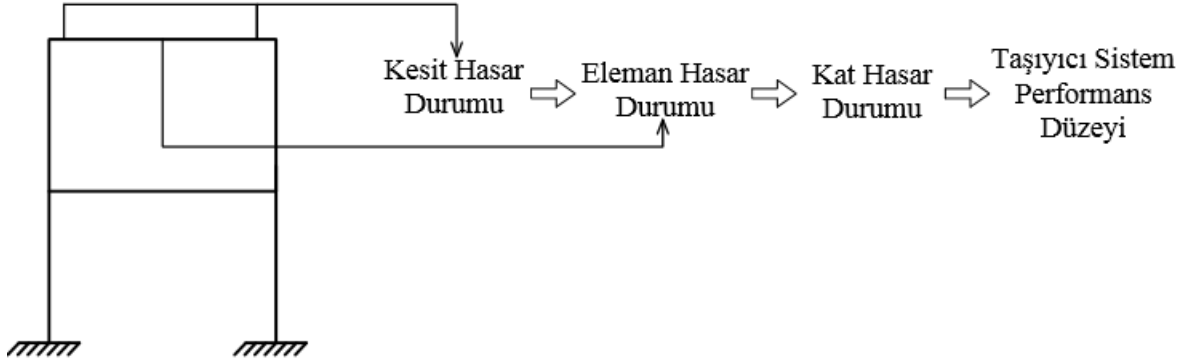
Toplam eğrilik istemi elde edildikten sonra RESPONSE2000 programında bu eğrilige karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleri okunur. Plastik mafsal oluşan elemanlar için beton ve donatıda meydana gelen birim şekil değiştirme değerleri Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8. Toplam eğrilik istemine karşılık gelen birim şekil değiştirmeler

Çubuk Eleman	Birim Şekil Değiştirme Grafikleri	Beton Birim Kısalma Şekil Değiştirmesi	Çelik Birim Uzama Şekil Değiştirmesi
S101	<p>top -1.28      5.45 bot</p>	0.00128	0.00545
S102	<p>top -0.97      3.21 bot</p>	0.00097	0.00321
K101	<p>top -0.77      3.79 bot</p>	0.00077	0.00379
K101	<p>top -1.92      15.44 bot</p>	0.00192	0.01544
K201	<p>top -1.66      12.68 bot</p>	0.00166	0.01268

### 2.2.13. Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Binaların performans seviyeleri belirlenirken kesit hasar durumlarından eleman hasar durumuna, buradan da taşıyıcı sistem performans seviyesine geçilir (Şekil 2.27). Değerlendirmenin binanın her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılması gerekir.



Şekil 2.27. Hasar durumundan bina performans seviyesine geçiş (Celep, 2014)

#### 2.2.13.1. Taşıyıcı Elemanların Kesit Hasar Durumunun Belirlenmesi

Tablo 2.8’de taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde, itme analizi sonucunda meydana gelen birim kısalmalar ve uzamalar verilmiştir. Bu değerler DBYBHY 2007’de verilen sınır değerlerle kıyaslanarak kesitlerin hasar sınırları tespit edilmiştir. Bu sınır değerler Tablo 2.9’da sunulmuştur. Bu sınır değerlerde dikkat edilmesi gereken husus, DBYBHY 2007’ye göre betonda minimum hasar sınırında en dış lifteki birim kısalma ( $\epsilon_{cu}$ ) dikkate alınırken, güvenlik ve göçme sınırında etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki betonun birim kısalmasının sınırı ( $\epsilon_{cg}$ ) dikkate alınır. Yani kesitte beton minimum hasar sınırını aşması durumunda kesitin en dış lifinde bulunan birim kısalma şekil değiştirme ( $\epsilon_{cu}$ ) yerine etriye içindeki bölgenin en dış lifinde meydana gelen birim kısalma şekil değiştirme ( $\epsilon_{cg}$ ) değeri kullanılmalıdır.

Tablo 2.9’da DBYBHY 2007’de bahsedilen beton ve donatıda şekil değiştirme sınır değerleri verilmiştir.

Buna göre örnek bina taşıyıcı sistem elemanlarının kesit hasar durumu Tablo 2.9’da verilen hasar sınırları ile karşılaştırılarak Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.9. Beton ve donatıda şekil değiştirme sınır değerleri

Şekil Değiştirme Sınırı	Hasar Sınırı	
	Betonda Birim Kısalma	Donatıda Birim Uzama
Minimum Hasar Sınırı	0.0035	0.010
Güvenlik Sınırı	0.0135	0.040
Göçme Sınırı	0.018	0.060

Tablo 2.10. Örnek bina sistemindeki taşıyıcı elemanların kesit hasar durumu

Çubuk	Kesitteki Betonun Birim Kısalması	Kesitteki Donatının Birim Uzaması	Beton Hasar Sınırı	Donatı Hasar Sınırı	Kesit Hasar Durumu
S101	0.00128	0.00545	$0.00128 < 0.0035$	$0.00545 < 0.010$	Minimum Hasar Sınırı
S102	0.00097	0.00321	$0.00097 < 0.0035$	$0.00321 < 0.010$	Minimum Hasar Sınırı
K101	0.00192	0.01544	$0.00192 < 0.0035$	$0.010 < 0.01544 < 0.040$	Güvenlik Sınırı
K201	0.00166	0.01268	$0.00166 < 0.0035$	$0.010 < 0.01268 < 0.040$	Güvenlik Sınırı

Tablo 2.10’da bütün kesitlerde betonun birim kısalması minimum hasar bölgesi sınırını aşmazken, K101 ve K102 için donatıdaki birim uzama minimum hasar bölgesi sınırını aşmıştır. Bu sebeple bu kesitler güvenlik sınırındadır.

### 2.2.13.2. Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Hasar Durumunun Belirlenmesi

Kritik kesitlerinin hasarı minimum hasar sınırına ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi’nde, minimum hasar sınırı ile güvenlik sınırı arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, güvenlik sınırı ile göçme sınırı arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde göçme sınırını aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde kabul edilir (Şekil 1.26). Yapının taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumları Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11. Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumları

Çubuk Eleman	Kesit Hasar Durumu	Taşıyıcı Eleman Hasar Bölgesi
S101	Minimum Hasar Sınırı	Minimum Hasar Bölgesi
S102	Minimum Hasar Sınırı	Minimum Hasar Bölgesi
K101	Güvenlik Sınırı	Belirgin Hasar Bölgesi
K201	Güvenlik Sınırı	Belirgin Hasar Bölgesi

### 2.2.13.3. Taşıyıcı Sistem Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı performans seviyesi ile tanımlanmıştır. Bu performans seviyeleri aşağıdaki gibidir:

- Hemen kullanım (HK) performans seviyesi
- Can güvenliği (CG) performans seviyesi
- Göçme öncesi (GÖ) performans seviyesi
- Göçme durumu

Binaların deprem performansının belirlenmesi için tanımlanan koşullar Tablo 2.12’de verilmiştir. Buna göre

Tablo 2.12. Bina performans seviyesinin belirlenmesi için tanımlanan koşullar

Performans Düzeyleri	Performans seviyesinin belirlenmesi için tanımlanan koşullar
Hemen Kullanım (HK)	1. Herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %10’u “belirgin hasar” bölgesindedir. Diğer kirişler “minimum hasar” bölgesindedir. 2. Tüm kolonlar “minimum hasar” bölgesindedir. 3. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanlar güçlendirilmelidir.
Can Güvenliği (CG)	1. Herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %30’u “ileri hasar” bölgesindedir. 2. Herhangi bir katta, “ileri hasar” bölgesinde bulunan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %20’yi aşmamalıdır. En üst katta bu değer %40’ın altında olmalıdır. 3. Herhangi bir katta, alt ve üst ucunda “minimum hasar” sınırı aşılacak kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30’u aşmamalıdır. 4. Hiçbir eleman “göçme” bölgesinde olamaz. 5. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanlar güçlendirilmelidir.
Göçme Öncesi (GÖ)	1. Herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %20’si “göçme” bölgesindedir. 2. Herhangi bir katta, alt ve üst ucunda “minimum hasar” sınırı aşılacak kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30’u aşmamalıdır. 3. Kolonların hiçbiri “göçme” bölgesinde değildir. 4. Gevrek olarak hasar gören tüm elemanlar göçme bölgesinde olduğu kabul edilir.
Göçme	1. Göçme öncesi performans düzeyi sağlanmıyorsa bina göçme durumundadır.

- 1. katta kolonlar minimum hasar bölgesinde, kiriş ise belirgin hasar bölgesindedir.

- 2. katta kolonlarda hiçbir hasar oluşmamıştır. Ancak kiriş belirgin hasar bölgesindedir.

Bina taşıyıcı elemanlarındaki hasar seviyeleri dikkate alındığında (Tablo 2.11) binanın performans seviyesinin Can Güvenliği Performans Seviyesi olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen örnek binanın kullanım amacı konut olması sebebiyle binanın tasarım depremi için hedeflenen performans seviyesi can güvenliği performans seviyesidir (Tablo 1.16). Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapılan analiz sonucunda binanın performans seviyesi, hedeflenen performans seviyesini sağladığı tespit edilmiştir.

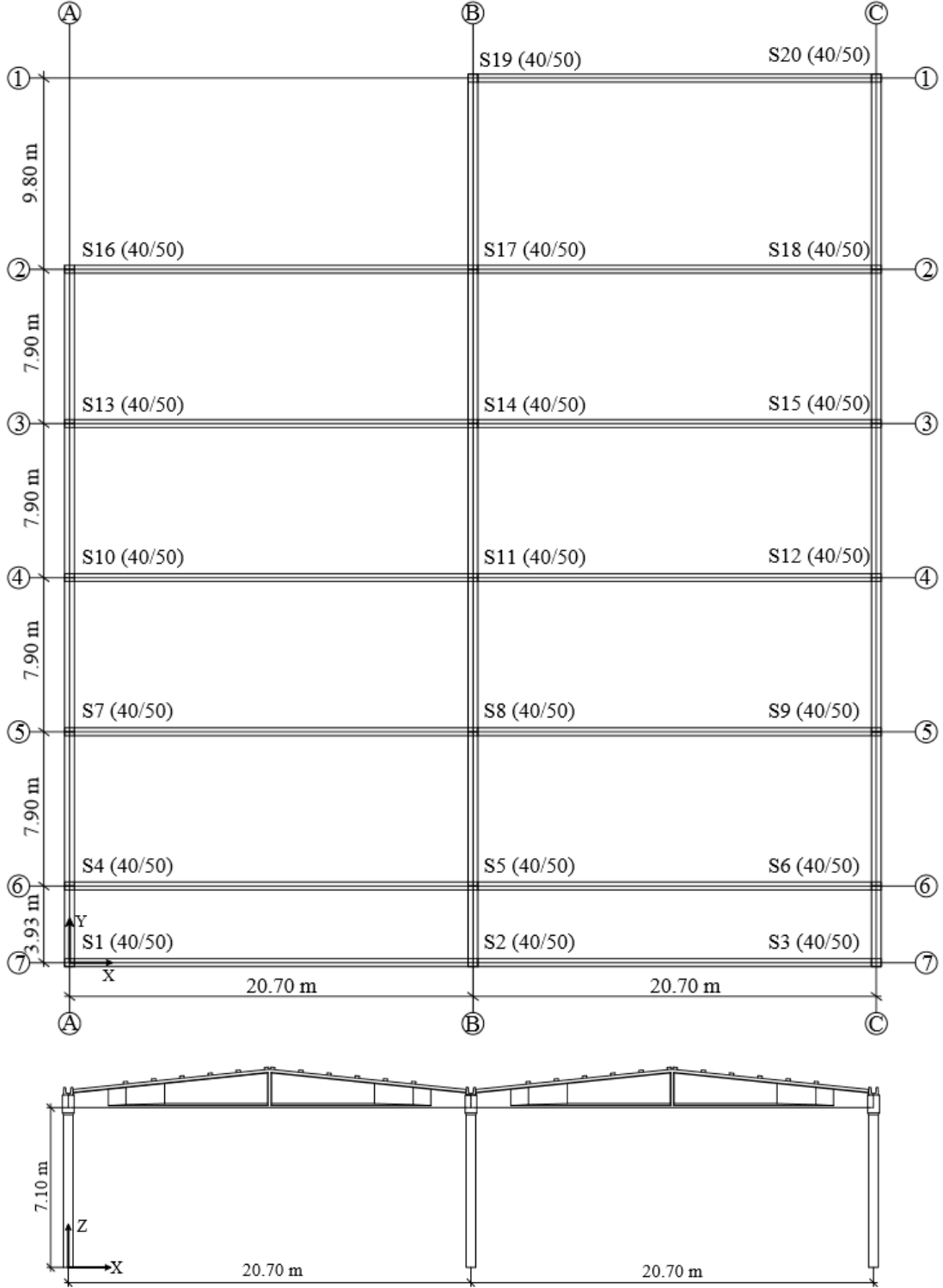
### **2.3.1. Kayseri İlinde Mevcut Betonarme Prefabrik Bir Binanın Deprem Performansı**

#### **2.3.1.1. Binanın Genel Özellikleri**

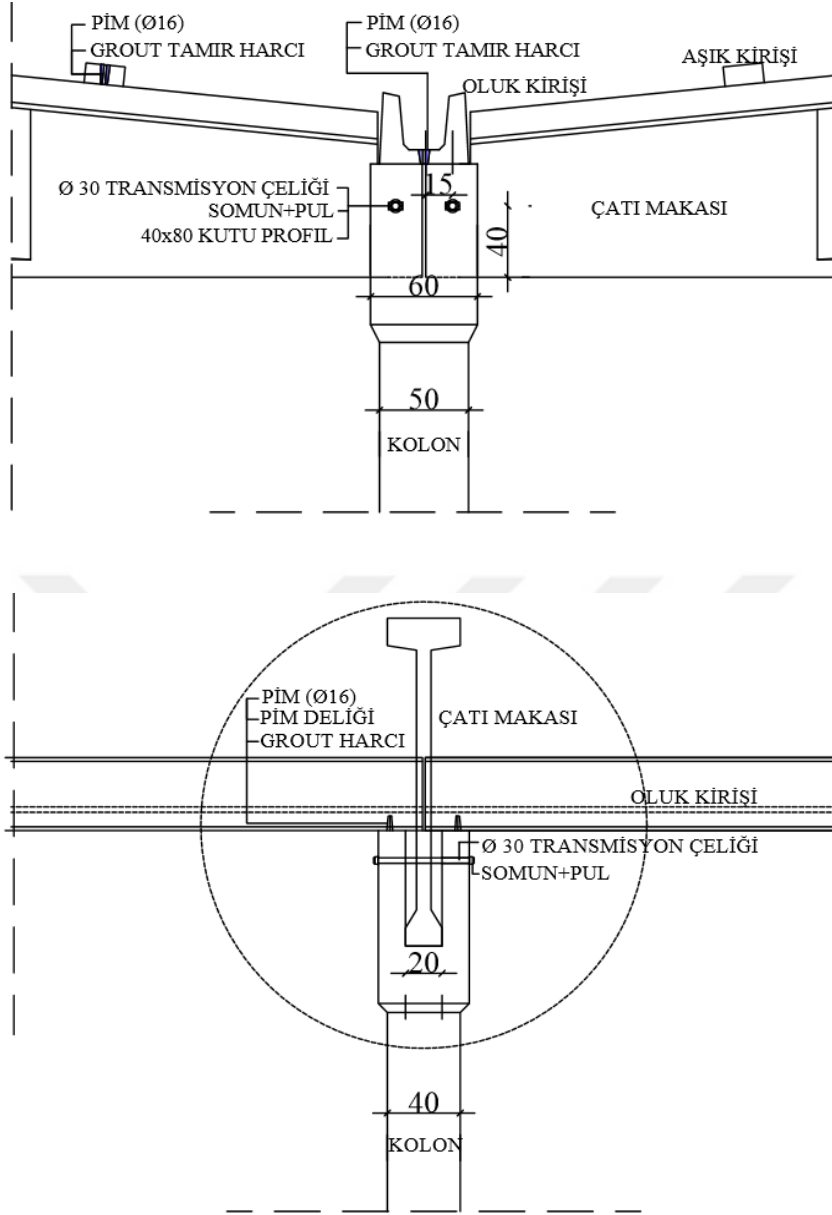
Bu çalışmada, uygulama amacıyla Kayseri ilinde inşa edilen mevcut bir prefabrik betonarme sanayi yapısı seçilmiştir. Bina x-doğrultusunda 41.40 m, y-doğrultusunda ise 46.10 m uzunluğunda olup kolon yükseklikleri 8.10 m'dir. Bina x-doğrultusunda 20.7 m uzunluğunda iki açıklığa sahiptir. Y-doğrultusunda ise 3.93 m uzunluğunda bir, 7.90 m uzunluğunda dört, 9.80 m uzunluğunda bir adet açıklıktan oluşmaktadır. Binanın taşıyıcı sistemi, temelde ankastre olarak bağlı kolonlar üzerine çatı makasları ve oluk kirişleri oturtularak oluşturulmuştur. Benzer şekilde aşık kirişleri, çatı makasları üzerindedir. Çatı makasları ve diğer elemanların birleşim bölgelerinde çeşitli kısmi bağıllık oranları dikkate alınmıştır.

3. derece deprem bölgesinde bulunan bina Z3 yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilmiştir. DBYBHY 2007'ye göre binanın etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ ) 0.2 g ve spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$  ve  $T_B$ ) sırasıyla 0.15 ve 0.60 saniyedir. Bina önem katsayısı  $I=1$  alınmıştır. Binanın kullanım amacı depo olması nedeniyle hareketli yük katılım katsayısı ( $n$ ) 0.80 alınmıştır. Binada kullanılan beton sınıfı C30 ( $f_{ck}=30\text{MPa}$ ), donatı çelik sınıfı ise S420 ( $f_{yk}=420\text{MPa}$ )'dir. Analizlerde betonun birim hacim ağırlığı  $25\text{ kN/m}^3$ , poisson oranı 0.20 ve elastisite modülü  $32 \times 10^6\text{ kN/m}^2$  olarak dikkate alınmıştır. Binanın çatı örtüsünde kullanılan malzeme dikkate alınarak hesaplanan  $1.87\text{ kN/m}$ 'lik kaplama yükü ilgili aşık kirişlerine aktarılmıştır. Binanın montaj planları, birleşim detayları, taşıyıcı sistem elemanlarına ait en kesitler ve donatı detayları, SAP2000 programında oluşturulan uygulama

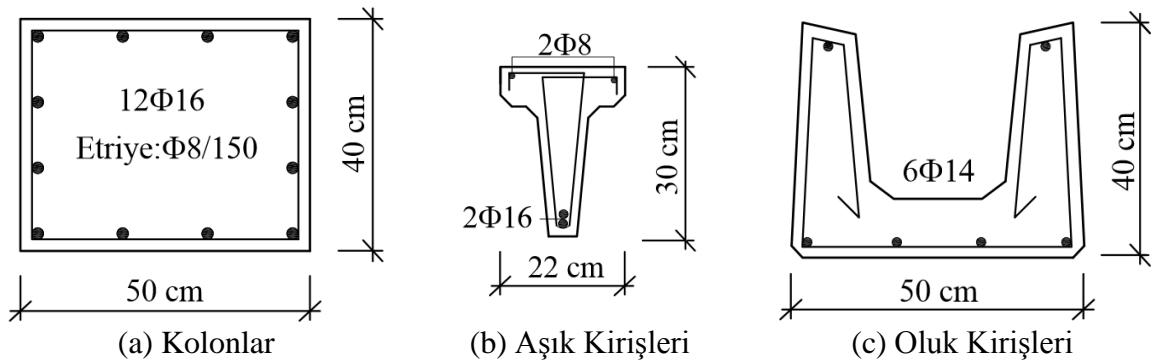
modeli, çubuk eleman modeli ve programının kolonlara atadığı numaralar Şekil 2.28–2.33’de verilmiştir.



Şekil 2.28. Yapının montaj planı



Şekil 2.29. Kolon-çatı makası, kolon-oluk kirişi, çatı makası-aşık kirişi birleşim detayları

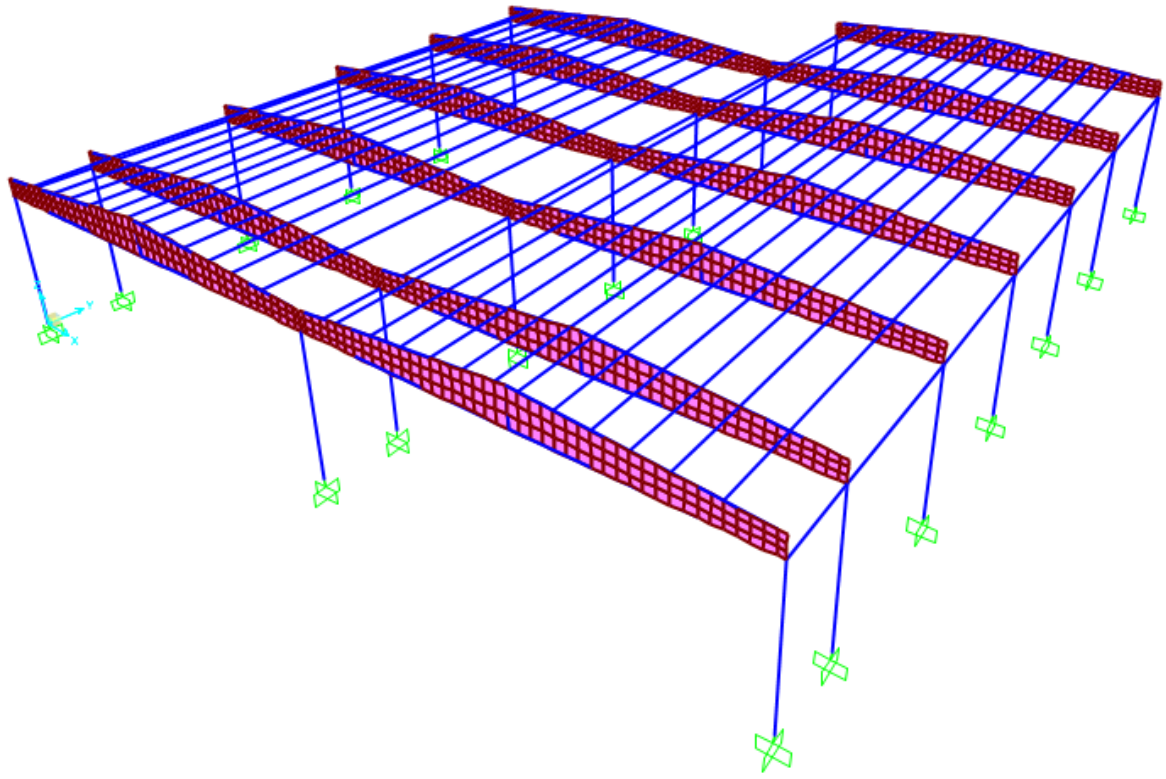


Şekil 2.30. Taşıyıcı sistem elemanlarına ait en kesitler ve donatı detayları

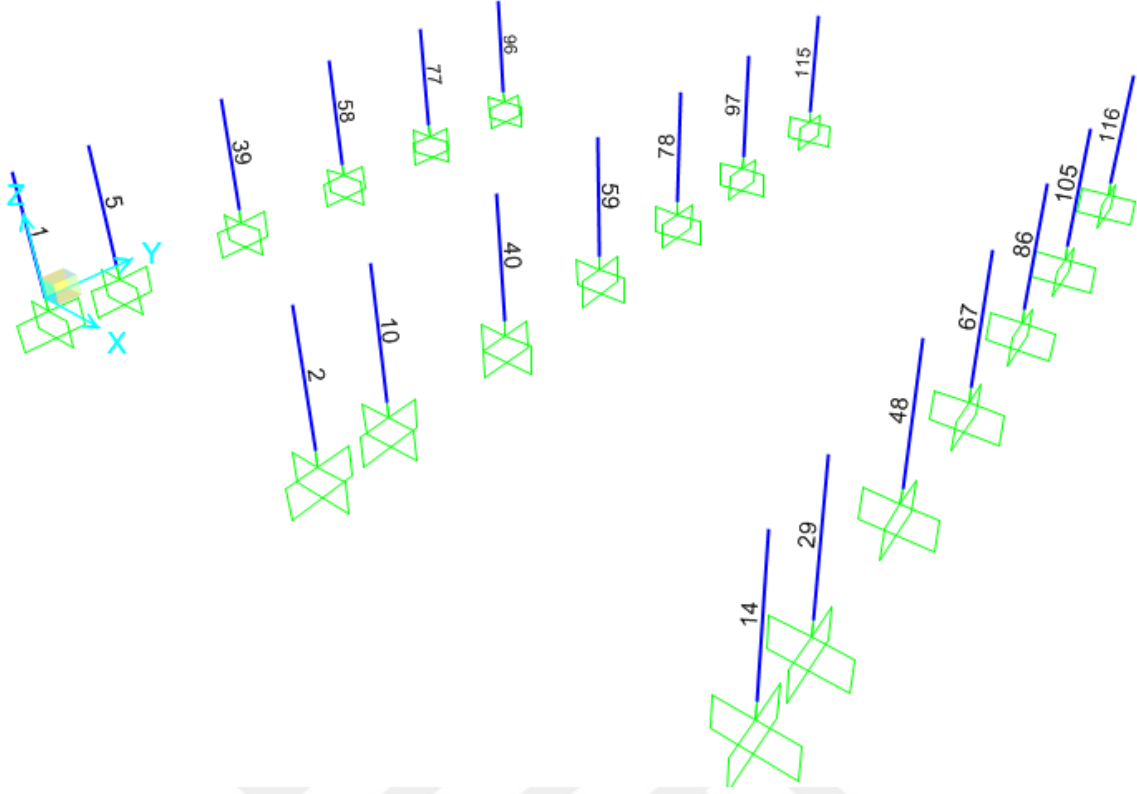




Şekil 2.31. Prefabrik yapının üç boyutlu sonlu elemanlar modeli



Şekil 2.32. Prefabrik yapıya ait çubuk eleman modeli



Şekil 2.33. Prefabrik yapı kolon elemanlarına ait çubuk numaraları

### 2.3.1.2. Prefabrik Yapı Elemanlarına Ait Bağlılık Oranlarının Belirlenmesi

Prefabrik yapılar ayırık elemanların birleşiminden meydana gelmektedir. Bu yapıların analizleri çoğu zaman ayırık elemanların birleştiği düğüm noktalarına mafsalsız tanımlanarak gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, prefabrik yapı elemanların civatalı birleşimlerle inşa edildiği düşünüldüğünde mafsalsız birleşim kabulü yerine kısmi bağlı birleşim kabulü daha gerçekçi bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple prefabrik yapıların sismik davranışları incelenirken düğüm noktalarındaki kısmi bağlılık göz önüne alınmalıdır. SAP2000 programında, taşıyıcı sistem elemanlarının birleştiği düğüm noktalarındaki kısmi bağlılıklar dönel yay rijitlikleriyle temsil edilmektedir. Bir yapı elemanına ait dönel yay rijitliği, elemanın elastisite modülüne, atalet momentine ve uzunluğuna bağlı olarak elde edilebilir. Her iki ucunda da dönel yaylar bulunan bir kirişin rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir (McGuire vd., 1999);

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12\theta_1 & 6L\theta_2 & -12\theta_1 & 6L\theta_3 \\ 6L\theta_2 & 4L^2\theta_4 & -6L\theta_2 & 2L^2\theta_5 \\ -12\theta_1 & -6L\theta_2 & 12\theta_1 & -6L\theta_3 \\ 6L\theta_3 & 2L^2\theta_5 & -6L\theta_3 & 4L^2\theta_6 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Burada  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  ve  $\theta_6$  katsayıları aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\theta_1 = \frac{\alpha_i + \alpha_j + \alpha_i \alpha_j}{4(3 + \alpha_j) + \alpha_i(4 + \alpha_j)} \quad (2.20.a)$$

$$\theta_2 = \frac{\alpha_i(2 + \alpha_j)}{4(3 + \alpha_j) + \alpha_i(4 + \alpha_j)} \quad (2.20.b)$$

$$\theta_3 = \frac{\alpha_j(2 + \alpha_i)}{4(3 + \alpha_j) + \alpha_i(4 + \alpha_j)} \quad (2.20.c)$$

$$\theta_4 = \frac{\alpha_i(3 + \alpha_j)}{4(3 + \alpha_i) + \alpha_j(4 + \alpha_i)} \quad (2.20.d)$$

$$\theta_5 = \frac{\alpha_i \alpha_j}{4(3 + \alpha_i) + \alpha_j(4 + \alpha_i)} \quad (2.20.e)$$

$$\theta_6 = \frac{\alpha_j(3 + \alpha_i)}{4(3 + \alpha_i) + \alpha_j(4 + \alpha_i)} \quad (2.20.f)$$

Burada,  $\alpha_i$  ve  $\alpha_j$  rijitlik indekslerini temsil etmektedir. Ayrıca bu indeksler çubuk elemanın her iki ucundaki dönel yay rijitliğini elde etmek için de kullanılabilir;

$$k_i = \alpha_i \frac{EI}{L} \quad (2.21.a)$$

$$k_j = \alpha_j \frac{EI}{L} \quad (2.21.b)$$

Denklem (2.21)'de  $k_i$  ve  $k_j$  dönel yay rijitliğini temsil etmektedirler. Kısmi bağıllık için verilen denklem (2.20)'deki parametreler istenirse bağıllık yüzdesi cinsinden tanımlanabilir (Kartal, 2004; Filho vd., 2004);

$$\theta_1 = \frac{r_i + r_j + r_{ij}}{3} \quad (2.22.a)$$

$$\theta_2 = \frac{2r_i + r_{ij}}{3} \quad (2.22.b)$$

$$\theta_3 = \frac{2r_j + r_{ij}}{3} \quad (2.22.c)$$

$$\theta_4 = r_i \quad (2.22.d)$$

$$\theta_5 = r_{ij} \quad (2.22.e)$$

$$\theta_6 = r_j \quad (2.22.f)$$

$r_i$ ,  $r_j$  ve  $r_{ij}$  düzeltme katsayıları olup aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$r_i = \frac{3v_i}{4 - v_i v_j} \quad (2.23.a)$$

$$r_j = \frac{3v_j}{4 - v_i v_j} \quad (2.23.b)$$

$$r_{ij} = \frac{3v_i v_j}{4 - v_i v_j} \quad (2.23.c)$$

$v_i$  ve  $v_j$  bağıllık faktörleridir ve yüzde olarak ifade edilen kısmi bağıllığı temsil eder. Denklem (2.20) ve (2.22) arasında gerekli düzenlemeler yapıp denklem (2.21) yerine

yazılırsa bağılılık yüzdesi ile dönel yay rijitliği arasındaki ilişki elde edilmiş olur (denklem 2.24).

Prefabrik yapı elemanlarının bağılılık oranlarının hesabında, Monforton ve Wu (1963), Sekulovic ve Salatic (2001) tarafından tarif edilen dönel yay rijitlikleri ile kesitin bağılılık oranının yüzde cinsinden karşılığını veren denklem (2.24) kullanılmıştır.

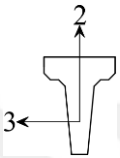
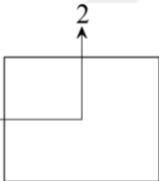
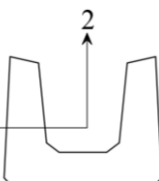
$$k_{i,j} = \frac{3EIv_{i,j}}{(1 - v_{i,j})L} \quad (2.24.a)$$

$$v_{i,j} = \frac{k_{i,j}L}{3EI + k_{i,j}L} \quad (2.24.b)$$

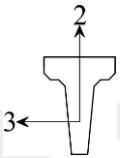
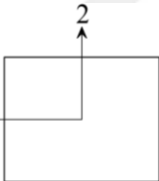
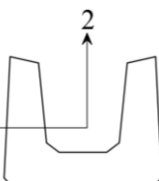
Burada,  $v_{i,j}$  dikkate alınan elemanın her iki ucundaki bağılılık oranı,  $k_{i,j}$  elemanın her iki ucundaki dönel yay rijitliği,  $L$  eleman uzunluğu,  $E$  elastisite modülü,  $I$  kesitin atalet momentini ifade etmektedir. Her bir bağılılık oranı için yapı taşıyıcı sistemini oluşturan konsollarda, aşıklarda, oluk kirişlerinde ve hatıl kirişlerinde elde edilen dönel yay rijitlikleri Tablo 2.13–2.14’de verilmiştir.

SAP2000 programında kesitler oluşturulurken global eksen takımı (X–Y–Z) ile lokal eksen takımı (1–2–3) dikkate alınır. Kolonların düşey, kirişlerin yatay taşıyıcı elemanlar olması sebebiyle lokal eksen takımları farklıdır. Prefabrik yapı elemanlarında dönel yay rijitlikleri hesaplanırken bu lokal eksenlere dikkat edilmesi gerekir.

Tablo 2.13. Her bir bağıllık oranı için 2-2 lokal ekseninde hesaplanan dönel yay rijitlikleri

Taşıyıcı Eleman Tipi		Uzunluk	Atalet Momenti	Bağıllık Yüzdesi	Dönel Yay Rijitliği
		(m)	(cm <sup>4</sup> )	(%)	(kNm/rad)
	Aşık Kirişi – 1	3.93	5996	0	0
				25	488.2230
				50	1464.671
				75	4394.015
				100	∞
	Aşık Kirişi – 2	7.90	5996	50	0
				25	242.8750
				50	728.6270
				75	2185.883
				100	∞
	Aşık Kirişi – 3	9.80	5996	0	0
				25	195.7870
50				587.3630	
75				1762.089	
100				∞	
	Kısa Kolon	0.02	266700	0	0
				25	4267200.0
				50	12801600
				75	38404800
				100	∞
	Oluk Kirişi – 1	3.93	307600	0	0
				25	25046.3100
				50	75138.9310
				75	225416.793
				100	∞
	Oluk Kirişi – 2	7.90	307600	0	0
				25	12459.7460
				50	37379.2400
				75	112137.721
				100	∞
	Oluk Kirişi – 3	9.80	307600	0	0
				25	10044.081
				50	30132.244
				75	90396.734
				100	∞

Tablo 2.14. Her bir bağıklık oranı için 3-3 lokal ekseninde hesaplanan dönel yay rijitlikleri

Taşıyıcı Eleman Tipi		Uzunluk	Atalet Momenti	Bağıklık Yüzdesi	Dönel Yay Rijitliği
		(m)	(cm <sup>4</sup> )	(%)	(kNm/rad)
	Aşık Kirişi – 1	3.93	25220	0	0
				25	2053.5360
				50	6610.6100
				75	18481.832
				100	∞
	Aşık Kirişi – 2	7.90	25220	0	0
				25	1021.569
				50	3064.708
				75	9194.126
	Aşık Kirişi – 3	9.80	25220	0	0
				25	823.5100
				50	2470.530
75				7411.591	
	Kısa Kolon	0.02	416700	0	0
				25	6667200.0
				50	20001600
				75	60004800
				100	∞
	Oluk Kirişi – 1	3.93	148500	0	0
				25	12091.6030
				50	36274.8090
				75	108824.427
	Oluk Kirişi – 2	7.90	148500	0	0
				25	6015.1890
				50	18045.569
				75	54136.708
	Oluk Kirişi – 3	9.80	148500	0	0
				25	4848.9790
				50	14546.938
				75	43640.816
					100

### 2.3.1.3. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapının Artımsal İtme Analizi ile Deprem Performansının Belirlenmesi

#### 2.3.1.3.1. Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliğinin Belirlenmesi

Taşıyıcı sistem elemanlarında çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri belirlenirken, kırışlar için çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliğinin çatlamamış kesitin rijitliğine oranı 0.4 olarak ele alınırken kolonlarda bu oranın bulunabilmesi için deprem hesabında kullanılacak kütlelerle uyumlu düşey yük analizi yapılmalıdır. Yapılan analiz sonucunda kolonlarda oluşan normal kuvvet değerine bağlı olarak çatlamış kesite ait olan eğilme rijitlikleri belirlenir. İncelenen prefabrik yapı depo olarak kullanıldığı için deprem hesabında kullanılacak kütlelerle uyumlu düşey yük kombinasyonu  $W = G + nQ = G + 0.8Q$  şeklinde dikkate alınmıştır.

Düşey yükler altında yapılan analiz sonucunda kolonlarda hesaplanan etkin rijitlik katsayıları Tablo 2.15’de verilmiştir. Kolonlar için yapılan hesap sonucu  $N_D/(A_c f_{cm}) < 0.10$  olması sebebiyle çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğinin çatlamamış kesitin rijitliğine oranı 0.4 olarak elde edilmiştir. İncelenen prefabrik yapıda, bütün bağıllık oranları için düşey yükler altında yapılan analiz sonucunda kolonlarda elde edilen eksenel yükler birbirine oldukça yakındır ve  $(EI)_e/(EI)_0$  oranını etkilememektedir. Bu nedenle Tablo 2.15’de sadece mafsallı bağlı yapıdan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablo 2.15’de  $N_D$  eksenel kuvveti,  $A_c$  en kesit alanını,  $f_{cm}$  ise mevcut beton dayanımını temsil etmektedir.

Tablo 2.15. Prefabrik yapı kolonlarına ait etkin eğilme rijitliği katsayıları

Kolon No	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$N_D$ (kN)	$N_D/(A_c f_{cm})$	$(EI)_e/(EI)_0$	Kolon No	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$N_D$ (kN)	$N_D/(A_c f_{cm})$	$(EI)_e/(EI)_0$
S1	0.20	-133.91	0.022	0.4	S11	0.20	-448.46	0.074	0.4
S2		-221.19	0.036	0.4	S12		-264.36	0.044	0.4
S3		-133.91	0.022	0.4	S13		-264.36	0.044	0.4
S4		-220.73	0.036	0.4	S14		-448.46	0.074	0.4
S5		-372.45	0.062	0.4	S15		-264.36	0.044	0.4
S6		-220.73	0.036	0.4	S16		-177.54	0.029	0.4
S7		-264.36	0.044	0.4	S17		-404.91	0.067	0.4
S8		-448.46	0.074	0.4	S18		-285.25	0.047	0.4
S9		-264.36	0.044	0.4	S19		-198.43	0.033	0.4
S10		-264.36	0.044	0.4	S20		-198.42	0.033	0.4



### 2.3.1.3.2. Artımsal İtme Analizinin Uygulanabilirlik Şartlarının İncelenmesi

Artımsal itme analizinin uygulanabilmesi için DBYBHY 2007’de bahsedilen üç ön koşul her bir bağıllık oranı için incelenmiştir.

- Bina kat sayısı =  $1 < 8$  olduğundan bir problem teşkil etmemektedir.
- Birinci hakim modun kütle katılım oranları Tablo 2.16’da verilmiştir. Tablo 2.16’den görülebileceği gibi mafsallı birleşimde x-doğrultusunda elde edilen modal kütle katılım oranını 0.70’den küçük olması sebebiyle itme analizi mafsallı birleşim için x-doğrultusunda yapılamaz. Diğer bağıllık oranları ve doğrultularda yapılabilir.

Tablo 2.16. Her bir bağıllık oranı için prefabrik yapıdaki modal kütle katılım oranları

Bağıllık Oranı	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
%0 (Mafsallı Birleşim)	<b>0.664 !</b>	0.886
%25	0.722	0.916
%50	0.912	0.899
%75	0.917	0.905
%100 (Rijit Birleşim)	0.954	0.916

- Bina burulma düzensizliği katsayıları Tablo 2.17–2.18’de her bir bağıllık oranı ve deprem doğrultusu için hesaplanmıştır. Binada bütün bağıllık oranları için burulma düzensizliği katsayısı 1.40’den küçük elde edilmiştir.

Tablo 2.17. X-doğrultusunda her bir bağıllık oranı için prefabrik yapıda elde edilen burulma düzensizliği katsayıları ( $\eta_{bix}$ )

Bağıllık Oranı (%)	$\Delta_{X(max)}$ (m)	$\Delta_{X(min)}$ (m)	$\Delta_{X(ort)}$ (m)	$\eta_{bix}$
0 (Mafsallı Birleşim)	0.055	0.027	0.041	1.341
25	0.041	0.023	0.032	1.281
50	0.041	0.028	0.034	1.188
75	0.040	0.029	0.034	1.159
100 (Rijit Birleşim)	0.040	0.030	0.035	1.142

Tablo 2.18. Y-doğrultusunda her bir bağıllık oranı için prefabrik yapıda elde edilen burulma düzensizliği katsayıları ( $\eta_{biy}$ )

Bağıllık Oranı (%)	$\Delta_{Y(max)}$ (m)	$\Delta_{Y(min)}$ (m)	$\Delta_{Y(ort)}$ (m)	$\eta_{biy}$
0 (Mafsallı Birleşim)	0.030	0.018	0.024	1.250
%25	0.050	0.033	0.041	1.204
%50	0.036	0.022	0.029	1.241
%75	0.033	0.021	0.027	1.222
100 (Rijit Birleşim)	0.032	0.021	0.026	1.207

Yukarıda bahsedilen koşullar ve hesaplamalar neticesinde binada sadece x-doğrultusunda mafsallı birleşim için artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanmasının uygun olmadığı görülmüştür.

#### **2.3.1.3.3. Plastik Mafsalların Sisteme Atanması**

Binaların sismik performansı değerlendirilirken plastik mafsallar, taşıyıcı sistem elemanlarının deprem sırasında en çok zorlanan uç bölgelerinde tanımlanmalıdır. Geçmiş yıllarda meydana gelen depremler sonrasında yapılan incelemelerden ve deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, prefabrik yapılarda en çok zorlanan bölgenin kolon–temel birleşimi olduğunu ve plastik mafsalların bu bölgede yoğunlaştığını göstermiştir (Çetinkaya, 2007; Özden vd., 2012; Seçkin vd., 2015; Posada ve Wood, 2002). Bunun sebebi prefabrik yapılarda kolonlar, temellere ankastre olarak bağlı iken yapıdaki diğer birleşimler genelde pimler ve cıvatalar ile teşkil edilmektedir. Bu durum taşıyıcı sistem elemanlarındaki yük dağılımını etkilemektedir.

İncelenen prefabrik yapıda kolon üst birleşimlerinin pimli veya cıvatalı birleşimlerle teşkil edilmesi sebebiyle plastik mafsalların sadece kolonların alt ucunda (kolon–temel birleşimi) meydana geleceği kabul edilmiştir. Kolonlar hem eğilmeye hem de normal kuvvete maruz kaldıkları için SAP2000 programında prefabrik kolonlara P–M2–M3 mafsalları atanmıştır.

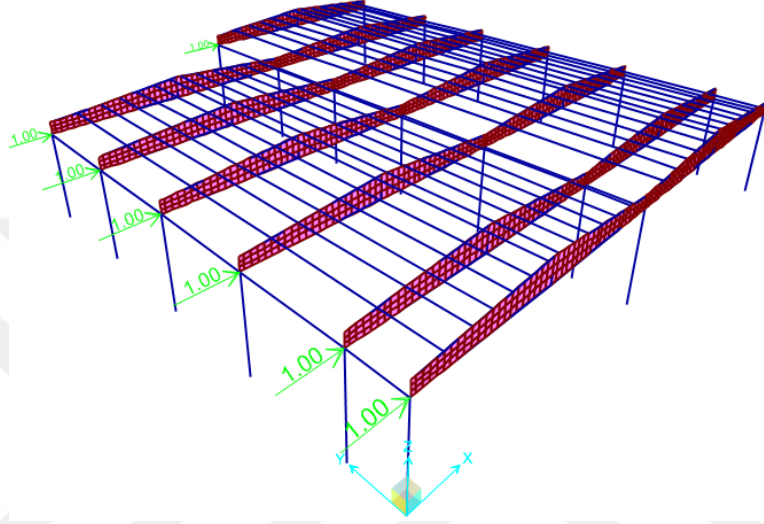
#### **2.3.1.3.4. İncelenen Prefabrik Yapı İçin Hedeflenen Performans**

İncelenen prefabrik yapıya ait statik projelerin mevcut olması sebebiyle bina bilgi düzeyi DBYBHY 2007’ye göre ‘kapsamlı’ olarak belirlenmiş ve bilgi katsayısı 1 alınmıştır. Yapı tehlikeli maddeler içermeyen ve depo olarak kullanılan bir endüstri yapısı olması sebebiyle tasarım depreminde hedeflenen performans seviyesi can güvenliği (CG)’dir.

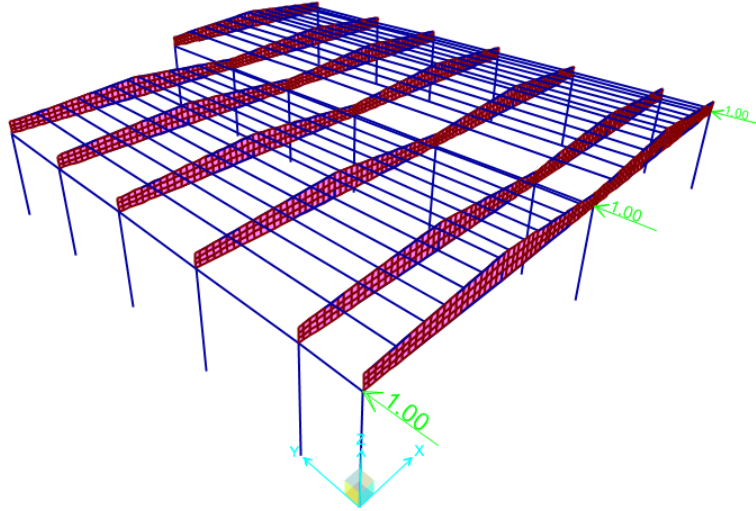
#### **2.3.1.3.5. İtme Analizinde Kullanılacak Yük Vektörünün Belirlenmesi**

Artımsal itme analizinde kullanılacak olan yük dağılımı, her katta deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kat kütlelerinin çarpımından

elde edilen değerle ( $m\Phi_{i1}$ ) orantılı olacak şekilde tanımlanmaktadır. İncelenen yapı tek katlı olması sebebiyle analizlerde prefabrik yapı 1 kN'luk yükle itilmiştir (Eğer yapı iki veya daha fazla kata sahip olsaydı itme analizi katların kütleleriyle ve mod genlikleriyle orantılı ( $m\Phi_{i1}$ ) olan yüklerle itilirdi.) İtme analizinde yüklemeler, yapının birleşim noktalarının pimli olması nedeniyle kolon üst ucuna yapılmıştır (Şekil 2.34–Şekil 2.35).



Şekil 2.34. İtme analizi için x-doğrultusundaki 1 kN'luk yükleme



Şekil 2.35. İtme analizi için y-doğrultusundaki 1 kN'luk yükleme

### **3. BULGULAR VE İRDELEMELER**

#### **3.1. Giriş**

Çalışmanın bu bölümünde, prefabrik yapıların deprem performansına kısmi bağıllık oranlarının etkisini incelemek üzere düğüm noktalarında %0 (mafsallı), %25, %50, %75 ve %100 (rijit) kısmi bağıllık oranlarının göz önüne alındığı mevcut bir prefabrik yapının hedef tepe yer değiştirme değerlerini ve performans düzeylerini elde etmek için yapılan artımsal eşdeğer deprem yükü analizinden elde edilen bulgular verilmiştir.

SAP2000 programında yapılan modal analiz sonucu farklı bağıllık oranlarında elde edilen mod şekillerindeki, periyotlardaki ve kütle katılım oranlarındaki değişimler incelenmiştir.

Yapıda, farklı kısmi bağıllık oranları ve DBYBHY 2007, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41-06 yönetmeliklerinin kullanılması durumunda hedef tepe yer değiştirme değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca DBYBHY 2007 ve ASCE 41-06 yönetmeliklerine göre yapının performans seviyeleri karşılaştırılmış ve kısmi bağıllığın prefabrik yapıların performans seviyelerine olan etkileri araştırılmıştır. Böylece hem kısmi bağıllığın yapı performansı üzerindeki etkisi hem de yönetmeliklerdeki farklılıklar incelenmiştir.

Yapıda her bir bağıllık oranı için prefabrik kolonlarda elde edilen kesme kuvveti istemleriyle, kolonların kesme kapasiteleri karşılaştırmalı olarak sunulmuş kesme kuvveti istemine bağlı olarak kolonların gevrek davranışa ilişkin incelemeler yapılmış ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

#### **3.2. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıya Ait Analiz Sonuçları**

##### **3.2.1. Modal Analiz**

Düğüm noktalarında %0 (mafsallı), %25, %50, %75 ve %100 (rijit) kısmi bağıllık oranlarının dikkate alındığı prefabrik yapının modal analizi sonucu elde edilen mod şekilleri

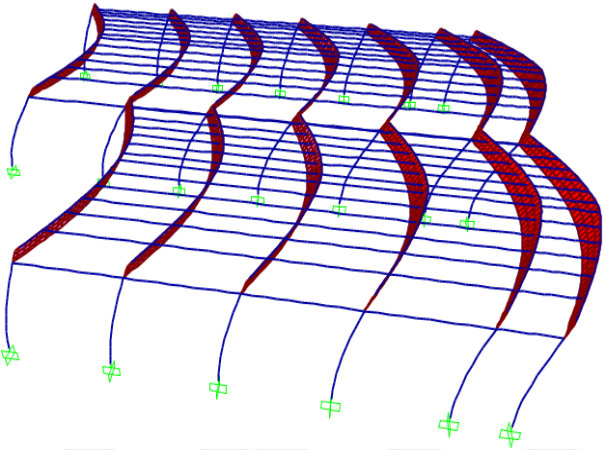
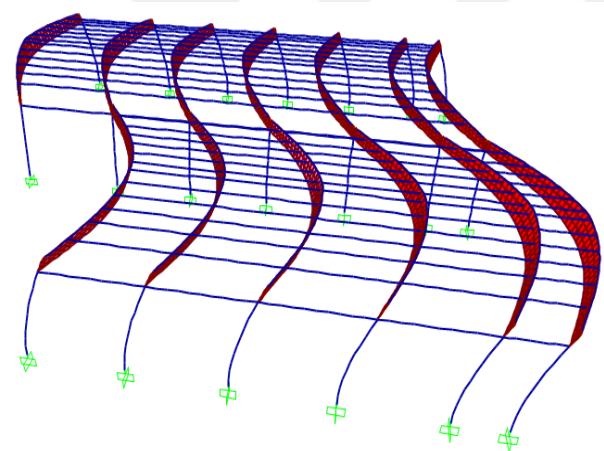
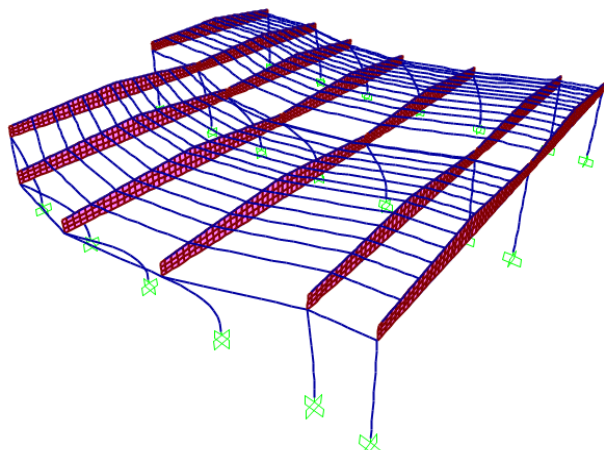
periyotlar ve kütle katılım oranları sunulmuştur. %0 (mafsallı) bağlı yapının ilk üç moduna ait mod şekilleri, periyotları ve kütle katılım oranları Tablo 3.1–3.5 arasında verilmiştir

Dikkate alınan bütün bağıllık oranları için prefabrik yapıda oluşan mod şekilleri incelendiğinde ilk mod şeklinin y-doğrultusunda yanal mod olduğu tespit edilmiştir. %0, %25, %50 bağıllık oranlarında ikinci mod şekli burulma, üçüncü mod şekli ise x-doğrultusunda yanal mod olarak gözlemlenmiştir. Ancak yapıda %75, %100 bağıllık oranları için ikinci mod şeklinin x-doğrultusunda yanal mod, üçüncü mod şeklinin burulma modu olduğu görülmüştür.

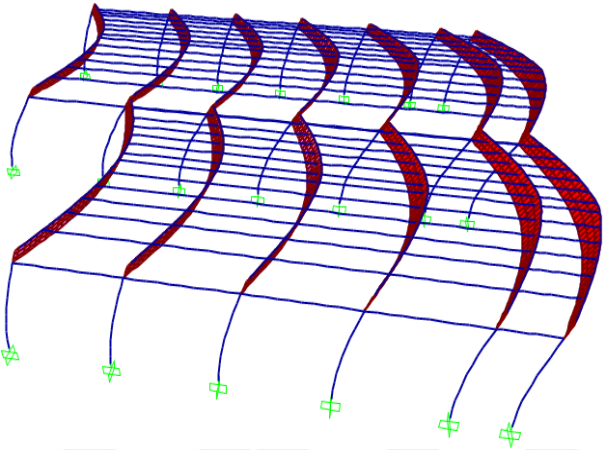
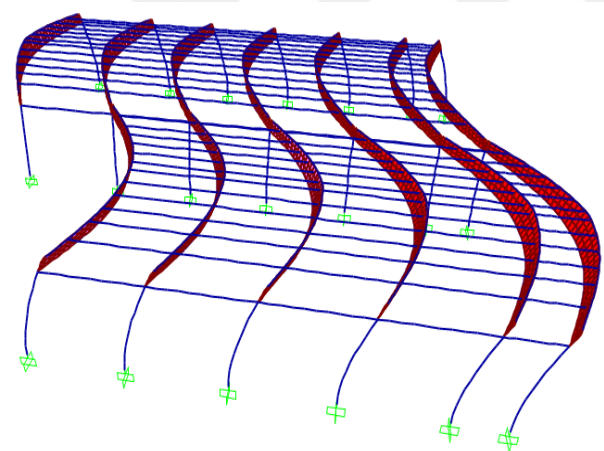
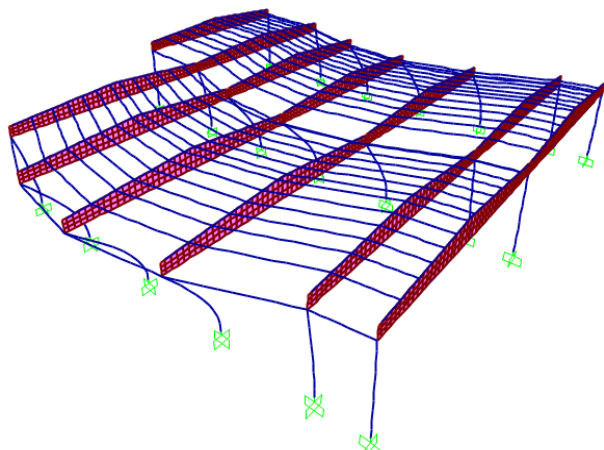
Sistemin hakim periyotları incelendiğinde, yapıda en büyük periyot değeri olan 3.080 sn mafsallı bağlı durumda elde edilirken, en küçük periyot değeri olan 1.361 sn ise rijit bağlı yapıda elde edilmiştir. Bu durum, yapının düğüm noktalarında bağıllık oranlarının artırılması ile yapıda büyük bir rijitlik artışı olduğunu göstermektedir.

Yapıdaki periyot değerlerine benzer şekilde modal kütle katılım oranları da bağıllık oranları ile birlikte her iki deprem doğrultusu içinde artmaktadır. Ayrıca Tablo 3.1–Tablo 3.5’den görülebileceği gibi mafsallı bağlı yapıda x-doğrultusu için elde edilen modal kütle katılım oranı hariç bütün değerlerin 0.70’den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple mafsallı bağlı yapının x-doğrultusu hariç bütün bağıllık oranlarında artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği görülmektedir.

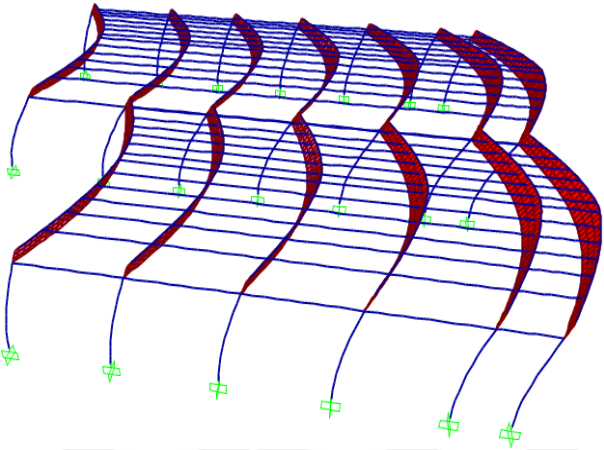
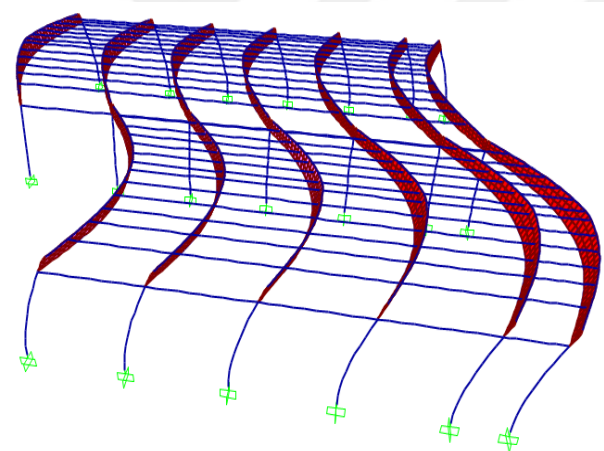
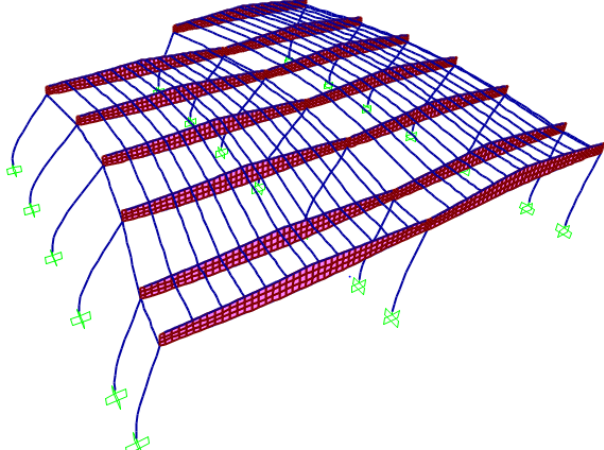
Tablo 3.1. %0 (mafsallı) bağı yapıya ait modal analiz sonuçları

%0 (Mafsallı) Bağı Yapıya Ait Modal Analiz Sonuçları				
Mod No	Mod Şekli	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranları	
			U <sub>x</sub> (%)	U <sub>y</sub> (%)
1	 <p>Y Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	3.080	0	88
2	 <p>Burulma Modu</p>	2.477	0	0.3
3	 <p>X Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.645	66	0

Tablo 3.2. %25 bağı yapıya ait modal analiz sonuçları

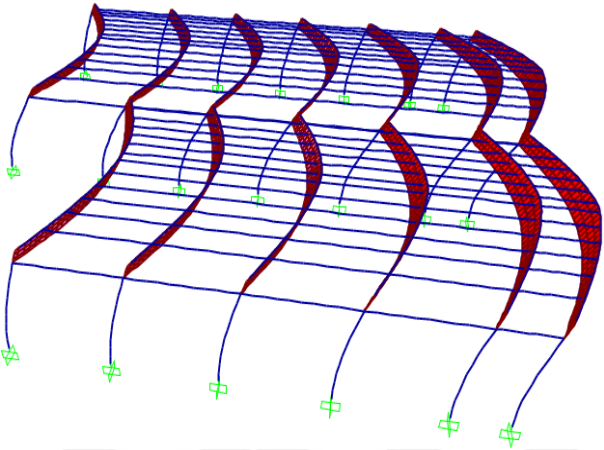
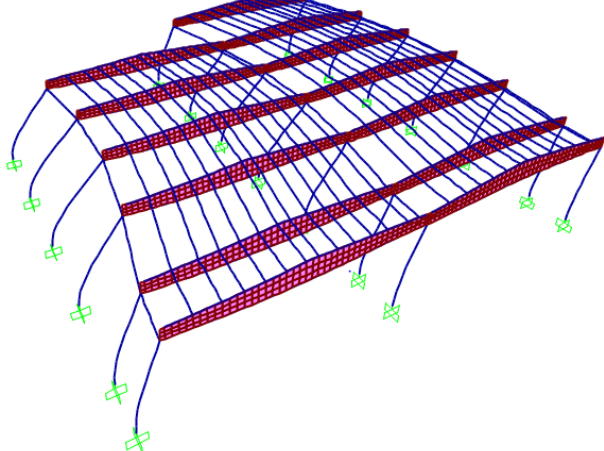
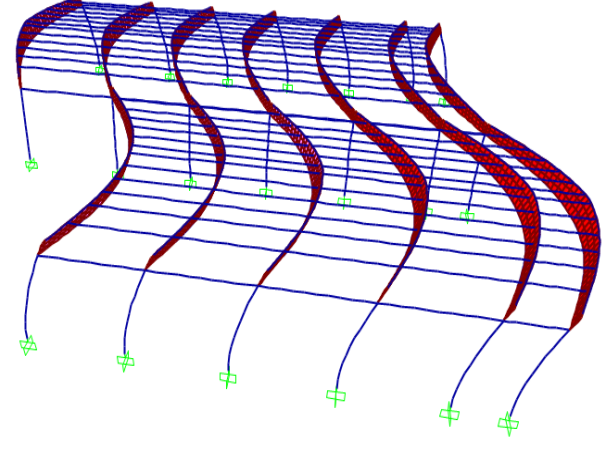
%25 Bağı Yapıya Ait Modal Analiz Sonuçları				
Mod No	Mod Şekli	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranları	
			U <sub>x</sub> (%)	U <sub>y</sub> (%)
1	 <p>Y Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.995	0	91
2	 <p>Burulma Modu</p>	1.691	0	0.9
3	 <p>X Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.286	72	0

Tablo 3.3. %50 bağı yapıya ait modal analiz sonuçları

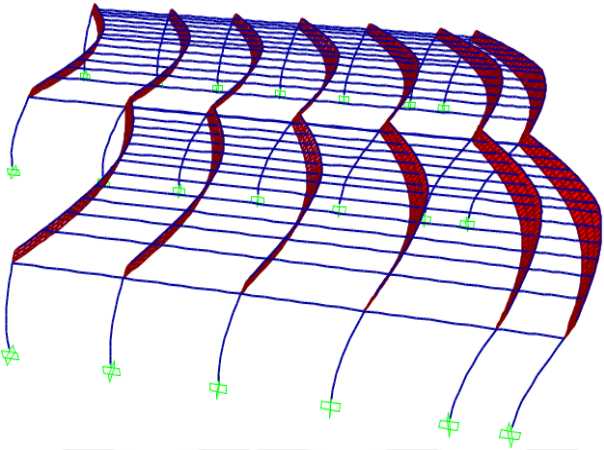
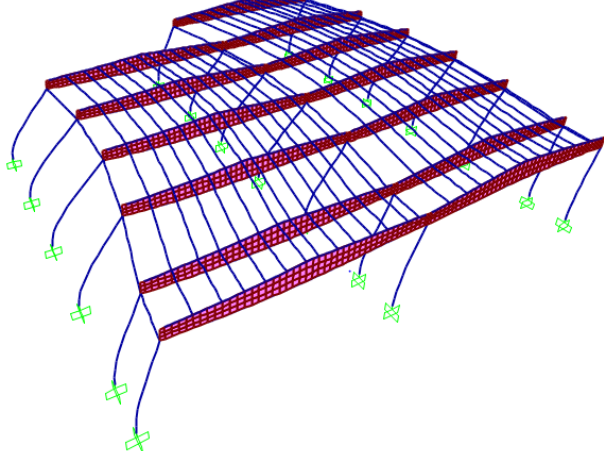
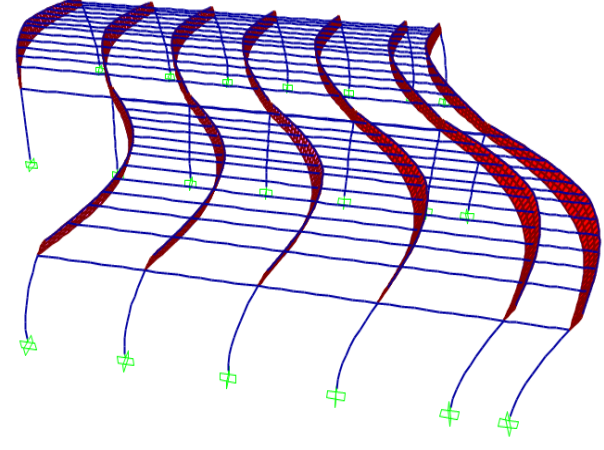
%50 Bağı Yapıya Ait Modal Analiz Sonuçları				
Mod No	Mod Şekli	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranları	
			U <sub>x</sub> (%)	U <sub>y</sub> (%)
1	 <p>Y Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.577	0	90
2	 <p>Burulma Modu</p>	1.313	0.2	0.6
3	 <p>X Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.243	91	0



Tablo 3.4. %75 bağı yapıya ait modal analiz sonuçları

%75 Bağı Yapıya Ait Modal Analiz Sonuçları				
Mod No	Mod Şekli	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranları	
			U <sub>x</sub> (%)	U <sub>y</sub> (%)
1	 <p>Y Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.458	0	91
2	 <p>X Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.236	92	0
3	 <p>Burulma Modu</p>	1.199	2.5	0.5

Tablo 3.5. %100 (rijit) bağı yapıya ait modal analiz sonuçları

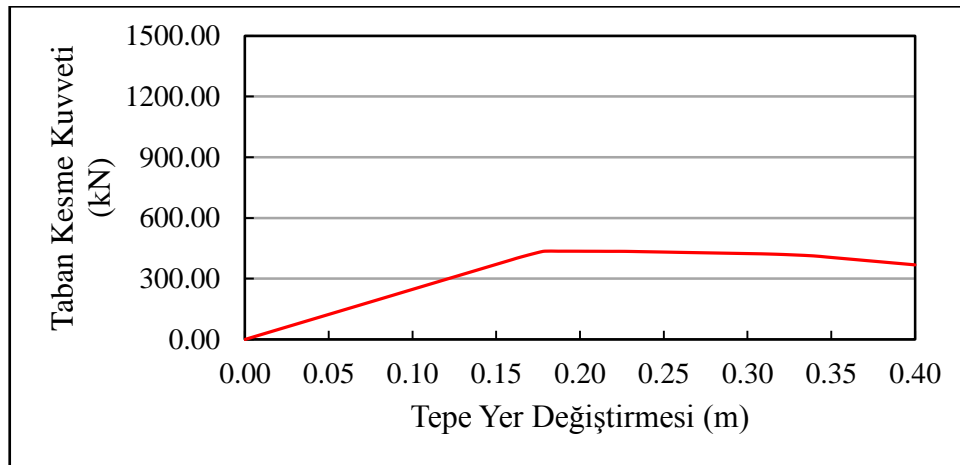
%100 (Rijit) Bağlı Yapıya Ait Modal Analiz Sonuçları				
Mod No	Mod Şekli	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranları	
			U <sub>x</sub> (%)	U <sub>y</sub> (%)
1	 <p>Y Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.361	0	92
2	 <p>X Doğrultusu (Yanal Mod)</p>	1.229	95	0
3	 <p>Burulma Modu</p>	1.108	0.8	0.3

### 3.2.2. İtme Eğrileri

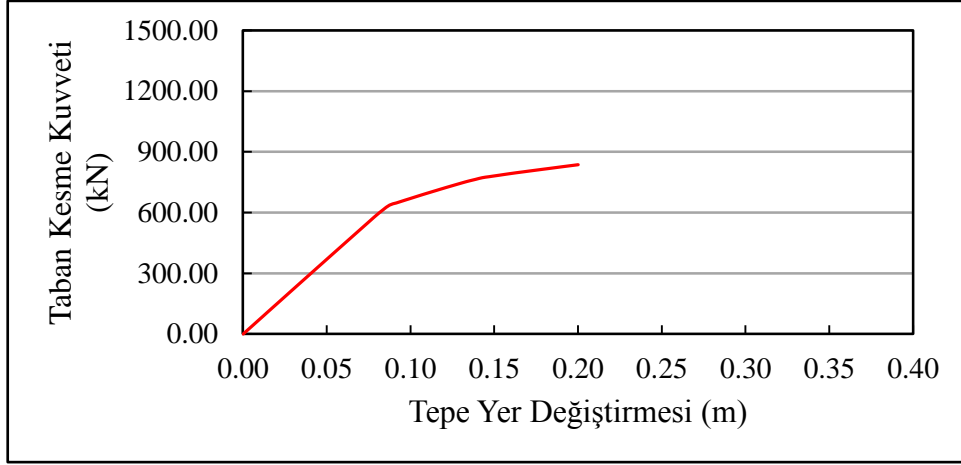
Düğüm noktalarında %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları dikkate alınan prefabrik yapıda artımsal itme analizi sonucunda, eksenleri tepe yer değiştirmesi–taban kesme kuvveti olan itme eğrileri elde edilmiş ve Şekil 3.1–3.5’de sunulmuştur. İtme eğrileri ile ilgili veriler, Ek 2’de, Ek Tablo 2.1, Ek Tablo 2.2, Ek Tablo 2.3, Ek Tablo 2.4 ve Ek Tablo 2.5 olarak verilmiştir.

Prefabrik yapıda x-doğrultusunda, taşıyıcı sistemdeki süreksizlikler nedeniyle kısmi bağıllığın etkisi belirgin olarak gözlemlenememiştir. Aynı deprem doğrultusu için, %0 bağıllık yapıda modal katkı oranının 0.70’den az olması DBYBHY 2007’ye göre itme analizi yapılamayacağını göstermiştir. Prefabrik yapının hem %0 hem de %100 bağıllık olması durumunda ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41–06’da verilen deprem talebini karşılamaması sebebiyle bu bağıllık oranları için itme analizi yapılamamıştır. Bu sebeplerden dolayı artımsal itme analizi sadece y-doğrultusunda yapılmıştır.

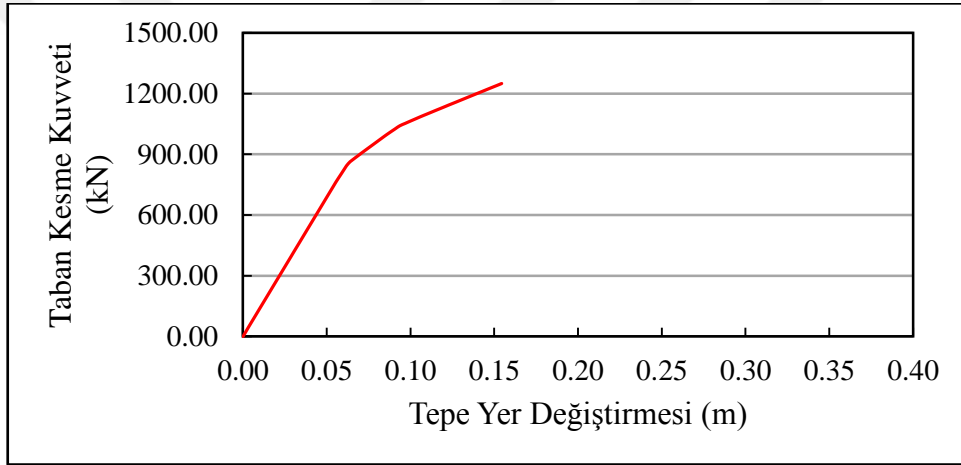
Şekil 3.1–Şekil 3.5’den görülebileceği gibi bağıllık oranı arttıkça, yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetleri artmış buna karşılık tepe yer değiştirme değerleri ise azalmıştır. Bu durum, tasarım ve analizleri sırasında genellikle düğüm noktaları mafsallı bağıllık kabul edilen prefabrik yapılarda olası bir depremde beklenmedik hasarların oluşabileceğini göstermektedir. Daha açık bir ifade ile düğüm noktaları mafsallı bağıllık kabul edilen yapının gerçekte beklenenden daha az sünek davrandığını, kolonların ve pimlerin olası bir depremde tasarımında dikkate alınan deprem yüklerinden daha büyük deprem yükleri alacağını göstermektedir.



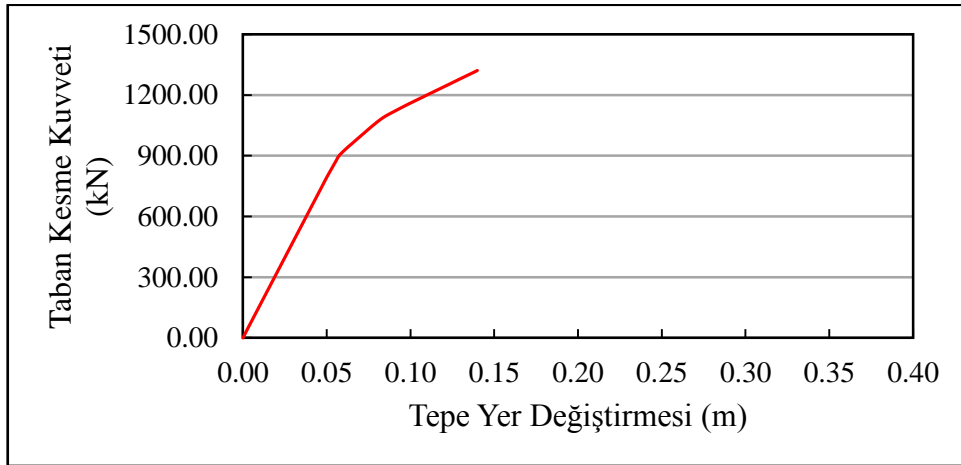
Şekil 3.1. %0 (mafsallı) bağıllık oranı için y-doğrultusu itme eğrisi



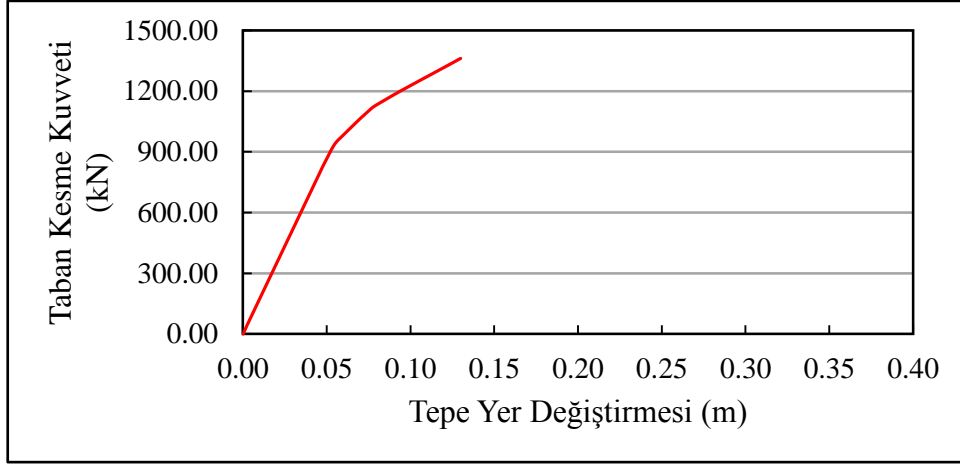
Şekil 3.2. %25 bağlilik oranı için y-doğrultusu itme eğrisi



Şekil 3.3. %50 bağlilik oranı için y-doğrultusu itme eğrisi



Şekil 3.4. %75 bağlilik oranı için y-doğrultusu itme eğrisi



Şekil 3.5. %100 (rijit) bağıllık oranı için y-doğrultusu itme eğrisi

### 3.2.3. Hedef Tepe Yer Değişirme İstemleri ve Taban Kesme Kuvvetleri

Düğüm noktalarında çeşitli bağıllık oranlarına sahip prefabrik yapının performans değerlendirmesi yapılırken artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde dikkate alınan ve DBYBHY 2007, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41-06 yönetmeliklerinde bahsedilen formüllerle belirlenen hedef tepe yer değişirme istemleri ve taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir. FEMA 356 ve ASCE 41-06 yönetmelikleri, hedef tepe yer değişirme istemlerini katsayı yöntemini kullanarak hesaplarken ATC 40, FEMA 440 ve DBYBHY 2007 yönetmelikleri ise kapasite spektrum yöntemini kullanmaktadır. Katsayı yönteminde yapı için belirlenen bazı katsayılar kullanılarak hesap yapıldığından dolayı FEMA 356 ve ASCE 41-06 yönetmeliklerinde sadece itme eğrileri sunulmuştur. Kapasite spektrum yönteminde ise yapının modal kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesiştirilmesi suretiyle hesap yapıldığı için itme eğrisi, modal kapasite eğrisine dönüştürülmüştür. Bu sebeple DBYBHY 2007, ATC 40 ve FEMA 440 yönetmelikleri için hem itme eğrileri hem de modal kapasite eğrileri verilmiştir.

Bağıllık oranları arttıkça incelenen yapı için bütün yönetmeliklerde hesaplanan hedef tepe yer değişirme istemleri azalmış, taban kesme kuvvetleri ise artmıştır. Her bir yönetmelik, performans değerlendirmesinde farklı yaklaşımlar benimsedikleri için hesaplanan değerlerde az da olsa farklılıklar gözlenmiştir. Yukarıda bahsedilen yönetmelikler için elde edilen hedef tepe yer değişirmeler ve taban kesme kuvvetleri aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

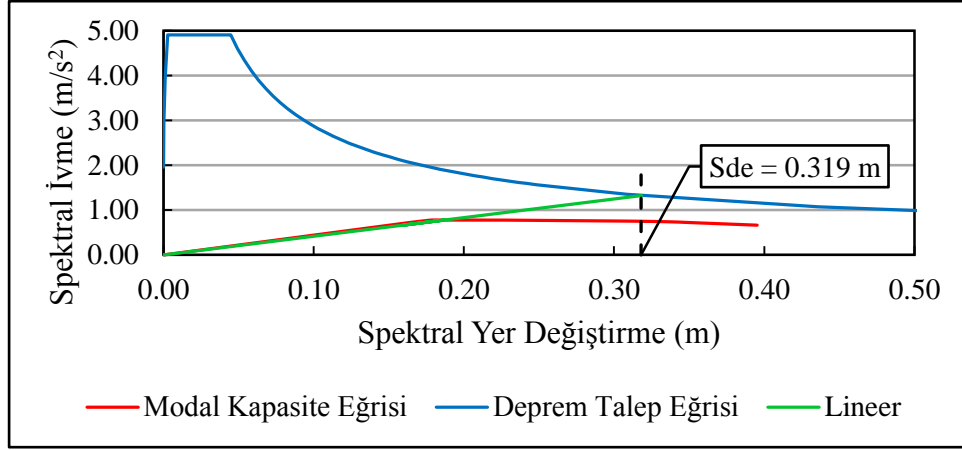
### 3.2.3.1. DBYBHY 2007

Bu yöntemde amaç yapının lineer olmayan kapasite eğrisinin lineer başlangıç teğetiyle, deprem talep eğrisinin kesiştirilerek yapının performans noktasının belirlenmesidir. Bulunan performans noktası lineer davranışı temsil eder. Yapının lineer olmayan davranıştan elde edilen performans noktasını bulmak için lineer davranıştan elde edilen yer değiştirme değerleri spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ) ile çarpılır. Bütün bağıllık oranlarında  $T_1 > T_B$  olduğu için  $C_{R1}=1$  olarak dikkate alınmıştır. Yapı tek katlı olması sebebiyle modal katkı faktörü ( $\Gamma$ ) ve modal genlik ( $\Phi$ ) 1 olarak hesaplanmıştır. Prefabrik yapının itme eğrisinin, modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi sırasında yapılan hesaplamalar %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için sırasıyla Ek 5'te, Ek Tablo 5.1, Ek Tablo 5.2, Ek Tablo 5.3, Ek Tablo 5.4 ve Ek Tablo 5.5 olarak verilmiştir. %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için yapının itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ve itme eğrileri Şekil 3.6–Şekil 3.15'de verilmiştir. Ayrıca her bir bağıllık oranı için yapının hedef tepe yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılan veriler Tablo 3.6'da verilmiştir.

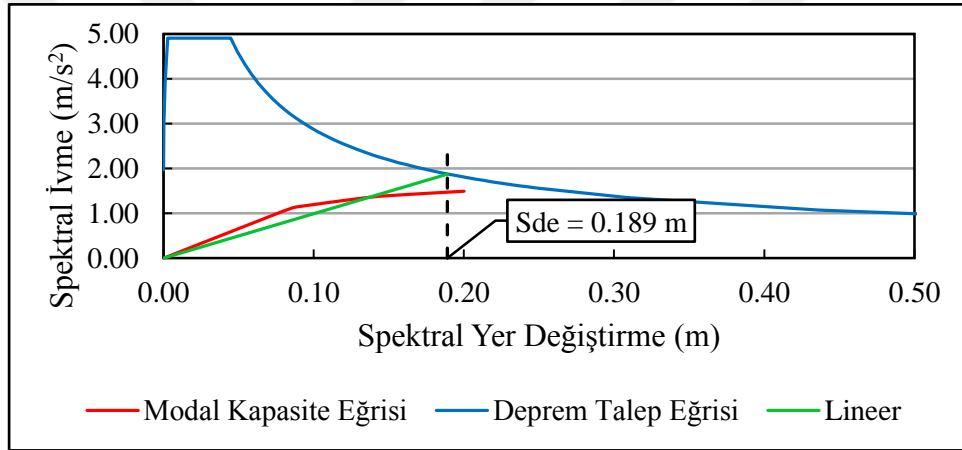
Tablo 3.6. Performans noktası belirlenirken DBYBHY 2007'ye göre kullanılan değerler

Bağıllık Oranı (%)	$\Gamma$	M (kNs <sup>2</sup> /m)	$\Phi$	$C_{R1}$	$S_{de}$ (m)	$S_{ae}$ (m/s <sup>2</sup> )	$S_{di} = C_{R1}S_{de}$ (m)	$u = \Phi \Gamma S_{di}$ (m)	$V_t$ (kN)
0	1.0	560.55	1.0	1.0	0.318	1.325	0.318	0.319	418.717
25					0.191	1.875	0.189	0.189	826.946
50					0.142	2.263	0.142	0.142	1206.778
75					0.129	2.410	0.129	0.129	1278.248
100					0.119	2.546	0.119	0.119	1319.574

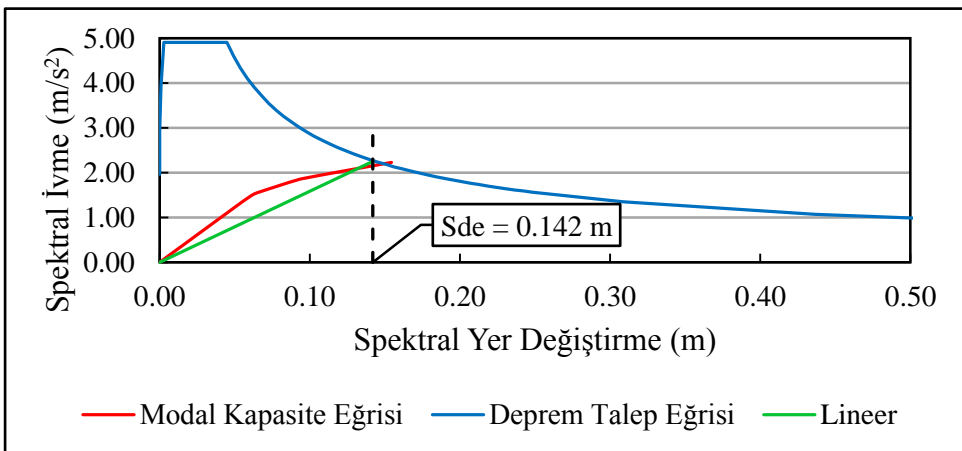
Şekil 3.6–Şekil 3.15 ve Tablo 3.6'dan görülebileceği gibi bağıllık oranı arttıkça prefabrik yapıda elde edilen taban kesme kuvveti artarken, tepe yer değiştirme değerleri azalmaktadır. DBYBHY 2007'ye göre, %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için prefabrik yapıda itme analizi sonucunda elde edilen tepe yer değiştirme değerleri sırasıyla 0.319 m, 0.189 m, 0.142 m, 0.129 m ve 0.119 m'dir. Taban kesme kuvvetleri ise sırasıyla 418.717 kN, 826.946 kN, 1206.778 kN, 1278.248 kN ve 1319.574 kN'dur.



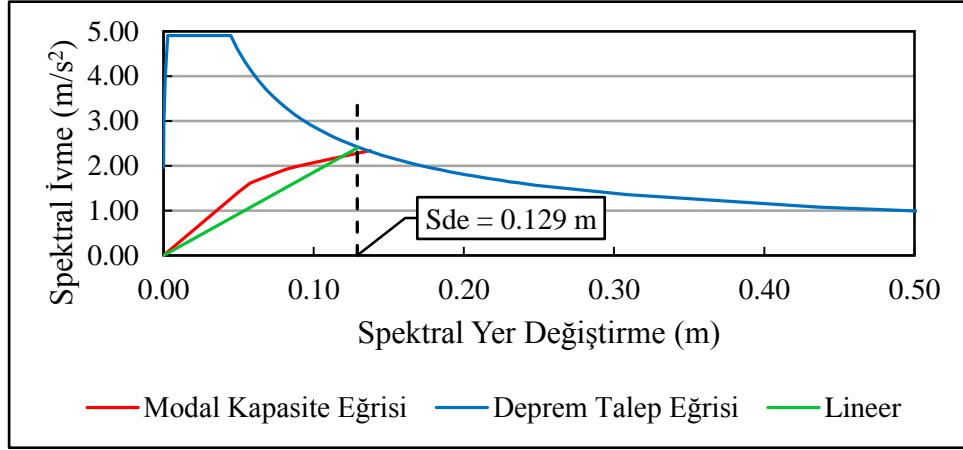
Şekil 3.6. DBYBHY 2007'ye göre %0 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme



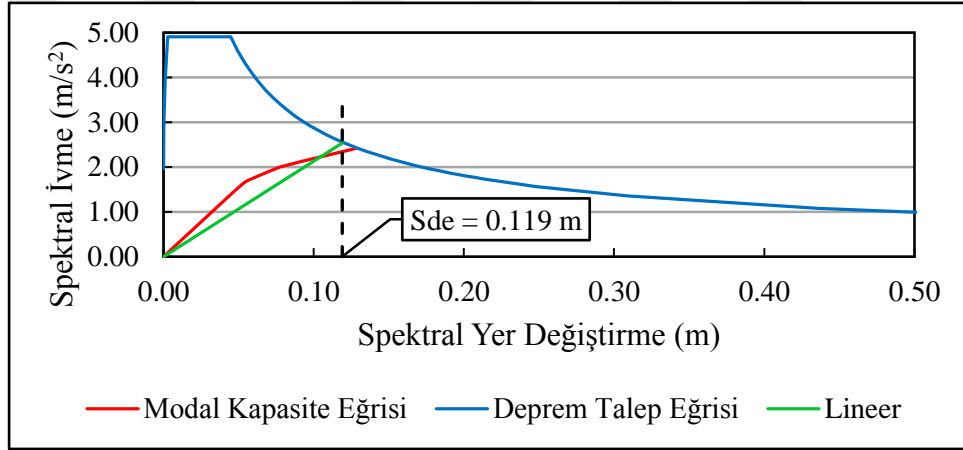
Şekil 3.7. DBYBHY 2007'ye göre %25 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme



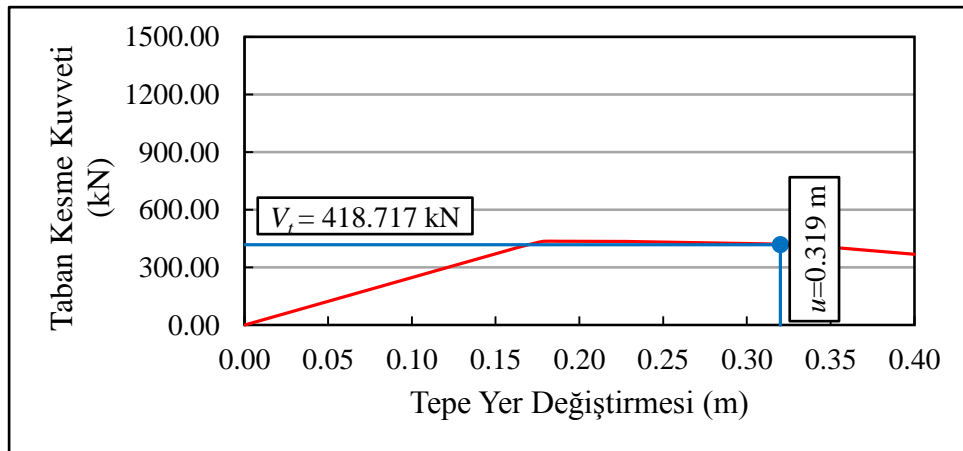
Şekil 3.8. DBYBHY 2007'ye göre %50 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme



Şekil 3.9. DBYBHY 2007'ye göre %75 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme

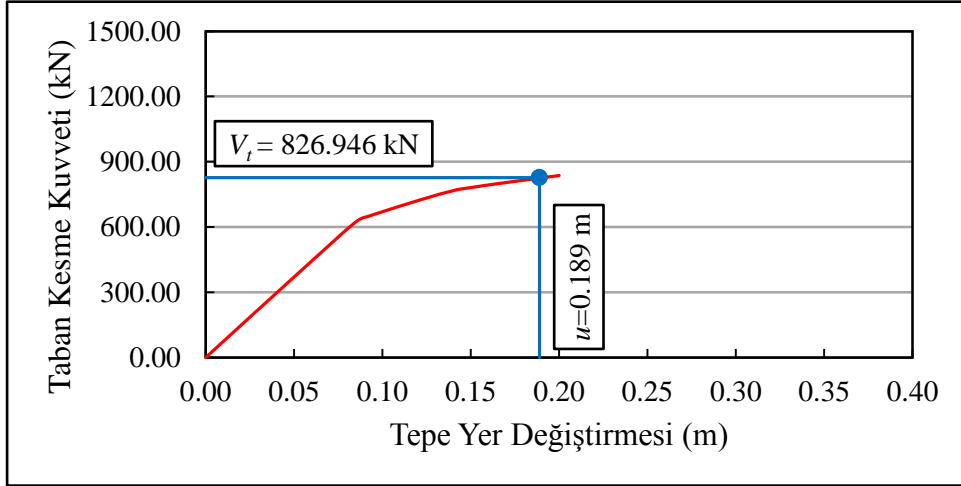


Şekil 3.10. DBYBHY 2007'ye göre %100 bağıllık oranı için doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme

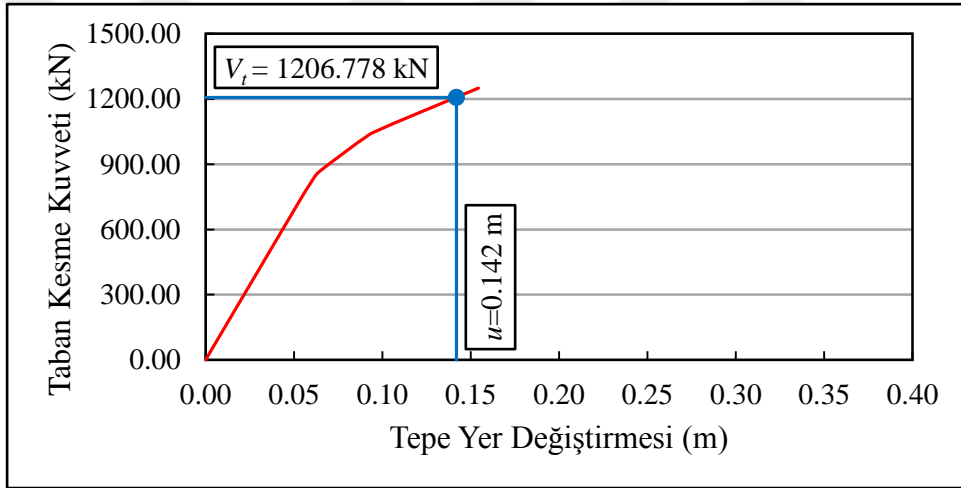


Şekil 3.11. DBYBHY 2007'ye göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi

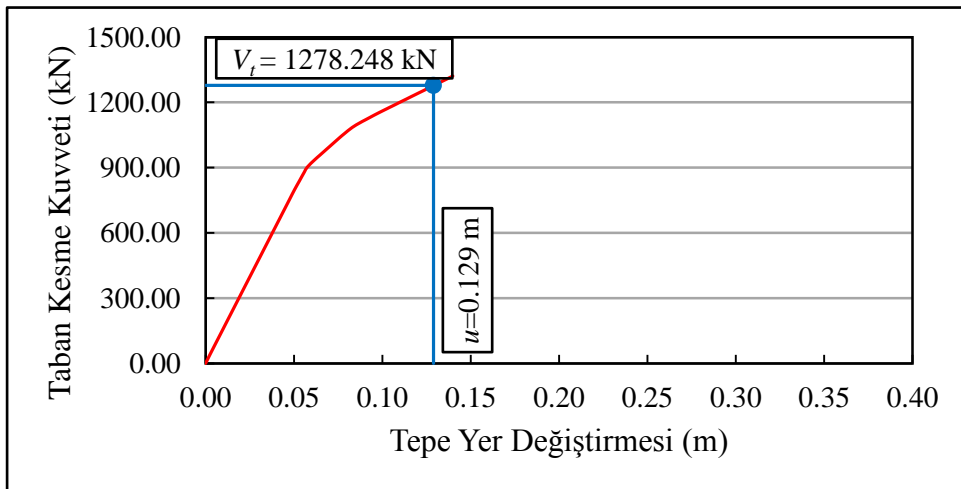




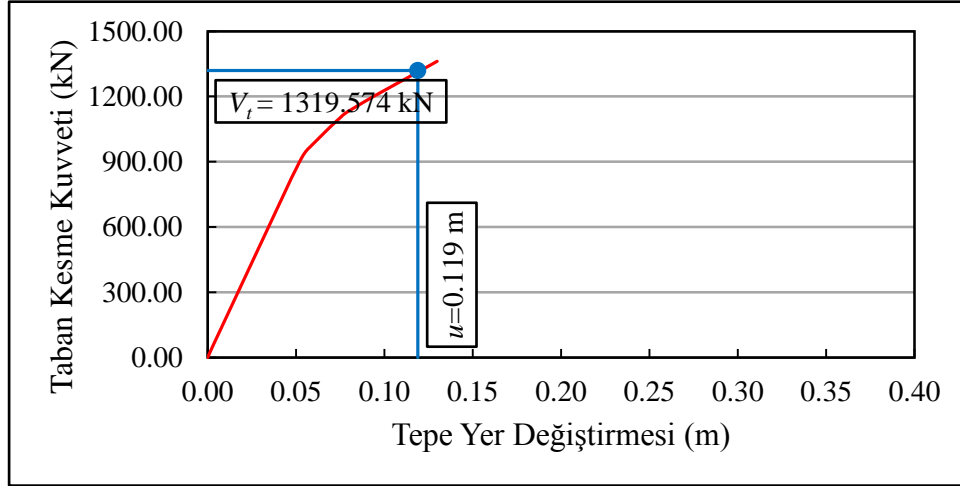
şekil 3.12. DBYBHY 2007'ye göre %25 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.13. DBYBHY 2007'ye göre %50 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.14. DBYBHY 2007'ye göre %75 bağlılık oranı için itme eğrisi



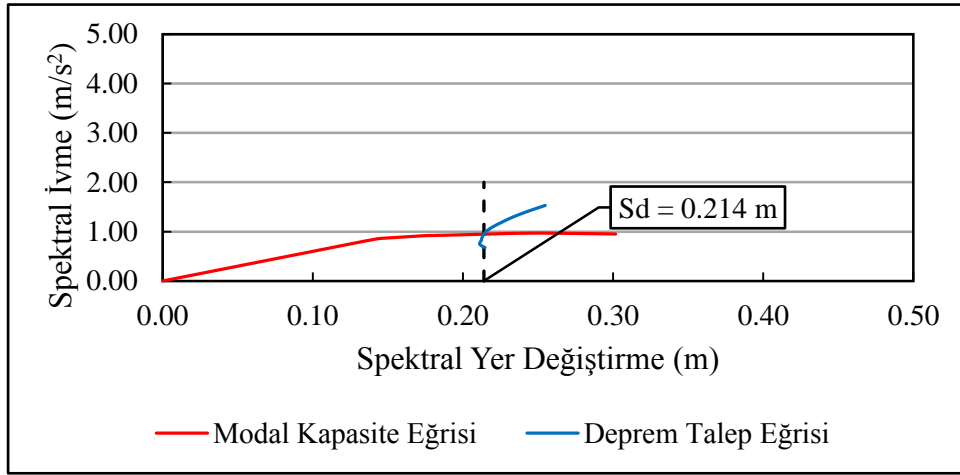
Şekil 3.15. DBYBHY 2007'ye göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi

### 3.2.3.2. ATC 40 Kapasite Spektrum Yöntemi

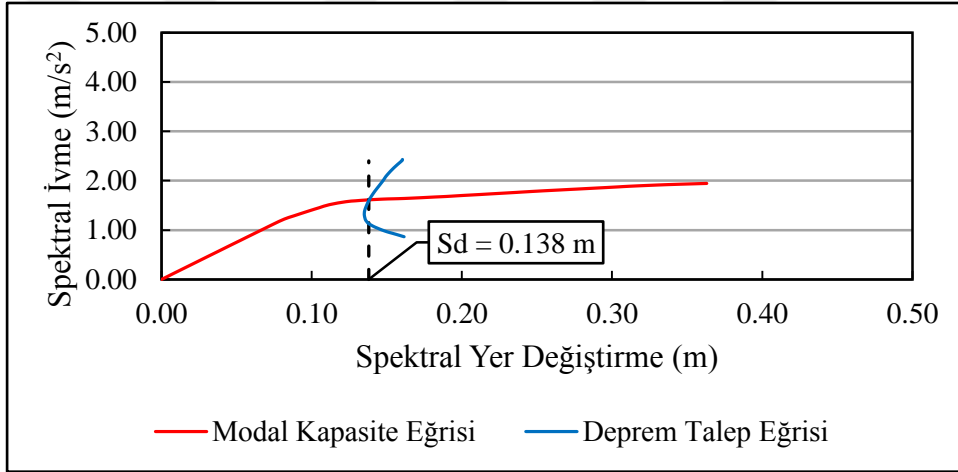
Bu yöntemde amaç yapının kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesiştirilerek yapının performans noktasının belirlenmesidir. Performans noktası belirlenirken SAP2000 programından elde edilen veriler kullanılmıştır. Yapılan hesap adımları sonucu %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için elde edilen veriler sırasıyla Ek 3'te, Ek Tablo 3.1, Ek Tablo 3.2, Ek Tablo 3.3, Ek Tablo 3.4 ve Ek Tablo 3.5 olarak verilmiştir. %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için yapının itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ve itme eğrileri Şekil 3.16–Şekil 3.25'de verilmiştir. ATC 40'a göre, %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için prefabrik yapıda itme analizi sonucunda elde edilen tepe yerdeğiştirme değerleri sırasıyla 0.289 m, 0.153 m, 0.110 m, 0.102 m ve 0.097 m'dir. Taban kesme kuvvetleri ise yerdeğiştirmenin aksine artarak sırasıyla 425.827 kN, 785.649 kN, 1099.681 kN, 1169.736 kN ve 1216.120 kN olarak elde edilmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Performans noktası belirlenirken ATC 40'a göre kullanılan değerler

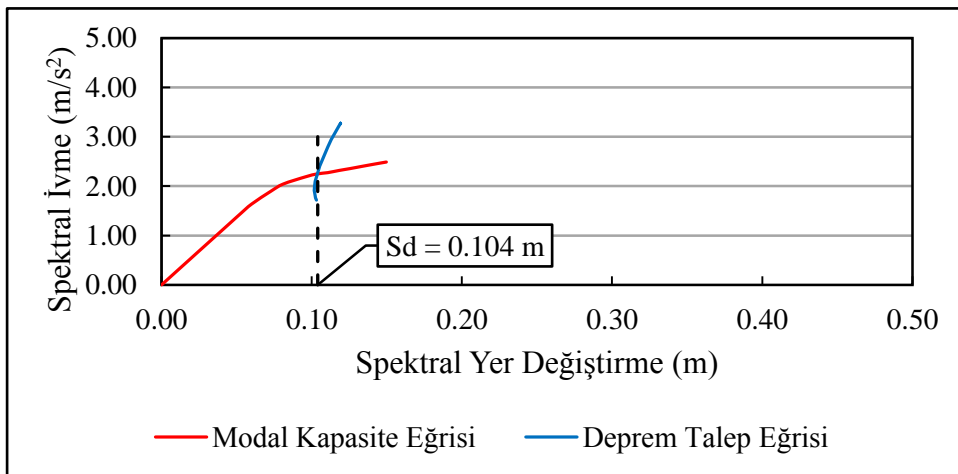
Bağıllık Oranı (%)	PF $\phi$	$\alpha$	M (ton)	$S_d (T_{eq}, \beta_{eq})$ (m)	$S_a$ (m/s <sup>2</sup> )	$\delta = PF\phi S_d$ (m)	$V_t$ (kN)
0	1.354	0.799	560.55	0.214	0.951	0.289	425.827
25	1.108	0.871		0.138	1.608	0.153	785.649
50	1.057	0.873		0.104	2.246	0.110	1099.681
75	1.051	0.872		0.097	2.393	0.102	1169.736
100	1.043	0.871		0.093	2.491	0.097	1216.120



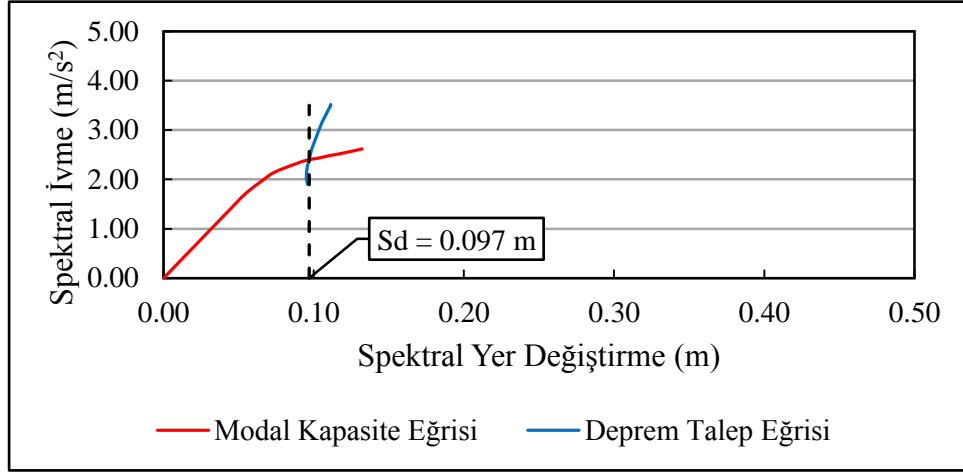
Şekil 3.16. ATC 40'a göre %0 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



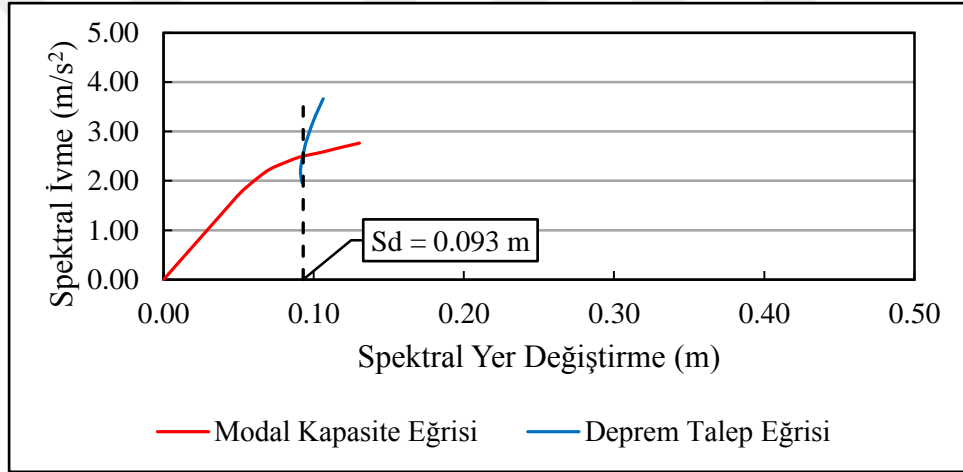
Şekil 3.17. ATC 40'a göre %25 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



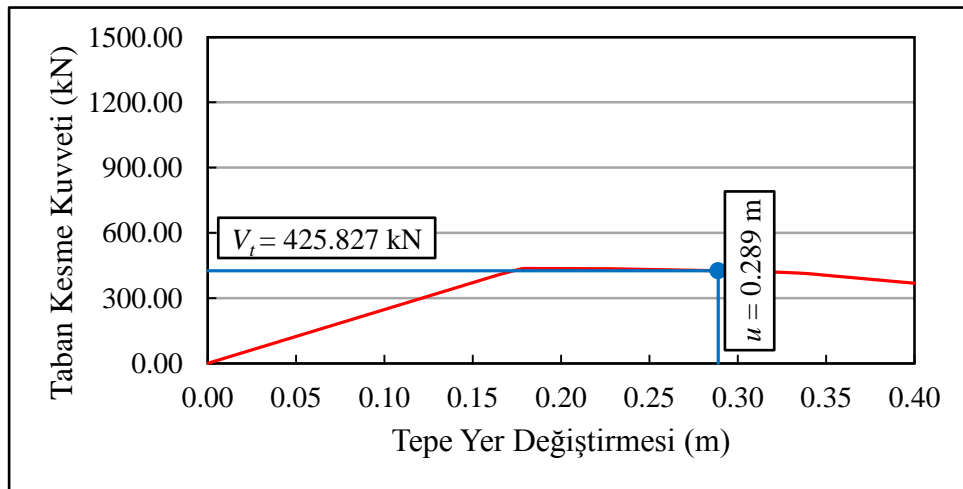
Şekil 3.18. ATC 40'a göre %50 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



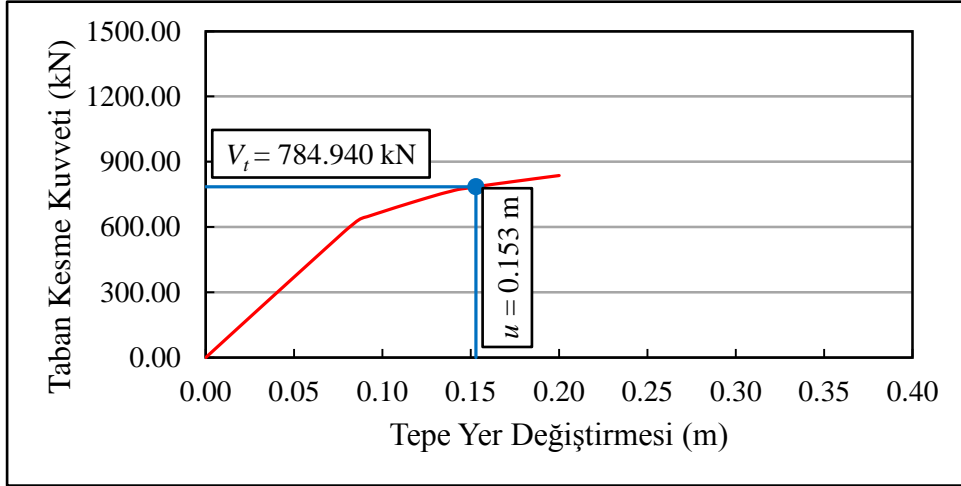
Şekil 3.19. ATC 40'a göre %75 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



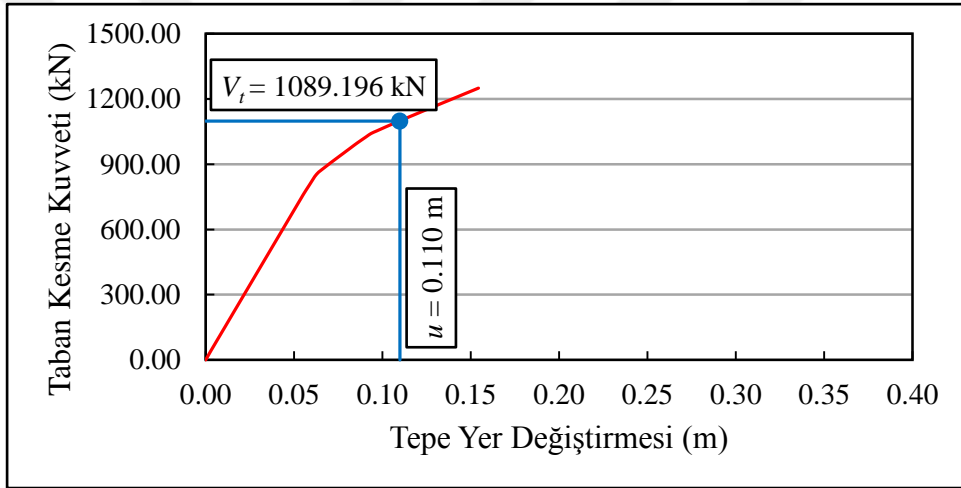
Şekil 3.20. ATC 40' göre %100 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



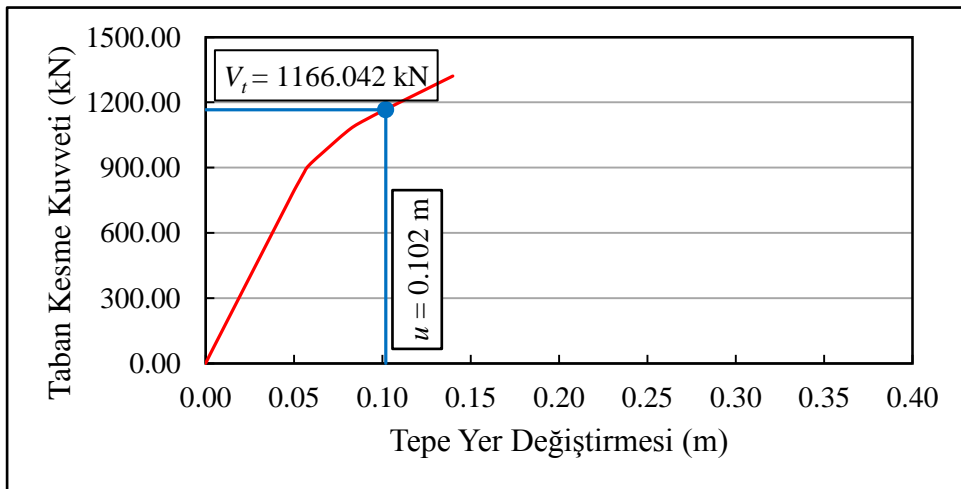
Şekil 3.21. ATC 40'a göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi



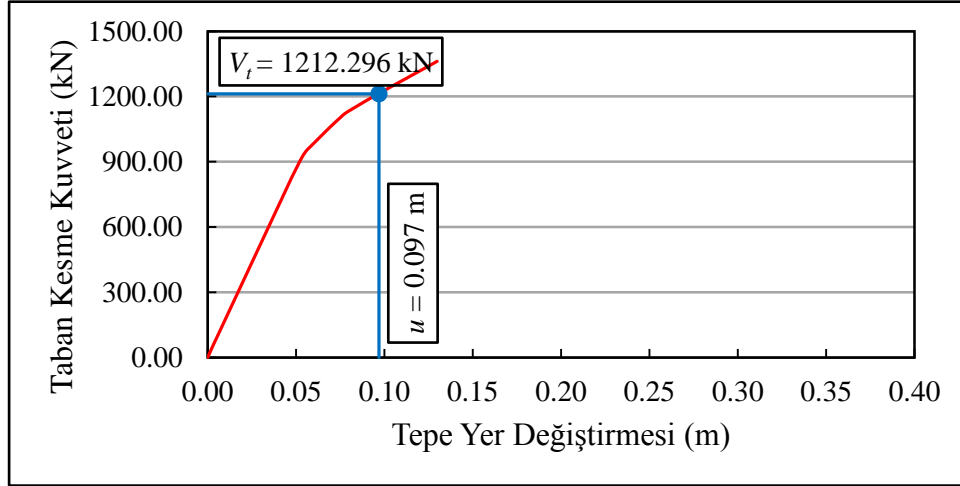
şekil 3.22. ATC 40'a göre %25 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.23. ATC 40'a göre %50 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.24. ATC 40'a göre %75 bağlılık oranı için itme eğrisi



Şekil 3.25. ATC 40'a göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi

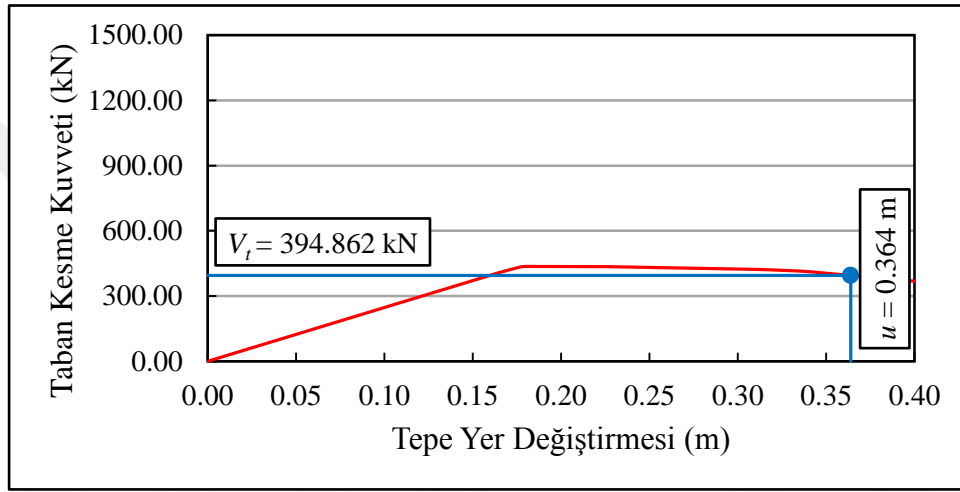
### 3.2.3.3. FEMA 356 Katsayı Yöntemi

Bu yöntemde amaç belli katsayılar kullanılarak yapının performans noktasının belirlenmesidir. Performans noktası belirlenirken SAP2000 programından elde edilen veriler ve FEMA 356 yönetmeliğinde verilen katsayılar kullanılmıştır. %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için yapının itme analizi sonucu elde edilen itme eğrileri Şekil 3.26–Şekil 3.30'da verilmiştir. Ayrıca her bir bağıllık oranı için yapının hedef tepe yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılan veriler Tablo 3.8'de verilmiştir. Bu tabloda,  $C_0$  yapının modal katkı faktörü olup SAP2000 programından elde edilmiştir.  $C_1$ ,  $T_e > T_B$  olduğu için 1 alınmıştır (denklem 1.23).  $T_e$  etkili periyot değeri ise denklem 1.21 ile bulunmuştur.  $C_2$  katsayısı  $T_e$ 'ye bağlı olarak Tablo 1.7'den 1.1 alınmıştır.  $C_3$  katsayısı, itme eğrisinin eğimi pozitif olması nedeniyle 1 alınmıştır (denklem 1.24).

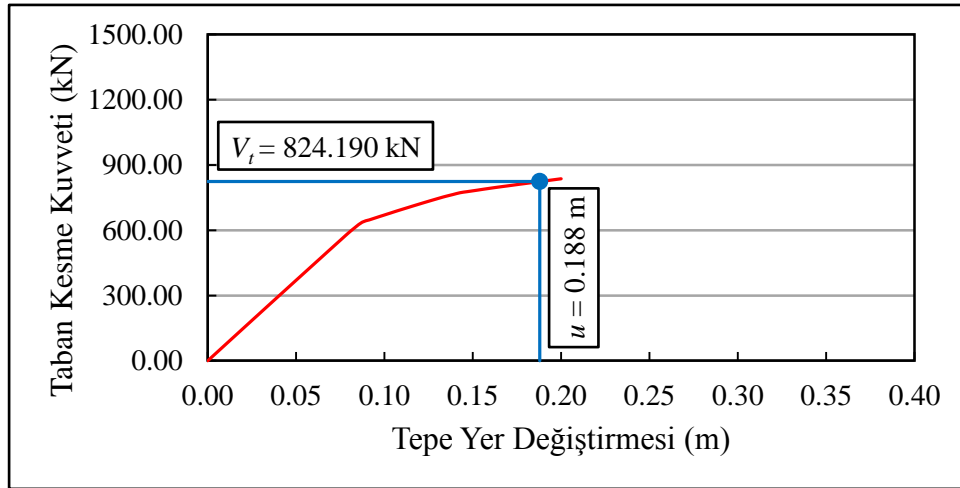
Tablo 3.8. Performans noktası belirlenirken FEMA 356'ya göre kullanılan değerler

Bağıllık Oranı (%)	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$S_a$ (g)	$T_e$ (s)	$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_{ag}(T_e^2/4\pi^2)$ (m)	$V_t$ (kN)
0	1.346	1.0	1.1	1.0	0.151	2.564	0.364	394.862
25	1.106				0.240	1.614	0.190	827.626
50	1.065				0.323	1.199	0.136	1192.875
75	1.056				0.346	1.119	0.126	1271.498
100	1.052				0.361	1.071	0.120	1324.871

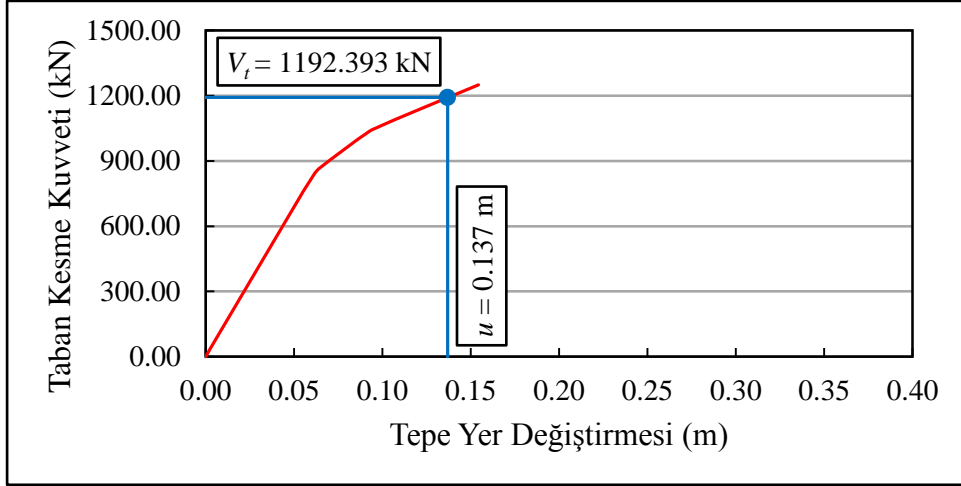
FEMA 356'ya göre, %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için prefabrik yapıda itme analizi sonucunda elde edilen tepe yer değiştirme değerleri sırasıyla 0.364 m, 0.190 m, 0.136 m, 0.126 m ve 0.120 m'dir. Taban kesme kuvvetleri ise yerdeğiştirmenin aksine artarak sırasıyla 394.862 kN, 827.626 kN, 1192.875 kN, 1271.498 kN ve 1324.871 kN olarak elde edilmiştir (Tablo 3.8). FEMA 356'ya göre elde edilen yerdeğiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri, DBYBHY 2007, ATC 40, FEMA 440 ve ASCE 41-06 yönetmeliklerine göre elde edilen yer değiştirmelerinden daha büyüktür.



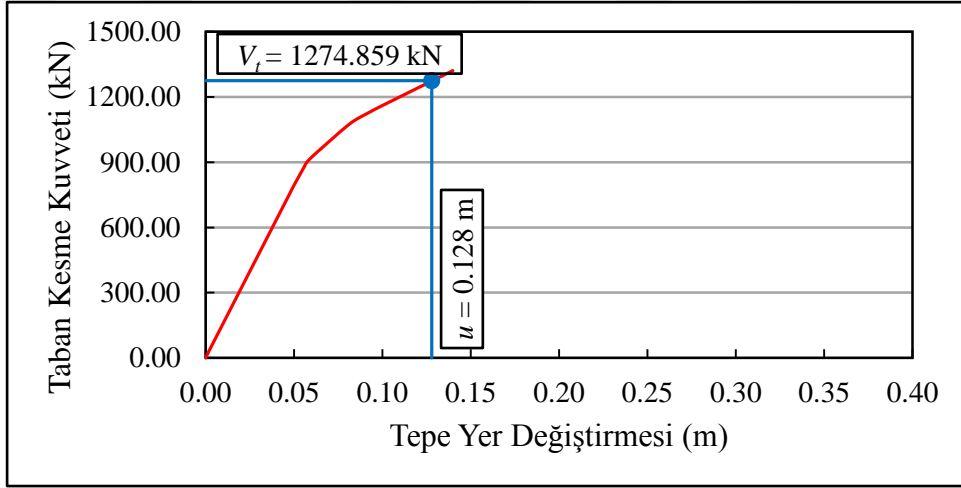
Şekil 3.26. FEMA 356'ya göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi



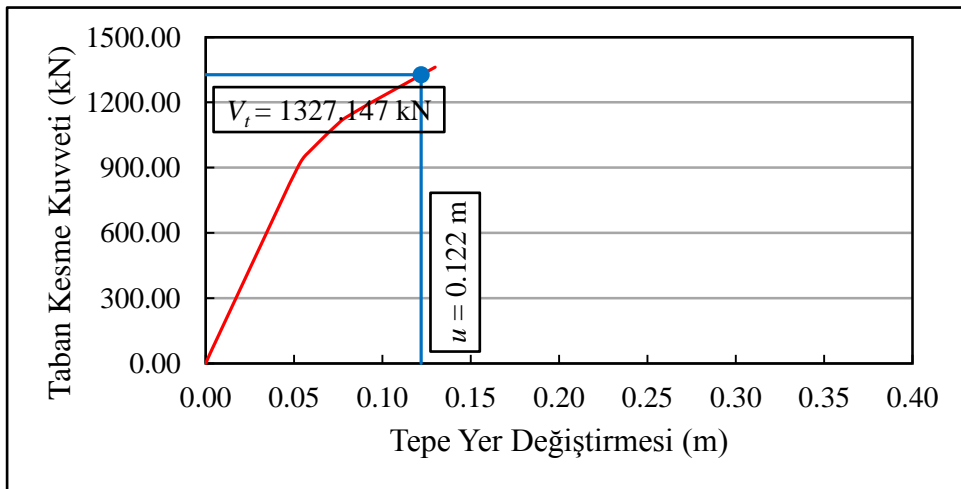
Şekil 3.27. FEMA 356'ya göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi



şekil 3.28. FEMA 356'ya göre %50 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.29. FEMA 356'ya göre %75 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.30. FEMA 356'ya göre %100 bağlılık oranı için itme eğrisi



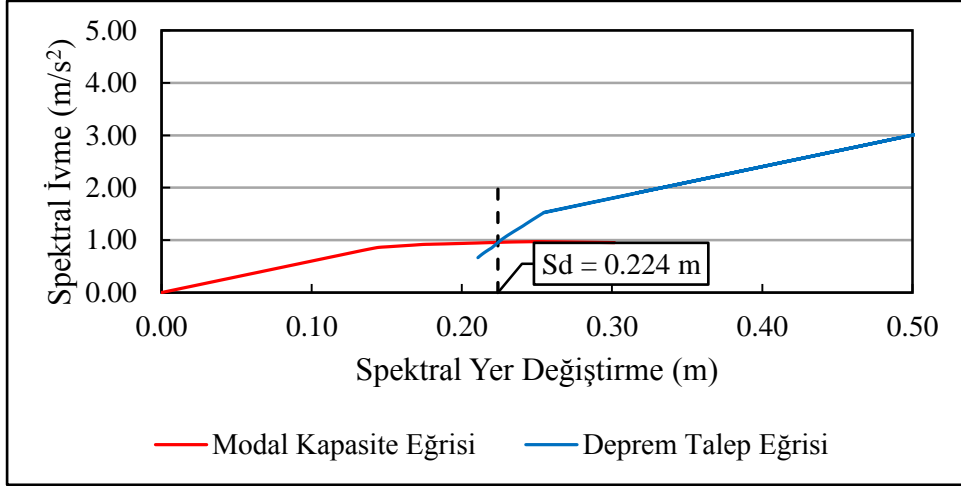
### 3.2.3.4. FEMA 440 Kapasite Spektrum Yöntemi

Bu yöntem, yapının performans noktasının belirlenmesi için ATC 40’da verilen etkin periyodun ve etkin sönümün hesaplanmasında bir takım yenilikler getirmiştir. Performans noktası belirlenirken SAP2000 programından elde edilen veriler kullanılmıştır. Yapılan hesap adımları sonucu %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için elde edilen veriler Ek 4’de sırasıyla, Ek Tablo 4.1, Ek Tablo 4.2, Ek Tablo 4.3, Ek Tablo 4.4. ve Ek Tablo 4.5 olarak verilmiştir. %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için yapının itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ve itme eğrileri Şekil 3.31–Şekil 3.40’da verilmiştir. Ayrıca her bir bağıllık oranı için yapının hedef tepe yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılan veriler Tablo 3.9’da verilmiştir.

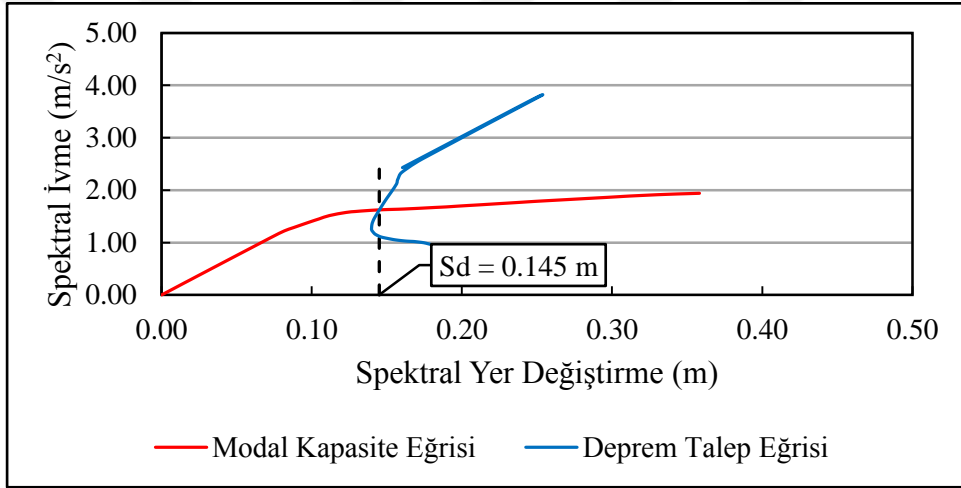
Tablo 3.9. Performans noktası belirlenirken FEMA 440’a göre kullanılan değerler

Bağıllık Oranı	PF $\phi$	M	$S_d (T_{eq}, \beta_{eq})$	$S_a$	$\delta = PF\phi S_d$	$V_t$
%		ton	m	m/s <sup>2</sup>	m	kN
0	1.354	560.55	0.214	0.951	0.304	423.631
25	1.108		0.138	1.608	0.161	793.927
50	1.057		0.104	2.246	0.115	1118.208
75	1.051		0.097	2.393	0.107	1188.583
100	1.043		0.093	2.491	0.102	1236.206

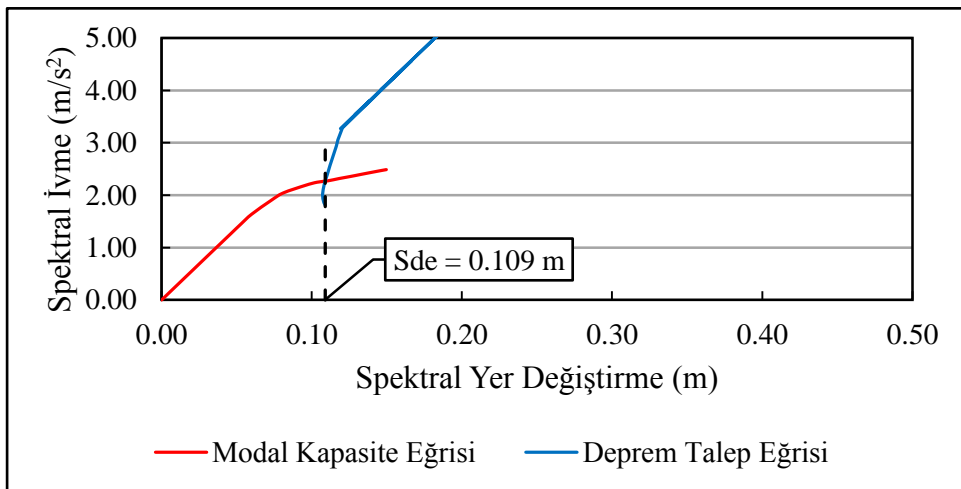
Diğer yönetmeliklerde olduğu gibi FEMA 440’da da bağıllık oranı arttıkça prefabrik yapıda elde edilen taban kesme kuvveti artarken, tepe yer değiştirme değerleri azalmaktadır. FEMA 440’a göre, %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için prefabrik yapıda itme analizi sonucunda elde edilen tepe yer değiştirme değerleri sırasıyla 0.304 m, 0.161 m, 0.115 m, 0.107 m ve 0.102 m’dir. Taban kesme kuvvetleri ise yer değiştirmelerin aksine artarak sırasıyla 423.631 kN, 793.927 kN, 1118.208 kN, 1188.583 kN ve 1236.206 kN olarak elde edilmiştir (Tablo 3.9).



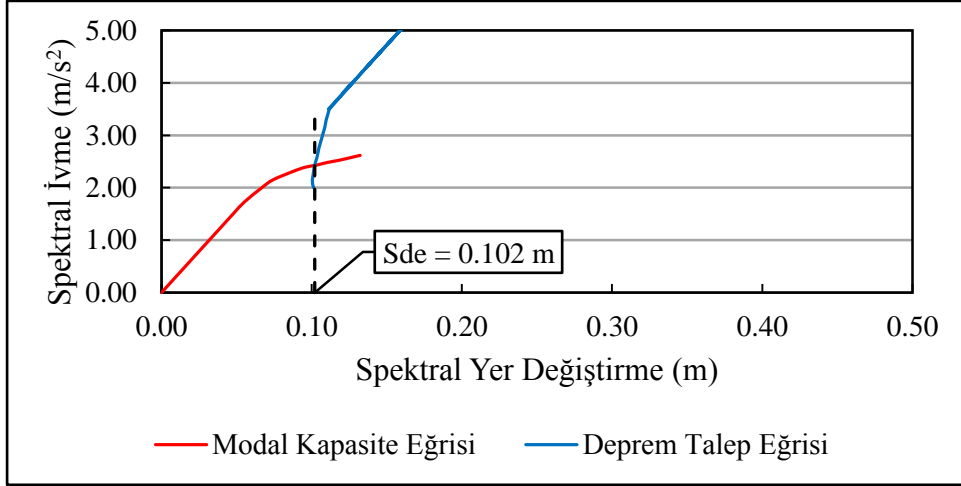
Şekil 3.31. FEMA 440'a göre %0 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



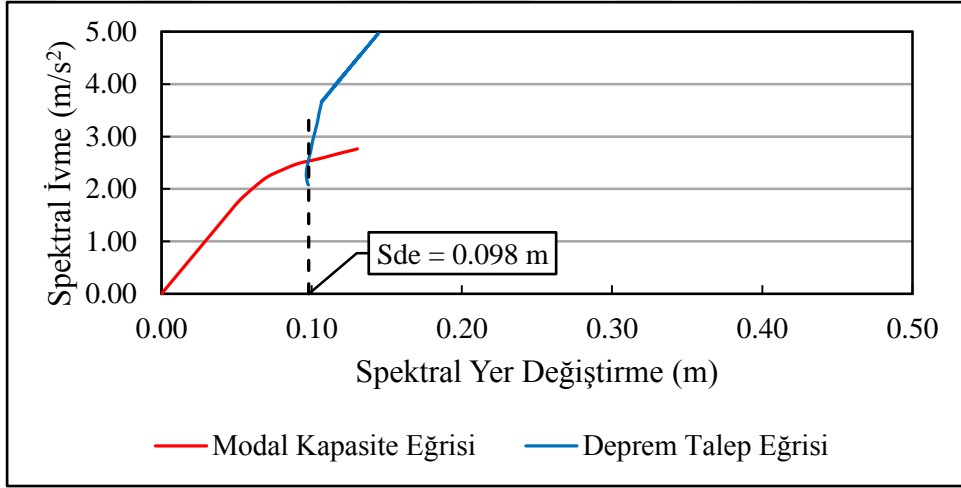
Şekil 3.32. FEMA 440'a göre 25 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



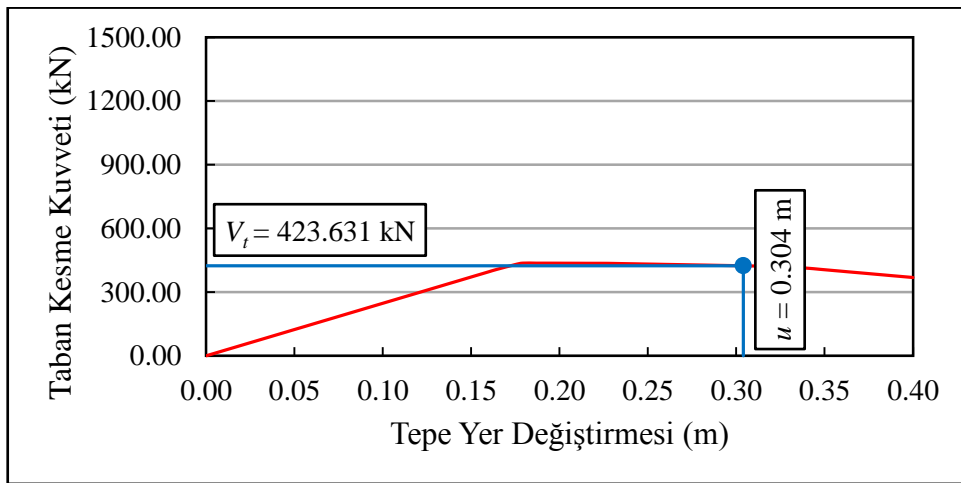
Şekil 3.33. FEMA 440'a göre %50 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



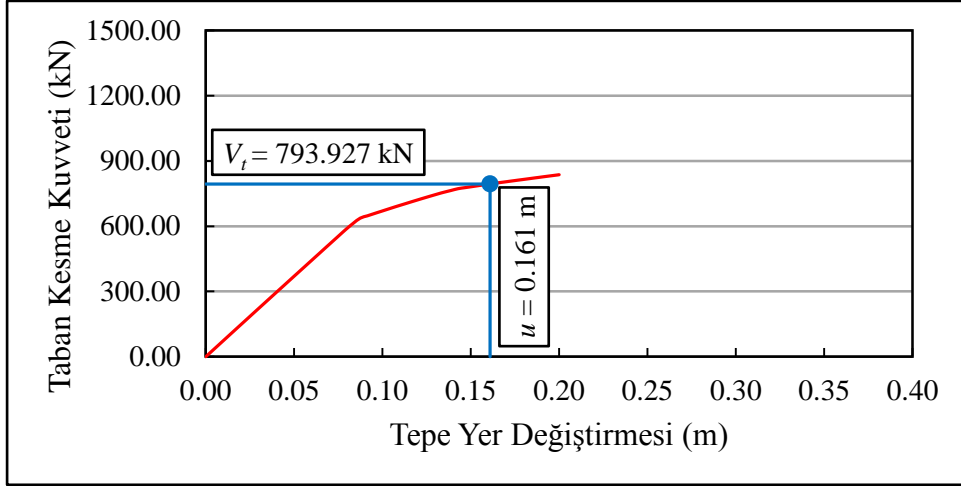
Şekil 3.34. FEMA 440'a göre %75 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



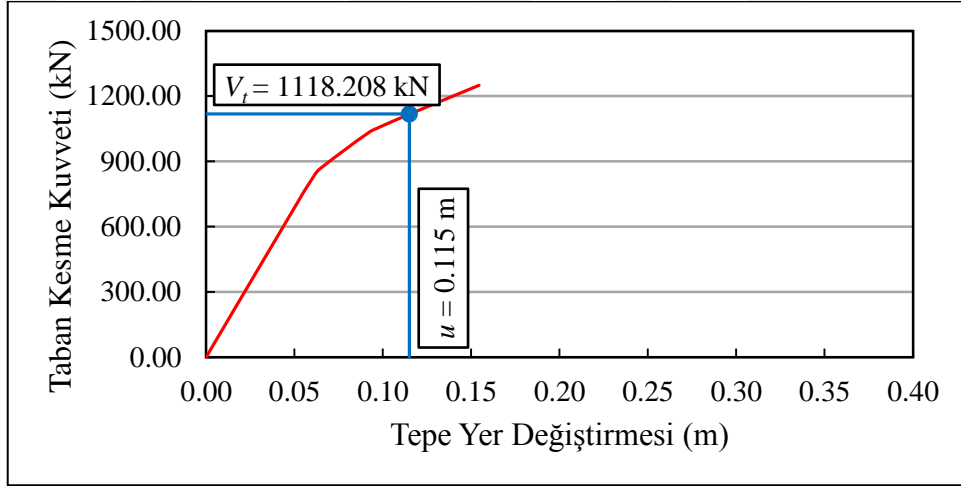
Şekil 3.35. FEMA 440'a göre %100 bağıllık oranı için kapasite eğrisi



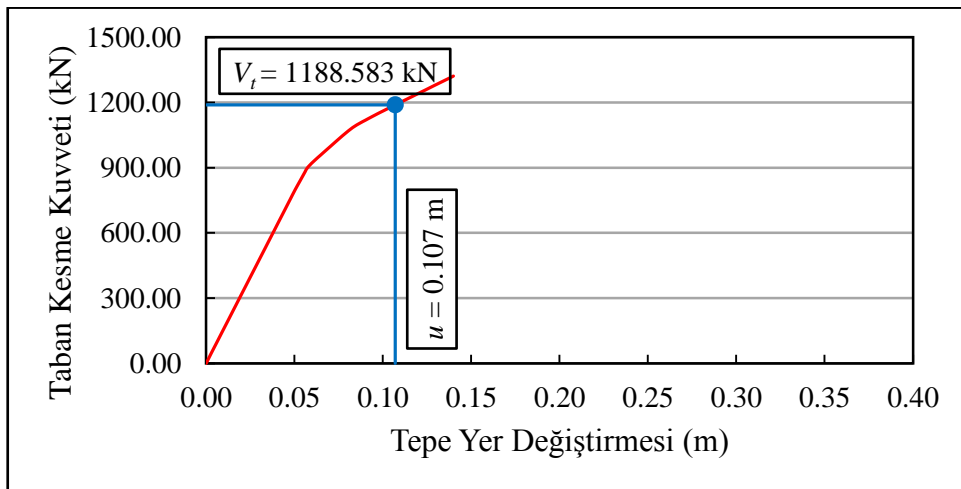
Şekil 3.36. FEMA 440'a göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi



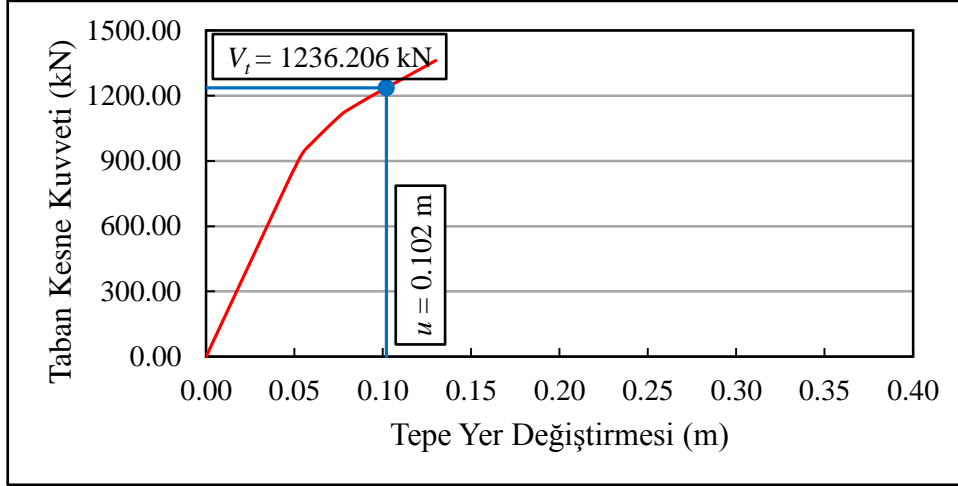
Şekil 3.37. FEMA 440'a göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi



Şekil 3.38. FEMA 440'a göre %50 bağıllık oranı için itme eğrisi



Şekil 3.39. FEMA 440'a göre %75 bağıllık oranı için itme eğrisi



Şekil 3.40. FEMA 440'a göre %100 bağıllık oranı için itme eğrisi

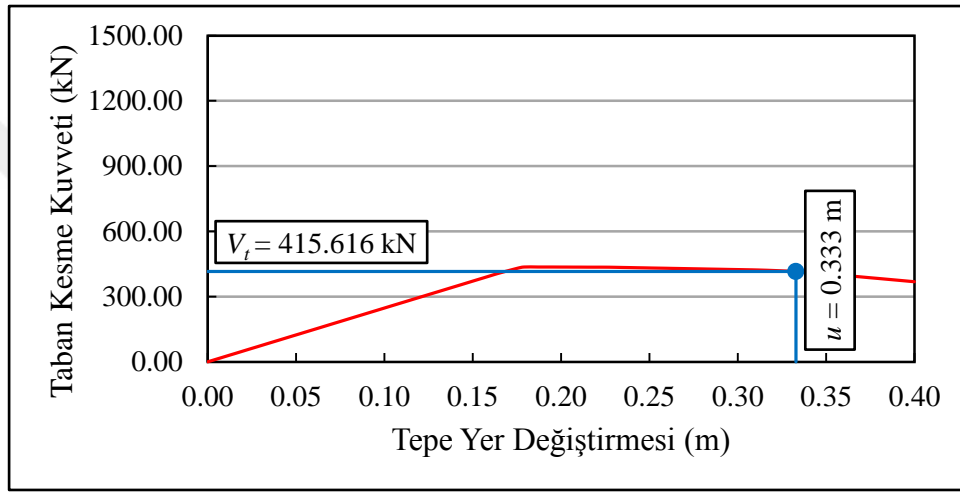
### 3.2.3.5. ASCE 41-06 Katsayı Yöntemi

Bu yöntem, yapının performans noktasının belirlenmesi için FEMA 356'da verilen tepe yer değiştirme isteminin hesabına bir takım yenilikler getirmiştir. Performans noktası belirlenirken SAP2000 programından elde edilen veriler ve ASCE 41-06 yönetmeliğinde verilen katsayılar kullanılmıştır. %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için yapının itme analizi sonucu elde edilen itme eğrileri Şekil 3.41-Şekil 3.45'de verilmiştir. Ayrıca her bir bağıllık oranı için yapının hedef tepe yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılan veriler Tablo 3.10'da verilmiştir. Bu tabloda,  $C_0$  yapının modal katkı çarpanı olup SAP2000 programından elde edilmiştir.  $C_1$ ,  $T_e > 1$  olduğu için 1 alınmıştır (denklem 1.34).  $T_e$  etkili periyot değeri ise denklem 1.21 ile bulunmuştur.  $C_2$  katsayısı  $T_e > 0.7$  olduğu için 1.0 alınmıştır (denklem 1.35).  $C_3$  katsayısı, ASCE 41-06'da kullanılmamıştır.

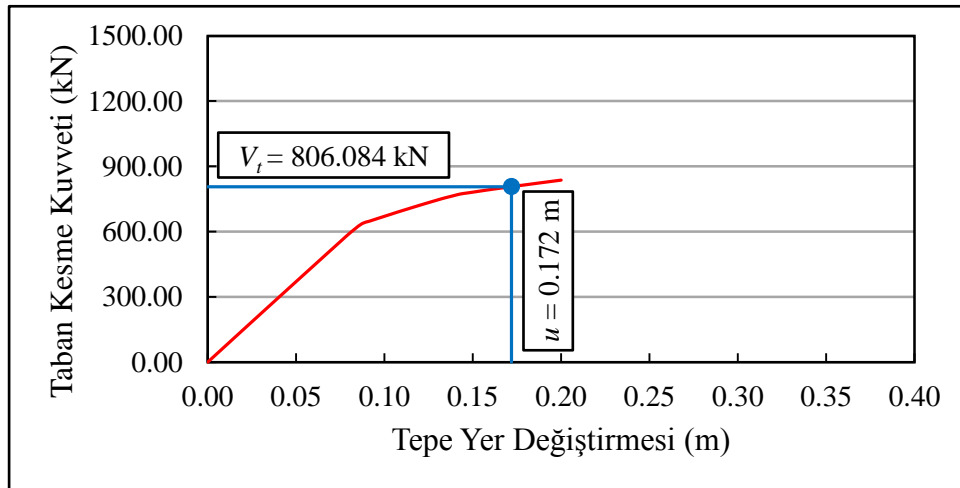
Tablo 3.10. Performans noktası belirlenirken ASCE 41-06'ya göre kullanılan değerler

Bağıllık Oranı	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$S_a$	$T_e$	$\delta = C_0 C_1 C_2 S_a g (T_e^2 / 4\pi^2)$	$V_t$
%				g	s	m	kN
0	1.357	1.0	1	0.151	2.564	0.333	415.616
25	1.108			0.240	1.614	0.173	808.815
50	1.063			0.323	1.199	0.124	1149.359
75	1.052			0.346	1.119	0.115	1222.760
100	1.050			0.361	1.071	0.109	1274.733

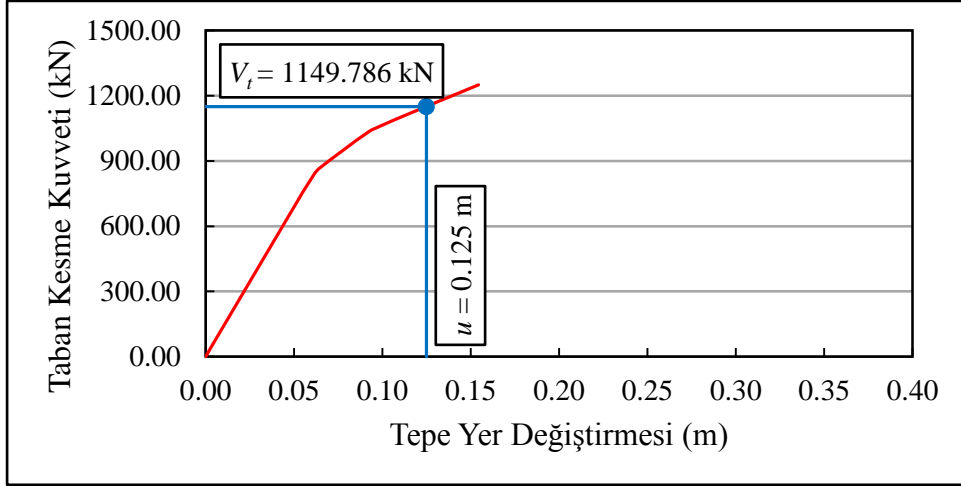
ASCE 41-06'ya göre, %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için prefabrik yapıda itme analizi sonucunda elde edilen tepe yer değiştirme değerleri sırasıyla 0.333 m, 0.173 m, 0.124 m, 0.115 m ve 0.109 m'dir. Taban kesme kuvvetleri ise yerdeğiştirmelerin aksine artarak sırasıyla 415.616 kN, 808.815 kN, 1149.359 kN, 1222.760 kN ve 1274.733 kN olarak elde edilmiştir (Tablo 3.10). FEMA 356'da verilen tepe yer değiştirme isteminin hesabına bir takım yenilikler getiren ASCE 41-06'ya göre elde edilen veriler incelendiğinde DBYBHY 2007'ye oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



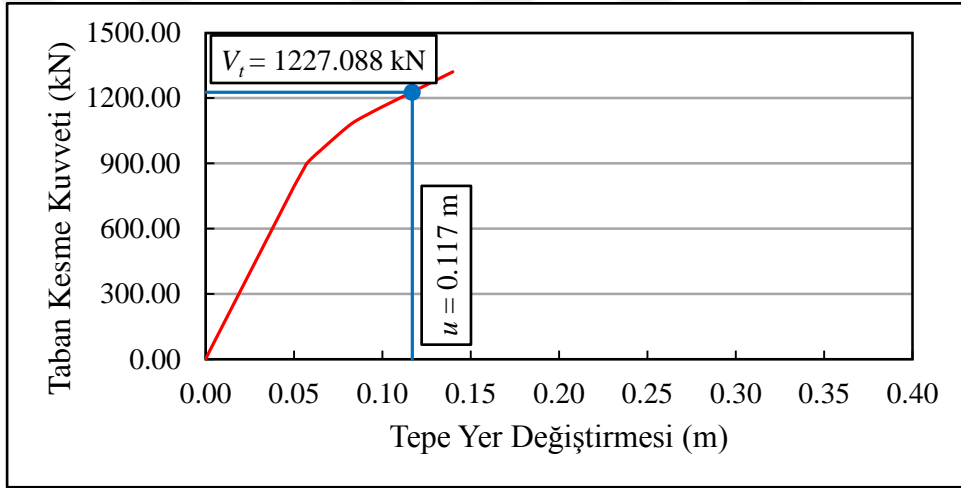
Şekil 3.41. ASCE 41-06'ya göre %0 bağıllık oranı için itme eğrisi



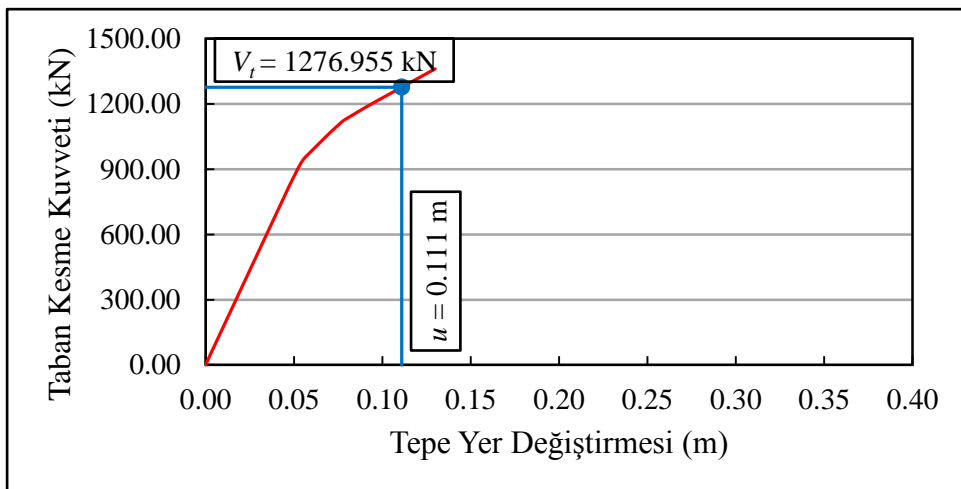
Şekil 3.42. ASCE 41-06'ya göre %25 bağıllık oranı için itme eğrisi



şekil 3.43. ASCE 40-06'ya göre %50 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.44. ASCE 41-06'ya göre %75 bağlılık oranı için itme eğrisi



şekil 3.45. ASCE 41-06' ya göre %100 bağlılık oranı için itme eğrisi

### 3.2.4. Gevrek Davranışa İlişkin İç Kuvvet İstemlerinin İç Kuvvet Kapasiteleri ile Karşılaştırılması

Her bir bağıllık oranı için prefabrik kolonların gevrek davranışını incelenmek üzere doğrusal olmayan itme analizinde kullanılan tepe yer değiştirme istemine karşılık gelen itme adımındaki eleman kesme kuvvetleri, denklem (2.12)–(2.15)'de verilen formüllerle hesaplanan eleman kesme kuvveti kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Kesme kuvvet istemleri için DBYBHY 2007'ye göre yapılan itme analizi sonuçları dikkate alınmıştır. Düğüm noktaları %0, %25, %50, %75 ve %100 bağlı olan prefabrik yapıda elde edilen gevrek davranışa ilişkin değerler Tablo 3.11–Tablo 3.15'de verilmiştir. Yapıda bağıllık oranı artıktıkça kolonlarda elde edilen kesme kuvveti değerleri de oldukça artmıştır. Ancak kolonların kesme kapasiteleri, itme analizinden elde edilen kesme kuvveti istemlerinden daha büyük olması nedeniyle kolonlar gevrek olarak hasar görmeyen elemanlar olarak sınıflandırılmıştır. Aşağıdaki tablolarda, prefabrik yapı elemanlarına ait kesme kuvveti istemleri SAP2000 programında yapılan itme analizinin son adımında meydana gelen kesme kuvvetleridir. Kesme kapasitesi ( $V_{cr}+V_w$ ) ise TS500 (2000)'de verilen denklemlerle elde edilmiştir.

Tablo 3.11. % 0 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar

Kolon No	Kesme Kuvveti İstemi (kN)	$V_{cr}$	$V_w$	Kesme Kapasitesi (kN)	Eleman Davranışı
S1	25.388	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S2	21.587	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S3	22.146	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S4	23.941	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S5	20.579	123.152	90.484	213.636	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S6	20.475	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S7	22.260	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S8	18.519	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S9	19.486	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S10	22.085	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S11	18.264	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S12	19.324	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S13	22.012	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S14	18.147	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S15	19.221	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S16	24.236	123.144	90.484	213.627	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S17	19.211	123.153	90.484	213.637	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S18	18.818	123.148	90.484	213.632	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S19	23.530	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S20	20.372	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman



Tablo 3.12. % 25 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar

Kolon No	Kesme Kuvveti İstemi (kN)	$V_{cr}$	$V_w$	Kesme Kapasitesi (kN)	Eleman Davranışı
S1	44.476	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S2	42.129	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S3	38.377	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S4	45.525	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S5	44.556	123.152	90.484	213.636	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S6	40.739	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S7	42.713	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S8	43.470	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S9	38.431	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S10	42.692	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S11	43.152	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S12	38.319	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S13	42.855	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S14	42.951	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S15	38.854	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S16	40.337	123.144	90.484	213.627	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S17	42.560	123.153	90.484	213.637	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S18	37.810	123.148	90.484	213.632	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S19	36.791	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S20	36.727	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman

Tablo 3.13. % 50 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar

Kolon No	Kesme Kuvveti İstemi (kN)	$V_{cr}$	$V_w$	Kesme Kapasitesi (kN)	Eleman Davranışı
S1	63.945	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S2	58.060	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S3	55.477	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S4	70.463	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S5	63.702	123.152	90.484	213.636	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S6	62.120	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S7	65.658	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S8	61.260	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S9	58.205	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S10	65.612	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S11	61.060	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S12	58.209	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S13	66.011	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S14	60.785	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S15	58.176	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S16	58.676	123.144	90.484	213.627	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S17	59.733	123.153	90.484	213.637	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S18	56.758	123.148	90.484	213.632	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S19	52.362	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S20	51.519	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman

Tablo 3.14. % 75 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar

Kolon No	Kesme Kuvveti İstemi (kN)	$V_{cr}$	$V_w$	Kesme Kapasitesi (kN)	Eleman Davranışı
S1	66.374	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S2	60.177	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S3	57.707	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S4	73.384	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S5	66.981	123.152	90.484	213.636	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S6	64.854	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S7	69.415	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S8	64.871	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S9	61.237	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S10	69.519	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S11	64.854	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S12	61.944	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S13	70.192	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S14	64.542	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S15	61.371	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S16	63.139	123.144	90.484	213.627	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S17	63.799	123.153	90.484	213.637	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S18	60.611	123.148	90.484	213.632	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S19	56.760	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S20	56.021	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman

Tablo 3.15. % 100 bağıllık oranı için gevrek davranışa ilişkin hesaplamalar

Kolon No	Kesme Kuvveti İstemi (kN)	$V_{cr}$	$V_w$	Kesme Kapasitesi (kN)	Eleman Davranışı
S1	66.875	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S2	61.543	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S3	58.573	123.142	90.484	213.625	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S4	74.576	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S5	68.633	123.152	90.484	213.636	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S6	66.177	123.146	90.484	213.629	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S7	71.084	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S8	66.505	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S9	63.171	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S10	71.136	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S11	66.647	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S12	63.382	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S13	72.240	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S14	67.009	123.155	90.484	213.639	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S15	63.500	123.147	90.484	213.631	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S16	65.718	123.144	90.484	213.627	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S17	65.896	123.153	90.484	213.637	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S18	62.428	123.148	90.484	213.632	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S19	59.684	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman
S20	58.511	123.145	90.484	213.628	Gevrek Hasar Görmeyen Eleman

### 3.2.5. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapının Performans Seviyelerinin Belirlenmesi

Kısmi bağlılığın prefabrik yapıların sismik performansına etkisini araştırmak için bu tez çalışmasında DBYBHY 2007 ve ASCE 41–06 yönetmelikleri kullanılmıştır. ATC 40, FEMA 356, FEMA 273 ve ASCE 41–06 yönetmelikleri performans değerlendirmesinde aynı sınır değerleri benimsemesi sebebiyle çalışmada en güncel Amerikan yönetmeliği olan ASCE 41–06 kullanılmıştır.

#### 3.2.5.1. DBYBHY 2007'ye Göre Performans Değerlendirmesi

ASCE 41–06'da yapı elemanlarının performans seviyeleri plastik dönmelerden elde edilirken DBYBHY 2007'de ise plastik eğrilik ve akma eğriliği istemlerinden elde edilen toplam eğrilik istemine göre belirlenir. Bu toplam eğrilik istemine karşılık gelen betondaki birim kısalma ve çelikteki birim uzama değerleri yönetmelikteki sınır değerlerle karşılaştırılarak elemana ait performans seviyeleri elde edilir. Kolonlarda, itme analizinin son adımında meydana gelen plastik dönme değerleri SAP2000 programından elde edilmiştir. Tüm kesitlerin moment–eğrilik ilişkileri, akma eğrilikleri ve toplam eğrilığe karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleri RESPONSE 2000 programı yardımıyla elde edilmiştir. Tasarım depreminde kesitlerdeki birim uzama–kısalma değerleri, %0, %25, %50, %75 ve %100 bağlılık oranları için Tablo 3.16–Tablo 3.20'de verilmiştir.

İncelenen prefabrik yapının düğüm noktalarında dikkate alınan bağlılık oranlarına göre DBYBHY 2007 için kolonların performans seviyeleri aşağıda verilmiştir:

- Prefabrik yapıdaki %0 bağlılık oranı için toplam 20 kolonun 8'inde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan, 1'i göçme gölgesinde, 1'i ileri hasar bölgesinde, 3'ü belirgin hasar bölgesinde ve 2'si minimum hasar bölgesindedir (Tablo 3.16).
- Prefabrik yapıdaki %25 bağlılık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan, 13 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 7'si minimum hasar bölgesindedir (Tablo 3.17).
- Prefabrik yapıdaki %50 bağlılık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan, 12 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 8 tanesi minimum hasar bölgesindedir (Tablo 3.18).

- Prefabrik yapıdaki %75 bağıllık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsal oluşmuştur. Bunlardan, 15 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 5'i minimum hasar bölgesindedir (Tablo 3.19).
- Yapıdaki %100 bağıllık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsal oluşmuştur. Bunlardan, 14 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 6'sı hemen kullanım performans seviyesindedir (Tablo 3.20).

DBYBHY 2007'ye göre, düğüm noktaları %0 bağılı yapıda, kolonlardan bir tanesi göçme bölgesinde olduğu için prefabrik yapı göçme performans seviyesindedir. Düğüm noktaları %25, %50, %75 ve % 100 bağılı prefabrik yapıda, kolonların tümü minimum hasar bölgesinde veya belirgin hasar bölgesinde olması sebebiyle bu bağıllık oranları için yapı can güvenliği performans seviyesindedir.

Tablo 3.16. DBYBHY 2007'ye göre %0 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönmeler	Kesit Boyu	Lp (0.5h)	Plastik Eğrilik	Akma Eğriligi	Toplam Eğrilik	$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_s$	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
	rad			1/m		1/m			
S1	0.029927	0.40	0.20	0.14964	0.009494	0.15913	0.020	0.039	GÖÇME
S2	0.000612			0.00306		0.01255	0.001	0.004	
S3	–			–		–	–	–	
S4	0.020989			0.10495		0.11444	0.014	0.030	
S5	–			–		–	–	–	
S6	–			–		–	–	–	
S7	0.019322			0.09661		0.10610	0.013	0.027	
S8	–			–		–	–	–	
S9	–			–		–	–	–	
S10	0.019309			0.09655		0.10604	0.013	0.027	
S11	–			–		–	–	–	
S12	–			–		–	–	–	
S13	0.019303			0.09652		0.10601	0.013	0.027	
S14	–			–		–	–	–	
S15	–			–		–	–	–	
S16	0.026735			0.13368		0.14317	0.019	0.035	
S17	–			–		–	–	–	
S18	–			–		–	–	–	
S19	0.001299			0.0065		0.01599	0.001	0.005	
S20	–			–		–	–	–	

Tablo 3.17. DBYBHY 2007'ye göre %25 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönmeler	Kesit Boyu m	Lp (0.5h) m	Plastik Eğrilik	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_s$	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
	rad			1/m	1/m	1/m			
S1	0.016728	0.40	0.20	0.08364	0.009494	0.09313	0.007	0.030	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.005900			0.02950		0.03899	0.003	0.014	
S3	0.012818			0.06409		0.07358	0.006	0.027	
S4	0.003045			0.01523		0.02472	0.002	0.007	
S5	0.007128			0.03564		0.04513	0.004	0.013	
S6	0.005084			0.02542		0.03491	0.002	0.011	
S7	0.012318			0.06159		0.07108	0.006	0.022	
S8	0.002569			0.01285		0.02234	0.002	0.006	
S9	0.004534			0.02267		0.03216	0.002	0.011	
S10	0.012313			0.06157		0.07106	0.006	0.022	
S11	0.002560			0.01280		0.02229	0.002	0.006	
S12	0.004530			0.02265		0.03214	0.002	0.011	
S13	0.012347			0.06174		0.07123	0.006	0.022	
S14	0.002581			0.01291		0.02240	0.002	0.006	
S15	0.004538			0.02269		0.03218	0.002	0.011	
S16	0.013030			0.06515		0.07464	0.006	0.027	
S17	0.002562			0.01281		0.02230	0.002	0.007	
S18	0.004094			0.02047		0.02996	0.002	0.009	
S19	0.003804			0.01902		0.02851	0.002	0.010	
S20	0.004835			0.02418		0.03367	0.002	0.011	

Tablo 3.18. DBYBHY 2007'ye göre %50 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönmeler	Kesit Boyu m	Lp (0.5h) m	Plastik Eğrilik	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_s$	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
	rad			1/m	1/m	1/m			
S1	0.015473	0.40	0.20	0.07737	0.009494	0.08686	0.006	0.028	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.007552			0.03776		0.04725	0.003	0.014	
S3	0.011103			0.05552		0.06501	0.004	0.020	
S4	0.004425			0.02213		0.03162	0.002	0.010	
S5	0.008197			0.04099		0.05048	0.004	0.016	
S6	0.005636			0.02818		0.03767	0.003	0.011	
S7	0.010895			0.05448		0.06397	0.005	0.020	
S8	0.003887			0.01944		0.02893	0.002	0.008	
S9	0.005216			0.02608		0.03557	0.002	0.011	
S10	0.010859			0.05430		0.06379	0.005	0.020	
S11	0.003860			0.01930		0.02879	0.002	0.008	
S12	0.005026			0.02513		0.03462	0.002	0.011	
S13	0.010988			0.05494		0.06443	0.005	0.020	
S14	0.003743			0.01872		0.02821	0.002	0.008	
S15	0.005018			0.02509		0.03458	0.002	0.011	
S16	0.009921			0.04961		0.05910	0.004	0.018	
S17	0.003838			0.01919		0.02868	0.002	0.008	
S18	0.004407			0.02204		0.03153	0.002	0.009	
S19	0.004475			0.02238		0.03187	0.002	0.010	
S20	0.004453			0.02227		0.03176	0.002	0.010	

Tablo 3.19. DBYBHY 2007'ye göre %75 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönmeler	Kesit Boyu m	Lp (0.5h) m	Plastik Eğrilik	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_s$	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
	rad			1/m	1/m	1/m			
S1	0.015156	0.40	0.20	0.07578	0.009494	0.08527	0.006	0.027	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.008270			0.04135		0.05084	0.004	0.015	
S3	0.010812			0.05406		0.06355	0.004	0.020	
S4	0.004699			0.02350		0.03299	0.002	0.011	
S5	0.008587			0.04294		0.05243	0.004	0.016	
S6	0.005676			0.02838		0.03787	0.003	0.011	
S7	0.010740			0.05370		0.06319	0.005	0.020	
S8	0.004340			0.02170		0.03119	0.002	0.009	
S9	0.005465			0.02733		0.03682	0.002	0.011	
S10	0.010708			0.05354		0.06303	0.005	0.020	
S11	0.004339			0.02170		0.03119	0.002	0.009	
S12	0.005465			0.02733		0.03682	0.002	0.011	
S13	0.010912			0.05456		0.06405	0.005	0.020	
S14	0.004351			0.02176		0.03125	0.002	0.009	
S15	0.005473			0.02737		0.03686	0.002	0.011	
S16	0.009827			0.04914		0.05863	0.004	0.019	
S17	0.004342			0.02171		0.03120	0.002	0.009	
S18	0.004778			0.02389		0.03338	0.002	0.011	
S19	0.005198			0.02599		0.03548	0.003	0.012	
S20	0.004862			0.02431		0.03380	0.003	0.010	

Tablo 3.20. DBYBHY 2007'ye göre %100 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönmeler	Kesit Boyu m	Lp (0.5h) m	Plastik Eğrilik	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_s$	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
	rad			1/m	1/m	1/m			
S1	0.014654	0.40	0.20	0.07327	0.009494	0.08276	0.005	0.025	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.00845			0.04225		0.05174	0.004	0.015	
S3	0.010261			0.05131		0.0608	0.004	0.021	
S4	0.004965			0.02483		0.03432	0.002	0.011	
S5	0.008396			0.04198		0.05147	0.004	0.016	
S6	0.00553			0.02765		0.03714	0.003	0.011	
S7	0.010401			0.05201		0.06150	0.005	0.020	
S8	0.004672			0.02336		0.03285	0.003	0.010	
S9	0.005366			0.02683		0.03632	0.002	0.011	
S10	0.010362			0.05181		0.06130	0.005	0.020	
S11	0.004689			0.02345		0.03294	0.003	0.010	
S12	0.005357			0.02679		0.03628	0.002	0.011	
S13	0.01064			0.0532		0.06269	0.005	0.020	
S14	0.004519			0.0226		0.03209	0.003	0.010	
S15	0.005358			0.02679		0.03628	0.002	0.011	
S16	0.009619			0.0481		0.05759	0.004	0.018	
S17	0.004729			0.02365		0.03314	0.002	0.009	
S18	0.004773			0.02387		0.03336	0.002	0.010	
S19	0.005575			0.02788		0.03737	0.003	0.011	
S20	0.004819			0.0241		0.03359	0.002	0.010	

### 3.2.5.2. ASCE 41–06’ya Göre Performans Değerlendirmesi

FEMA 356, FEMA 273 gibi yönetmeliklerde olduğu gibi ASCE 41–06’da plastikleşen kesitlerdeki plastik dönme değerlerine bağlı olarak hasar sınırları belirlenmiştir. SAP2000 programı yardımıyla hesaplanan plastik dönme değerleri, bu hasar sınırları ile karşılaştırılarak kesitin hangi performans seviyesinde olduğuna karar verilmiştir. ASCE 41–06 yönetmeliğinde bu sınır değerlerin belirlenmesinde kesitteki donatı oranı, kesme kuvveti etkisi ve sargılama durumu etkili olmaktadır. Bu sınır değerlere ait tablolar Ek 6’da, Ek Tablo 6.1–Ek Tablo 6.3’de verilmiştir. Kesitteki performans seviyeleri, tasarım depreminde %0, %25, %50, %75 ve %100 bağıllık oranları için Tablo 3.21–Tablo 3.25’de verilmiştir. İncelenen prefabrik yapının düğüm noktalarında dikkate alınan bağıllık oranlarına göre ASCE 41–06 için kolonların performans seviyeleri aşağıda verilmiştir:

- Prefabrik yapıdaki %0 bağıllık oranı için toplam 20 kolondan 8’inde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan 3’ü göçme, 3’ü göçme öncesi ve 2’si hemen kullanım performans seviyesindedir (Tablo 3.21).
- Prefabrik yapıdaki %25 bağıllık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan 1’i göçme öncesi, 8’i can güvenliği ve 11 tanesi hemen kullanım performans seviyesindedir (Tablo 3.22).
- Prefabrik yapıdaki %50 bağıllık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan 1’i göçme öncesi, 11’i can güvenliği ve 8 tanesi hemen kullanım performans seviyesindedir (Tablo 3.23).
- Yapıdaki %75 bağıllık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan 1’i göçme öncesi, 12’si can güvenliği ve 7 tanesi hemen kullanım performans seviyesindedir (Tablo 3.24).
- Yapıdaki %100 bağıllık oranı için toplam 20 kolonun tümünde plastik mafsall oluşmuştur. Bunlardan 13’ü can güvenliği ve 7 tanesi hemen kullanım performans seviyesindedir (Tablo 3.25).

ASCE 41–06’ya göre, düğüm noktaları %0 bağıllık prefabrik yapıda kolonlardan üç tanesi göçme bölgesinde olduğu için yapı göçme performans seviyesindedir. Düğüm noktaları %25, %50 ve %75 bağıllık prefabrik yapıda, kolonların sadece birinin göçme öncesi performans seviyesinde olması, bu kolonun taşıdığı kesme kuvveti tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin %30’undan küçük olması ve diğer tüm kolonların minimum hasar bölgesinde veya belirgin hasar bölgesinde olması sebebiyle bu bağıllık oranları için prefabrik

yapı can güvenliği performans seviyesindedir. Düğüm noktaları %100 bağlı yapıda kolonların tümü minimum hasar bölgesinde veya belirgin hasar bölgesinde olması sebebiyle bu bağlılık oranı için prefabrik yapı can güvenliği performans seviyesindedir.

Tablo 3.21. ASCE 41-06'ya göre %0 bağlı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönme Değeri	Eleman Performans Seviyesi	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
S1	0.029927	Göçme	GÖÇME
S2	0.000612	Hemen Kullanım	
S3	-	Hasarsız	
S4	0.020989	Göçme	
S5	-	Hasarsız	
S6	-	Hasarsız	
S7	0.019322	Göçme Öncesi	
S8	-	Hasarsız	
S9	-	Hasarsız	
S10	0.019309	Göçme Öncesi	
S11	-	Hasarsız	
S12	-	Hasarsız	
S13	0.019303	Göçme Öncesi	
S14	-	Hasarsız	
S15	-	Hasarsız	
S16	0.026735	Göçme	
S17	-	Hasarsız	
S18	-	Hasarsız	
S19	0.001299	Hemen Kullanım	
S20	-	Hasarsız	



Tablo 3.22. ASCE 41-06'ya göre %25 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönme Değeri	Eleman Performans Seviyesi	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
S1	0.016728	Göçme Öncesi	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.005900	Can Güvenliği	
S3	0.012818	Can Güvenliği	
S4	0.003045	Hemen Kullanım	
S5	0.007128	Can Güvenliği	
S6	0.005084	Can Güvenliği	
S7	0.012318	Can Güvenliği	
S8	0.002569	Hemen Kullanım	
S9	0.004534	Hemen Kullanım	
S10	0.012313	Can Güvenliği	
S11	0.002560	Hemen Kullanım	
S12	0.004530	Hemen Kullanım	
S13	0.012347	Can Güvenliği	
S14	0.002581	Hemen Kullanım	
S15	0.004538	Hemen Kullanım	
S16	0.013030	Can Güvenliği	
S17	0.002562	Hemen Kullanım	
S18	0.004094	Hemen Kullanım	
S19	0.003804	Hemen Kullanım	
S20	0.004835	Hemen Kullanım	

Tablo 3.23. ASCE 41-06'ya göre %50 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönme Değeri	Eleman Performans Seviyesi	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
S1	0.015473	Göçme Öncesi	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.007552	Can Güvenliği	
S3	0.011103	Can Güvenliği	
S4	0.004425	Hemen Kullanım	
S5	0.008197	Can Güvenliği	
S6	0.005636	Can Güvenliği	
S7	0.010895	Can Güvenliği	
S8	0.003887	Hemen Kullanım	
S9	0.005216	Can Güvenliği	
S10	0.010859	Can Güvenliği	
S11	0.00386	Hemen Kullanım	
S12	0.005026	Can Güvenliği	
S13	0.010988	Can Güvenliği	
S14	0.003743	Hemen Kullanım	
S15	0.005018	Can Güvenliği	
S16	0.009921	Can Güvenliği	
S17	0.003838	Hemen Kullanım	
S18	0.004407	Hemen Kullanım	
S19	0.004475	Hemen Kullanım	
S20	0.004453	Hemen Kullanım	

Tablo 3.24. ASCE 41-06'ya göre %75 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönme Değeri	Eleman Performans Seviyesi	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
S1	0.015156	Göçme Öncesi	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.00827	Can Güvenliğı	
S3	0.010812	Can Güvenliğı	
S4	0.004699	Hemen Kullanım	
S5	0.008587	Can Güvenliğı	
S6	0.005676	Can Güvenliğı	
S7	0.01074	Can Güvenliğı	
S8	0.00434	Hemen Kullanım	
S9	0.005465	Can Güvenliğı	
S10	0.010708	Can Güvenliğı	
S11	0.004339	Hemen Kullanım	
S12	0.005465	Can Güvenliğı	
S13	0.010912	Can Güvenliğı	
S14	0.004351	Hemen Kullanım	
S15	0.005473	Can Güvenliğı	
S16	0.009827	Can Güvenliğı	
S17	0.004342	Hemen Kullanım	
S18	0.004778	Hemen Kullanım	
S19	0.005198	Can Güvenliğı	
S20	0.004862	Hemen Kullanım	

Tablo 3.25. ASCE 41-06'ya göre %100 bağılı prefabrik yapının performans seviyesi

Kolon No	Plastik Dönme Değeri	Eleman Performans Seviyesi	Prefabrik Yapı Performans Seviyesi
S1	0.014654	Can Güvenliğı	CAN GÜVENLİĞİ
S2	0.00845	Can Güvenliğı	
S3	0.010261	Can Güvenliğı	
S4	0.004965	Hemen Kullanım	
S5	0.008396	Can Güvenliğı	
S6	0.00553	Can Güvenliğı	
S7	0.010401	Can Güvenliğı	
S8	0.004672	Hemen Kullanım	
S9	0.005366	Can Güvenliğı	
S10	0.010362	Can Güvenliğı	
S11	0.004689	Hemen Kullanım	
S12	0.005357	Can Güvenliğı	
S13	0.01064	Can Güvenliğı	
S14	0.004519	Hemen Kullanım	
S15	0.005358	Can Güvenliğı	
S16	0.009619	Can Güvenliğı	
S17	0.004729	Hemen Kullanım	
S18	0.004773	Hemen Kullanım	
S19	0.005575	Can Güvenliğı	
S20	0.004819	Hemen Kullanım	

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapıların tasarım ve analizleri sırasında oluşturulan bilgisayar modelleri, mühendislik alanının vazgeçilmez bir unsurudur. Ancak yapı sistemleri, bilgisayar ortamında modellenirken yapılan kabullerin gerçeğe uygun olması son derece önemlidir. Bu sebeple bilgisayar modelleri oluşturulurken yapıya ait mevcut durumu en iyi yansıtacak şekilde kabuller yapılmalıdır.

Prefabrik yapılar, fabrika ortamında üretilen ayrı elemanların inşaat sahasında birleştirilmesiyle teşkil edilen yapı sistemleridir. Prefabrik elemanların birleşiminde genellikle cıvatalar ve pimler kullanılmaktadır. Prefabrik yapılar tasarlanırken bu birleşim noktalarının genellikle mafsallı bağlı olduğu düşünülür. Ancak bu noktalarda kullanılan elemanlarda kısmi de olsa bir yük aktarımı gerçekleştirilir. Bu sebepten dolayı prefabrik yapıların sismik davranışını daha doğru bir şekilde kavrayabilmek, depreme dayanıklı prefabrik yapılar üretebilmek ve daha kesin hesaplar yapılabilmesi için bu noktalardaki kısmi bağlılığın dikkate alınması gereklidir.

Bu tez çalışmasında, tek katlı betonarme prefabrik yapılarda kısmi bağlılığın, prefabrik yapıların sismik davranışlarına etkilerini belirlemek amacıyla mevcut bir prefabrik yapının birleşim noktalarında çeşitli bağlılık oranları dikkate alınarak yapının performans değerlendirmesi doğrusal elastik olmayan yöntemlerden artımsal eşdeğer deprem yükü (statik itme) yöntemiyle yapılmıştır. Yapının sonlu eleman modelinin oluşturulmasında ve itme analizlerinde SAP2000 programı, kesit analizlerinde ise RESPONSE2000 programından faydalanılmıştır. Ayrıca statik itme yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi için iki katlı betonarme düzlem çerçeve bir binanın performans değerlendirmesinde izlenen adımlar, SAP2000 ve RESPONSE2000 programında yapılan işlemler detaylı olarak verilmiştir.

Prefabrik yapı elemanlarının bağlılık oranlarının hesabında, dönel yay rijitlikleri ile kesitin bağlılık oranının yüzde cinsinden karşılığını veren denklemler kullanılmıştır. Prefabrik yapının sismik davranışı incelenirken düğüm noktalarında %0 (mafsallı), %25, %50, %75 ve %100 (rijit) bağlılık oranları dikkate alınmıştır.

Yapının her bir bağlılık oranı için sismik davranışı doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle incelenmiştir. Çeşitli bağlılık oranları için yapılan analizlerde prefabrik yapının performans değerlendirmesi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan

tasarım depremi için yapılmıştır. Yapıda x-doğrultusunda, taşıyıcı sistemdeki süreksizlikler sebebiyle kısmi bağıllığın etkisi belirgin olarak gözlemlenememiştir. Aynı deprem doğrultusu için, %0 bağıllık yapıda modal katkı oranının 0.70'den az olması DBYBHY 2007'ye göre itme analizi yapılamayacağını göstermiştir. Yapının hem %0 hem de %100 bağıllık olması durumunda ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41-06'da verilen deprem talebi karşılamaması sebebiyle bu bağıllık oranları için itme analizi yapılamamıştır. Bu sebeplerden dolayı artımsal itme analizi sadece y-doğrultusunda yapılmıştır.

Her bir bağıllık oranı için artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde kullanılacak olan hedef tepe yer değiştirme istemleri ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41-06 yönetmelikleriyle belirlenmiş olup DBYBHY 2007'de bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca düğüm noktalarında dikkate alınan her bir bağıllık oranı için yapının performans değerlendirmesi DBYBHY 2007 ve ASCE 41-06'ya göre yapılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1) İncelenen prefabrik yapıda her iki deprem doğrultusu için yapılan modal analiz sonucunda elde edilen hakim periyot değerlerinin, düğüm noktalarında bağıllık oranı arttıkça azaldığı görülmüştür.

2) Dikkate alınan bütün yönetmelikler için elde edilen hedef tepe yer değiştirme istemlerinin, bağıllık oranları arttıkça önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. İtme analizinde kullanılan bu yer değiştirme istemleri için en küçük değerler bütün bağıllık oranlarında ATC 40'da elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerleri ise düğüm noktaları %0 ve %100 bağıllık yapılarda FEMA 356'ya göre elde edilirken, %25, %50 ve %75 bağıllık oranları için DBYBHY 2007'de elde edilmiştir.

3) Tasarım depremi için DBYBHY 2007'ye göre yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen hedef tepe yer değiştirme değerlerinin, ATC 40, FEMA 356, FEMA 440 ve ASCE 41-06 yönetmeliklerine göre elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

4) Artımsal itme analizi sonucunda elde edilen itme eğrileri incelendiğinde, bağıllık oranlarının artmasıyla yapıya gelen taban kesme kuvvetlerinde büyük artışların meydana geldiği görülmektedir.

5) Prefabrik kolonlarda gevrek davranışa ilişkin yapılan hesaplamalarda, bütün kolonların gevrek olarak hasar görmeyen elemanlar olduğu tespit edilmiştir. Ancak itme analizinin son adımında kolonlarda meydana gelen kesme kuvvetleri incelendiğinde, bağıllık oranının artmasıyla %300'lere varan artışların olduğu gözlemlenmiştir.

6) Tasarım depremi için y-doğrultusunda yapılan itme analizlerinde %0 bağı yapıda 8 kolonda plastik mafsal oluşurken, diğer bağılılık oranları için yapıdaki tüm kolonlarda plastik mafsalların oluştuğu görülmüştür. Prefabrik yapının düğüm noktaları %0 bağı olduğu durumda, yapı elemanları arasında her hangi bir kuvvet aktarımı söz konusu olmadığı için plastik mafsallar belli noktalarda yoğunlaşmıştır. Bu sebeple, düğüm noktaları %0 bağı yapıda elde edilen plastik dönme değerleri diğer bağılılık oranlarında elde edilen plastik dönme değerlerinden oldukça büyüktür. Bu durum dikkate alındığında, prefabrik yapılarda kolonların gevrek olarak hasar görmesi engellenerek, birleşim noktalarının yüksek bağılılık oranları ile oluşturulması gerektiğini göstermektedir.

7) DBYBHY 2007'ye göre yapılan performans değerlendirmesinde, %0 bağı prefabrik yapı göçme performans seviyesindeyken, elemanlar arası kuvvet aktarımının söz konusu olduğu %25, %50, %75 ve %100 bağı prefabrik yapılar can güvenliği performans seviyesinde oldukları tespit edilmiştir. Bu durumda, %0 bağı yapının DBYBHY 2007'de verilen can güvenliği hedef performans seviyesini sağlamadığı tespit edilmiştir.

8) ASCE 41-06 standardına göre yapılan performans değerlendirmesinde, DBYBHY 2007'de olduğu gibi yapının %0 bağı olması durumunda göçme performans seviyesinde olduğu, %25, %50, %75 ve %100 bağı olması durumunda yapıların can güvenliği performans seviyesini sağladıkları tespit edilmiştir. Performans değerlendirmesi yapılırken, ASCE 41-06'ya göre hesaplanan eleman hasar durumları ile DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan eleman hasar durumları arasında bazı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Bu farklılık gösteren elemanlar incelendiğinde hasar sınırlarını belirlemek için SAP2000 programında hesaplanan değerlerin yönetmeliklerdeki hasar sınırına oldukça yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı ASCE 41-06'da can güvenliğinde veya göçme öncesi hasar bölgesinde bulunan bazı elemanlar DBYBHY 2007'ye göre hemen kullanım veya can güvenliği hasar bölgesinde kalmıştır.

Yukarıda sıralanan sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, prefabrik yapılarda düğüm noktalarındaki bağılılık oranının artmasıyla yapının rijitliğinin de arttığı görülebilir.

Bu tez kapsamında yapılan analiz ve incelemelerden elde edilen sonuçlar ışığında; prefabrik yapıların düğüm noktalarında kısmi bağılılığın göz önüne alınmasında kullanılacak dönel yay rijitliklerinin tespiti için daha gerçekçi sonuçlar veren deneysel çalışmalar yapılabilir. Böylece kullanılan pim ve civata sayısına göre bağılılık yüzdeleri elde edilebilir. Bu deneysel çalışmaların sayısı artırılarak elde edilen verilerden istatistiksel eğriler oluşturulabilir ve ileride tasarlanması planlanan prefabrik yapılar için bu eğrilerden dönel

yay rijitlikleri elde edilebilir. Yapıların performans değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan ve DBYBHY 2007’de tanımlanan diğer doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak prefabrik yapılarda kısmi bağıllık etkisi incelenebilir. Benzer şekilde burada kullanılan ivme kaydı ve prefabrik yapı sayısı artırılarak bu prefabrik yapılara ait kırılma eğrileri elde edilebilir ve bu eğrilerde kısmi bağıllığın etkisi araştırılabilir. Ayrıca DBYBHY 2007’de bahsedilmeyen uzak fay–yakın fay yer hareketleri kullanılarak prefabrik yapılarda plastik mafsallarda dağılımdaki değişimler incelenerek deprem türünün prefabrik yapıların sismik performansı üzerindeki etkisi araştırılabilir.



## 5. KAYNAKLAR

- ACI 318–08, 2008. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI–American Concrete Institute, ABD, 471 s.
- Aktikan, S., 2008. Betonarme Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Etkisinde Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Akgün, O. B., 2012. Ard Germeli Prefabrike Kolon–Kiriş Birleşiminde Kısa Konsol Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Apostolska, R., Necevska-Cvetanovska, G., Bojadziev, J., Fischinger, M., Isakovic, T. ve Kramar, M., 2012. Analytical Investigations of Beam-Column Connections in Precast Building under Seismic Loads, 15th. World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.
- Arslan M., H., 2000. Prefabrik Endüstri Yapılarının Deprem Yüğü Etkisi Altında Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASCE 41–06, 2007. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE-American Society of Civil Engineers, Washington DC, ABD, 428 s.
- ATC 40, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-Applied Technology Council, Redwood City, California, ABD, 346 s.
- Ayaydın, Y., 1981. Büyük Açıklıklı Prefabrik Betonarme Yapılar, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ayaydın, Y., 1987. Taşıyıcı Duvar Perdeli Prefabrike Yapılar, Yılmaz Ofset Matbaası, İstanbul.
- Bayraktar, E., 2013. Mevcut Perdeli Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Blandón, J., J. ve Rodríguez, M., E., 2005. Behavior of Connections and Floor Diaphragms in Seismic-Resisting Precast Concrete Buildings, *PCI Journal*, 56-75.
- Canbay, E., Özcebe, G., Sucuoğlu, H., Wasti, T. ve Ersoy, U., 2008. Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeleri, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara, 433 s.
- Cansun, O., 1978. Türkiye’de Prefabrik Yapı Parçaları Üretmek Üzere Kurulacak Fabrikaların Dağılımı ve Bireysel Üretim Kapasiteleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Celep, Z., 2013. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul, 865 s.
- Celep, Z., 2014. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul, 237 s.
- Çetinkaya, N., 2007. Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- D.B.Y.B.H.Y., 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 159 s.
- Demiralın F., 2009. Türkiye’de Mevcut Şartnamelere Göre Tasarlanmış Prefabrik Yapıların Sismik Davranışının Farklı Analiz Yöntemleri Kullanarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Doğangün, A., 2011. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 844 s.
- Doğramacı Aksoylar, N., Elnashai, A., S. ve Mahmoud, H., 2011. The Design and Seismic Performance of Low-Rise Long-Span Frames with Semi-Rigid Connections, Journal of Constructional Steel Research, 67, 114-126.
- Doğruöz, İ., 2005. Prefabriğe Endüstri Yapılarının Tasarımı Onarım-Güçlendirmesi ve Maliyet Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duman, N., 2012. 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanan Betonarme Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Englekirk, K., E., 1990. Seismic Design Consideration for Precast Concrete Multistory Buildings. PCI Journal, 35, 3, 40-51.
- Ersoy, U., Tankut, T. ve Baysal, M., Z., 1992. Türkiye’de Kullanılan Önüretimli Bir Kolon-Kiriş Birleşiminin Deprem Davranışı, Prefabrik Birliği Dergisi, 22, 5-15.
- Ersoy, U., 1997. Prefabrik Yapıların Deprem Etkileri Altında Davranışı, Prefabriğe İnşaat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Türkiye Deprem Vakfı, TDV/KT 97-002, İstanbul.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2012. Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul, 816 s.
- Eşiyok, Ü., 2000. Konut Üretiminde Prefabrikasyona Bağlı Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007. Modüler Hücre Sistemlerle Güncel Uygulamalar, Yapı Dergisi.



- Ertay, O., Özden, Ş ve Özturan, T., 2006. Ductile Connections in Precast Concrete Moment Resisting Frames. PCI Journal, 51, 3, 2-12.
- Farsangi, E., N., 2010. Connections Behaviour in Precast Concrete Structures due to Seismic Loading, Gazi University Journal of Science, 23, 3, 315-325.
- FEMA 273, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-Federal Emergency Management Agency, Washington DC, ABD.
- FEMA 356, 2000. Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-Federal Emergency Management Agency, Washington DC, ABD, 519 s.
- FEMA 440, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA-Federal Emergency Management Agency, Washington DC, ABD, 392 s.
- Filho, M., S., Guimarães, M., J., R., Sahlit, C., L. ve Brito, J., L., V., 2004. Wind Pressures in Framed Structures with Semi-Rigid Connections, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 26, 2, 180-189.
- Fischinger M., Isakovic, T. ve Kramar, M., 2011. Experimental Behavior of existing Connections, SAFECAST Project “Performance of Innovative Mechanical Connections in Precast Building Structures under Seismic Conditions”, (grant agreement no. 218417) European Commission.
- Fu, F., Lam, D. ve Ye, J., 2007. Parametric Study of Semi-Rigid Composite Connections with 3-D finite Element Approach, Engineering Structures, 29, 888-898.
- Gedik, M. G., 2014. Prefabrike Yapılarda Birleşim Bölgelerinin Düzenlenmesi ve Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hamzaçebi, S., 2011. Prefabrike Yapılarda Kolon – Temel Birleşimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Hartland, R. A., 1975. Design of Precast Concrete: An Introduction to Practical Design, Surrey University Press, London, Thomson Science and Professional.
- Ivanyi, M., 2000. Full-Scale Tests of Steel Frames with Semi-Rigid Connections, Engineering Structures, 22, 168-179.
- Kaleş, Ö., 1999. Sekiz Derslikli Temel Eğitim Binalarının Betonarme Prefabrik Elemanlarla Üretiminde Tasarım Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaplan, H., Nohutçu, H., Çetinkaya, N., Yılmaz, S., Gönen, H. ve Atımtay, E., 2009. Seismic strengthening of Pin-Connected Precast Concrete Structures with External Shear Walls and Diaphragms, PCI Journal, 88-99.

- Karahan, A., E., 2008. Türkiye'deki Prefabrike Betonarme Sanayi Yapılarının Performans Değerlendirmesinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kartal, M., E., 2004. Düğüm Noktalarındaki Kısmi Bağlılığın Kafes ve Prefabrik Yapı Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Kartal, M., E., Başağa, H., B., Bayraktar, A. ve Muvafık, M., 2010. Effects of Semi-Rigid Connection on Structural Responses, Electronic Journal of Structural Engineering, 10, 22-35.
- Kayhan, A., H., 2008. Mafsallı Prefabrik Yapılar İçin Hasar ve Ekonomik Kayıp Tahmini, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Magliulo, G., Fabbrocino, G. ve Manfredi, G., 2008. Seismic Assessment of Existing Precast Industrial Buildings Using Static and Dynamic Nonlinear Analyses, Engineering Structures, 30, 2580-2588.
- Mander J., B., Priestly M., J., N. ve Park, R., 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Division ASCE, 114, 8, 1804-1826.
- MCBC, 1993. Mexico City Building Code, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal Diario Oficial, Mexico City, Mexico.
- McGuire, W., Gallagher, R.H. and Ziemian, R.D. 1999, Matrix Structural Analysis, John Wiley & Sons Inc., 2nd edition, USA.
- Meydanlı Atalay, H., 2010. Moment Aktarabilen Prefabrike Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Tersinir Yükler Etkisindeki Performansı, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Monforton, G., R. ve Wu, T., S., 1963. Matrix Analysis of Semi- Rigidly Connected Frames, Journal of Structural Division, ASCE, 89, 13-42.
- Osmancıklı, G., 2012. Prefabrik Yapıların Dinamik Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Osmancıklı, G., Bayraktar, A., Türker, T., Uçak, Ş. ve Mosallam, A., 2015. Finite Element Model Calibration of Precast Structures Using Ambient Vibrations, Construction and Building Materials, 93, 10-21.
- Özden, Ş., Meydanlı Atalay, H., Akpınar, E., Doyranlı, B. ve İmren, Ö., 2012. Betonarme Prefabrik Yapıların 23 Ekim 2011 Van Depreminde Gözlenen Performansı, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 103, 11-19.
- Özer, E., 2009. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme Ders Notları, <http://www.ins.itu.edu.tr/eozer>, 14 s.

- Özmen, H., B., İnel, M. ve Bilgin, H., 2007. Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman ve Sistem Davranışına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 2, 375-383.
- Öztürk, A., U. ve Çatal, H., H., 2005. Dynamic Analysis of Semi-Rigid Frames, Mathematical and Computational Applications, 10, 1, 1-8.
- Polat, G. ve Damcı, A., 2007. Türk İnşaat Sektöründe Prefabrik Betonarme Yapı Sistemlerinin Kullanımını Etkileyen Faktörler, 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, İstanbul.
- Posada, M. ve Wood, S., L., 2002. Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey, 7th National Conference on Earthquake Engineering, Boston.
- RESPONSE2000, 2000. Sectional Analysis Program, University of Toronto, Version: 1.0.5, Toronto.
- SAP2000, 2015. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Version: 17.1.1, Berkeley, California, ABD.
- Seçkin, A., Meydanlı Atalay, H., Erdoğan, H., Doran, B. ve Akbaş, B., 2015. Mevcut Endüstri Yapısının Birim Şekil Değiştirme Esaslı Performans Değerlendirmesi, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir.
- Sekulovic, M. ve Salatic, R., 2001. Nonlinear Analysis of Frames with Flexible Connections, Computers and Structures, 79, 1097-1107.
- Şenel, Ş., M. ve Kayhan, A., H., 2010. Fragility Based Damage Assessment in Existing Precast Industrial Buildings: A Case Study for Turkey, Structural Engineering and Mechanics, 34, 1, 39-60.
- Şenel, Ş., M., Palancı, M., Yılmaz, Y. ve Kalkan, A., 2013a. Yapısal Parametrelerin Tek Katlı Mafsallı Prefabrik Binaların Hasar Görebilirlik Eğrileri Üzerindeki Etkisi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.
- Şenel, Ş., M., Palancı, M., Kalkan, A. ve Yılmaz, Y., 2013b. Mevcut Prefabrik Binaların Mafsallı Birleşimlerinin Kesme ve Devrilme Güvenliğinin Araştırılması, İMO Teknik Dergi, 6505-6528.
- Şeren, Ç., 2006. Depreme Dayanıklı Prefabriğe Betonarme Yapı Tasarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Toprak, Z., 2002. Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Etkisine Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tümer, Ç., 2006. Prefabrik Yapılarda Kenetli Birleşimlerin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Türkay, A., 2013. Bir Okul Binasının Tasarımı ve Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türker, T., Kartal, M., E., Bayraktar, A. ve Muvafık, M., 2009. Assessment of Semi-Rigid Connections in Steel Structures by Modal Testing, Journal of Constructional Steel Research, 65, 1538-1547.
- Türkiye Ticaret Sanayi Deniz Ticaret Odaları ve Ticaret Borsaları Birliği (TTSDTOTBB), 1988. Konut Sorunu, Toplu Konut Uygulama Sonuçları ve Son Zamanlardaki Gelişmeler, 95, 36, Ankara.
- Türkmen, M., Demir, F., Çırak, İ., F. ve Tekeli, H., 2005. Kolon-Kiriş Birleşimleri Mafsallı Prefabrike Yapılarda Deprem Etkilerinden Oluşan Sorunlar ve Öneriler, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE- Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 75 sayfa.
- TSE-9967, 1992. Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar–Prefabrik Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları İle İmalat ve Montaj Kuralları, TSE-Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 123 sayfa.
- URL 1 <http://www.prefab.org.tr/tr/sistemler/sayfa/57.aspx>. 5 Mayıs 2016
- Yılmaz, Y., 2013. Tek Katlı Mevcut Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Performansını Etkileyen Yapısal Parametrelerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

## 6. EKLER

### Ek 1. Örnek Yapıya Ait Mod Şekli Hesabında Kullanılan MATLAB Kodu

```
F=(1e-5)*[6.509253 8.82896 ;  
          8.82896 20.74557]; % Birim Kuvvet Matrisi
```

```
S=inv(F) ;
```

```
M=[9.8432721 0 ;  
   0 9.8432721]; %Kütle Matrisi
```

```
[modshape omega2]=eig(S,M);
```

```
Mode1=modshape(:,1)./modshape(2,1); %Mod vektörleri
```

```
Mode2=modshape(:,2)./modshape(1,2);
```

```
T=2*pi./sqrt(diag(omega2));% Yapının Periyodu
```

## Ek. 2. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıda İtme Eğrisi Değerleri

Ek Tablo 2.1. %0 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri

İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	0	0	27	0.203111	435.773
2	0.008	19.784	28	0.211111	435.539
3	0.016	39.569	29	0.219111	435.323
4	0.024	59.353	30	0.227111	435.199
5	0.032	79.137	31	0.235111	433.993
6	0.04	98.922	32	0.243111	432.78
7	0.048	118.706	33	0.251111	431.579
8	0.056	138.49	34	0.259111	430.371
9	0.064	158.275	35	0.267111	429.174
10	0.072	178.059	36	0.275111	427.97
11	0.08	197.843	37	0.283111	426.778
12	0.088	217.628	38	0.291111	425.578
13	0.096	237.412	39	0.299111	424.39
14	0.104	257.196	40	0.307111	423.195
15	0.112	276.981	41	0.308799	422.945
16	0.12	296.765	42	0.316799	421.037
17	0.128	316.549	43	0.327514	417.708
18	0.136	336.334	44	0.339307	412.92
19	0.144	356.118	45	0.347307	407.062
20	0.152	375.902	46	0.355307	401.203
21	0.16	395.687	47	0.363307	395.345
22	0.1641	405.825	48	0.371307	389.487
23	0.174808	429.224	49	0.379307	383.629
24	0.179111	436.07	50	0.387307	377.771
25	0.187111	436.038	51	0.395307	371.913
26	0.195111	436.01	52	0.4	368.475

**Ek. 2'nin devamı. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıda İtme Eğrisi Değerleri**

Ek Tablo 2.2. %25 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri

İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	0.000111	0	26	0.09953	668.81
2	0.004111	29.738	27	0.10353	679.276
3	0.008111	59.465	28	0.10753	689.739
4	0.012111	89.13	29	0.11153	699.787
5	0.016111	118.836	30	0.11553	709.832
6	0.020111	148.445	31	0.11953	719.845
7	0.024111	178.071	32	0.12353	729.575
8	0.028111	207.675	33	0.130879	747.213
9	0.032111	237.259	34	0.134879	756.246
10	0.036111	266.822	35	0.138879	764.296
11	0.040111	296.363	36	0.142879	772.537
12	0.044111	325.883	37	0.146879	777.431
13	0.048111	355.383	38	0.150879	782.253
14	0.052111	384.861	39	0.154879	787.114
15	0.056111	414.318	40	0.158879	791.991
16	0.060111	443.754	41	0.162879	796.582
17	0.064111	473.17	42	0.166879	800.953
18	0.068111	502.564	43	0.170879	805.346
19	0.072111	531.937	44	0.174879	809.755
20	0.076111	561.289	45	0.178879	814.044
21	0.07947	585.924	46	0.182879	818.306
22	0.08347	612.846	47	0.186879	822.664
23	0.08753	637.125	48	0.190879	826.946
24	0.09153	647.743	49	0.197991	834.481
25	0.09553	658.357	50	0.200111	836.761

**Ek. 2'nin devamı. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıda İtme Eğrisi Değerleri**

Ek Tablo 2.3. %50 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri

İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	0.000049	0.000	25	0.079506	959.379
2	0.003151	44.018	26	0.082706	978.768
3	0.006351	88.032	27	0.085906	998.055
4	0.009551	132.043	28	0.090807	1025.478
5	0.012751	176.030	29	0.093638	1041.129
6	0.015951	220.034	30	0.096838	1052.837
7	0.019151	264.035	31	0.100038	1064.572
8	0.022351	307.981	32	0.103238	1076.039
9	0.025551	351.975	33	0.106438	1087.506
10	0.028751	395.915	34	0.109638	1098.477
11	0.031951	439.902	35	0.112838	1109.370
12	0.035151	483.821	36	0.116038	1120.292
13	0.038351	527.801	37	0.119238	1131.100
14	0.041551	571.699	38	0.122438	1142.157
15	0.044751	615.629	39	0.125638	1152.881
16	0.047951	659.551	40	0.128838	1163.639
17	0.051151	703.466	41	0.132038	1174.546
18	0.054351	747.375	42	0.135238	1185.344
19	0.055585	764.334	43	0.138438	1196.050
20	0.058785	804.882	44	0.141638	1206.778
21	0.062848	854.094	45	0.144838	1217.541
22	0.067624	886.577	46	0.148038	1228.403
23	0.073106	920.604	47	0.151238	1239.071
24	0.076306	940.008	48		



**Ek. 2'nin devamı. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıda İtme Eğrisi Değerleri**

Ek Tablo 2.4. %75 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri

İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	0	0	25	0.070128	996.557
2	0.002721	44.368	26	0.075644	1036.213
3	0.005521	88.735	27	0.078444	1055.504
4	0.008321	133.1	28	0.082973	1084.726
5	0.011121	177.463	29	0.087224	1105.684
6	0.013921	221.815	30	0.090024	1117.918
7	0.016721	266.176	31	0.092824	1130.073
8	0.019521	310.535	32	0.095624	1142.178
9	0.022321	354.868	33	0.098424	1153.868
10	0.025121	399.224	34	0.101224	1165.236
11	0.027921	443.555	35	0.104024	1176.542
12	0.030721	487.908	36	0.106824	1187.759
13	0.033521	532.229	37	0.109624	1199.228
14	0.036321	576.579	38	0.112424	1210.405
15	0.039121	620.891	39	0.115224	1221.7
16	0.041921	665.238	40	0.118024	1233.016
17	0.044721	709.541	41	0.120824	1244.239
18	0.047521	753.885	42	0.123624	1255.394
19	0.050321	798.179	43	0.126424	1266.858
20	0.053121	839.173	44	0.129224	1278.248
21	0.055921	880.112	45	0.132024	1289.398
22	0.057612	902.844	46	0.134824	1300.654
23	0.061728	935.873	47	0.137624	1311.816
24	0.064528	956.152	48	0.139921	1321.223

**Ek. 2'nin devamı. Kısmi Bağlı Prefabrik Yapıda İtme Eğrisi Değerleri**

Ek Tablo 2.5. %100 bağlı yapı için itme eğrisi değerleri

İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	İtme Adımı	Tepe Yer Değiştirme İstemi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	0.000071	0.000	27	0.065937	1032.156
2	0.002529	45.133	28	0.068537	1053.109
3	0.005129	90.264	29	0.071137	1073.266
4	0.007729	135.396	30	0.075195	1103.603
5	0.010329	180.526	31	0.077795	1122.076
6	0.012929	225.653	32	0.081546	1141.082
7	0.015529	270.782	33	0.084146	1153.782
8	0.018129	315.910	34	0.086746	1166.362
9	0.020729	361.037	35	0.089346	1178.846
10	0.023329	406.149	36	0.091946	1191.079
11	0.025929	451.275	37	0.094546	1203.125
12	0.028529	496.400	38	0.097146	1214.872
13	0.031129	541.506	39	0.099746	1226.549
14	0.033729	586.630	40	0.102346	1238.198
15	0.036329	631.736	41	0.104946	1249.968
16	0.038929	676.859	42	0.107546	1261.516
17	0.041529	721.961	43	0.110146	1273.069
18	0.044129	767.082	44	0.112746	1284.682
19	0.046729	812.180	45	0.115346	1296.358
20	0.047827	831.234	46	0.117946	1308.047
21	0.050427	872.954	47	0.120546	1319.574
22	0.053027	914.689	48	0.123146	1331.287
23	0.055537	946.979	49	0.125746	1342.884
24	0.058137	969.039	50	0.128346	1354.836
25	0.060737	990.120	51	0.129929	1361.871
26	0.063337	1011.212			

### Ek 3. ATC 40'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler

Ek Tablo 3.1. %0 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	$T_{eff}$	$B_{eff}$	$S_d$ (kap.)	$S_a$ (kap.)	$S_d$ (talep)	$S_a$ (talep)	$\alpha$	PFPhi
0	2.56432	0.05	0	0	0.254796	1.53023247	1	1
1	2.56432	0.05	0.006503	0.03905361	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
2	2.56432	0.05	0.013005	0.07810722	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
3	2.56432	0.05	0.019508	0.11716083	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
4	2.56432	0.05	0.026011	0.15621444	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
5	2.56432	0.05	0.032513	0.19526805	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
6	2.56432	0.05	0.039016	0.23432166	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
7	2.56432	0.05	0.045519	0.27337527	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
8	2.56432	0.05	0.052021	0.31242888	0.254796	1.53023247	0.90375	1.23026
9	2.56432	0.050002	0.058524	0.35147268	0.254814	1.53033057	0.90376	1.23027
10	2.56432	0.050001	0.065026	0.39052629	0.254815	1.53034038	0.90375	1.23027
11	2.56432	0.050001	0.071529	0.4295799	0.254815	1.53034038	0.90375	1.23027
12	2.56432	0.050001	0.078032	0.46863351	0.254816	1.53034038	0.90375	1.23027
13	2.56432	0.05	0.084534	0.50768712	0.254816	1.53035019	0.90375	1.23027
14	2.56432	0.05	0.091037	0.54674073	0.254816	1.53035019	0.90375	1.23027
15	2.56432	0.05	0.09754	0.58579434	0.254816	1.53035019	0.90375	1.23027
16	2.56432	0.05	0.104042	0.62484795	0.254816	1.53035019	0.90375	1.23027
17	2.56432	0.05	0.110545	0.66390156	0.254816	1.53035019	0.90375	1.23027
18	2.56432	0.050001	0.117047	0.70294536	0.254815	1.53034038	0.90376	1.23027
19	2.56432	0.050001	0.12355	0.74199897	0.254816	1.53034038	0.90375	1.23027
20	2.56432	0.050001	0.130053	0.78105258	0.254816	1.53034038	0.90375	1.23027
21	2.56432	0.050001	0.133385	0.80106498	0.254816	1.53035019	0.90375	1.23027
22	2.56898	0.051462	0.141677	0.84779001	0.253452	1.51663581	0.90319	1.23385
23	2.57514	0.05341	0.144795	0.86230881	0.251697	1.49893857	0.90214	1.237
24	2.60205	0.061976	0.149249	0.8705394	0.244771	1.42769835	0.89354	1.25369
25	2.62868	0.070013	0.153896	0.87954498	0.239363	1.3680045	0.88434	1.26781
26	2.65573	0.077783	0.158653	0.88836417	0.234925	1.31543271	0.87509	1.28022
27	2.68253	0.08506	0.163584	0.89776215	0.231372	1.26978678	0.86546	1.29054

**Ek 3'ün devamı. ATC 40'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 3.1'in devamı. %0 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	$T_{eff}$	$B_{eff}$	$S_d$ (kap.)	$S_a$ (kap.)	$S_d$ (talep)	$S_a$ (talep)	$\alpha$	PFPhi
28	2.70958	0.092067	0.168598	0.90689526	0.228409	1.22862402	0.85632	1.29961
29	2.73571	0.098337	0.173883	0.91753911	0.226162	1.19340612	0.84614	1.30612
30	2.76736	0.106522	0.178654	0.92127672	0.223316	1.15158609	0.84038	1.31602
31	2.79942	0.114503	0.183508	0.92475927	0.220909	1.11322899	0.83488	1.3248
32	2.83187	0.122317	0.188401	0.92778075	0.218855	1.07774622	0.82984	1.33285
33	2.86356	0.129432	0.193522	0.93201867	0.217305	1.04657004	0.82375	1.33893
34	2.89563	0.136436	0.198666	0.93571704	0.215972	1.01722833	0.81822	1.34453
35	2.92697	0.142783	0.204022	0.94047489	0.215023	0.99119259	0.81179	1.34844
36	2.9587	0.149073	0.209388	0.94462452	0.214205	0.96635367	0.80598	1.35209
37	2.98971	0.154749	0.214955	0.94972572	0.213691	0.94414383	0.7994	1.35429
38	3.02112	0.160418	0.220521	0.95415984	0.213253	0.92271879	0.79346	1.35639
39	3.05182	0.165514	0.226276	0.95945724	0.213064	0.90344214	0.78685	1.35725
40	3.0584	0.166618	0.22748	0.96042843	0.213021	0.8993808	0.7856	1.35748
41	3.09092	0.172148	0.233293	0.96434262	0.212794	0.87961365	0.77888	1.35794
42	3.13678	0.180057	0.241171	0.96797232	0.212473	0.85279311	0.76982	1.35802
43	3.18948	0.188858	0.250213	0.97135677	0.212284	0.82411848	0.75835	1.35607
44	3.23298	0.197144	0.25655	0.96933591	0.211752	0.80007417	0.74915	1.35376
45	3.27714	0.205274	0.263036	0.96723657	0.211375	0.77726592	0.73997	1.35079
46	3.32198	0.21328	0.269662	0.9650097	0.211129	0.75554658	0.73084	1.34727
47	3.36755	0.22019	0.276422	0.96261606	0.211374	0.73609335	0.72181	1.34326
48	3.41388	0.225785	0.283313	0.96001641	0.212167	0.71893566	0.71288	1.33883
49	3.46099	0.231148	0.290328	0.95719113	0.213089	0.70253334	0.70406	1.33403
50	3.50892	0.236297	0.297465	0.95410098	0.214131	0.68681772	0.69539	1.32892
51	3.53745	0.239227	0.301705	0.95216841	0.214795	0.67788081	0.69036	1.3258

**Ek 3'ün devamı. ATC 40'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 3.2. %25 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	$T_{eff}$	$B_{eff}$	$S_d$ (kap.)	$S_a$ (kap.)	$S_d$ (talep)	$S_a$ (talep)	$\alpha$	PFPhi
0	1.61471	0.05	0	0	0.160441	2.4301626	1	1
1	1.61471	0.05	0.007521	0.1139137	0.160441	2.4301626	0.93139	1.06371
2	1.6158	0.05029	0.015043	0.227543	0.160332	2.425238	0.93139	1.06364
3	1.61638	0.05033	0.022564	0.3410643	0.160355	2.423845	0.93139	1.06363
4	1.61696	0.05042	0.030086	0.4544384	0.160346	2.4219615	0.93139	1.06363
5	1.61754	0.05051	0.037607	0.567636	0.160328	2.4199602	0.93139	1.06362
6	1.61812	0.05061	0.045129	0.6806865	0.160307	2.4179099	0.93139	1.06361
7	1.6187	0.05071	0.052651	0.7935603	0.160285	2.41584	0.93139	1.06361
8	1.61928	0.05081	0.060173	0.906287	0.160262	2.4137603	0.93139	1.0636
9	1.61986	0.05092	0.067695	1.018847	0.160239	2.4116806	0.93139	1.06359
10	1.6204	0.05101	0.074608	1.1221365	0.160217	2.4097382	0.93139	1.06359
11	1.62534	0.05322	0.081831	1.2233168	0.159005	2.3770121	0.92904	1.06826
12	1.64355	0.06179	0.088031	1.2870033	0.154731	2.2621566	0.91251	1.0839
13	1.67157	0.07294	0.098252	1.388684	0.150521	2.1274457	0.88826	1.10013
14	1.68948	0.07914	0.104946	1.4520075	0.148727	2.0577554	0.87421	1.10619
15	1.70742	0.08475	0.111852	1.5152036	0.147419	1.9970217	0.86132	1.10941
16	1.75526	0.10253	0.122846	1.5746718	0.143298	1.8368342	0.86024	1.1078
17	1.78947	0.1154	0.12913	1.592526	0.140868	1.7372921	0.86616	1.10734
18	1.83022	0.12983	0.136487	1.6091343	0.13875	1.6358273	0.86819	1.10627
19	1.87071	0.14336	0.143709	1.6217402	0.13724	1.5487341	0.8722	1.10634
20	1.91097	0.1562	0.150785	1.630628	0.136149	1.4723633	0.87751	1.10748
21	1.9524	0.16892	0.157918	1.6360726	0.135325	1.402006	0.88437	1.10812
22	1.99175	0.17965	0.165239	1.6449408	0.135025	1.3441662	0.88937	1.10743
23	2.02919	0.18884	0.172598	1.6553885	0.135063	1.2953909	0.89299	1.10657
24	2.07595	0.19914	0.182271	1.67028	0.135453	1.2412593	0.89683	1.10556
25	2.11101	0.20649	0.189607	1.6802862	0.135851	1.2039126	0.90048	1.10498
26	2.14303	0.21184	0.197075	1.6946579	0.13656	1.1742864	0.90164	1.1037
27	2.17503	0.2171	0.204558	1.7076365	0.137281	1.146014	0.90367	1.10243

**Ek 3'ün devamı. ATC 40'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 3.2'nin devamı. %25 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	T <sub>eff</sub>	B <sub>eff</sub>	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	$\alpha$	PFPhi
28	2.20603	0.22072	0.21197	1.7201246	0.138337	1.1226074	0.90599	1.10163
29	2.26032	0.22595	0.225649	1.744218	0.140436	1.0855354	0.9074	1.10246
30	2.28747	0.22827	0.232729	1.7565001	0.141545	1.0682992	0.90772	1.10329
31	2.31352	0.23018	0.239825	1.769518	0.142681	1.0527503	0.90741	1.104
32	2.33893	0.2319	0.24691	1.782428	0.143818	1.0382119	0.90714	1.10472
33	2.36388	0.23359	0.253892	1.7943569	0.144927	1.0242621	0.90732	1.10585
34	2.39224	0.23553	0.261842	1.8069235	0.146178	1.0087525	0.9081	1.107
35	2.41702	0.23709	0.268954	1.8181265	0.147299	0.9957444	0.90861	1.10747
36	2.44087	0.23844	0.275981	1.8293492	0.148409	0.983737	0.90907	1.10826
37	2.46436	0.23971	0.283013	1.8403756	0.149514	0.9722593	0.90966	1.10899
38	2.48752	0.24084	0.290126	1.8516669	0.150631	0.9613702	0.91009	1.10937
39	2.50991	0.24179	0.297219	1.8632427	0.151744	0.9512659	0.91044	1.10981
40	2.53175	0.24256	0.304367	1.8752698	0.152863	0.9418287	0.91055	1.11004
41	2.55311	0.24325	0.311521	1.8873655	0.153976	0.9328721	0.91063	1.11022
42	2.59133	0.24501	0.323777	1.9041897	0.155819	0.9163913	0.91157	1.10892
43	2.63083	0.24687	0.336519	1.9201407	0.157703	0.8998321	0.91282	1.10632
44	2.67592	0.24943	0.350567	1.9334529	0.159724	0.8809086	0.91444	1.10378
45	2.70028	0.25077	0.358224	1.9401924	0.16082	0.8710299	0.91529	1.10252
46	2.71545	0.25156	0.363063	1.944499	0.161513	0.865036	0.91581	1.10174

Ek Tablo 3.3. %50 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	T <sub>eff</sub>	B <sub>eff</sub>	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	$\alpha$	PFPhi
0	1.19916	0.05	0	0	0.119151	3.27230208	1	1
1	1.19916	0.05	0.007653	0.21018906	0.119151	3.27230208	0.934	1.04531
2	1.19922	0.05002	0.015306	0.42032907	0.119154	3.27205683	0.934	1.04531
3	1.19947	0.05013	0.02296	0.63024345	0.119114	3.26958471	0.93399	1.04528
4	1.19948	0.05008	0.030614	0.84030498	0.119146	3.27039894	0.934	1.04529

**Ek 3'ün devamı. ATC 40'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 3.3'ün devamı. %50 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	T <sub>eff</sub>	B <sub>eff</sub>	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	$\alpha$	PFPhi
5	1.19971	0.05018	0.038267	1.04998392	0.119109	3.26815245	0.934	1.04528
6	1.19983	0.05019	0.045921	1.25973153	0.119112	3.26758347	0.93401	1.04528
7	1.19994	0.05021	0.05322	1.45971819	0.119111	3.26694582	0.93401	1.04529
8	1.20304	0.05213	0.059929	1.63527795	0.118307	3.22821594	0.93167	1.04944
9	1.23125	0.06816	0.072888	1.89877455	0.11293	2.94188166	0.89243	1.06955
10	1.25186	0.07813	0.08107	2.04292269	0.110601	2.78709948	0.87715	1.07301
11	1.31466	0.10943	0.09572	2.18719836	0.105215	2.40415632	0.87323	1.06219
12	1.34891	0.1243	0.103542	2.24726499	0.103712	2.25097317	0.87251	1.05922
13	1.38656	0.14132	0.110668	2.2732713	0.102213	2.09959506	0.88506	1.0633
14	1.41901	0.15287	0.118133	2.31690618	0.101853	1.9976103	0.88987	1.06383
15	1.4507	0.16338	0.125516	2.35533195	0.101746	1.90926144	0.89653	1.06499
16	1.48017	0.17163	0.133012	2.39760324	0.102012	1.83881583	0.9011	1.06512
17	1.51492	0.18023	0.142325	2.44911555	0.102578	1.76515254	0.90675	1.06567
18	1.54141	0.18621	0.149682	2.48796315	0.10313	1.71417978	0.91194	1.06674

Ek Tablo 3.4. %75 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	T <sub>eff</sub>	B <sub>eff</sub>	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	$\alpha$	PFPhi
0	1.11975	0.05	0	0	0.111261	3.50434782	1	1
1	1.11975	0.05	0.007682	0.2419735	0.111261	3.50434782	0.9346	1.04135
2	1.11978	0.05001	0.015365	0.4839077	0.111266	3.50434782	0.9346	1.04135
3	1.11989	0.05006	0.023047	0.7257438	0.11125	3.50314119	0.93459	1.04133
4	1.1199	0.05004	0.03073	0.967629	0.111263	3.50349435	0.9346	1.04134
5	1.12	0.05009	0.038412	1.2093081	0.111245	3.50227791	0.93461	1.04134
6	1.12001	0.05007	0.046094	1.4511541	0.111259	3.50268012	0.93461	1.04134
7	1.12008	0.05011	0.048778	1.5354318	0.111241	3.50165007	0.93461	1.04134
8	1.12281	0.05193	0.055217	1.7296894	0.110525	3.46221387	0.93234	1.04531
9	1.1477	0.06726	0.06655	1.9952461	0.105644	3.16732527	0.89567	1.06299
10	1.16713	0.07748	0.074105	2.1483998	0.103355	2.99639583	0.88059	1.06651
11	1.22359	0.10737	0.087621	2.3112458	0.0985	2.59820793	0.8719	1.05399

**Ek 3'ün devamı. ATC 40'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 3.4'ün devamı. %75 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	$T_{eff}$	$B_{eff}$	$S_d$ (kap.)	$S_a$ (kap.)	$S_d$ (talep)	$S_a$ (talep)	$\alpha$	PFPhi
12	1.25719	0.12252	0.095707	2.3913641	0.097107	2.42636616	0.86864	1.04853
13	1.29359	0.13962	0.102978	2.4302902	0.095746	2.25960597	0.87883	1.05218
14	1.32606	0.15196	0.110528	2.482293	0.095376	2.14202331	0.88388	1.05269
15	1.35831	0.16393	0.117779	2.5210327	0.095153	2.03673258	0.89371	1.05581
16	1.38697	0.17233	0.125155	2.5693665	0.09545	1.95953769	0.89948	1.0575
17	1.41259	0.17867	0.132266	2.6177298	0.095953	1.89903942	0.90406	1.05829

Ek Tablo 3.5. % 100 bağlı yapı için ATC 40'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	$T_{eff}$	$B_{eff}$	$S_d$ (kap.)	$S_a$ (kap.)	$S_d$ (talep)	$S_a$ (talep)	$\alpha$	PFPhi
0	1.07101	0.05	0	0	0.106417	3.66384861	1	1
1	1.07101	0.05	0.007695	0.26492886	0.106417	3.66384861	0.9351	1.03964
2	1.07102	0.05001	0.01539	0.52984791	0.106424	3.66398595	0.9351	1.03964
3	1.07103	0.05001	0.023085	0.79474734	0.106423	3.66384861	0.93511	1.03965
4	1.0711	0.05004	0.03078	1.05953886	0.106412	3.66306381	0.9351	1.03964
5	1.0711	0.05003	0.038475	1.32440886	0.106419	3.66326001	0.93511	1.03965
6	1.07115	0.05006	0.046067	1.58560992	0.106411	3.66261255	0.93512	1.03965
7	1.07372	0.05185	0.052349	1.79322876	0.105734	3.62192067	0.93295	1.04346
8	1.09619	0.06648	0.062449	2.05238934	0.101217	3.32651214	0.89897	1.05945
9	1.11893	0.07906	0.07093	2.23732746	0.098529	3.10789629	0.88162	1.06284
10	1.1663	0.1054	0.08215	2.38505625	0.094421	2.74132602	0.87187	1.05128
11	1.19964	0.12096	0.090347	2.47927149	0.093041	2.55318984	0.86674	1.04445
12	1.23502	0.13786	0.097751	2.53093095	0.091797	2.37677661	0.87519	1.04718
13	1.26875	0.15233	0.10502	2.57647878	0.091178	2.23690563	0.88578	1.05088
14	1.29905	0.16266	0.112544	2.63375937	0.091251	2.13546042	0.8909	1.0517
15	1.32741	0.17113	0.120007	2.68969599	0.091581	2.05258554	0.8963	1.05296
16	1.35453	0.1786	0.127352	2.74114944	0.092022	1.98071748	0.90274	1.05506
17	1.3648	0.18084	0.130414	2.76498774	0.0923	1.95690861	0.90443	1.0551



#### Ek 4. FEMA 440'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler

Ek Tablo 4.1. %0 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	$S_d$ (kap.)	$S_a$ (kap.)	$S_d$ (talep)	$S_a$ (talep)	$T_{eff}$	$T_{sec}$	$B_{eff}$	$\mu$	$\alpha$	M
0	0.000	0.000	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
1	0.007	0.039	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
2	0.013	0.078	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
3	0.020	0.117	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
4	0.026	0.156	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
5	0.033	0.195	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
6	0.039	0.234	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
7	0.046	0.273	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
8	0.052	0.312	0.255	1.530	2.564	2.564	0.050	1.000	0.000	1.000
9	0.059	0.351	0.255	1.534	2.572	2.564	0.051	1.125	1.000	1.006
10	0.065	0.391	0.262	1.574	2.651	2.564	0.058	1.428	1.000	1.069
11	0.072	0.430	0.283	1.700	2.863	2.564	0.078	1.832	1.000	1.247
12	0.078	0.469	0.334	2.005	3.299	2.564	0.116	2.396	1.000	1.655
13	0.085	0.508	0.438	2.633	4.041	2.564	0.172	3.238	1.000	2.484
14	0.091	0.547	0.511	3.071	4.494	2.564	0.202	4.634	1.000	3.071
15	0.098	0.586	0.733	4.404	5.402	2.564	0.206	7.390	1.000	4.438
16	0.104	0.625	1.272	7.637	6.982	2.564	0.186	15.388	1.000	7.414
17	0.111	0.664	3.789	22.755	10.208	2.564	0.064	332.947	1.000	15.848
18	0.117	0.703	0.316	1.897	3.152	2.564	0.103	2.222	1.000	1.511
19	0.124	0.742	0.366	2.198	3.544	2.564	0.136	2.673	1.000	1.910
20	0.130	0.781	0.443	2.659	4.068	2.564	0.174	3.271	1.000	2.517
21	0.133	0.801	0.492	2.957	4.359	2.564	0.190	3.659	1.000	2.889
22	0.142	0.848	0.255	1.523	2.566	2.569	0.050	1.063	0.939	0.998
23	0.145	0.862	0.254	1.512	2.566	2.575	0.050	1.059	0.848	0.993
24	0.149	0.871	0.251	1.465	2.566	2.602	0.050	1.056	0.461	0.972
25	0.154	0.880	0.249	1.422	2.568	2.629	0.050	1.084	0.376	0.954
26	0.159	0.888	0.247	1.381	2.571	2.656	0.051	1.115	0.343	0.937
27	0.164	0.898	0.244	1.341	2.575	2.683	0.051	1.148	0.332	0.922

**Ek 4'ün devamı. FEMA 440'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 4.1'in devamı. %0 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
28	0.169	0.907	0.242	1.304	2.581	2.710	0.052	1.182	0.322	0.907
29	0.174	0.918	0.241	1.270	2.588	2.736	0.052	1.220	0.326	0.895
30	0.179	0.921	0.238	1.229	2.593	2.767	0.053	1.243	0.277	0.878
31	0.184	0.925	0.236	1.189	2.600	2.799	0.053	1.269	0.241	0.862
32	0.188	0.928	0.234	1.152	2.607	2.832	0.054	1.296	0.211	0.847
33	0.194	0.932	0.232	1.117	2.616	2.864	0.055	1.327	0.196	0.834
34	0.199	0.936	0.230	1.084	2.626	2.896	0.056	1.358	0.182	0.822
35	0.204	0.940	0.229	1.054	2.638	2.927	0.057	1.393	0.176	0.812
36	0.209	0.945	0.227	1.025	2.650	2.959	0.058	1.427	0.168	0.802
37	0.215	0.950	0.226	0.998	2.665	2.990	0.059	1.464	0.166	0.795
38	0.221	0.954	0.225	0.972	2.680	3.021	0.061	1.500	0.161	0.787
39	0.226	0.959	0.224	0.949	2.698	3.052	0.062	1.538	0.160	0.781
40	0.227	0.960	0.224	0.944	2.701	3.058	0.063	1.546	0.159	0.780
41	0.233	0.964	0.223	0.921	2.719	3.091	0.064	1.582	0.153	0.774
42	0.241	0.968	0.221	0.888	2.743	3.137	0.067	1.629	0.141	0.765
43	0.250	0.971	0.220	0.854	2.772	3.189	0.069	1.681	0.127	0.755
44	0.257	0.969	0.218	0.825	2.788	3.233	0.071	1.710	0.107	0.744
45	0.263	0.967	0.217	0.797	2.806	3.277	0.072	1.740	0.089	0.733
46	0.270	0.965	0.215	0.771	2.826	3.322	0.074	1.773	0.073	0.723
47	0.276	0.963	0.214	0.746	2.847	3.368	0.076	1.807	0.059	0.715
48	0.283	0.960	0.213	0.722	2.869	3.414	0.078	1.841	0.046	0.706
49	0.290	0.957	0.212	0.699	2.893	3.461	0.080	1.877	0.035	0.699
50	0.297	0.954	0.211	0.677	2.919	3.509	0.083	1.914	0.024	0.692
51	0.302	0.952	0.211	0.665	2.934	3.537	0.084	1.936	0.019	0.688

**Ek 4'ün devamı. FEMA 440'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 4.2. %25 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
0	0.000	0.000	0.160	2.430	1.615	1.615	0.050	1.000	0.000	1.000
1	0.008	0.114	0.160	2.430	1.615	1.615	0.050	1.000	0.000	1.000
2	0.015	0.228	0.186	2.815	1.876	1.616	0.088	2.000	0.997	1.349
3	0.023	0.341	0.229	3.462	2.223	1.616	0.135	2.658	0.997	1.891
4	0.030	0.454	0.244	3.692	2.335	1.617	0.148	2.856	0.996	2.085
5	0.038	0.568	0.250	3.771	2.373	1.618	0.153	2.924	0.995	2.153
6	0.045	0.681	0.252	3.802	2.389	1.618	0.155	2.953	0.994	2.180
7	0.053	0.794	0.253	3.815	2.397	1.619	0.156	2.967	0.993	2.193
8	0.060	0.906	0.254	3.820	2.401	1.619	0.156	2.974	0.991	2.199
9	0.068	1.019	0.254	3.821	2.404	1.620	0.157	2.979	0.990	2.202
10	0.075	1.122	0.254	3.816	2.403	1.620	0.157	2.978	0.989	2.199
11	0.082	1.223	0.174	2.597	1.771	1.625	0.073	1.751	0.970	1.187
12	0.088	1.287	0.160	2.338	1.643	1.644	0.054	1.305	0.851	0.999
13	0.098	1.389	0.158	2.228	1.648	1.672	0.055	1.334	0.733	0.972
14	0.105	1.452	0.157	2.171	1.660	1.689	0.057	1.388	0.690	0.965
15	0.112	1.515	0.157	2.121	1.675	1.707	0.059	1.451	0.660	0.962
16	0.123	1.575	0.153	1.959	1.681	1.755	0.060	1.476	0.523	0.917
17	0.129	1.593	0.150	1.852	1.685	1.789	0.060	1.489	0.434	0.886
18	0.136	1.609	0.148	1.740	1.694	1.830	0.062	1.522	0.354	0.857
19	0.144	1.622	0.145	1.641	1.707	1.871	0.064	1.564	0.293	0.832
20	0.151	1.631	0.144	1.552	1.721	1.911	0.066	1.610	0.245	0.811
21	0.158	1.636	0.142	1.469	1.737	1.952	0.068	1.658	0.204	0.792
22	0.165	1.645	0.141	1.401	1.758	1.992	0.071	1.717	0.179	0.779
23	0.173	1.655	0.140	1.344	1.782	2.029	0.075	1.781	0.163	0.771
24	0.182	1.670	0.140	1.282	1.818	2.076	0.080	1.868	0.150	0.767
25	0.190	1.680	0.140	1.240	1.847	2.111	0.084	1.934	0.141	0.765
26	0.197	1.695	0.141	1.209	1.880	2.143	0.089	2.008	0.139	0.770
27	0.205	1.708	0.141	1.181	1.914	2.175	0.093	2.080	0.136	0.775

**Ek 4'ün devamı. FEMA 440'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 4.2'nin devamı. %25 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
28	0.212	1.720	0.142	1.156	1.949	2.206	0.098	2.151	0.133	0.781
29	0.226	1.744	0.145	1.120	2.018	2.260	0.108	2.285	0.129	0.797
30	0.233	1.757	0.146	1.105	2.054	2.287	0.113	2.354	0.128	0.807
31	0.240	1.770	0.148	1.093	2.093	2.314	0.118	2.424	0.127	0.818
32	0.247	1.782	0.150	1.082	2.131	2.339	0.123	2.495	0.126	0.830
33	0.254	1.794	0.152	1.072	2.169	2.364	0.128	2.562	0.125	0.842
34	0.262	1.807	0.154	1.061	2.211	2.392	0.133	2.638	0.123	0.855
35	0.269	1.818	0.156	1.052	2.250	2.417	0.138	2.706	0.122	0.866
36	0.276	1.829	0.158	1.044	2.288	2.441	0.143	2.773	0.120	0.878
37	0.283	1.840	0.160	1.037	2.326	2.464	0.147	2.840	0.119	0.891
38	0.290	1.852	0.162	1.031	2.364	2.488	0.152	2.908	0.118	0.903
39	0.297	1.863	0.164	1.026	2.403	2.510	0.156	2.977	0.117	0.916
40	0.304	1.875	0.166	1.023	2.441	2.532	0.161	3.047	0.117	0.930
41	0.312	1.887	0.168	1.019	2.480	2.553	0.165	3.117	0.117	0.943
42	0.324	1.904	0.172	1.009	2.539	2.591	0.172	3.229	0.114	0.960
43	0.337	1.920	0.175	0.997	2.598	2.631	0.177	3.342	0.111	0.975
44	0.351	1.933	0.177	0.978	2.654	2.676	0.183	3.457	0.105	0.984
45	0.358	1.940	0.179	0.968	2.683	2.700	0.185	3.519	0.103	0.987
46	0.363	1.944	0.180	0.962	2.701	2.715	0.187	3.558	0.101	0.989

Ek Tablo 4.3. %50 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
0	0.000	0.000	0.119	3.272	1.199	1.199	0.050	1.000	0.000	1.000
1	0.008	0.210	0.119	3.272	1.199	1.199	0.050	1.000	0.000	1.000
2	0.015	0.420	0.138	3.798	1.393	1.199	0.088	2.000	1.000	1.350
3	0.023	0.630	0.129	3.535	1.305	1.199	0.071	1.715	0.999	1.184
4	0.031	0.840	0.186	5.115	1.766	1.199	0.154	2.933	0.999	2.168

**Ek 4'ün devamı. FEMA 440'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 4.3'ün devamı. %50 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
5	0.038	1.050	0.146	4.007	1.461	1.200	0.101	2.187	0.998	1.482
6	0.046	1.260	0.159	4.354	1.563	1.200	0.119	2.447	0.998	1.698
7	0.053	1.460	0.167	4.571	1.625	1.200	0.130	2.596	0.998	1.833
8	0.060	1.635	0.120	3.286	1.219	1.203	0.054	1.299	0.972	1.027
9	0.073	1.899	0.117	3.059	1.216	1.231	0.053	1.275	0.761	0.976
10	0.081	2.043	0.116	2.935	1.229	1.252	0.056	1.363	0.690	0.963
11	0.096	2.187	0.112	2.562	1.244	1.315	0.059	1.450	0.459	0.895
12	0.104	2.247	0.110	2.398	1.259	1.349	0.062	1.524	0.390	0.870
13	0.111	2.273	0.108	2.227	1.270	1.387	0.064	1.575	0.310	0.839
14	0.118	2.317	0.108	2.111	1.291	1.419	0.068	1.661	0.282	0.827
15	0.126	2.355	0.107	2.011	1.313	1.451	0.073	1.745	0.258	0.820
16	0.133	2.398	0.107	1.935	1.341	1.480	0.078	1.837	0.246	0.820
17	0.142	2.449	0.108	1.860	1.378	1.515	0.085	1.953	0.235	0.827
18	0.150	2.488	0.109	1.811	1.409	1.541	0.091	2.044	0.227	0.835

Ek Tablo 4.4. %75 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
0	0.000	0.000	0.111	3.504	1.120	1.120	0.050	1.000	0.000	1.000
1	0.008	0.242	0.111	3.504	1.120	1.120	0.050	1.000	0.000	1.000
2	0.015	0.484	0.129	4.067	1.301	1.120	0.088	2.000	1.000	1.350
3	0.023	0.726	0.121	3.809	1.225	1.120	0.072	1.740	0.999	1.197
4	0.031	0.968	0.171	5.381	1.627	1.120	0.150	2.877	1.000	2.112
5	0.038	1.209	0.135	4.247	1.351	1.120	0.098	2.150	0.999	1.456
6	0.046	1.451	0.177	5.587	1.673	1.120	0.158	2.994	0.999	2.231
7	0.049	1.535	0.140	4.396	1.391	1.120	0.106	2.263	0.999	1.543
8	0.055	1.730	0.112	3.500	1.129	1.123	0.052	1.212	0.969	1.012
9	0.067	1.995	0.110	3.286	1.133	1.148	0.053	1.250	0.759	0.975

**Ek 4'ün devamı. FEMA 440'a Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 4.4'ün devamı. %75 bağlı yapıda FEMA 440'a göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
10	0.074	2.148	0.109	3.151	1.144	1.167	0.055	1.342	0.688	0.961
11	0.088	2.311	0.105	2.768	1.160	1.224	0.059	1.444	0.471	0.899
12	0.096	2.391	0.104	2.587	1.177	1.257	0.062	1.533	0.406	0.877
13	0.103	2.430	0.102	2.399	1.190	1.294	0.065	1.593	0.327	0.846
14	0.111	2.482	0.101	2.267	1.211	1.326	0.069	1.685	0.294	0.834
15	0.118	2.521	0.100	2.147	1.232	1.358	0.074	1.766	0.261	0.823
16	0.125	2.569	0.101	2.064	1.259	1.387	0.079	1.864	0.249	0.825
17	0.132	2.618	0.101	2.005	1.289	1.413	0.086	1.962	0.242	0.833

Ek Tablo 4.5. %100 bağlı yapıda FEMA 440 göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	S <sub>d</sub> (kap.)	S <sub>a</sub> (kap.)	S <sub>d</sub> (talep)	S <sub>a</sub> (talep)	T <sub>eff</sub>	T <sub>sec</sub>	B <sub>eff</sub>	μ	α	M
0	0.000	0.000	0.106	3.664	1.071	1.071	0.050	1.000	0.000	1.000
1	0.008	0.265	0.106	3.664	1.071	1.071	0.050	1.000	0.000	1.000
2	0.015	0.530	0.124	4.252	1.245	1.071	0.088	2.000	1.000	1.350
3	0.023	0.795	0.133	4.581	1.326	1.071	0.105	2.250	1.000	1.533
4	0.031	1.060	0.115	3.947	1.162	1.071	0.070	1.699	1.000	1.177
5	0.038	1.324	0.144	4.967	1.416	1.071	0.123	2.500	1.000	1.747
6	0.046	1.586	0.127	4.372	1.275	1.071	0.094	2.098	0.999	1.417
7	0.052	1.793	0.107	3.653	1.077	1.074	0.051	1.174	0.966	1.007
8	0.062	2.052	0.105	3.446	1.082	1.096	0.053	1.232	0.759	0.974
9	0.071	2.237	0.104	3.272	1.095	1.119	0.055	1.344	0.672	0.957
10	0.082	2.385	0.101	2.920	1.108	1.166	0.058	1.432	0.480	0.902
11	0.090	2.479	0.099	2.723	1.125	1.200	0.062	1.531	0.415	0.880
12	0.098	2.531	0.098	2.526	1.140	1.235	0.065	1.602	0.340	0.852
13	0.105	2.576	0.096	2.367	1.158	1.269	0.069	1.682	0.291	0.833
14	0.113	2.634	0.096	2.255	1.183	1.299	0.075	1.785	0.272	0.830
15	0.120	2.690	0.097	2.168	1.212	1.327	0.081	1.889	0.258	0.833
16	0.127	2.741	0.097	2.096	1.241	1.355	0.087	1.990	0.246	0.840
17	0.130	2.765	0.098	2.075	1.255	1.365	0.090	2.035	0.245	0.846

**Ek 5. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.1. %0 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
0	560.550	1.000	1.000	0.000	0.000
1	560.550	1.000	1.000	0.008	0.035
2	560.550	1.000	1.000	0.016	0.071
3	560.550	1.000	1.000	0.024	0.106
4	560.550	1.000	1.000	0.032	0.141
5	560.550	1.000	1.000	0.040	0.176
6	560.550	1.000	1.000	0.048	0.212
7	560.550	1.000	1.000	0.056	0.247
8	560.550	1.000	1.000	0.064	0.282
9	560.550	1.000	1.000	0.072	0.318
10	560.550	1.000	1.000	0.080	0.353
11	560.550	1.000	1.000	0.088	0.388
12	560.550	1.000	1.000	0.096	0.424
13	560.550	1.000	1.000	0.104	0.459
14	560.550	1.000	1.000	0.112	0.494
15	560.550	1.000	1.000	0.120	0.529
16	560.550	1.000	1.000	0.128	0.565
17	560.550	1.000	1.000	0.136	0.600
18	560.550	1.000	1.000	0.144	0.635
19	560.550	1.000	1.000	0.152	0.671
20	560.550	1.000	1.000	0.160	0.706
21	560.550	1.000	1.000	0.164	0.724
22	560.550	1.000	1.000	0.175	0.766
23	560.550	1.000	1.000	0.179	0.778
24	560.550	1.000	1.000	0.187	0.778
25	560.550	1.000	1.000	0.195	0.778
26	560.550	1.000	1.000	0.203	0.777

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.1'in devamı. %0 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
27	560.550	1.000	1.000	0.211	0.777
28	560.550	1.000	1.000	0.219	0.777
29	560.550	1.000	1.000	0.227	0.776
30	560.550	1.000	1.000	0.235	0.774
31	560.550	1.000	1.000	0.243	0.772
32	560.550	1.000	1.000	0.251	0.770
33	560.550	1.000	1.000	0.259	0.768
34	560.550	1.000	1.000	0.267	0.766
35	560.550	1.000	1.000	0.275	0.763
36	560.550	1.000	1.000	0.283	0.761
37	560.550	1.000	1.000	0.291	0.759
38	560.550	1.000	1.000	0.299	0.757
39	560.550	1.000	1.000	0.307	0.755
40	560.550	1.000	1.000	0.309	0.755
41	560.550	1.000	1.000	0.317	0.751
42	560.550	1.000	1.000	0.328	0.745
43	560.550	1.000	1.000	0.339	0.737
44	560.550	1.000	1.000	0.347	0.726
45	560.550	1.000	1.000	0.355	0.716
46	560.550	1.000	1.000	0.363	0.705
47	560.550	1.000	1.000	0.371	0.695
48	560.550	1.000	1.000	0.379	0.684
49	560.550	1.000	1.000	0.387	0.674
50	560.550	1.000	1.000	0.395	0.663
51					1.324



**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.2. %25 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
0	560.550	1.000	1.000	0.000	0.000
1	560.550	1.000	1.000	0.004	0.053
2	560.550	1.000	1.000	0.008	0.106
3	560.550	1.000	1.000	0.012	0.159
4	560.550	1.000	1.000	0.016	0.212
5	560.550	1.000	1.000	0.020	0.265
6	560.550	1.000	1.000	0.024	0.318
7	560.550	1.000	1.000	0.028	0.370
8	560.550	1.000	1.000	0.032	0.423
9	560.550	1.000	1.000	0.036	0.476
10	560.550	1.000	1.000	0.040	0.529
11	560.550	1.000	1.000	0.044	0.581
12	560.550	1.000	1.000	0.048	0.634
13	560.550	1.000	1.000	0.052	0.687
14	560.550	1.000	1.000	0.056	0.739
15	560.550	1.000	1.000	0.060	0.792
16	560.550	1.000	1.000	0.064	0.844
17	560.550	1.000	1.000	0.068	0.897
18	560.550	1.000	1.000	0.072	0.949
19	560.550	1.000	1.000	0.076	1.001
20	560.550	1.000	1.000	0.079	1.045
21	560.550	1.000	1.000	0.083	1.093
22	560.550	1.000	1.000	0.088	1.137
23	560.550	1.000	1.000	0.092	1.156
24	560.550	1.000	1.000	0.096	1.174
25	560.550	1.000	1.000	0.100	1.193
26	560.550	1.000	1.000	0.104	1.212

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.2'nin devamı. %25 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
27	560.550	1.000	1.000	0.108	1.230
28	560.550	1.000	1.000	0.112	1.248
29	560.550	1.000	1.000	0.116	1.266
30	560.550	1.000	1.000	0.120	1.284
31	560.550	1.000	1.000	0.124	1.302
32	560.550	1.000	1.000	0.131	1.333
33	560.550	1.000	1.000	0.135	1.349
34	560.550	1.000	1.000	0.139	1.363
35	560.550	1.000	1.000	0.143	1.378
36	560.550	1.000	1.000	0.147	1.387
37	560.550	1.000	1.000	0.151	1.396
38	560.550	1.000	1.000	0.155	1.404
39	560.550	1.000	1.000	0.159	1.413
40	560.550	1.000	1.000	0.163	1.421
41	560.550	1.000	1.000	0.167	1.429
42	560.550	1.000	1.000	0.171	1.437
43	560.550	1.000	1.000	0.175	1.445
44	560.550	1.000	1.000	0.179	1.452
45	560.550	1.000	1.000	0.183	1.460
46	560.550	1.000	1.000	0.187	1.468
47	560.550	1.000	1.000	0.191	1.475
48	560.550	1.000	1.000	0.198	1.489
49	560.550	1.000	1.000	0.200	1.493
50					1.873

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.3. %50 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
0	560.550	1.000	1.000	0.000	0.000
1	560.550	1.000	1.000	0.003	0.079
2	560.550	1.000	1.000	0.006	0.157
3	560.550	1.000	1.000	0.010	0.236
4	560.550	1.000	1.000	0.013	0.314
5	560.550	1.000	1.000	0.016	0.393
6	560.550	1.000	1.000	0.019	0.471
7	560.550	1.000	1.000	0.022	0.549
8	560.550	1.000	1.000	0.026	0.628
9	560.550	1.000	1.000	0.029	0.706
10	560.550	1.000	1.000	0.032	0.785
11	560.550	1.000	1.000	0.035	0.863
12	560.550	1.000	1.000	0.038	0.942
13	560.550	1.000	1.000	0.042	1.020
14	560.550	1.000	1.000	0.045	1.098
15	560.550	1.000	1.000	0.048	1.177
16	560.550	1.000	1.000	0.051	1.255
17	560.550	1.000	1.000	0.054	1.333
18	560.550	1.000	1.000	0.056	1.364
19	560.550	1.000	1.000	0.059	1.436
20	560.550	1.000	1.000	0.063	1.524
21	560.550	1.000	1.000	0.068	1.582
22	560.550	1.000	1.000	0.073	1.642
23	560.550	1.000	1.000	0.076	1.677
24	560.550	1.000	1.000	0.080	1.711
25	560.550	1.000	1.000	0.083	1.746
26	560.550	1.000	1.000	0.086	1.780

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.3'ün devamı. %50 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
27	560.550	1.000	1.000	0.091	1.829
28	560.550	1.000	1.000	0.094	1.857
29	560.550	1.000	1.000	0.097	1.878
30	560.550	1.000	1.000	0.100	1.899
31	560.550	1.000	1.000	0.103	1.920
32	560.550	1.000	1.000	0.106	1.940
33	560.550	1.000	1.000	0.110	1.960
34	560.550	1.000	1.000	0.113	1.979
35	560.550	1.000	1.000	0.116	1.999
36	560.550	1.000	1.000	0.119	2.018
37	560.550	1.000	1.000	0.122	2.038
38	560.550	1.000	1.000	0.126	2.057
39	560.550	1.000	1.000	0.129	2.076
40	560.550	1.000	1.000	0.132	2.095
41	560.550	1.000	1.000	0.135	2.115
42	560.550	1.000	1.000	0.138	2.134
43	560.550	1.000	1.000	0.142	2.153
44	560.550	1.000	1.000	0.145	2.172
45	560.550	1.000	1.000	0.148	2.191
46	560.550	1.000	1.000	0.151	2.210
47	560.550	1.000	1.000	0.154	2.230
48					2.251

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.4. %75 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
0	560.550	1.000	1.000	0.000	0.000
1	560.550	1.000	1.000	0.003	0.079
2	560.550	1.000	1.000	0.006	0.158
3	560.550	1.000	1.000	0.008	0.237
4	560.550	1.000	1.000	0.011	0.317
5	560.550	1.000	1.000	0.014	0.396
6	560.550	1.000	1.000	0.017	0.475
7	560.550	1.000	1.000	0.020	0.554
8	560.550	1.000	1.000	0.022	0.633
9	560.550	1.000	1.000	0.025	0.712
10	560.550	1.000	1.000	0.028	0.791
11	560.550	1.000	1.000	0.031	0.870
12	560.550	1.000	1.000	0.034	0.949
13	560.550	1.000	1.000	0.036	1.029
14	560.550	1.000	1.000	0.039	1.108
15	560.550	1.000	1.000	0.042	1.187
16	560.550	1.000	1.000	0.045	1.266
17	560.550	1.000	1.000	0.048	1.345
18	560.550	1.000	1.000	0.050	1.424
19	560.550	1.000	1.000	0.053	1.497
20	560.550	1.000	1.000	0.056	1.570
21	560.550	1.000	1.000	0.058	1.611
22	560.550	1.000	1.000	0.062	1.670
23	560.550	1.000	1.000	0.065	1.706
24	560.550	1.000	1.000	0.067	1.742
25	560.550	1.000	1.000	0.070	1.778
26	560.550	1.000	1.000	0.076	1.849

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.4'ün devamı. %75 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
27	560.550	1.000	1.000	0.078	1.883
28	560.550	1.000	1.000	0.083	1.935
29	560.550	1.000	1.000	0.087	1.972
30	560.550	1.000	1.000	0.090	1.994
31	560.550	1.000	1.000	0.093	2.016
32	560.550	1.000	1.000	0.096	2.038
33	560.550	1.000	1.000	0.098	2.058
34	560.550	1.000	1.000	0.101	2.079
35	560.550	1.000	1.000	0.104	2.099
36	560.550	1.000	1.000	0.107	2.119
37	560.550	1.000	1.000	0.110	2.139
38	560.550	1.000	1.000	0.112	2.159
39	560.550	1.000	1.000	0.115	2.179
40	560.550	1.000	1.000	0.118	2.200
41	560.550	1.000	1.000	0.121	2.220
42	560.550	1.000	1.000	0.124	2.240
43	560.550	1.000	1.000	0.126	2.260
44	560.550	1.000	1.000	0.129	2.280
45	560.550	1.000	1.000	0.132	2.300
46	560.550	1.000	1.000	0.135	2.320
47	560.550	1.000	1.000	0.138	2.340
48					2.395

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.5. %100 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
0	560.550	1.000	1.000	0.000	0.000
1	560.550	1.000	1.000	0.003	0.081
2	560.550	1.000	1.000	0.005	0.161
3	560.550	1.000	1.000	0.008	0.242
4	560.550	1.000	1.000	0.010	0.322
5	560.550	1.000	1.000	0.013	0.403
6	560.550	1.000	1.000	0.016	0.483
7	560.550	1.000	1.000	0.018	0.564
8	560.550	1.000	1.000	0.021	0.644
9	560.550	1.000	1.000	0.023	0.725
10	560.550	1.000	1.000	0.026	0.805
11	560.550	1.000	1.000	0.029	0.886
12	560.550	1.000	1.000	0.031	0.966
13	560.550	1.000	1.000	0.034	1.047
14	560.550	1.000	1.000	0.036	1.127
15	560.550	1.000	1.000	0.039	1.207
16	560.550	1.000	1.000	0.042	1.288
17	560.550	1.000	1.000	0.044	1.368
18	560.550	1.000	1.000	0.047	1.449
19	560.550	1.000	1.000	0.048	1.483
20	560.550	1.000	1.000	0.050	1.557
21	560.550	1.000	1.000	0.053	1.632
22	560.550	1.000	1.000	0.056	1.689
23	560.550	1.000	1.000	0.058	1.729
24	560.550	1.000	1.000	0.061	1.766
25	560.550	1.000	1.000	0.063	1.804
26	560.550	1.000	1.000	0.066	1.841

**Ek 5'in devamı. DBYBHY 2007'ye Göre Elde Edilen Modal Kapasite Eğrilerine Ait Değerler**

Ek Tablo 5.5'in devamı. %100 bağlı yapıda DBYBHY 2007'ye göre elde edilen modal kapasite eğrisi değerleri

Adım	Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1.Modun Katkı Çarpanı	Modal Yer Değiştirme ( $S_d$ )	Modal İvme ( $S_a$ )
27	560.550	1.000	1.000	0.069	1.879
28	560.550	1.000	1.000	0.071	1.915
29	560.550	1.000	1.000	0.075	1.969
30	560.550	1.000	1.000	0.078	2.002
31	560.550	1.000	1.000	0.082	2.036
32	560.550	1.000	1.000	0.084	2.058
33	560.550	1.000	1.000	0.087	2.081
34	560.550	1.000	1.000	0.089	2.103
35	560.550	1.000	1.000	0.092	2.125
36	560.550	1.000	1.000	0.095	2.146
37	560.550	1.000	1.000	0.097	2.167
38	560.550	1.000	1.000	0.100	2.188
39	560.550	1.000	1.000	0.102	2.209
40	560.550	1.000	1.000	0.105	2.230
41	560.550	1.000	1.000	0.108	2.250
42	560.550	1.000	1.000	0.110	2.271
43	560.550	1.000	1.000	0.113	2.292
44	560.550	1.000	1.000	0.115	2.313
45	560.550	1.000	1.000	0.118	2.334
46	560.550	1.000	1.000	0.121	2.354
47	560.550	1.000	1.000	0.123	2.375
48	560.550	1.000	1.000	0.126	2.396
49	560.550	1.000	1.000	0.128	2.417
50					2.535



### Ek 6. ASCE 41-06 Standardına Verilen Eleman Performans Sınır Değerleri

Ek Tablo 6.1. Doğrusal olmayan analizlerde betonarme kirişlerdeki model özellikleri ve sınır değerleri

Durumlar		Model Parametreleri			Sınır Değerler					
		Plastik Dönme Açısı, Radian		Artan Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radian					
					Performans Düzeyi					
		a	b	c	IO	Eleman Tipi				
						Birincil		İkincil		
LS	CP					LS	CP			
i. Sünek kirişler için										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	En. Do.	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
$\leq 0.0$	C	$\leq 3$	0.025	0.05	0.2	0.010	0.02	0.025	0.02	0.005
$\leq 0.0$	C	$\geq 6$	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
$\geq 0.5$	C	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
$\geq 0.5$	C	$\geq 6$	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
$\leq 0.0$	NC	$\geq 6$	0.01	0.015	0.2	0.015	0.005	0.01	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\leq 3$	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\geq 6$	0.005	0.01	0.2	0.015	0.005	0.005	0.005	0.01

**Ek 6'nın devamı. ASCE 41-06 Standardına Verilen Eleman Performans Sınır Değerleri**

Ek Tablo 6.2. Doğrusal olmayan analizlerde betonarme kolonlardaki model özellikleri ve sınır değerleri

Durumlar			Model Parametreleri			Sınır Değerler				
			Plastik Dönme Açısı, Radian		Artan Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radian				
						Performans Düzeyi				
			a	b	c	IO	Eleman Tipi			
							Birincil		İkincil	
LS	CP	LS					CP			
i. Sünek kolonlar için										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	En. Do.	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
$\leq 0.1$	C	$\leq 3$	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
$\leq 0.1$	C	$\geq 6$	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
$\geq 0.4$	C	$\leq 3$	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
$\geq 0.4$	C	$\geq 6$	0.012	0.02	0.2	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
$\leq 0.1$	NC	$\leq 3$	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
$\leq 0.1$	NC	$\geq 6$	0.005	0.012	0.2	0.005	0.005	0.005	0.008	0.012
$\geq 0.4$	NC	$\leq 3$	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
$\geq 0.4$	NC	$\geq 6$	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008

**Ek 6'nın devamı. ASCE 41-06 Standardına Verilen Eleman Performans Sınır Değerleri**

Ek Tablo 6.3. Doğrusal olmayan analizlerde betonarme perdelerdeki model özellikleri ve sınır değerleri

Durumlar	Model Parametreleri			Sınır Değerler					
	Plastik Dönme Açısı, Radian		Artan Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radian					
				Performans Düzeyi					
			IO	Eleman Tipi					
				Birincil		İkincil			
a	b	c		LS	CP	LS	CP		
i. Sünek perdeler için									
$\frac{(A_s - A'_s)f_y + P}{t_w I_w f'_c}$	$\frac{V}{t_w I_w \sqrt{f'_c}}$								
$\leq 0.1$	$\leq 3$	0.015	0.020	0.75	0.005	0.010	0.015	0.015	0.02
$\leq 0.1$	$\geq 6$	0.010	0.015	0.4	0.004	0.008	0.010	0.010	0.015
$\geq 0.25$	$\leq 3$	0.009	0.012	0.6	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
$\geq 0.25$	$\geq 6$	0.005	0.010	0.3	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.02
$\leq 0.1$	$\leq 3$	0.008	0.015	0.6	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
$\leq 0.1$	$\geq 6$	0.006	0.010	0.3	0.002	0.004	0.006	0.006	0.01
$\geq 0.25$	$\leq 3$	0.003	0.005	0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
$\geq 0.25$	$\geq 6$	0.002	0.004	0.2	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004

## ÖZGEÇMİŞ

Fezayil SUNCA, 1991 yılında Kayseri’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini 1998 – 2005 yılları arasında Kayseri Servet Akaydın İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini ise 2005 – 2009 yılları arasında Kayseri Mustafa Eraslan Lisesi’nde tamamladı. 2009 yılında başlamış olduğu Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında fakülte üçüncüsü ve bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl girdiği sınavı kazanarak Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Ocak 2014’de Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi üçüncülüğü, 16. Dönem bölüm ikinciliği ve ‘Depreme dayanıklı otel tasarımı’ konulu 2. DASK depreme dayanıklı bina tasarımı yarışmasında danışmanlığını yürüttüğü ekibiyle birlikte en iyi iletişim becerisi ödülleri aldı. Fezayil SUNCA, İngilizce bilmekte ve halen Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’ndeki görevine devam etmektedir.

Bu tez çalışmasından aşağıdaki yayınlar yapılmıştır:

1. Sunca F., Akköse M., “Investigation of Seismic Response of Semi-Rigid Connected Prefabricated Structures”, International Burdur Earthquake and Environment Symposium, BURDUR, TÜRKİYE, 7 - 9 Mayıs 2015, vol. 1, pp. 242 - 251.
2. Sunca F., Akköse M., Türkay A., “ Evaluation of Seismic Performance of Prefabricated Structures Using Pushover Analysis”, International Conference on Civil and Environmental Engineering, NEVŞEHİR, TÜRKİYE, 20 - 23 Mayıs 2015, vol. 1, pp. 1255 - 1260.
3. Sunca F., Akköse M., “ Kısmi Bağlantılı Prefabrik Yapıların Statik İtme Analizi”, 2. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi, ANKARA, TÜRKİYE, 3 - 5 Haziran 2015, vol. 1, pp. 107 - 116.
4. Akköse M., Sunca F. and Türkay A., “ Effect of Semi-Rigid Connections on Seismic Performance of Prefabricated Structures” (İncelemede).