

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NORMAL BETONARME BİNALAR İLE PROFİL İÇEREN BETONARME  
BİNALARIN MALİYET KARŞILAŞTIRMASI**

**Selahattin Batuhan ORHAN**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2022**



**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NORMAL BETONARME BİNALAR İLE PROFİL İÇEREN BETONARME  
BİNALARIN MALİYET KARŞILAŞTIRMASI**

**Selahattin Batuhan ORHAN**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2022**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	8
3.1. Kolon ve Kiriş Elemanları ve Bunların Yapısal Önemi.....	8
3.1.1. Kolon.....	8
3.1.2. Kiriş.....	8
3.1.3. Kolon - kiriş birleşim bölgeleri ve bu bölgelerin önemi.....	9
3.2. Kompozit Kolon ve Kiriş.....	14
3.2.1. Kompozit kolon.....	14
3.2.2. Kompozit kiriş.....	15
3.2.3. Kompozit kolon - kiriş birleşim bölgesi.....	16
3.3. TBDY-2018'e Göre Performans Kavramı.....	16
3.3.1. Bina performansının belirlenmesi için kullanılan hesap yöntemleri.....	16
3.4. Hesaplamalarda Kullanılan Analiz Programları.....	26
3.4.1. ProtaStructure.....	26
3.4.2. ETABS.....	27
3.5. Göz Önüne Alınan Bina Hakkında Genel Bilgiler.....	27
3.6. Binaların Tasarımları Yapılırken Kullanılan Yönetmelikler.....	29
3.7. ProtaStructure ile Normal Betonarme Binanın Taşıyıcı Sisteminin Modellemesi.....	30
3.7.1. Normal betonarme binanın taşıyıcı sistem eleman boyutları ve donatı miktarları.....	31
3.8. ETABS ile Normal Betonarme ve Kompozit Binaların Modellenmesi ve Analizi.....	32
3.8.1. Normal betonarme binanın modellenmesi.....	33
3.8.2. Kompozit binanın modellenmesi.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	36
4.1. Normal Betonarme Binanın Doğrusal Analiz Sonuçları.....	36
4.2. Normal Betonarme Binanın Modal Analiz Sonuçları.....	37
4.3. Normal Betonarme Binanın Burulma Düzensizliğinin Kontrolü.....	38
4.4. Kompozit Binanın Modal Analiz Sonuçları.....	38
4.5. Normal Betonarme Binanın Doğrusal Olmayan İtme Analizi.....	39
4.6. Kompozit Binanın Doğrusal Olmayan İtme Analizi.....	42
4.7. Normal Betonarme Bina ile Kompozit Binanın İtme Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	48
4.8. Normal Betonarme ve Kompozit Binaların Maliyet Hesabı.....	49
4.8.1. Normal betonarme binanın maliyet hesabı.....	49
4.8.2. Kompozit binanın maliyet hesabı.....	51
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	58

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### NORMAL BETONARME BİNALAR İLE PROFİL İÇEREN BETONARME BİNALARIN MALİYET KARŞILAŞTIRMASI

Selahattin Batuhan ORHAN

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Arif GÜREL  
Yıl: 2022, Sayfa: 58

Deprem davranışı ve yük taşıma kapasitesi açısından kompozit taşıyıcı sistemler, betonarme sistemlere göre daha iyi performans göstermektedir. Bu çalışmada, ele alınan bir betonarme bina ile kompozit kolonlu bir bina yatay deprem direnci ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler yapılmış, hesaplamalarda ProtaStructure programının akademik versiyonu ve ETABS programlarından yararlanılmıştır. Analizler sonucunda kompozit binanın betonarme binaya göre çok daha sünek davrandığı gözlenmiştir. Ayrıca kolonlara birer profil yerleştirilmesiyle binaya getirilen ek maliyetin bina toplam maliyetinin %20' sini aşmadığı görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER:** Kolon - kiriş birleşim bölgesi, Kompozit kolon, Yatay deprem direnci, Maliyet

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **COST COMPARISON OF NORMAL REINFORCED CONCRETE BULDINGS AND REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH PROFILE**

**Selahattin Batuhan ORHAN**

**Harran University  
Graduate School of Naturel and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. M. Arif GÜREL  
Year: 2022, Page: 58**

In terms of earthquake behavior and load carrying capacity, composite structural systems outperform reinforced concrete systems. In this study, a reinforced concrete building and a composite column building were compared in terms of horizontal earthquake resistance and cost Both linear and non-linear analyzes were performed and academic version of ProtaStructure program and ETABS programs were used in calculations. As a result of the analyses, it was observed that the composite building behaves much more ductile than the reinforced concrete building. In addition, it has been observed that the additional cost brought to the building by placing a profile on each column does not exceed 20% of the total cost of the building.

**KEYWORDS:** Column-beam joint, Composite column, Lateral seismic resistance, Cost

## TEŐEKKÖR

Tez alıŐma konumu bana önererek bu konuda çalıŐmamı teŐvik eden, çalışmanın her aşamasında bana yol gÖsteren, bilgi ve deneyiminden yararlandığım değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Arif GÖREL' e,

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her zaman destek olan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, başarıya ulaşmam için sürekli teŐviklerde ve katkıda bulunan değerli hocam Dr. Rabia İZOL' e sonsuz teŐekkÖr ve sayĐılarımı sunarım.

Bu uzun ve yorucu süreçte maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda aileme sonsuz sevgi ve teŐekkÖrlerimi sunarım.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 3.1. Kolon - kiriş birleşim bölgesi hasarı (1992 Erzincan Depremi).....	10
Şekil 3.2. Depremde kolon - kiriş birleşim bölgelerinin hasarı sonucu toptan göçen bina (1998 Adana Depremi).....	11
Şekil 3.3. Kolon - kiriş birleşim bölgesi hasarı sonucu yıkılmış bina (1998 Adana Depremi).....	11
Şekil 3.4. Kolon - kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen hasardan dolayı tümüyle yıkılmış bir bina (1999 Marmara depremi).....	12
Şekil 3.5. Depremde kolon - kiriş birleşim bölgeleri tamamen dağıldığı için tümüyle yıkılmış bir bina (1999 Marmara depremi).....	12
Şekil 3.6. Katları üstü üste çökmüş bir bina (2011 Van depremi).....	13
Şekil 3.7. Kolon alt bölgesinde meydana gelen plastik mafsallaşma durumu (2020 Elâzığ depremi).....	13
Şekil 3.8. 2020 İzmir depreminde kolon - kiriş birleşim bölgeleri hasar görmüş ve yıkılan bir betonarme bina.....	14
Şekil 3.9. Kompozit kolon çeşitleri (Eurocode 4).....	15
Şekil 3.10. Kompozit kiriş çeşitleri (Eurocode 4).....	15
Şekil 3.11. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu (TBDY-2018).....	20
Şekil 3.12. Göz önüne alınan bina için yatay elastik tasarım ivme spektrumu ve azaltılmış tasarım spektral ivmesi.....	28
Şekil 3.13. ProtaStructure programında betonarme binanın normal kat kalıp planı.....	30
Şekil 3.14. ProtaStructure programında betonarme binanın üç boyutlu perspektif görünümü.....	31
Şekil 3.15. ETABS programında normal betonarme binanın normal kat kalıp planı.....	33
Şekil 3.16. ETABS programında normal betonarme binanın üç boyutlu perspektif görünümü.....	33
Şekil 3.17. Çelik profilin ölçülerinin sembolik adları.....	34
Şekil 3.18. ETABS programında kompozit binanın normal kat kalıp planı.....	35
Şekil 3.19. ETABS programında kompozit binanın üç boyutlu perspektif görünümü.....	35
Şekil 4.1. Her bir kata etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	38
Şekil 4.2. Normal betonarme binanın x doğrultusuna ait itme eğrisi.....	41
Şekil 4.3. Normal betonarme binanın y doğrultusuna ait itme eğrisi.....	41
Şekil 4.4. Normal betonarme binanın x doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi.....	42
Şekil 4.5. Normal betonarme binanın y doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi.....	42
Şekil 4.6. Normal betonarme binanın x doğrultusuna ait hedef performans noktası.....	43
Şekil 4.7. Normal betonarme binanın y doğrultusuna ait hedef performans noktası.....	43
Şekil 4.8. Kompozit binanın x doğrultusuna ait itme eğrisi.....	44
Şekil 4.9. Kompozit binanın y doğrultusuna ait itme eğrisi.....	44
Şekil 4.10. Kompozit binanın x doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi.....	45
Şekil 4.11. Kompozit binanın y doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi.....	45
Şekil 4.12. Kompozit binanın x doğrultusuna ait hedef performans noktası.....	46
Şekil 4.13. Kompozit binanın y doğrultusuna ait hedef performans noktası.....	46
Şekil 4.12. TBDY-2018' e göre performans sınırlar bölgeleri (TBDY-2018).....	48
Şekil 4.12. İki binanın x doğrultusundaki itme eğrileri.....	49
Şekil 4.13. İki binanın y doğrultusunda itme eğrileri.....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

Çizelge 3.1. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar (TBDY-2018).....	17
Çizelge 3.2. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY-2018).....	19
Çizelge 3.3. 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY-2018).....	19
Çizelge 3.4. Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY-2018).....	21
Çizelge 3.5. Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları (TBDY-2018).....	26
Çizelge 3.6. Kolon boyutları ve kullanılan donatı miktarları.....	31
Çizelge 3.7. Kiriş boyutları ve kullanılan donatı miktarları.....	31
Çizelge 3.8. Profilin ölçülerinin sayısal değerleri .....	34
Çizelge 4.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesap sonuçları .....	37
Çizelge 4.2. Normal betonarme binanın ilk 15 moduna ait periyot ve frekans değerleri ile kütle katılım Oranları .....	38
Çizelge 4.3. Normal betonarme binanın katlarındaki burulma düzensizliği kontrolü.....	39
Çizelge 4.4. Kompozit binanın ilk 15 moduna ait periyot ve frekans değerleri ile kütle katılım Oranları .....	40
Çizelge 4.4. Yapıların hedef yer değiştirme talepleri.....	47
Çizelge 4.5. Normal betonarme ve kompozit binaların kirişlerindeki plastik hasar dağılımı.....	47
Çizelge 4.5. Normal betonarme binanın katlarına ve elemanlarına ait metrajlar.....	51
Çizelge 4.6. Güncel malzeme ve işçilik fiyatları.....	52
Çizelge 4.7. Normal betonarme binanın malzeme ve işçilik fiyatlarına göre maliyet analizi.....	52
Çizelge 4.8. Kompozit yapının malzeme fiyatlarına göre maliyet analizi.....	53

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

B <sub>2</sub>	Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği
C <sub>t</sub>	Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
d <sub>fi</sub>	X deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme [m]
F <sub>1</sub>	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F <sub>iE</sub> <sup>(X)</sup>	(X) deprem doğrultusunda i' inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F <sub>s</sub>	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
G <sub>i</sub>	i' inci katın ölü yük etkisi
H <sub>i</sub>	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümde i'inci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği
H <sub>N</sub>	Bina toplam yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
m <sub>i</sub>	i' inci katın toplam kütlesi
m <sub>t</sub>	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi
n	Hareketli yük katılım katsayısı
N	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümdeki toplam kat sayısı
η <sub>bi</sub>	i' inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
Q <sub>i</sub>	i' inci katın hareketli yük etkisi
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R <sub>a</sub> (T)	Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı
S <sub>1</sub>	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S <sub>ae</sub> (T)	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S <sub>aR</sub> (T)	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S <sub>D1</sub>	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S <sub>DS</sub>	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S <sub>s</sub>	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	Doğal titreşim periyodu
T <sub>A</sub>	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T <sub>B</sub>	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T <sub>L</sub>	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T <sub>p</sub> <sup>(X)</sup>	Binanın hâkim doğal titreşim periyodu
T <sub>p,tüm</sub>	Binanın tüm kat kütleleri ile hesaplanan doğal titreşim periyodu
T <sub>p,üst</sub>	Binanın bodrum kat kütleleri hesaba katılmadan hesaplanan doğal titreşim periyodu
T <sub>pA</sub>	Ampirik olarak hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu
V <sub>te</sub>	X deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
w <sub>i</sub>	Her bir katın toplam ağırlığı
W <sub>t</sub>	Bina toplam ağırlığı
ΔF <sub>N</sub>	X deprem doğrultusunda binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü

## 1. GİRİŞ

Çerçeve türü yapılar, kolon - kiriş birleşim bölgeleri en kritik ve en az anlaşılan bölgelerdir. Taşıyıcı sistemi oluşturan düşey ve yatay elemanlar bu bölgelerde birleşirler. Birleşim bölgeleri; kesme, eğilme ve eksenel yük etkileri altında kompleks bir davranış gösterir ve bu durum pek çok çalışmanın konusu olmuştur. Özellikle farklı birleşim bölgesi detayları, beton dayanımı, eksenel kolon yükü gibi çeşitli faktörlerin etkileri, birleşim bölgesinin daha detaylı olarak araştırılmasını gerektirmektedir.

Geçmişten günümüze kadar meydana gelen depremlerin binalar üzerindeki etkileri incelendiğinde, hasar gören binalarda kolon - kiriş birleşim bölgesi hasarlarının çok önemli bir yer tuttuğu görülmektedir. Birleşim bölgeleri ne kadar sağlam ve yönetmeliklerde belirtilen tasarım koşullarına uygun imal edilirse, binalar depremleri o kadar az hasarla atlatacaktır.

Depremlerde sergilemiş oldukları davranış ve yük taşıma kapasitesi açısından betona çelik profil gömülü kompozit elemanlar ile oluşturulmuş çerçeve taşıyıcı sistemler, betonarme sistemlere göre daha küçük kesitlere sahip olmalarına rağmen daha iyi performans sergilemektedirler.

Önceki çalışmalar başlığı altında, normal betonarme kolon - kiriş ve kompozit kolon - kiriş birleşim bölgeleri hakkında literatür taraması sunulmuştur.

Materyal ve yöntem kısmında öncelikle binalarda kolon - kiriş birleşim bölgelerinin öneminden ve bu bölgelerde depremlerde meydana gelen hasarlardan bahsedilmiş, yönetmeliklerdeki tasarım şartlarına değinilmiştir. Çalışmada, normal bir betonarme bina ile onun kolonlarına birer profil yerleştirilerek elde edilen kompozit binanın yatay dirençleri ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Araştırma bulguları ve tartışma başlığı altında, normal betonarme bina üzerinde doğrusal, her iki bina üzerinde ise doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. İtme analizleri ile binalara ait kapasite eğrileri elde edilip, karşılaştırılmıştır. Daha sonra binaların maliyet analizleri yapıp, profil kullanımının binaya getirdiği ek maliyet belirlenmiştir. Hesaplamalarda ProtaStructures ve ETABS programlarından yararlanılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve ayrıca ileride yapılabilecek çalışmalar ile ilgili bazı öneriler son kısımda sunulmuştur.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Depremler sonrası yapılan araştırmalarda gereğince tasarlanıp, imal edilmemiş kolon - kiriş birleşim bölgelerine sahip binaların ya ağır hasar gördükleri ya da tümnden yıkıldıkları gözlemlenmiştir. Depreme maruz kalan kolon - kiriş birleşim bölgesinin davranışının araştırılması, kesme kapasitesinin arttırılması ve bu bölgenin güçlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde konu ile ilgili yapılan belli başlı çalışmalara değinilecektir.

Shafei ve ark. (2014), çok katlı yapıların birleşim bölgelerini analiz etmek için bazı modeller oluşturmuşlardır. OpenSees yazılımı ile oluşturulan üç adet dış kolon - kiriş birleşimi daha sonra yapılan deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada, şiddetli deprem etkisine maruz kalan kolon - kiriş birleşim bölgeleri içerisinde, zayıf olan kolon - kiriş birleşim bölgelerinin, böyle birleşimlere sahip betonarme yapıların değeriendirilmesi sırasında rijit birleşimler varsayımına uygun olmadıkları görülmüştür.

Metelli ve ark. (2015), kolon - kiriş birleşim bölgesinin dayanımı ve birleşim bölgesinde kayma donatılarının modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Herhangi bir kapasite tasarım kriteri bulunmayan mevcut betonarme binaların, dış kolon - kiriş birleşim bölgelerinin deprem davranışını simüle edebilmek için bir model ortaya çıkarmışlardır.

Borghini ve ark. (2016), kolon - kiriş birleşim bölgesinde kesme göçmesi davranışını dikkate almış ve bu bağlamda mevcut betonarme binaların deprem performansını değeriendiren bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışma sonucunda aşırı rijit birleşim bölgelerinin kapasite eğrilerinin, yatay kesme kuvveti ve süneklik açasından uygun olmadığını vurgulamışlardır.

Liang ve ark. (2016), kolon - kiriş birleşim bölgesi üzerine deneysel ve sayısal olarak çalışmalar yapmış ve ana malzeme olarak lif takviyeli beton kullanmışlardır.

OpenSees programını kullanarak elde ettikleri sayısal sonuçları, deneysel çalışmalarla desteklemişlerdir. Lif takviyeli beton uygulamasının kolon - kiriş birleşim bölgesinde diyagonal çatlaklar oluşmadan önce taşıma kapasitesini ve sünekliğini arttırdığını belirlemişlerdir.

Bharti ve ark. (2017), kolon - kiriş birleşimini, plastik bölgeye geçen tekrarlı yükleme altında, farklı lif katkılı beton kullanarak, deneysel olarak incelemişlerdir. Lif katkılı beton kullanımıyla kolon - kiriş birleşim bölgesinde rijitlik kaybının daha az olmasının yanı sıra, bu bölgenin yük taşıma ve enerji sönümleme kapasitesinin de arttığı sonucunu elde etmişlerdir.

H. Said ve ark. (2016), tersinir tekrarlı yük altında dış kolon - kiriş birleşimlerinin davranışı üzerinde ultra - sünek çimentolu kompozitlerin kullanımının etkisini incelemişlerdir. Sade (donatısız) beton, normal donatılı beton ve kompozit betondan oluşan 3 farklı kolon - kiriş birleşim bölgesini; yük - deplasman ilişkisi, çatlak yayılımı, moment - eğrilik ilişkisi ve enerji sönümleme kapasiteleri bakımından değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kompozit betondan oluşturulan kolon - kiriş birleşim bölgesinin, diğer birleşimlere kıyasla, bütün özellikleri bakımından daha iyi performans sergilediğini görmüşlerdir.

Das ve Choudhury (2018), kolon - kiriş birleşimlerine farklı liflerle ek güçlendirme uygulayarak performans iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, farklı tipte lifler kullanılan kolon - kiriş birleşim bölgelerinin performansı; öteleme açısı eğrisi, yerdeğiştirme - yük eğrisi ve birleşim bölgesinin enerji sönümlemesi test edilmiştir. Kolon - kiriş birleşim bölgesinde kullanılacak lif çeşidi ve optimum lif miktarı seçilerek, farklı tipte liflerle takviye edilmiş deney numunelerinin performansı karşılaştırılmıştır. Deney sonucunda karbon lif takviyesi uygulamasının, kolon - kiriş birleşim bölgesini güçlendirdiği ve sünekliğini önemli ölçüde arttırdığını görmüşlerdir.

Hakuto ve ark. (2000), dış ve iç kolon - kiriş birleşimlerinin deprem davranışları üzerinde donatı detaylandırmasının etkilerini incelemişlerdir. İki özdeş numune

üzerinde çalışmış ve numunelerde kolon - kiriş birleşim bölgesinde, yönetmeliklerde belirtilenlerin aksine gerekenden daha az kesme donatısı kullanmışlardır. Numunelerden birisinde boyuna kiriş donatıları, kancaların düğüm noktasının dış tarafına kıvrılmış, diğer numunede, boyuna donatılar düğüm noktasının iç tarafına kıvrılarak tutturulmuştur. Kiriş donatılarının kancaları, kolon - kiriş birleşim bölgesinde iç tarafına kıvrıldığında bu bölgenin sünekliğinin büyük ölçüde arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Paulay (1989), kolon - kiriş birleşim bölgelerinde kesme gerilmesi üzerine çalışmış ve diyagonal basınç alanı sağlayarak kesme dayanımının artışı incelemiştir. Çıkan sonuçlara bağlı olarak kolon - kiriş birleşim bölgelerinde etriye güçlendirmesi yapmak yerine, çapraz basınç alanı sağlayarak kesme mukavemetinin artırılmasının daha faydalı olacağını bulmuştur.

Hasaballa (2014), çalışmasında betonarme dış kolon - kiriş birleşimlerinin deprem davranışına cam lif takviyeli polimerler kullanımının etkisini incelemiştir. Cam lif takviyeli kolon - kiriş birleşim bölgeleri sonlu elemanlar metodu ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Analizler sonucunda cam lif takviyeli kolon - kiriş birleşimlerinin, normal betonarme kolon - kiriş birleşimlerine kıyasla sadece %4 öteleme oranına kadar üstünlük sağladığı görülmüştür. Gözlemler sonucunda dış kolon - kiriş birleşimlerine cam lif takviyeli polimerler dahil edildiğinde, normal betonarme kolon - kiriş birleşimlerine göre çok az bir katkısının olduğu belirlenmiştir.

Tsonos ve ark. (1993), çalışmalarında çapraz donatıların kolon - kiriş birleşim bölgelerinde kullanımını incelemiştir. Diyagonal donatıların, dış kolon - kiriş birleşim bölgelerinin deprem dayanımını arttırdığı ve bu yöntemin deprem dayanımının artışında kullanabilecek en etkili yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Patel ve ark. (2013), kolon - kiriş birleşim bölgelerini ve bu bölgenin sünekliğini incelemiştir. Tersinir tekrarlı yükleme altında, 1/3 ölçekli altı adet dış kolon - kiriş birleşim numuneleri deneye tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda, çelik lifle

güçlendirilmiş kolon - kiriş birleşim bölgesinin daha dayanıklı olmasının yanı sıra çelik lif kullanımının enine donatı sayısını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Bindhu ve ark. (2008), kolon - kiriş birleşim bölgesine ilave çapraz donatı ekleyerek birleşim bölgesinin çevrimsel yükleme altındaki davranışını incelemişlerdir. Analitik ve deneysel çalışmada kullanılmak üzere 1/3 ölçekli numuneler hazırlanmış ve bu numuneler kolon - kiriş birleşim bölgelerine ilave çapraz donatı eklenerek incelenmiştir. Deney sonucunda diyagonal donatı ilavesinin dış betonarme kolon - kiriş birleşim bölgesinin performansını arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Sevim ve Altunışık (2017), kompozit kolonların modal davranışı üzerine çalışmışlardır. Bu sebeple ANSYS programı ile genellikle tercih edilen sekiz ayrı kompozit kolon üç boyutlu modellenmiş ve dinamik özellikleri modal analizler uygulanarak belirlenmiştir.

Yağlıkçı (2020), farklı kat sayılarına sahip, mevcut betonarme yapı sistemlerinin Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e (TBDY-2018) göre sabit tek modlu itme yöntemi analizlerini yapıp, sonuçları karşılaştırmıştır.

Şermet ve Arısoy (2018), normal betonarme kolon - kiriş birleşimi ile kompozit kolon - kiriş birleşiminin tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. İlk olarak betonarme kolon - kiriş birleşim bölgesinin daha sonra IPE100 çelik profil yerleşmiş kompozit kolon - kiriş birleşim bölgesinin yer değiştirme ve süneklilik düzeyini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilere göre kompozit kolon - kiriş birleşim bölgesi, betonarme kolon - kiriş bölgesine oranla 1.32 kat fazla yatay yük taşıyıp, 1.56 kat fazla yer değiştirme yaptığı sonucuna varmışlardır.

Şermet (2018), tersinir tekrarlı yükler altında kompozit kolon - kiriş birleşim bölgesini incelemiştir. Çalışmada kullanılan kolon Eurocode 4' e göre, kiriş ise yerel bina yönetmeliğine uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Kompozit kolon - kiriş birleşim

bölgesi sonlu elemanlar programı olan ABAQUS programında tasarlanmış ve tam ölçekli deneysel çalışması yapılmıştır. Betonarme kolon - kiriş birleşim bölgesi, süneklilik ve yük taşıma kapasitesi açısından kompozit kolon - kiriş birleşimiyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilenlere göre kompozit kolon - kiriş birleşim bölgesi, betonarme kolon - kiriş birleşim bölgesine kıyasla yük taşıma kapasitesi ve süneklilik açısından daha iyi performans sergilediği sonucuna varmışlardır.

Görüldüğü gibi literatürde kolon - kiriş birleşim bölgelerinin davranışı, bu bölgelerde lif, çapraz çubuk ve profil kullanımının davranışa etkisi konusunda değerli çalışmalar yapılmıştır. Elbette literatürde başka çalışmalar da vardır. İncelenen çalışmalar içerisinde, birleşim bölgesinde profil kullanımı ile ilgili olan Şermet ve Arısoy' un (2018) çalışması oldukça dikkat çekicidir. Çünkü söz konusu çalışma profil kullanımı ile birleşim bölgesinin hem dayanım hem de yer değiştirme kapasitesinin kayda değer şekilde arttığını ortaya koymuştur.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde önce betonarme yapıların kolon ve kiriş elemanlarından bahsedilip, daha sonra bunların birleşim bölgelerinin önemi üzerinde durulmuştur. Tezin amacı doğrultusunda en temel bilgiler verildikten sonra, 'TBDY-2018' e göre doğrusal ve doğrusal olmayan hesaplamalar ile yapı sistemlerinin performans hesabı hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 3.1. Kolon ve Kiriş Elemanları ve Bunların Yapısal Önemi

##### 3.1.1. Kolon

Binaların hem statik hem de dinamik yükler altında ayakta durabilmesi için taşıyıcı elemanlara ihtiyaç vardır. Düşey taşıyıcı elemanlardan birisi olan kolonlar, üst katlardan gelen yükleri ve kendi katından aldığı yükü bir alt katın kolonuna iletirler ve en son kolonlar toplam yükü temele aktarırlar. Kolonların statik ve dinamik yükler altında sürekliliklerini koruyabilmesi hayati bir öneme sahiptir.

Kolonlar sargı donatıları bakımından 'etriyeli' ve 'fretli' olmak üzere ikiye ayrılır. Kare, dikdörtgen ve çokgen kolonlarda etriyeler, dairesel kolonlarda ise fretler boyuna donatıları bağlamak, sargı etkisi oluşturmak ve kayma gerilmelerinin sebep olduğu eğik çekme gerilmelerini karşılamak için kullanılırlar.

##### 3.1.2. Kiriş

Genel olarak dolgu duvarların altına inşa edilen, üzerinde bulunan duvarın, döşemenin ve kendi ağırlığını taşıyan betonarme taşıyıcı elemanlara kiriş denir. Kirişler, üzerine gelen sabit ve hareketli yükleri düşey taşıyıcı elemanlara yani kolon ve perde duvarlara aktarırlar. Kirişler sadece döşeme ve duvarlardan gelen yükleri kolonlara aktarmakla kalmayıp, deprem etkileri altında kolonları ve perde duvarları birbirine bağlayarak, çerçeve sistemi meydana getirirler.

Kirişlerde yükleme ve mesnetlenme biçimlerine bağlı olarak kesme kuvveti, burulma momenti, normal kuvvet ve eğilme momenti olmak üzere kesit tesirleri meydana gelebilir. Fakat çoğu kirişte eğilme momenti ve kesme kuvveti baskındır. Depremler sırasında kirişlerde tabii ki belirli büyüklükte normal kuvvetler de meydana gelir.

Belirtildiği gibi kirişlerde kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri etkili olmaktadır. Eğilme momentleri kirişin bir ucuna basınç etkisi (-) uygularken, diğer ucuna çekme etkisi (+) uygular. Çekme etkisi kiriş eksenine dik çatlaklar oluşturacağından dolayı, çekme etkisini üstlenmek ve oluşabilecek çatlakları sınırlı düzeyde tutmak için kirişlerin çekme bölgelerine boyuna donatı yerleştirilir.

Kesme kuvvetleri kiriş ve kolonların birleşim bölgelerinde 45°' lik açıyla eğik çatlaklara neden olur. Oluşabilecek çatlakları sınırlamak için birleşim bölgelerine daha sık enine donatı yani etriye yerleştirilir.

### 3.1.3. Kolon - kiriş birleşim bölgeleri ve bu bölgelerin önemi

Betonarme binalarda kolon ve kirişlerin birbiriyle birleştiği bölgeler 'kolon - kiriş birleşim bölgesi' olarak adlandırılır. Bu bölgelerde kolon ve kirişlerin iç kuvvetleri denge durumları oluştururlar. Depremler sırasında birleşim bölgeleri ciddi şekilde zorlanan bölgelerdir, çünkü iç kuvvetlerin elemanlar arasında geçişi bu bölgelerde gerçekleşir. Uygun olarak tasarlanıp inşa edilmemiş binalarda bu bölgeler depremlerde önemli hasarlar görmektedir. Birleşim bölgelerinin hasar görmesi ise yapının ayakta kalamayıp, kısmen veya tamamen göçmesine yol açar. Bu durum ise büyük can ve mal kaybına sebep olur. Dolayısıyla, birleşim bölgelerinin dağılmaması, özellikle kolonların sürekliliğinin korunabilmesi son derece önemlidir.

Kolon - kiriş birleşim bölgelerindeki etriyeler, kolonlara gelen düşey yükler etkisiyle, dış kısmındaki beton örtüsünü çatlatarak dışarıya doğru hareket etme davranışı gösterirler. Bu durumun önüne geçebilmek için kolon - kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılması uygun görülmektedir.

Yönetmeliklerde her ne kadar kolon ya da kirişte etriyelerin birleşim bölgesinde devam etmesi ve sıklaştırılma yapılması gerektiği yer olsa da pratik uygulamalarda etriyelerin bu bölgelere yerleştirilmesi işçilik açısından oldukça zordur. Etriye sıklaştırılması kolon - kiriş birleşim bölgelerinde uygulanmış olsa bile bu bölgeye betonun yerleşmesi de ayrı bir sorundur. Kolon - kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen bu olumsuz durum örneğin 1992 Erzincan (Şekil 3.1.), 1998 Adana (Şekil 3.2.ve 3.3), 1999 Marmara (Şekil 3.4, Şekil 3.5.), 2011 Van (Şekil 3.6.), 2020 Elâzığ (Şekil 3.7.) ve son olarak 2020 İzmir (Şekil 3.8.) depremlerinde açıkça görülmüştür.



Şekil 3.1. Kolon - kiriş birleşim bölgesi hasarı (1992 Erzincan Depremi) (AFAD, 2022)



Şekil 3.2. Depremde kolon - kiriş birleşim bölgelerinin hasarı sonucu toptan göçen bina (1998 Adana Depremi) (AFAD, 2022)



Şekil 3.3. Kolon - kiriş birleşim bölgesi hasarı sonucu yıkılmış bina (1998 Adana Depremi) (AFAD, 2022)



Şekil 3.4. Kolon - kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen hasardan dolayı tümüyle yıkılmış bir bina (1999 Marmara depremi)



Şekil 3.5. Depremde kolon - kiriş birleşim bölgeleri tamamen dağıldığı için tümüyle yıkılmış bir bina (1999 Marmara depremi)



Şekil 3.6. Katları üstü üste çökmüş bir bina (2011 Van depremi) (AFAD, 2022)



Şekil 3.7. Kolon alt bölgesinde meydana gelen plastik mafsallaşma durumu (2020 Elâzığ depremi) (ANADOLU AJANSI, 2022)



Şekil 3.8. 2020 İzmir depreminde kolon - kiriş birleşim bölgeleri hasar görmüş ve yıkılan bir betonarme bina (SÖZCÜ GAZETESİ, 2022)

## 3.2. Kompozit Kolon ve Kiriş

### 3.2.1. Kompozit kolon

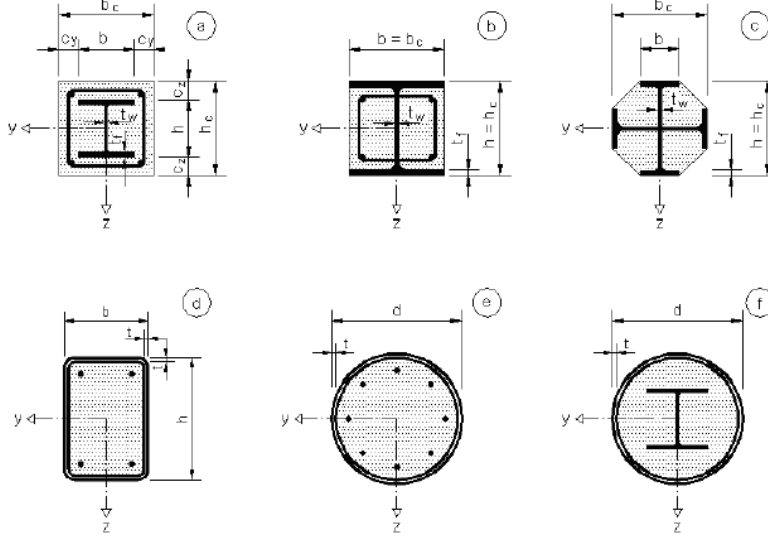
En az iki malzemenin, en iyi özelliklerini bir araya getirmek veya yeni bir özellik oluşturmak amacıyla, bu malzemelerin yeterli seviyede birleştirilmesiyle oluşan elemanlara “kompozit eleman” denir (Şermet, 2018).

Kompozit kolonlar, içerisinde boyuna ve enine donatıları olan betonarme kolonlara çelik profiller eklenmesi ile meydana gelen elemanlardır.

Kompozit kolonlar üç şekilde oluşturulabilmektedir, (Şekil 3.9) (Şermet, 2018):

- Betona yerleştirilmiş yapısal çelik elemanlar ile oluşturulmuş kompozit kolonlar (Şekil 3.9.a).
- İçerisine beton aktarılan kapalı kutu ve boru çelik kesitlerle oluşturulmuş kompozit kolonlar (Şekil 3.9.d-e-f).

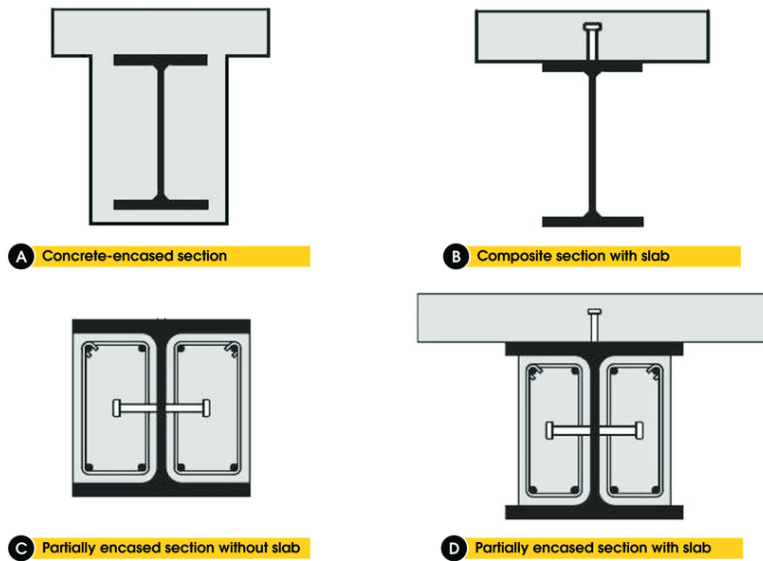
- c) Gövde boşlukları beton ile kaplanan yapısal çelik kesitlerle oluşturulmuş yarı gömülmüş kompozit kolonlar (Şekil 3.9.b-c).



Şekil 3.9. Kompozit kolon çeşitleri (Eurocode 4)

### 3.2.2. Kompozit kiriş

Betonarme bir kirişin içerisinde, normal donatılarına ek olarak çelik profil eklenmesi ile oluşan yatay taşıyıcı elemanlara ‘kompozit kiriş’ denir (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Kompozit kiriş çeşitleri (Eurocode 4)

### 3.2.3. Kompozit kolon - kiriş birleşim bölgesi

Kompozit kolon ile kompozit kirişlerin birleşim noktalarına ‘kompozit kolon - kiriş birleşim bölgesi’ adı verilir.

### 3.3. TBDY-2018’e Göre Performans Kavramı

Dünyada meydana gelen şiddetli depremlerin yapılara vermiş olduğu hasarlar ve yıkımlar deprem sonrası yapılan incelemeler sonucunda açıkça görülebilmektedir. Bu hasarları en aza indirebilmek için dayanıklı yapıların tasarımı zorunlu olmuştur. Bu hususta ilk çalışmalar ABD’ de yapılmıştır. Ülkemizde ise deprem yönetmelikleri farklı yıllarda farklı isimlerle yürürlüğe girmiştir. 2018’ de yayımlanan ve 2019’ da yürürlüğe giren TBDY-2018, binaların tasarımı konusunda bilgi vermektedir. TBDY-2018’ e göre binaların performansları, doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri aşağıdaki bölümlerde temel kavramlar ve hesap esaslarıyla birlikte özetlenmiştir.

#### 3.3.1. Bina performansının belirlenmesi için kullanılan hesap yöntemleri

TBDY-2018’ de deprem tasarımında kullanılacak hesap yöntemleri iki ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım ve Dayanıma Göre Tasarım’ dır. Dayanıma göre tasarımda kullanılacak doğrusal analiz yöntemleri, Modal Hesap Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemidir. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan analiz yöntemleri ise Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi, Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi, Çok Modlu İtme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemidir. Yukarıda bahsedilen yöntemlerin hangi durumlarda kullanılacağı TBDY-2018’ de detaylı bir şekilde belirtilmiştir (TBDY, 2018).

Tez çalışması kapsamında, yeni yapılacak olan 5 katlı bir betonarme binanın deprem tasarımında öncelikle Dayanıma Göre Tasarım yöntemi kullanılıp, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile binanın doğrusal analizi yapılmıştır. Daha sonrasında Şekil

Değiştirmeye Göre Tasarım yöntemi kullanılmış ve Sabit Tek Modlu İtme Yöntemiyle binanın doğrusal olmayan analizi yapılmıştır.

### 3.3.1.1. Dayanıma göre hesap yöntemi ve eşdeğer deprem yükü yöntemi

Dayanıma göre hesap yönteminin kullanım esasları TBDY-2018' e göre aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Amaçlanan belirli bir performans noktası için tanımlanmış, taşıyıcı sistem tipine göre belirlenen süneklilik kapasitesine karşılık deprem yükleri saptanır. Belirlenen azaltılmış deprem yüklerine göre binanın doğrusal deprem hesabı yapılır. Hesap sonucunda ortaya çıkan, her bir elemana ait azaltılmış iç kuvvetlere göre dayanım talepleri elde edilir.
- Elemanların dayanım talepleri, amaçlanan performans hedefi için belirtilmiş bulunan dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır. Deprem hesabı sonucunda ortaya çıkan görel kat ötelemeleri konulmuş sınır değerler ile karşılaştırılır. Dayanımla ilgili taleplerin dayanım kapasitelerinden ve görel kat ötelemelerinin de konulmuş sınır değerlerden küçük kaldığı gösterilerek tasarım tamamlanır. Bu durumlar sağlanmadığında eleman kesitleri değiştirilerek hesap tekrarlanır.

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, deprem etkilerini belirli koşullar altında statik yüklere dönüştürüp, yapı sistemine etki ettirilmesi esasına dayanır (Doğangün, 2021). Bu yöntemin kullanılabilmesi için Çizelge 3.1. esas alınır.

Çizelge 3.1. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar (TBDY, 2018)

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS =1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS $\geq 4$	BYS $\geq 5$
Diğer tüm binalar	BYS $\geq 5$	BYS $\geq 6$

TBDY-2018' e göre eşdeğer deprem yükü hesabı, (x) ve (y) deprem doğrultularında yapıya uygulanan depremler için ayrı ayrı uygulanmaktadır. Eşdeğer deprem yükü yönteminde kullanılan tüm parametreler ve uygulama sırası x deprem doğrultusunda, perdesiz ve bodrumsuz binalar için aşağıda sıralanmıştır.

1. Eşdeğer deprem yükü hesabı yapılacak olan binanın zemin sınıfı, zemin etüt yöntemleriyle belirlenir. TBDY-2018' de bina tasarımında kullanılacak zeminler için 6 yerel zemin sınıfı bulunmaktadır. Zemin etütlerinden alınan sonuçlara göre zemin sınıfı TBDY-2018 Tablo 16.1' e göre belirlenir.
2. Binaların deprem etkisi altında tasarımları yapılırken esas alınması gereken deprem yer hareketi düzeyleri bulunmaktadır. TBDY-2018 kapsamında 4 farklı deprem yer hareketi seviyesi açıklanmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile bu yer hareketi düzeyleri için deprem verileri gösterilmiştir. Bu haritalara <https://tdth.afad.gov.tr/> internet sitesinden ulaşılabilir.
3. Binanın bulunduğu yerin enlem ve boylam değerleri belirlenir. Bu enlem ve boylam değerlerine ve deprem düzeylerine göre <https://tdth.afad.gov.tr/> sitesinden kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ( $S_s$ ) ve 1 saniye periyot için spektral ivme katsayısı ( $S_1$ ) belirlenir.
4. Harita spektral ivme katsayıları  $S_s$  ve  $S_1$ , denklem 3.1 ve 3.2 ile tasarım spektral ivme katsayılarına ( $S_{DS}$ ,  $S_{D1}$ ) dönüştürülür. Çizelge 3.2. ve 3.3. de, bu dönüşüm sırasında kullanılacak olan yerel zemin etki katsayıları ( $F_s$ ,  $F_1$ ) belirlenir.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (3.2)$$

Çizelge 3.2. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_s$					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Çizelge 3.3. 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

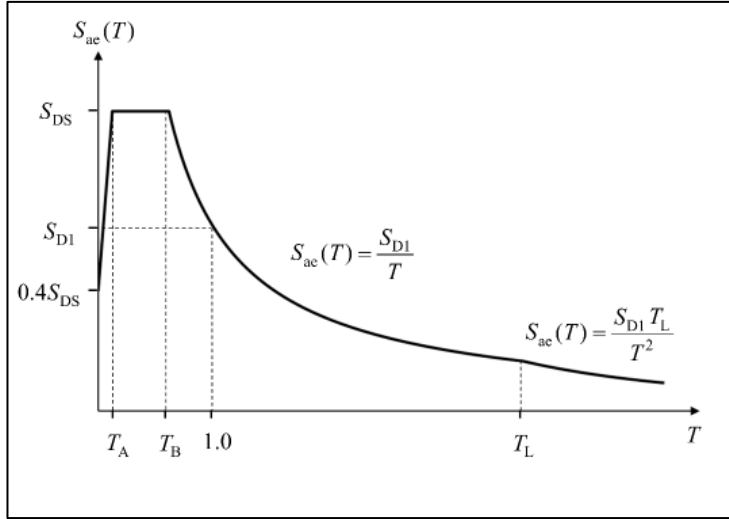
Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

5. Yatay elastik tasarım spektrumunun uç periyotları ( $T_A$ ,  $T_B$ ) denklem 3.3 ve 3.4 ile belirlenir. Daha sonra yapı doğal titreşim periyodu olan  $T$  ve sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu ( $T_L = 6$  s) değerleri ile kıyaslamalar yapılarak, yatay elastik tasarım ivme spektrumunun (Şekil 3.11.) ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri ( $S_{ae}(T)$ ) denklem 3.5 ile belirlenir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.3)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \quad (3.5)$$



Şekil 3.11. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu (TBDY, 2018)

6. Binaların kullanımına bağlı olarak bina önem katsayısı (I) ve bina kullanım sınıfı (BKS) TBDY-2018 Tablo 3.1' e göre belirlenir.
7. Elemanların boyutlandırılması ve binaların modellenmesinde deprem tasarım sınıfı (DTS) değeri ile sınır şartların belirlenmesi gerekir. DTS, bina kullanım sınıfına ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre TBDY-2018 Tablo 3.2 ile belirlenir.
8. Binanın yüksekliği belirlenir. Bina yüksekliği belirlenirken TBDY-2018 Bölüm 3.3' teki kriterler dikkate alınır.
9. TBDY-2018' e göre binalar yükseklikleri bakımından sınıflandırılmıştır. Bina yükseklik sınıfları yönetmelikteki Tablo 3.3 ile belirlenir.
10. TBDY-2018 Tablo 4.1 esas alınarak, taşıyıcı sistem türüne ve bina yükseklik sınıfına göre x ve y doğrultularında dayanım fazlalığı katsayısı (D) ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) belirlenir.
11. R ve D katsayıları belirlendikten sonra binaya gelen doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılması gerekir. Bunun için deprem yükü azaltma katsayısının ( $R_a(T)$ ) hesabı yapılmalıdır.  $R_a(T)$  katsayısını bulmadan önce binanın hesaplanan

periyotlarının ampirik formüllerle hesaplanan periyotlarla karşılaştırılması gerekir. Eşdeğer deprem yükü hesabının uygulandığı tüm yapılarda dikkate alınan x deprem doğrultusunda yapının hâkim doğal titreşim periyodu ( $T_p^{(X)}$ ), daha kesin bir hesap yapılmadığı sürece denklem 3.6 ile hesaplanacaktır. (Doğangün, 2021)

$$T_p^{(X)} = 2\pi \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)} \quad (3.6)$$

Periyot hesabı için gerçek deprem yüklerinin kullanılma zorunluluğu yoktur. Fiktif yükler dikkate alınarak binada oluşan yer değiştirmeler hesaplanabilir ve bunlara bağlı olarak titreşim periyodu belirlenebilir. Yapının kat kütleleri belirlendikten sonra her bir katın kütlelerine ve bunların tabandan itibaren yüksekliklerine bağlı olarak aşağıdaki denklem yardımıyla fiktif yükler etkitilebilir (Doğangün, 2021).

Depremden dolayı yapının tamamını etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü, yani taban kesme kuvveti ( $V_{tE}^{(X)}$ ) henüz belirlenmediğinden ( $V_{tE} - \Delta F_{NE}$ ) yerine herhangi bir değer (sadece periyot hesabı için örneğin 100) konularak, kat seviyelerine etkileyen yatay kuvvetler ( $F_{iE}^{(X)}$ ) belirlenebilir (Denklem 3.7) (Doğangün, 2021).

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3.7)$$

Bu yükler yapıların kat kütle merkezlerine etkitilerek meydana gelen deplasmanlar ( $d_{fi}$ ) belirlenebilir. Böylece periyot değeri yukarıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir (Doğangün, 2021).

Yapı periyodu belirlendikten sonra, denklem 3.8' de verilen ampirik doğal titreşim periyodu ( $T_{pA}$ ) değeri ile kıyaslanması gerekir. Bu kıyaslanmada kullanılan  $C_t$  katsayısı taşıyıcı sistemi çelik veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan yapılarda 0.08, sadece betonarme çerçevelerden oluşanlarda 0.1, diğer binalarda ise binalarda 0.07 alınacaktır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (3.8)$$

$T_p^{(X)}$ ' in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri, denklem 3.8' de verilen  $T_{pA}$  periyodunun 1.4 katından büyük olmayacaktır.

Yapı periyodu belirlendikten sonra  $R_a(T)$  denklem 3.9 ve 3.10 ile hesaplanır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.9)$$

$$R_a(T) = D + \left( \frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.10)$$

12. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme deprem analiz metotlarında yatay yönde azaltılmış deprem yüklerinin saptanması için kullanılacak azaltılmış tasarım ivme spektrumunun belirli bir  $T$  doğal titreşim periyodu için ordinatı olan azaltılmış tasarım spektral ivmesi ( $S_{aR}(T)$ ) denklem 3.11 ile belirlenir (Doğangün, 2021).

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.11)$$

13. Yapının her bir katına ait kütleler ve bu kütleler toplanarak yapının toplam kat kütlesi belirlenir. Yapının bir katına ait ağırlığın bulunması için denklem 3.12 kullanılır. Her bir kata ait ağırlıklar toplandıktan sonra toplam bina ağırlığı yer çekimi ivmesine bölünerek yapı kütlesi belirlenir. Bu formülde bulunan  $n$  katsayısı hareketli yük kütle katılım katsayısını ifade edip, Çizelge 3.4.' te detaylandırılmıştır.

$$\left. \begin{aligned} w_i &= G_i + nQ_i \\ w_t &= w_{i1} + w_{i2} + w_{i3} + \dots \\ m_t &= w_t / g \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Çizelge 3.4. Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018)

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

14. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap için yukarıdaki parametreler belirlendikten sonra göz önüne alınan deprem yönünde, yapının tamamına etkiyen taban kesme kuvveti yani toplam eşdeğer deprem yükü denklem 3.13 ile belirlenir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DSG} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13 ile bulunan toplam eşdeğer deprem yükü, denklem 3.14 ile yapı katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilebilir (TBDY, 2018).

$$V_{tE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} \quad (3.14)$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü  $\Delta F_{NE}^{(X)}$ ' in değeri denklem 3.15 ile belirlenecektir (TBDY, 2018).

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{tE}^{(X)} \quad (3.15)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün  $\Delta F_{NE}^{(X)}$  dışında kalan kısmı, N'inci kat dahil, yapı katlarına denklem 3.16 ile dağıtılacaktır (TBDY, 2018).

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3.16)$$

Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesinde denklem 3.16 ile bulunan  $F_{iE}^{(X)}$  eşdeğer deprem yükü, i' inci kattaki ana düğüm noktası'na dikkate alınan deprem doğrultusunda etki ettirilecektir (TBDY, 2018).

15. Sonuç olarak eşdeğer deprem yükü metodu ile her bir kata tesir eden eşdeğer deprem yükü ve kat kesme kuvvetleri bulunmuş olur.

### 3.3.1.2. Şekil değiştirmeye göre hesap yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapının dayanıma göre tasarımı yapıldıktan sonra şekil değiştirmeye göre irdeleme ve tasarım hesap kriterleri kullanılıp, binanın performans analizi yapılacaktır.

TBDY-2018' de şekil değiştirmeye göre hesap yönteminde kullanılan işlem basamakları en genel şekilde aşağıda sıralanmıştır (TBDY, 2018).

- Doğrusal hesap yöntemlerine göre ön dizaynı tamamlanmış taşıyıcı sistem elemanlarının nonlineer (doğrusal olmayan) modellemeler ile entegre iç kuvvet - şekil değiştirme denklemleri saptanır (TBDY, 2018).
- Hedeflenen performans düzeylerine göre belirlenen deprem yer hareketleri altında, taşıyıcı sistemin zaman tanım alanında veya statik dinamik artımsal metotlarla analizi yapılır. Nonlineer sünek davranışa bağlı olarak şekil değiştirme talepleri ile gevrek davranışa bağlı olarak dayanım talepleri bulunur (TBDY, 2018).
- Belirlenen şekil değiştirme ve iç kuvvet talepleri, hedeflenen performans düzeyleri ile uyumlu olarak tanımlanan dayanım ve şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılır (TBDY, 2018).
- Yeni inşa edilecek veya kuvvetlendirilecek mevcut yapılar için dayanım talepleri ve şekil değiştirme, bunlara karşı gelen şekil değiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında ise şekil değiştirmeye göre tasarım bitirilir. Aksi durumda taşıyıcı sistem eleman kesitleri değiştirilir ve hesap yeniden değerlendirilir. Sonuç olarak şekil değiştirmeye göre tasarım tamamlanır (TBDY, 2018).

Bu bölümde çalışmada modellenecek binaya uygun olarak sabit tek modlu itme yöntemi açıklanmıştır. Bu yöntem eşdeğer deprem yükü gibi anlaşılması basit bir yöntem olmadığı için ayrıntılardan kaçınılmıştır.

Sabit tek modlu itme metodunda, göz önünde bulundurulan deprem doğrultusunda her bir itme evresinde katlara uygulanan deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki ilk adımda saptanan ve itme hesabı süresince hiç değişiklik yapılmayan sabit mod şekli ile orantı bir şekilde tanımlanır. İtme yöntemi ile belirlenen koordinatları tepe yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti olan itme eğrisi bulunur. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü yöntemiyle modal kapasite diyagramı bulunur. Hesabın son aşamasında elde edilen kapasite diyagramı, hedeflenen deprem etkisinde modal yerdeğiştirme talebinin ve taşıyıcı sistemde oluşan iç kuvvet ve plastik şekil değiştirme taleplerinin hesaplanmasında dikkate alınır (TBDY, 2018).

Bu yöntemin uygulanması için aşağıda (a), (b) ve (c)'de verilen şartların sağlanması zorunludur:

- a)  $BYS \geq 5$  olmalıdır.
- b) Rastgele bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmadan doğrusal elastik davranış esas alınarak, burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  şartını sağlaması gereklidir (TBDY, 2018).
- c) Hedeflenen deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış dikkate alınarak bulunan birinci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranı en az 0.70 olmalıdır (TBDY, 2018).

Yukarıda verilen şartlar sağlandıktan sonra doğrusal olmayan analizin uygulanabilmesi için bina taşıyıcı sistemi üç boyutlu olarak modellenmeli, x ve y doğrultularındaki deprem etkileri dikkate alınmalı ve sönüm oranı %5 olarak

alınmalıdır. Ayrıca yeni yapılacak olan binalarda beton ve donatı çeliklerinin Çizelge 3.5.' te tanımlanan ortalama dayanımları dikkate alınmalıdır.

Çizelge 3.5. Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları (TBDY, 2018)

Beton	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{yo} = 1.2 f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{yo} = 1.5 f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{yo} = 1.3 f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{yo} = 1.1 f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{yo} = 1.1 f_{yk}$

Kolanlar ve kirişler çubuk eleman olarak modellenmelidir. Kolon ve kirişlerin uç kısımlarında plastik şekil değiştirme olduğu varsayıldığı için burada yığılı plastik mafsallı veya yayılı plastik mafsallı kabulü yapılmalıdır.

Özel bir durum olmadığı sürece döşemelerin doğrusal olmayan modelleme ile modellenmesine gerek yoktur ve rijit diyafram olarak modellenmeleri yeterli olacaktır.

Kat kütleleri ve sonrasında bina kütlesi eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi belirlenecektir.

### 3.4 Hesaplamalarda Kullanılan Analiz Programları

Bu çalışmada ülkemizde yaygın olarak kullanılan ProtaStructure ve akademik çalışmalarda da sıkça tercih edilen ETABS programları kullanılmıştır.

#### 3.4.1. ProtaStructure

ProtaStructure programı Türk mühendislerinin geliştirdiği, ulusal ve uluslararası tasarım ve deprem yönetmeliklerini esas alarak, betonarme başta olmak üzere bina türü yapıların tasarımı, deprem hesapları ve performans değerlendirilmesinin yapılabildiği bir yazılımdır.

### 3.4.2. ETABS

Computers and Structures, Inc. firması tarafından piyasaya sürülen SAP2000 programının geliştirilmesiyle oluşturulan ETABS programı modelleme, analiz, tasarım ve raporlamayı gerçekleştirmek için kullanılan bir mühendislik yazılımıdır. Günümüzde yerli ve yabancı akademik çalışmalarda kullanılan ETABS programı akademisyenlerin de sıkça kullandığı bir analiz programıdır.

### 3.5. Göz Önüne Alınan Bina Hakkında Genel Bilgiler

Bu çalışma kapsamında modellenmesi yapılan bina; Hatay ili, İskenderun ilçesinde bulunan, zemin ve 4 normal kattan oluşan 5 katlı betonarme bir yapıdır. Modelin genel bilgileri aşağıda verilmiştir.

- Yapılan zemin etütleri sonucunda zemin sınıfı ZC, zemin yatak katsayısı 2000  $\text{tf/m}^3$  ve zemin taşıma gücü 50  $\text{tf/m}^2$  olarak belirlenmiştir.
- Binanın deprem etkisi altında tasarımı yapılırken esas alınması gereken tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 olarak belirlenmiştir.
- Binanın bulunduğu yerin enlem ve boylam değerlerine göre,  $S_S = 0.751$  ve  $S_1 = 0.226$  olarak belirlenmiştir.
- $S_S$  ve  $S_1$ , denklem 3.1, 3.2 ve Çizelge 3.4' ten yararlanılarak  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  katsayıları elde edilmiştir.

$$S_{DS} = S_S F_S$$

$$S_{DS} = 0.751 \times 1.200 = 0.901$$

$$S_{D1} = S_1 F_1$$

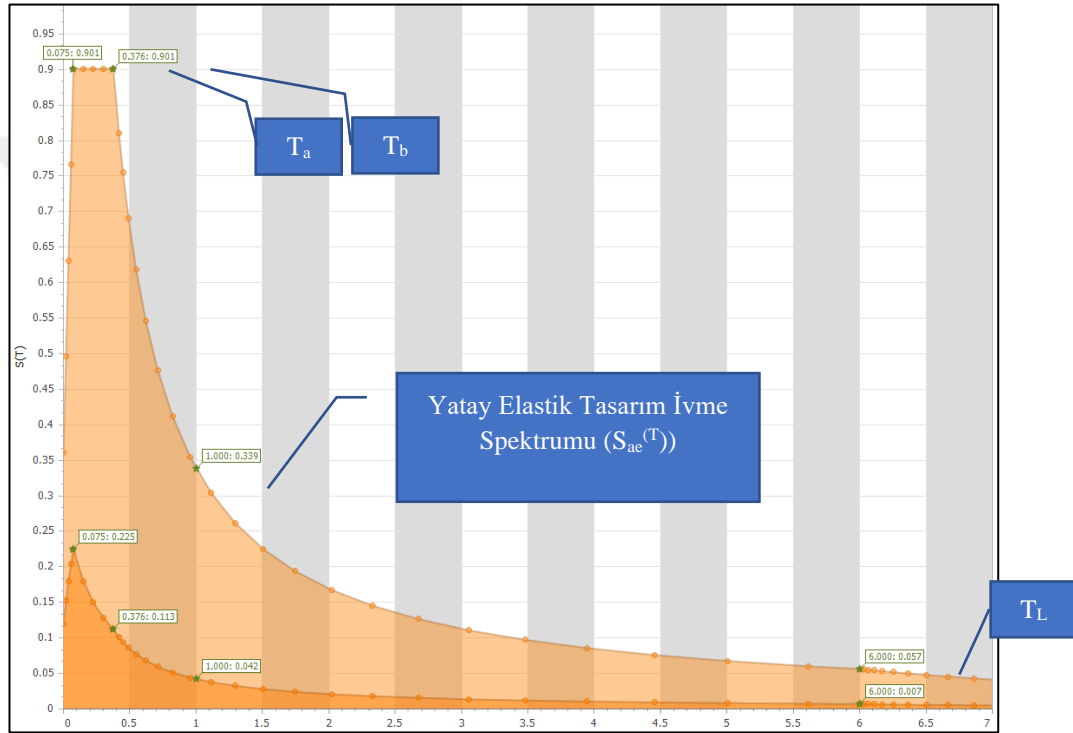
$$S_{D1} = 0.226 \times 1.500 = 0.339$$

- Yatay elastik tasarım spektrumunun uç periyotları olan  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri denklem 3.3 ve 3.4 ile belirlenmiştir. Daha sonra yatay elastik tasarım ivme

spektrumunun ordinatları olan  $S_{ae}(T)$  değerleri denklem 3.5 ile belirlenip, yatay elastik tasarım ivme spektrumu çizilmiştir (Şekil 3.12.).

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_A = 0.2 \frac{0.339}{0.901} = 0.075$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{0.339}{0.901} = 0.376$$



Şekil 3.12. Göz önüne alınan bina için yatay elastik tasarım ivme spektrumu ve azaltılmış tasarım spektral ivmesi

- Modellemesi yapılan bina 5 katlı betonarme bir konut yapısı olduğundan bina kullanım sınıfı BKS = 3 ve bina önem katsayısı I = 1 olarak belirlenmiştir.
- Bina deprem tasarım sınıfı DTS = 1 olarak belirlenmiştir.
- 5 katlı binanın her bir katının yüksekliği 3 m olup, binada bodrum katı bulunmamaktadır. Bu sebeple bina yüksekliği  $H_n = 5 \times 3 = 15$  m olarak bulunmuştur. Bina yükseklik sınıfı BYS = 6 olarak belirlenmiştir.

- R ve D katsayıları x ve y doğrultuları için  $R_x, R_y = 8$  ve  $D_x, D_y = 3$  olarak belirlenmiştir.
- Binanın hareketli yük kütle katılım katsayısı Çizelge 3.4' den faydalanılarak  $n = 0.3$  olarak elde edilmiştir.
- Bina doğal periyodu ( $T_{pA}$ ) denklem 3.8' den faydalanılarak bulunur. Hâkim doğal titreşim periyodu  $T_p^{(X)}$ ' in deprem hesabında dikkate alınacak en yüksek değeri  $T_{pA}$  periyodunun 1.4 katından büyük olmayacaktır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad T_{pa} = 0.10 \times 15^{3/4} = 0.7621$$

$$T_p^{(X)} \leq 1.4 \times T_{pa} \quad T_p^{(X)} \leq 1.4 \times 0.7621 \quad T_p^{(X)} \leq 1.06694$$

- Binada kullanılan beton sınıfı C30/37, çelik sınıfı ise B420C' dir.
- Kirişlerde hareketli ve sabit yükler dikkate alınmamış, binadaki tüm döşemelerde ise hareketli ve sabit yükler  $0.2 \text{ tf/m}^2$  ( $2 \text{ kN/m}^2$ ) olarak dikkate alınmıştır.
- Binanın toplam kütlesi denklem 3.12' den faydalanılarak  $m_t = 1 \ 159.2$  ton olarak hesaplanmıştır.
- Göz önüne alınmış olan binada perde duvarlar bulunmamakta, tüm kirişler 25/50 boyutlarında ve tüm kat döşemeleri 15 cm kalınlığındadır.

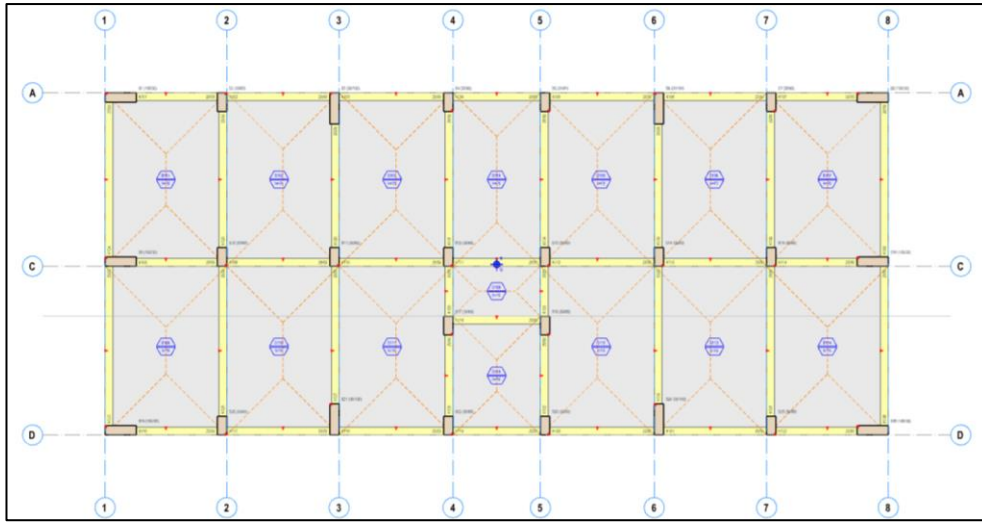
### 3.6. Binaların Tasarımları Yapılırken Kullanılan Yönetmelikler

Binaların modellenmesi, tasarımları ve analiz kısımlarında kullanılan yönetmelikler aşağıda sıralanmıştır.

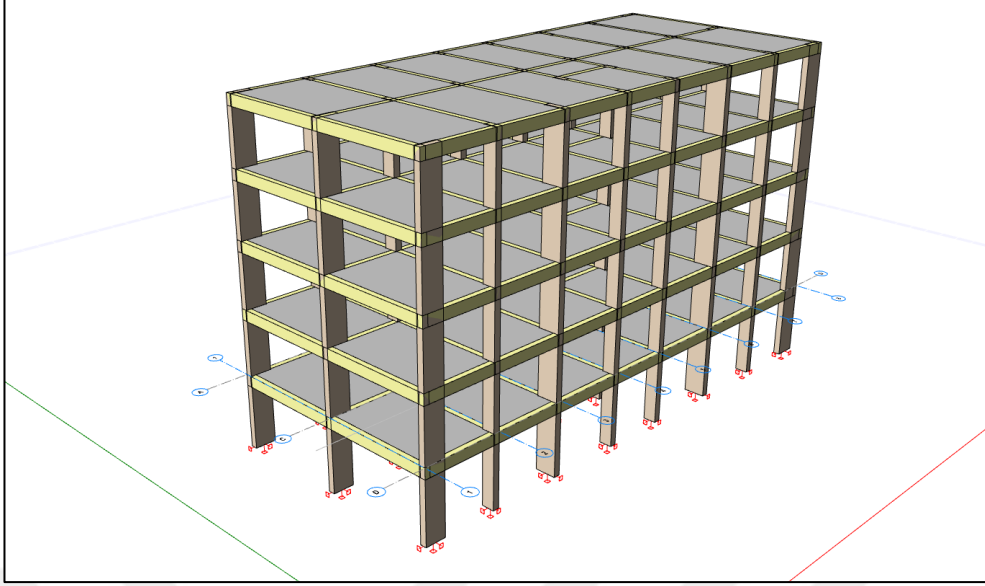
- TS-500/2000 Betonarme Binaların Tasarım ve Yapım Kuralları
- TS-498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
- TBDY-2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
- ASCE41-17 American Society of Civil Engineers

### 3.7. ProtaStructure ile Normal Betonarme Binanın Taşıyıcı Sisteminin Modellemesi

Çalışmada göz önüne alınan 5 katlı betonarme binanın modellemesi ProtaStructure programı ile yapılmıştır. Dayanıma göre tasarım yöntemi kullanılıp, eşdeğer deprem yükü hesabına göre binanın taşıyıcı sistem elemanları tasarlanmıştır. Binanın katlarına ait normal kat kalıp planı Şekil 3.13.' te ve yapının üç boyutlu perspektif görünümü Şekil 3.14.' de verilmiştir.



Şekil 3.13. ProtaStructure programında betonarme binanın normal kat kalıp planı



Şekil 3.14. ProtaStructure programında betonarme binanın üç boyutlu perspektif görünümü

### 3.7.1. Normal betonarme binanın taşıyıcı sistem eleman boyutları ve donatı miktarları

Binada 3 tip kolon bulunmaktadır. Bunlar S30/100, S100/30, S30/60' dır. Kolon boyutları ve kullanılan donatı miktarları Çizelge 3.6.' da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kolon boyutları ve kullanılan donatı miktarları

Kolon Tipi	b	h	Boyuna Donatı	Enine Donatı
S30/100	30	100	20Ø14	Ø8/8/10
S100/30	100	30	20Ø14	Ø8/8/10
S30/60	30	60	12Ø14	Ø8/8/10

Modelde kullanılan kirişlerin boyutları 25/50 ve kullanılan donatı miktarları her katta benzer olduğundan sadece zemin kat kiriş bilgileri Çizelge 3.7.' de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Kiriş boyutları ve kullanılan donatı miktarları

Kiriş	Kesit	Montaj	Düz	Üst/Sol İlave	Üst/Sağ İlave	Alt/Sol İlave	Alt/Sağ İlave	Gövde	Etriye
KZ01	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ02	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ03	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ04	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9

Çizelge 3.7. devam

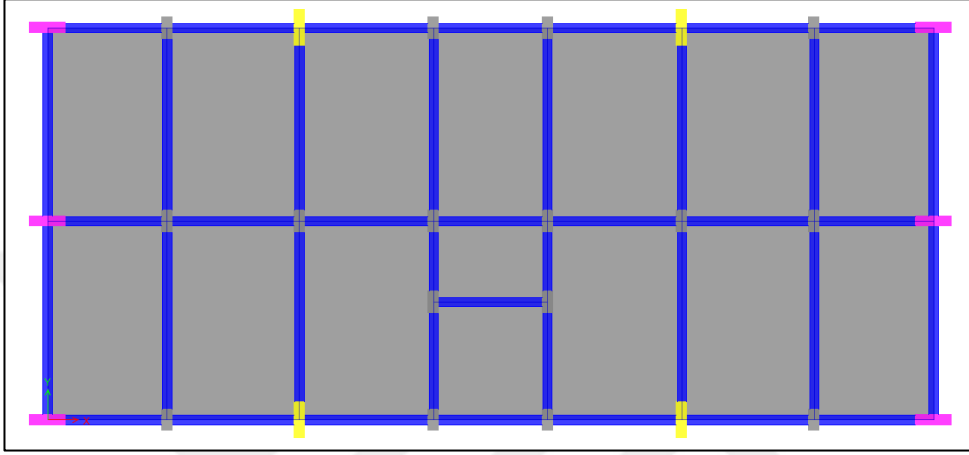
KZ05	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ06	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ07	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ08	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø14	1Ø12				Ø8/20/9
KZ09	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ10	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ11	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ12	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ13	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ14	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø14				Ø8/20/9
KZ15	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ16	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ17	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ18	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ19	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ20	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ21	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ22	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø12	1Ø12				Ø8/20/9
KZ23	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø14	1Ø16				Ø8/20/9
KZ24	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø16	1Ø14				Ø8/20/9
KZ25	25/50	2Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12				Ø8/20/9
KZ26	25/50	2Ø12	3Ø12	3Ø12	2Ø14				Ø8/20/9
KZ27	25/50	2Ø12	3Ø12	2Ø14	2Ø14				Ø8/20/9
KZ28	25/50	2Ø12	3Ø12	2Ø14	2Ø14				Ø8/20/9
KZ29	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø14	1Ø12		1Ø12		Ø8/20/9
KZ30	25/50	2Ø12	3Ø12	2Ø14	2Ø14	1Ø12	1Ø12	4Ø12	Ø8/20/9
KZ31	25/50	2Ø12	3Ø12	2Ø12	2Ø14	1Ø12			Ø8/20/9
KZ32	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø14	1Ø12		1Ø12		Ø8/20/9
KZ33	25/50	2Ø12	2Ø12	1Ø12	2Ø12	1Ø12	1Ø12	4Ø12	Ø8/20/9
KZ34	25/50	2Ø12	3Ø12	2Ø12	2Ø14	1Ø12			Ø8/20/9
KZ35	25/50	2Ø12	3Ø12	2Ø14	2Ø14				Ø8/20/9
KZ36	25/50	2Ø12	3Ø12	2Ø14	2Ø14				Ø8/20/9
KZ37	25/50	2Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12				Ø8/20/9
KZ38	25/50	2Ø12	3Ø12	3Ø12	2Ø14				Ø8/20/9
KZ39	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø14	1Ø16				Ø8/20/9
KZ40	25/50	2Ø12	3Ø12	1Ø16	1Ø14				Ø8/20/9

### 3.8. ETABS ile Normal Betonarme ve Kompozit Binaların Modellenmesi ve Analizi

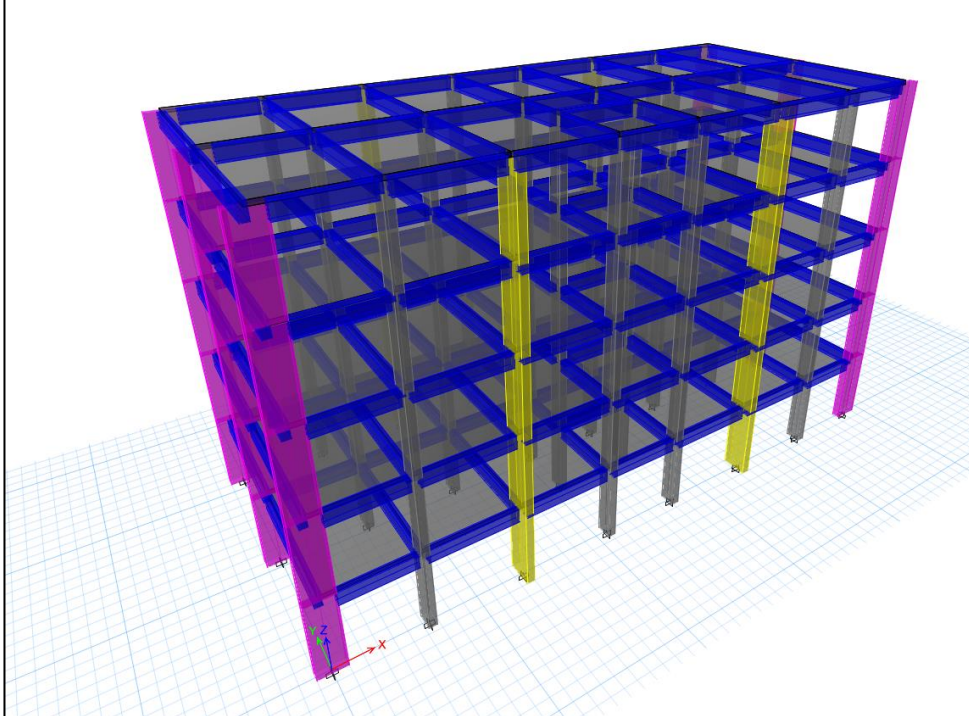
Tez çalışması kapsamında eşdeğer deprem yükü hesabına göre binanın doğrusal analizi yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirilebilmesi için ETABS programı kullanılmıştır.

### 3.8.1. Normal betonarme binanın modellenmesi

ProtaStructure programında bina taşıyıcı sistemi modellenip, eşdeğer deprem yükü metoduna göre doğrusal analizi yapılan binanın ETABS programında veri girişi yapıp, modellenmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15. , 3.16.).



Şekil 3.15. ETABS programında normal betonarme binanın normal kat kalıp planı

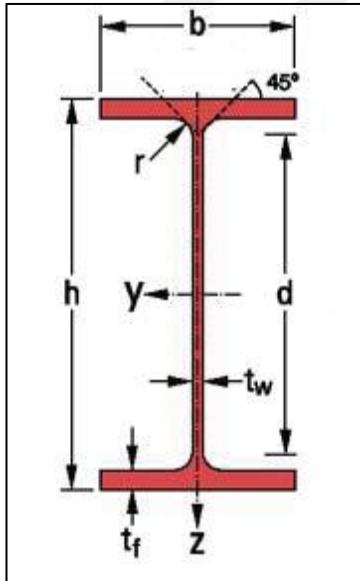


Şekil 3.16. ETABS programında normal betonarme binanın üç boyutlu perspektif görünümü

Doğrusal olmayan hesap analizlerinde kullanılacak malzeme dayanımları Çizelge 3.5.' teki gibi alınmıştır. Bu analizlerde kolon ve kirişlerin kesit rijitlikleri ASCE41-17 yönetmeliğinde yer alan Tablo10-5' ten yararlanılarak hesaplanmıştır. Kolonlar ve kirişler çubuk eleman olarak modellenip, uç kısımlarında yığılı plastik mafsalsal kabulü yapılmıştır. Döşemeler ise rijit diyafram olarak modellenmiştir.

### 3.8.2. Kompozit binanın modellenmesi

Bu bina, kolonlarının içerisinde S235 çeliğinden birer adet W150x150x20 profili yerleştirilmiş olan binadır. Bu çelik profiller kolonların merkezine ve kesit uzun boyutuna paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde kompozit kolonlardan oluşan binanın, yani kompozit binanın modellenmesi yapılmıştır. Şekil 3.17.' de W150x150x20 profilinin kesit detayları verilmiş ve Çizelge 3.8.' de ise profile ait özellikler sunulmuştur.

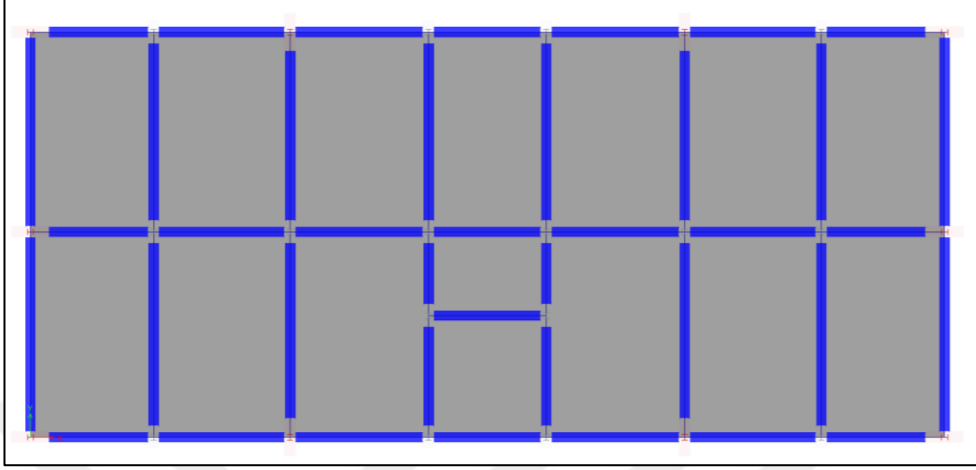


Şekil 3.17. Çelik profilin ölçülerinin sembolik adları

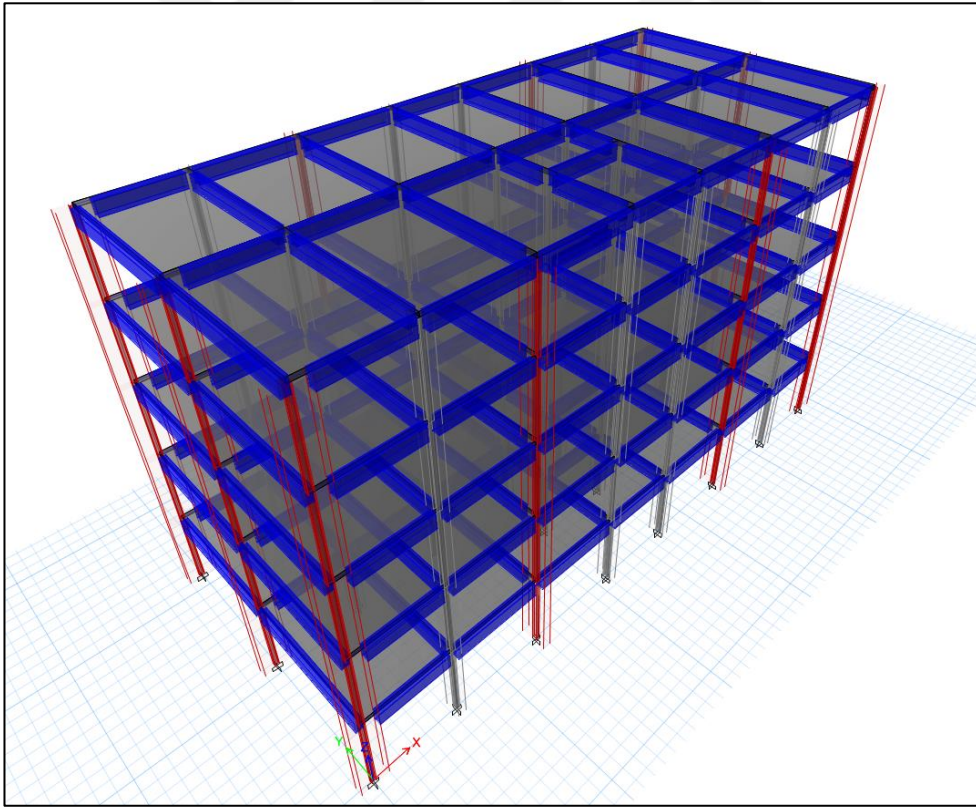
Çizelge 3.8. Profilin ölçülerinin sayısal değerleri

G	h	b	$t_w$	$t_f$	r	A	d
Kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	mm
29,8	157	153	6,6	9,3	6	37,9	126,4

ETABS programında kompozit bina modellemesi için gereken parametreler programa tanımlandıktan sonra bina modellenmiştir (Şekil 3.18. , 3.19.).



Şekil 3.18. ETABS programında kompozit binanın normal kat kalıp planı



Şekil 3.19. ETABS programında kompozit binanın üç boyutlu perspektif görünümü

Normal betonarme binanın doğrusal olmayan analizi için tanımlanan parametreler kompozit bina içinde aynen alınmıştır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde ele alınan 5 katlı normal betonarme bina ile bu binanın kolonlarına birer profil yerleştirilerek elde edilen halinin, yani kompozit binanın 3 boyutlu modellemeleri yapılmış ve başta bir doğrusal analiz, sonrasında ise doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. İtme analizleri ile binalara ait kapasite eğrileri elde edilip, karşılaştırılmıştır. Son kısımda ise binaların maliyet analizleri yapıp, profil kullanımının binaya getirdiği ek maliyet belirlenmiştir.

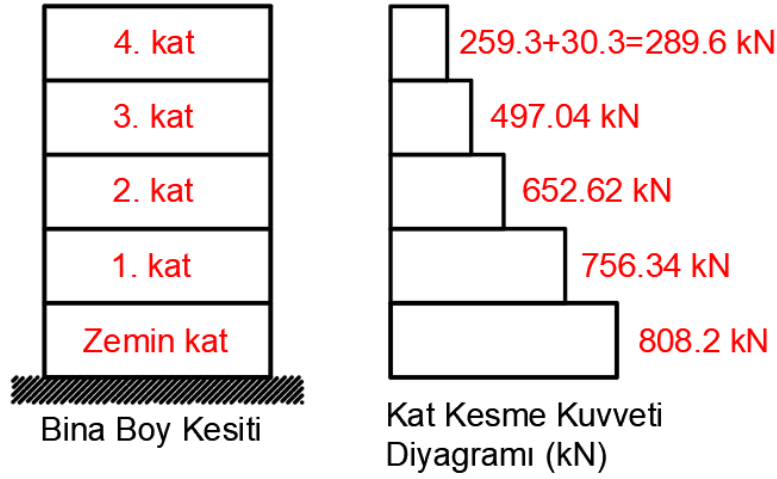
##### 4.1. Normal Betonarme Binanın Doğrusal Analiz Sonuçları

Göz önüne alınan normal betonarme binanın ProtaStructure programında dayanıma göre tasarım yöntemi kullanılıp, eşdeğer deprem yükü hesabına göre doğrusal analizi yapılmıştır. Eşdeğer deprem doğrultusunda, deprem yükü denklem 3.13' ten faydalanılarak  $V_{iE}^{(X)} = 808.2$  kN olarak belirlenmiştir. Bu kuvvet belirlendikten sonra binanın en üst katına uygulanan, ek eşdeğer deprem yükü, denklem 3.15' ten faydalanılarak  $\Delta F_{NE}^{(X)} = 30.3$  kN olarak bulunmuştur.

Her bir kata etkiyen eşdeğer deprem yükü ve kat kesme kuvvetleri hesaplanmış ve Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Bu kuvvetler görsel olarak ise Şekil 4.1.' de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesap sonuçları

Kat No	$h_i$ (m)	$H_i$ (m)	$m_i$ (t)	$m_i x H_i$	$\frac{m_i H_i}{\sum m_i H_i}$	$F_{iE}$ (kN)	$V^{(x)}$ (kN)
4	3	15	231.838	3477.57	0.333	259.3	259.3+30.3=289.6
3	3	12	231.838	2782.06	0.266	207.44	289.6+207.44=497.04
2	3	9	231.838	2086.54	0.199	155.58	497.04+155.58=652.62
1	3	6	231.838	1391.03	0.133	103.72	652.62+103.72=756.34
Zemin	3	3	231.838	695.51	0.066	51.86	756.34+51.86= <b>808.2</b>
$\Sigma$				10 432.7		777.9	



Şekil 4.1. Her bir kata etkiyen eşdeğer deprem yükleri

#### 4.2. Normal Betonarme Binanın Modal Analiz Sonuçları

Çizelge 4.2.' de modal analiz için her katta x ve y eksenlerinde ötelenme ve z ekseninde dönme serbestlikleri dikkate alınarak toplamda 15 adet mod sonucu verilmiştir. Çizelgeye göre binanın hâkim periyodu 0.763 s' dir, ancak 0.763 s değerindeki kütle katılım değerlerine bakıldığında, kütle katılım oranlarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla binanın bu 1. modu, burulma modudur. 2. mod incelendiğinde, x ekseninde kütle katılım oranının %80.44 olduğu görülmekte ve bu modun x eksenine için hâkim periyoda ait mod olduğu anlaşılmaktadır. 3. mod incelendiğinde ise y ekseninde kütle katılım oranının %80.68 olduğu görülmekte ve 3. modun y eksenine için hâkim mod olduğu görülmüş olmaktadır.

Çizelge 4.2. Normal betonarme binanın ilk 15 moduna ait periyot ve frekans değerleri ile kütle katılım oranları

Mod	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Modal Kütle Katılım Oranları			Modal Kütleler		
			Ux	Uy	Uz	Ux [t]	Uy [t]	Uz [t]
1	1.19	0.84	0.8254	0	0	0.8254	0	0
2	1.049	0.953	0	0.8265	0	0.8254	0.8265	0
3	1.003	0.997	0.0002	0.0007	0	0.8256	0.8272	0
4	0.381	2.621	0.1057	0	0	0.9313	0.8272	0
5	0.336	2.972	0	0.1054	0	0.9313	0.9326	0
6	0.328	3.046	1.974E-05	2.229E-05	0	0.9313	0.9326	0

Çizelge 4.2. (devam)

7	0.212	4.716	0.0416	0	0	0.9729	0.9326	0
8	0.19	5.254	4.85E-06	8.243E-07	0	0.9729	0.9326	0
9	0.189	5.296	0	0.0408	0	0.9729	0.9735	0
10	0.14	7.156	0.0201	0	0	0.993	0.9735	0
11	0.132	7.598	0	1.276E-05	0	0.993	0.9735	0
12	0.127	7.902	0	0.0195	0	0.993	0.993	0
13	0.107	9.389	0.0069	0	0	0.9999	0.993	0
14	0.104	9.578	3.058E-06	7.974E-07	0	0.9999	0.993	0
15	0.098	10.16	0	0.0069	0	0.9999	0.9999	0

### 4.3. Normal Betonarme Binanın Burulma Düzensizliğinin Kontrolü

Yapılan analizler sonucunda x ve y doğrultuları için elde edilen burulma düzensizliği katsayıları Çizelge 4.3.' te gösterilmiştir. Çizelgeden anlaşıldığı üzere binada x ve y doğrultularında burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3. Normal betonarme binanın katlarındaki burulma düzensizliği kontrolü

Kat No	X Eksenini $h_{bi}$	$h_{bi} < 1.2$	Y Eksenini $h_{bi}$	$h_{bi} < 1.2$
4	1.042	Sağlandı	1.160	Sağlandı
3	1.044	Sağlandı	1.167	Sağlandı
2	1.045	Sağlandı	1.172	Sağlandı
1	1.045	Sağlandı	1.177	Sağlandı
Zemin	1.046	Sağlandı	1.182	Sağlandı

Bina yükseklik sınıfı 6 olduğu için, Çizelge 4.3' e göre burulma düzensizliği söz konusu olmadığı, x ve y doğrultularındaki kütle katılım oranları Çizelge 4.2' ye bakıldığında %70'in üzerinde olduğu için sabit tek modlu itme yöntemini kullanıp, binanın doğrusal olmayan analizinin yapılabilmesi için bir engel bulunmamaktadır.

### 4.4. Kompozit Binanın Modal Analiz Sonuçları

ETABS programında kompozit binanın modal analizleri yapılmış ve Çizelge 4.4.' te çıkan sonuçlar gösterilmiştir.

Kompozit binanın modal analizi için normal betonarme binanın analizinde olduğu gibi her katta x ve y eksenlerinde ötelenme ve z ekseninde dönme serbestlikleri dikkate alınarak toplamda 15 adet mod sonucu verilmiştir (Çizelge 4.4.).

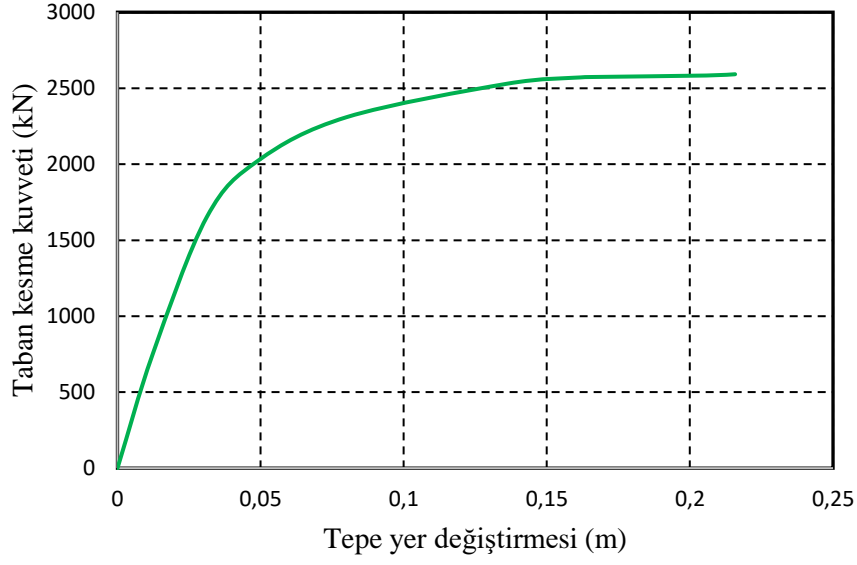
Çizelge 4.4. Kompozit binanın ilk 15 moduna ait periyot ve frekans değerleri ile kütle katılım oranları

Mod	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Modal Kütle Katılım Oranları			Modal Kütleler		
			Ux	Uy	Uz	Ux [t]	Uy [t]	Uz [t]
1	1.19	0.84	0.8254	0	0	0.8254	0	0
2	1.049	0.953	0	0.8265	0	0.8254	0.8265	0
3	1.003	0.997	0.0002	0.0007	0	0.8256	0.8272	0
4	0.381	2.621	0.1057	0	0	0.9313	0.8272	0
5	0.336	2.972	0	0.1054	0	0.9313	0.9326	0
6	0.328	3.046	1.974E-05	2.229E-05	0	0.9313	0.9326	0
7	0.212	4.716	0.0416	0	0	0.9729	0.9326	0
8	0.19	5.254	4.85E-06	8.243E-07	0	0.9729	0.9326	0
9	0.189	5.296	0	0.0408	0	0.9729	0.9735	0
10	0.14	7.156	0.0201	0	0	0.993	0.9735	0
11	0.132	7.598	0	1.276E-05	0	0.993	0.9735	0
12	0.127	7.902	0	0.0195	0	0.993	0.993	0
13	0.107	9.389	0.0069	0	0	0.9999	0.993	0
14	0.104	9.578	3.058E-06	7.974E-07	0	0.9999	0.993	0
15	0.098	10.16	0	0.0069	0	0.9999	0.9999	0

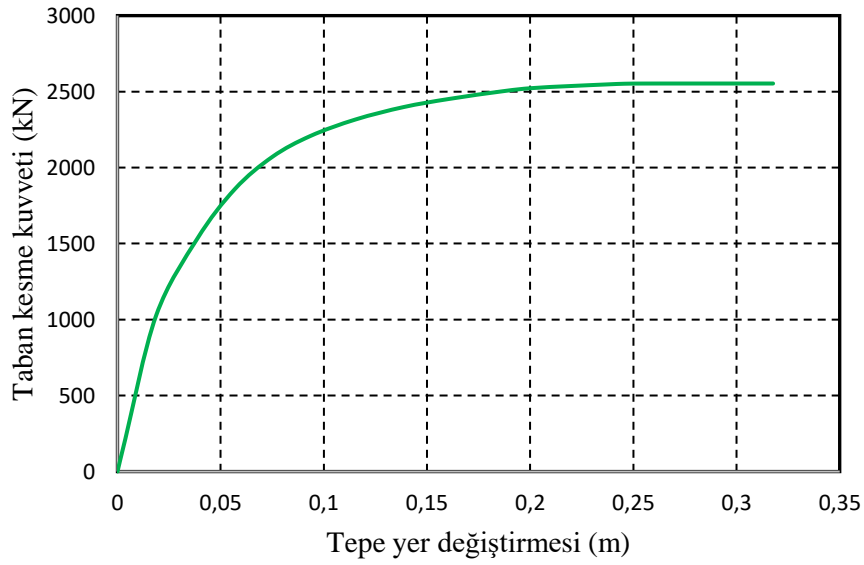
Çizelge 4.4.' te binanın x doğrultusundaki hâkim periyodu 1.19 s' dir. Binanın 1. modda x doğrultusunda ötelenmeye çalıştığı ve kütle katılım oranının %82.54 olduğu görülmektedir. 2. mod incelendiğinde ise binanın y doğrultusunda ötelenmeye çalıştığı ve kütle katılım oranının %82.65 olduğu görülmektedir.

#### 4.5. Normal Betonarme Binanın Doğrusal Olmayan İtme Analizi

Normal betonarme binanın x doğrultusundaki hâkim modu olan 2. mod, daha sonra y doğrultusundaki hâkim modu olan 3. mod esas alınarak yük kombinasyonları belirlenmiş ve itme analizleri yapılmıştır. İtme analizleri sonucunda bulunan taban kesme kuvveti - tepe yerdeğiştirme grafiği x ve y doğrultuları için Şekil 4.2. ve 4.3.'de gösterilmiştir.

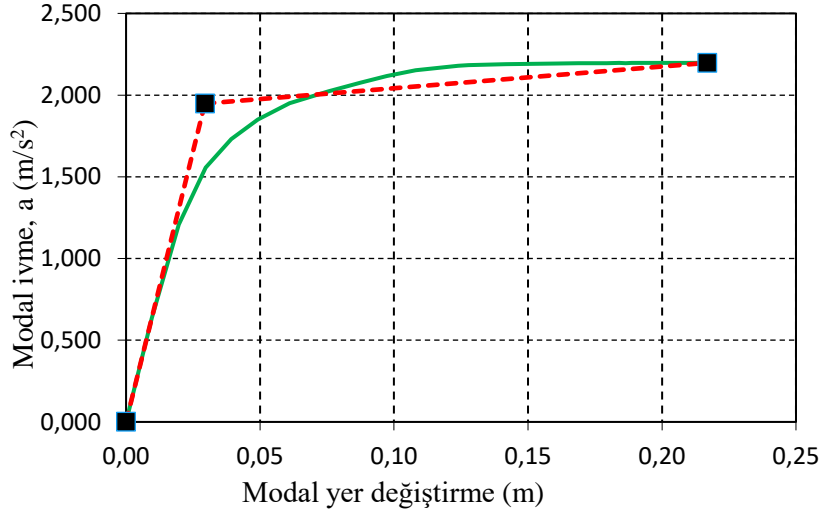


Şekil 4.2. Normal betonarme binanın x doğrultusuna ait itme eğrisi

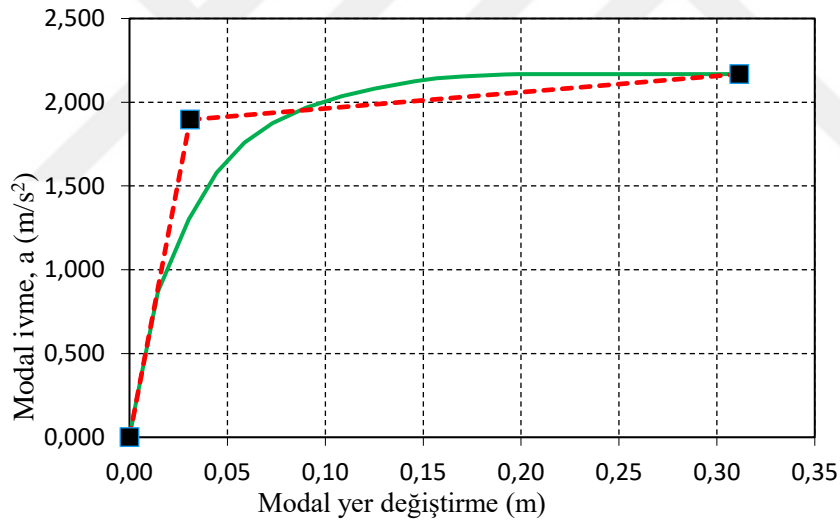


Şekil 4.3. Normal betonarme binanın y doğrultusuna ait itme eğrisi

Bu taban kesme kuvveti - tepe yer değiştirmesi grafiklerinden, koordinat dönüşüm yöntemi ile koordinatları modal ivme - yerdeğiştirme olan modal kapasite eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4.4. ve 4.5).



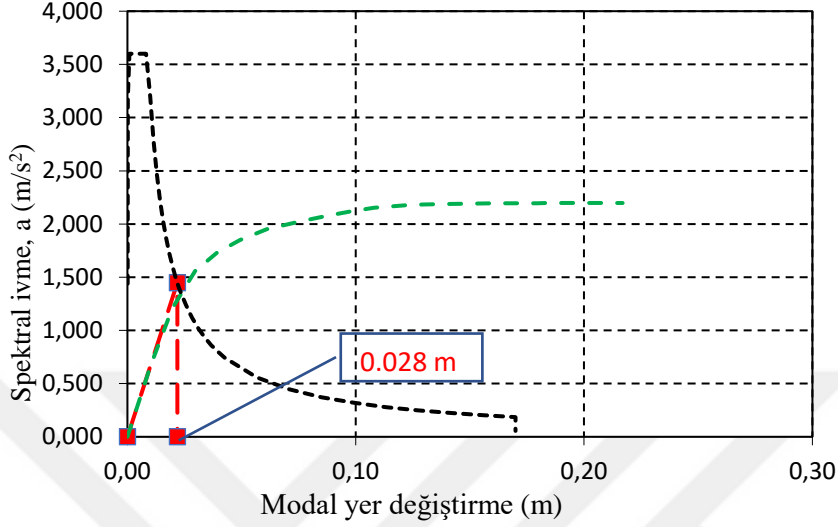
Şekil 4.4. Normal betonarme binanın x doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi



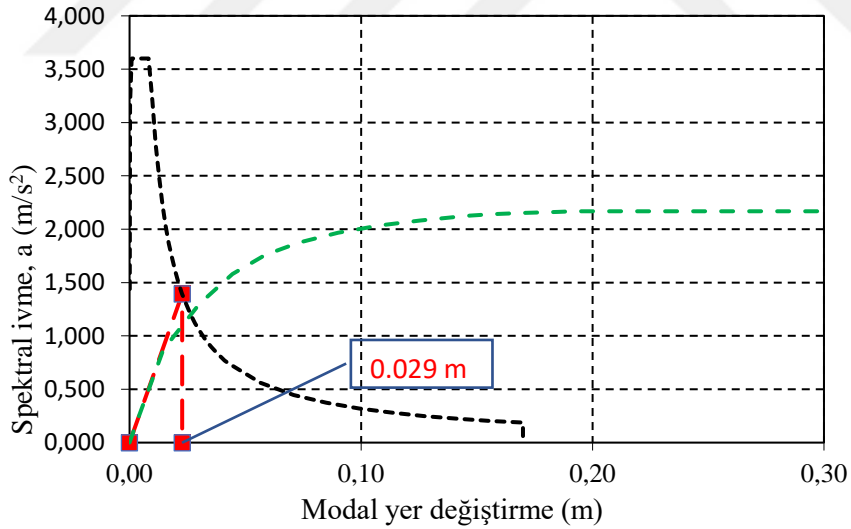
Şekil 4.5. Normal betonarme binanın y doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi

X ve y doğrultularındaki modal kapasite eğrileri bu şekilde elde edildikten sonra yatay elastik tasarım ivme spektrumu da koordinat dönüşümü yöntemi ile koordinatları spektral ivme - modal yerdeğiştirme olan deprem talep eğrisine dönüştürülmüştür. Dönüştürülmüş deprem talep eğrisi ve x ve y doğrultularındaki modal kapasite eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilerek hedef performans noktası x ve y doğrultuları için belirlenmiştir.

Şekil 4.6. ve 4.7.' de görüleceği üzere x doğrultusu için hedef performans noktası 28 mm, y doğrultusu için hedef performans noktası 29 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. Normal betonarme binanın x doğrultusuna ait hedef performans noktası

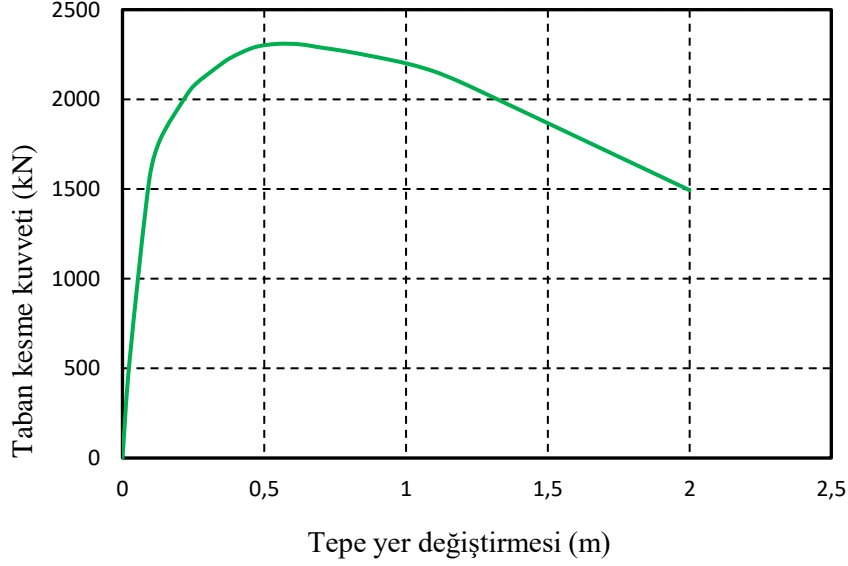


Şekil 4.7. Normal betonarme binanın y doğrultusuna ait hedef performans noktası

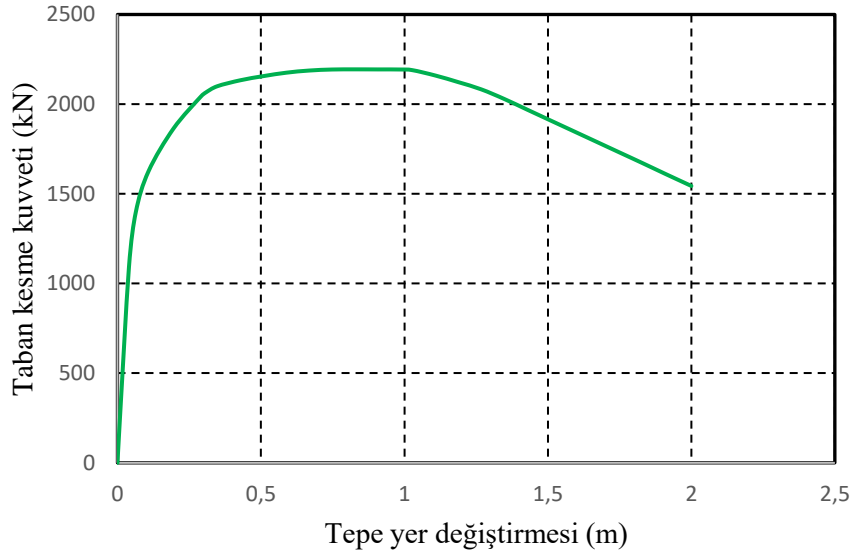
#### 4.6. Kompozit Binanın Doğrusal Olmayan İtme Analizi

Kompozit binanın x doğrultusundaki hâkim modu olan 1. mod, daha sonra y doğrultusundaki hâkim modu olan 2. mod esas alınarak yük kombinasyonları

belirlenmiş ve itme analizleri yapılmıştır. İtme analizleri sonucunda bulunan taban kesme kuvveti - tepe yerdeğiştirme grafiği x ve y doğrultuları için Şekil 4.8. ve 4.9. 'da gösterilmiştir.

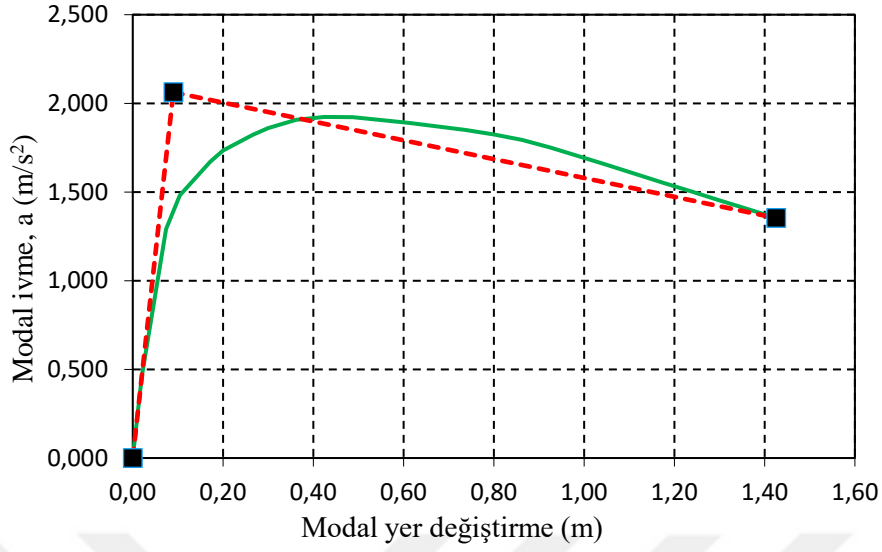


Şekil 4.8. Kompozit binanın x doğrultusuna ait itme eğrisi

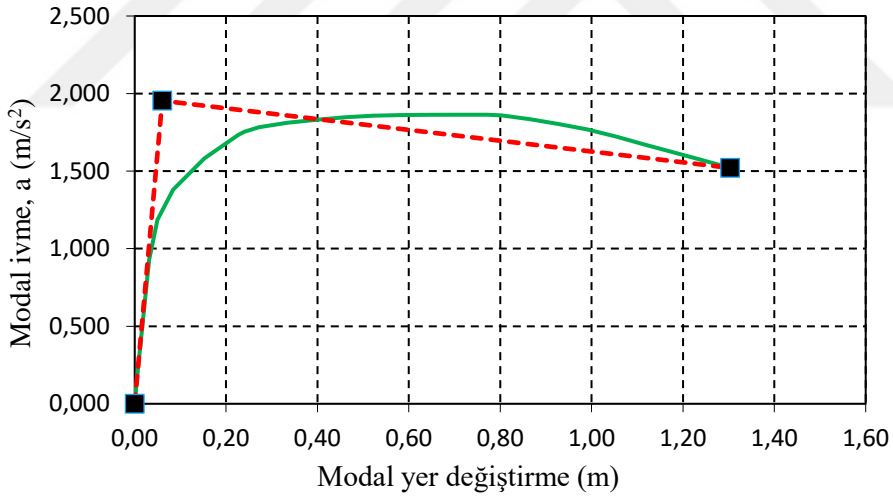


Şekil 4.9. Kompozit binanın y doğrultusuna ait itme eğrisi

Belirlenen taban kesme kuvveti - tepe yer değiştirmesi grafiklerinden, koordinat dönüşümü yöntemi ile koordinatları modal ivme - yerdeğiştirme olan modal kapasite eğrileri bulunmuştur (Şekil 4.10. ve 4.11).



Şekil 4.10. Kompozit binanın x doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi

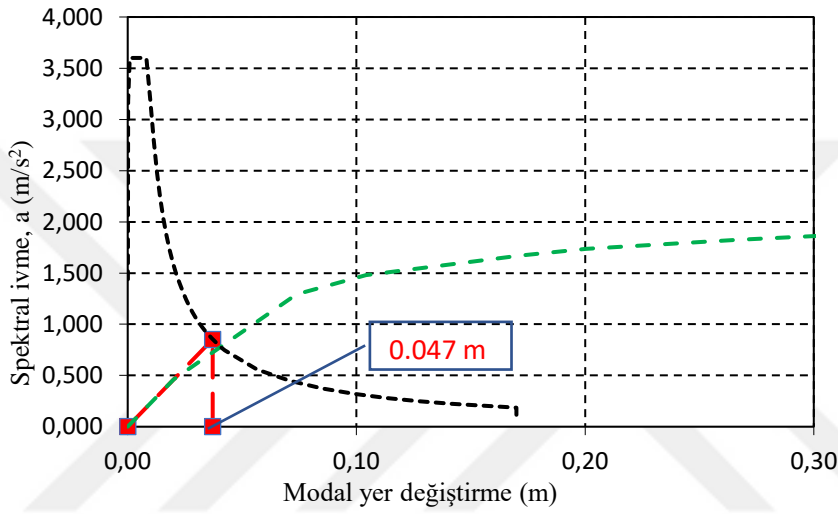


Şekil 4.11. Kompozit binanın y doğrultusuna ait modal kapasite eğrisi

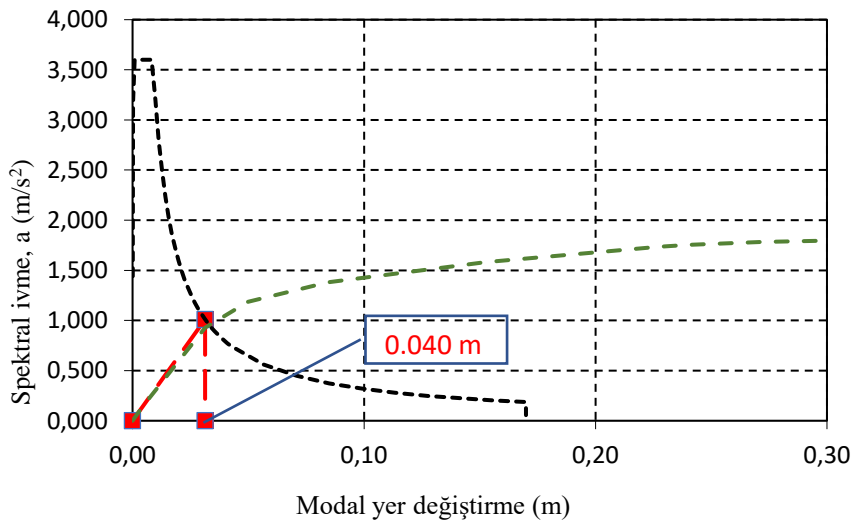
X ve y doğrultularındaki modal kapasite eğrileri elde edildikten sonra yatay elastik tasarım ivme spektrumu da koordinat dönüşümü yöntemi ile koordinatları spektral ivme - modal yerdeğiştirme olan deprem talep eğrisine dönüştürülmüştür. Dönüştürülmüş deprem talep eğrisi ve x ve y doğrultularındaki modal kapasite eğrileri

aynı grafik üzerinde gösterilerek hedef performans noktası x ve y doğrultuları için belirlenmiştir.

Şekil 4.12. ve 4.13.' te görüleceği üzere x doğrultusu için hedef performans noktası 47 mm, y doğrultusu için hedef performans noktası 40 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.12. Kompozit binanın x doğrultusuna ait hedef performans noktası



Şekil 4.13. Kompozit binanın y doğrultusuna ait hedef performans noktası

Normal betonarme binanın ve kompozit binanın hedef yer değiştirme değerleri Çizelge 4.4.' de x ve y doğrultuları için gösterilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiği zaman kompozit binanın daha fazla yer değiştirme talebinde bulunduğu bir kez daha görölmüş olacaktır.

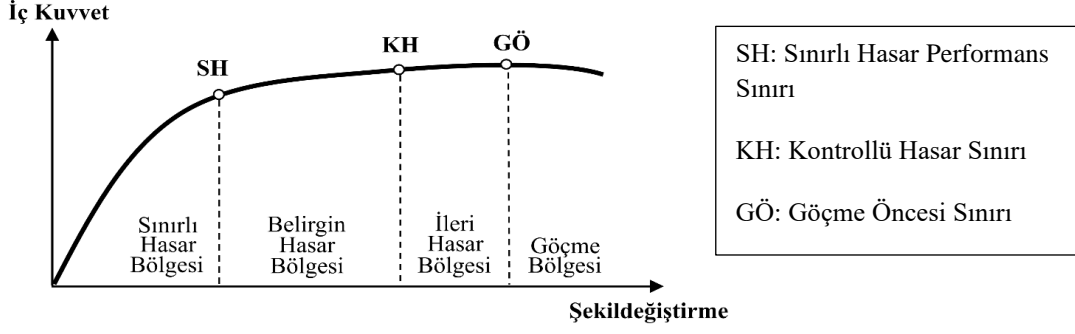
Çizelge 4.4. Yapıların hedef yer değiştirme talepleri

Bina Türü	Hedef yer değiştirme	Hedef yer değiştirme
	x doğrultusu	y doğrultusu
Betonarme Bina	28 mm	29 mm
Kompozit Bina	47 mm	40 mm

Betonarme ve kompozit binaların x ve y doğrultularında bulunan hedef performans noktalarına karşılık doğrusal olmayan itme analizleri yapılmıştır. Her iki binanın kolonlarında plastik hasar davranışı görölmeyip, kirişlerde plastik hasarlar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Binaların kirişlerinde görölen plastik hasarlar x ve y doğrultuları için karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.5.' te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Normal betonarme ve kompozit binaların kirişlerindeki plastik hasar dağılımı

Normal betonarme binanın x doğrultusuna ait plastik hasar dağılımı				Kompozit binanın x doğrultusuna ait plastik hasar dağılımı			
Kat No	Hasar	Toplam	Oran	Kat No	Hasar	Toplam	Oran
4. Kat	0	40	%0.00	4. Kat	0	40	%0.00
3. Kat	3	40	%7.50	3. Kat	0	40	%0.00
2. Kat	9	40	%22.50	2. Kat	6	40	%15.00
1. Kat	21	40	%52.50	1. Kat	6	40	%15.00
Zemin Kat	10	40	%25.00	Zemin Kat	6	40	%15.00
Normal betonarme binanın y doğrultusuna ait plastik hasar dağılımı				Kompozit binanın y doğrultusuna ait plastik hasar dağılımı			
Kat No	Hasar	Toplam	Oran	Kat No	Hasar	Toplam	Oran
4. Kat	2	40	%5.00	4. Kat	1	40	%2.50
3. Kat	4	40	%10.00	3. Kat	2	40	%5.00
2. Kat	18	40	%45.00	2. Kat	7	40	%17.50
1. Kat	18	40	%45.00	1. Kat	18	40	%45.00
Zemin Kat	18	40	%45.00	Zemin Kat	13	40	%32.50



Şekil 4.12. TBDY-2018'e göre performans sınırlar bölgeleri (TBDY, 2018)

TBDY-2018 Madde 15.8.3' e göre herhangi bir katta bulunan kirişlerin en çok %20' si "Belirgin Hasar Bölgesi" ' ne geçebilir (Şekil 4.12.). Bu sınırın altında kalan elemanların tümü ise "Sınırlı Hasar Bölgesi" ' nde kalmaktadır (TBDY, 2018).

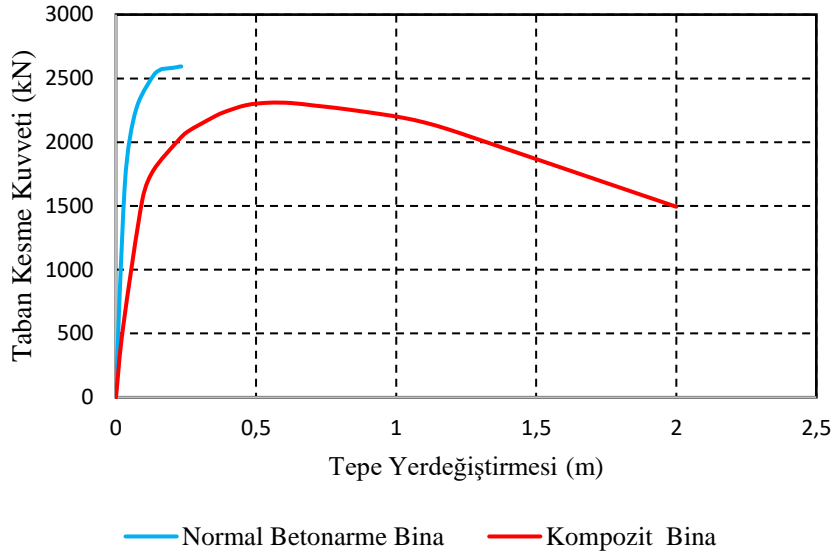
Çizelge 4.5.' ten görüleceği üzere normal betonarme binanın x ve y doğrultularında zemin, 1 ve 2. katlarında %20 sınır değerinin aşıldığı ve binanın sınırlı hasar bölgesinden belirgin hasar bölgesine geçtiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre normal betonarme binanın kontrollü hasar performans (KH) seviyesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca normal betonarme binanın kirişlerinin büyük bir kısmının hasar görmesi binanın önemli mal kaybına ve hatta can kaybına sebep olabileceğini göstermektedir.

Kompozit binanın x doğrultusunda %20 sınır değerini aşmadığı, y doğrultusunda ise zemin ve 1. ve katlarda %20 sınır değerinin aşıldığı ve binanın sınırlı hasar bölgesinden belirgin hasar bölgesine geçtiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre kompozit binanın da kontrollü hasar performans (KH) seviyesinde olduğu görülmektedir.

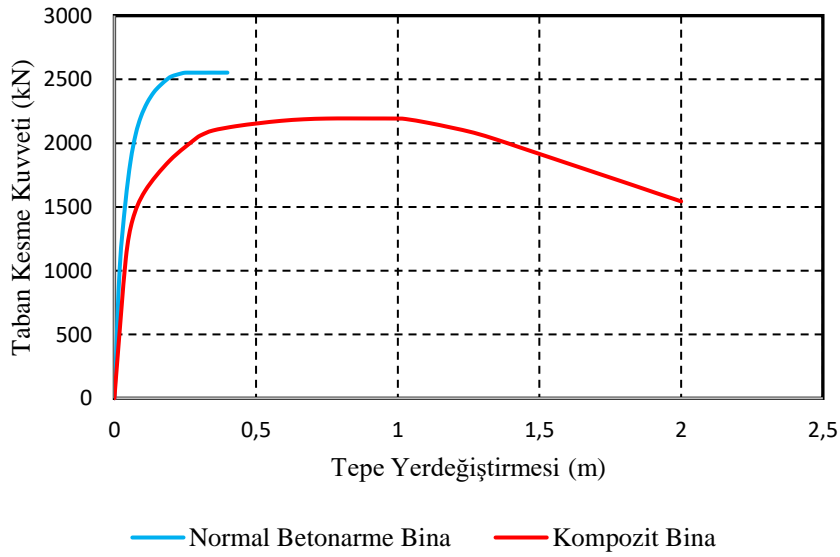
Sonuç olarak her iki bina da KH seviyesinde kalmaktadır. Ancak kompozit bina normal betonarme binaya göre daha fazla yer değiştirme talebine karşılık daha az plastik hasarla KH performans seviyesinde kalmıştır.

#### 4.7. Normal Betonarme Bina ile Kompozit Binanın İtme Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması

X ve y doğrultuları için hem normal betonarme binanın hem de kompozit binanın itme analizleri Şekil 4.12. ve 4.13.' te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.12. İki binanın x doğrultusundaki itme eğrileri



Şekil 4.13. İki binanın y doğrultusunda itme eğrileri

Şekillerden görüldüğü gibi kompozit bina, normal betonarme binaya göre dayanım ve rijitlik açısından bir kazanım sağlamamış gibi gözükse de, yer değiştirme kapasitesi ve dolayısıyla sünekliği bakımından açık ara öndedir.

Çalışmada kompozit bina için profillerin kolon merkezlerine yerleştirilmiş olduğu düşünüldüğünde özellikle dayanım açısından profillerden pek de bir fayda görülmemiş olması normaldir. Eğer kolon boyutları uygun olan bir bina ele alınıp, kolonların iki başlarına profil yerleştirilmiş olsaydı dayanım yönünden de belirgin katkılarının olacağını tahmin etmek mümkündür. Ancak yukarıda belirtildiği gibi kolonlarına profil yerleştirilen bina beklendiği üzere çok daha sünek bir davranış sergilemiştir. Bu kazanım ise tartışmasız bir şekilde binaların depremlerde ayakta kalarak, can ve önemli mal kaybı olmadan depremlerin atlatılabilmesini sağlayacağı için son derece önemlidir.

#### **4.8. Normal Betonarme ve Kompozit Binaların Maliyet Hesabı**

2021 ocak ayında başlayan küresel ekonomik kriz ülkemizde içinde olduğu birçok toplumu olumsuz etkilemiştir. Özellikle dolar ve buna bağlı olarak hammadde fiyatlarının artışı inşaat maliyetlerini oldukça etkilemiştir. Bu artışlar neticesinde başta inşaat çeliği ve hazır beton fiyatları olmak üzere inşaat malzemeleri %300' ün üzerinde bir artış göstermiştir.

Bu tez çalışmasında hem normal betonarme binanın hem de kompozit binanın maliyet hesabı malzeme ve işçilik açısından ele alınmıştır. Göz önüne alınan bileşenler, inşaat çeliği, kalıp ve hazır betondur.

##### **4.8.1. Normal betonarme binanın maliyet hesabı**

Çalışmada ele alınan binanın toplam inşaat alanı 981.75 m<sup>2</sup> dir. Binada daha önce de belirtildiği gibi C30/37 beton sınıfı ve B420C donatı sınıfı kullanılmıştır. Binanın her bir katına ve elemanlarına ait donatı, kalıp ve beton miktarları Çizelge 4.5' te detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.5. Normal betonarme binanın katlarına ve elemanlarına ait metrajlar

Katlar	Açıklama	Kalıp Miktarları	Donatı Miktarları	Beton Miktarları
4. Kat	Döşemeler	234.24 m <sup>2</sup>	1 459.20 kg	35.136 m <sup>3</sup>
	Kirişler	141.36 m <sup>2</sup>	1 638.02 kg	17.363 m <sup>3</sup>
	Kolonlar	154.40 m <sup>2</sup>	3 040.43 kg	17.640 m <sup>3</sup>
3. Kat	Döşemeler	234.24 m <sup>2</sup>	1 459.20 kg	35.136 m <sup>3</sup>
	Kirişler	141.36 m <sup>2</sup>	1 675.65 kg	17.363 m <sup>3</sup>
	Kolonlar	154.40 m <sup>2</sup>	3 603.07 kg	17.640 m <sup>3</sup>
2. Kat	Döşemeler	234.24 m <sup>2</sup>	1 459.20 kg	35.136 m <sup>3</sup>
	Kirişler	141.36 m <sup>2</sup>	1 699.49 kg	17.363 m <sup>3</sup>
	Kolonlar	154.40 m <sup>2</sup>	3 603.07 kg	17.640 m <sup>3</sup>
1. Kat	Döşemeler	234.24 m <sup>2</sup>	1 459.20 kg	35.136 m <sup>3</sup>
	Kirişler	141.36 m <sup>2</sup>	1 717.46 kg	17.363 m <sup>3</sup>
	Kolonlar	154.40 m <sup>2</sup>	3 603.07 kg	17.640 m <sup>3</sup>
Zemin Kat	Döşemeler	234.24 m <sup>2</sup>	1 459.2 kg	35.136 m <sup>3</sup>
	Kirişler	141.36 m <sup>2</sup>	1 702.8 kg	17.363 m <sup>3</sup>
	Kolonlar	154.40 m <sup>2</sup>	3 603.07 kg	17.640 m <sup>3</sup>
Toplam Miktarlar		2 650 m <sup>2</sup>	33 182.13 kg	350.695 m <sup>3</sup>

Çizelge 4.5.' ten görüleceği üzere toplam kalıp miktarı 2 650 m<sup>2</sup>, toplam donatı miktarı 33 182.13 kg ve toplam beton miktarı 350.695 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Toplam donatı miktarı, binanın toplam inşaat alanına oranlanarak binada m<sup>2</sup> başına düşen donatı miktarı kilogram cinsinden elde edilmiştir. Yapının 1 m<sup>2</sup>' sine 33.798 kg donatı düşmektedir. Betonarme kirişli plak döşemeli sistemlerde genel olarak binanın 1 m<sup>2</sup>' sine 35 - 40 kilogram arasında donatı yeterli bulunmaktadır. Genelde piyasada çalışan mühendisler, bina modeli el verdiği sürece bu değer aralığının altında donatı çıkması durumunda betonarme taşıyıcı elemanlarda donatı artırımı yapıp, bu değerlerin üstünde çıkması durumunda ise el verdiği betonarme taşıyıcı elemanlarda donatı azaltımını uygulamaya çalışırlar. Modellenen yapı için 33.798 kg donatı değeri kabul edilebilir sınırlara yakın olduğundan bina taşıyıcı elemanlarında herhangi bir donatı artırma veya azaltma işlemine gerek görülmemiştir. Bilindiği gibi donatı imalatlarında her zaman %10 zayıt göz önünde bulundurulur. Zayıt, donatı miktarına eklenerek toplam donatı miktarı  $33\ 182.13 \times 1.10 = 36\ 500.343$  kg olarak hesaplanmıştır.

2022 yılı Mayıs ayı piyasa malzeme ve işçilik fiyatları binanın inşa edildiği düşünülen yer olan Hatay ili, İskenderun ilçesi esas alınarak Çizelge 4.6.' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Güncel malzeme ve işçilik fiyatları

Kalıp Malzeme, İşçilik ve Beton Döküm Fiyatı	1 m <sup>2</sup> kalıp işçiliği beton dökümü ile birlikte 100 TL dir.
B420C Donatı Fiyatı	1 ton demir fiyatı 14 500 TL
Donatı İmalatı İşçilik Fiyatı	1 kg donatı imalatı işçilik bedeli 0.90 TL dir.
C30/37 Beton Fiyatı	Yapının inşa edileceği yere uzaklığına göre değişiklik göstermekle birlikte beton fiyatı m <sup>3</sup> başına 930 TL dir.

Çizelge 4.5. ve 4.6.' da yer alan değerlerin birlikte göz önüne alınmasıyla binanın 3 ana bileşeni olan kalıp, donatı ve beton maliyetleri Çizelge 4.7.' deki gibi elde edilmiştir. Kalıp işçiliği içerisinde malzeme temini, işçilik ve beton döküm işlemi yer aldığından dolayı beton işçilik fiyatı Çizelge 4.7.' de yer almamıştır. Zemin ve 4 normal kattan oluşan 5 katlı betonarme binanın maliyeti 3 ana bileşen üzerinden dikkate alındığında bina toplam maliyeti 1 153 251.64 TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Normal betonarme binanın malzeme ve işçilik fiyatlarına göre maliyet analizi

Toplam Kalıp Miktarı	Kalıp Malzeme, İşçilik ve Beton Döküm Fiyatı		Toplam Maliyet
2650 m <sup>2</sup>	100 TL/m <sup>2</sup>		265 000 TL
Toplam Beton miktarı	C30/37 Beton Fiyatı		Toplam Maliyet
350,695 m <sup>3</sup>	930TL/m <sup>3</sup>		326 146,35 TL
Toplam Donatı miktarı	B420C Donatı Fiyatı	Donatı İmalatı İşçilik Fiyatı	Toplam Maliyet
36 500,343 kg	14 500 TL/ton	0,90 TL/kg	562 105,29 TL
Toplam Maliyet			1 153 251,64 TL

#### 4.8.2. Kompozit binanın maliyet hesabı

Başta belirtildiği gibi göz önüne alınan betonarme binanın her bir kolonuna S235 çeliğinden birer W150x150x20 profil eklenerek kompozit bina elde edilmiştir. Bu binanın maliyeti ise normal betonarme binanın yukarıda hesap edilmiş olan maliyetine profillerden gelen ilave maliyet eklenerek belirlenmiştir.

Binanın her katında 26 adet kolon bulunduğu ve kat yüksekliklerinin 3 m olduğu dikkate alındığında, her kat için kullanılan toplam profil uzunluğu 78 m olarak belirlenir. Bina 5 katlı olduğu için toplam çelik profil uzunluğu ise  $78 \times 5 = 390$  m'dir.

Her bir katta kolon orta yüksekliklerinde basitçe çelik profillerin aralarına konan yatay plakalar yardımıyla kaynaklanarak profillerin birleştirildikleri düşünülmüştür. Elbette başka birleştirme seçenekleri de göz önüne alınabilir. Birleştirme sonucunda zemin kattan en üst kata kadar, aynı düşeydeki kolonlar içerisinde sürekli devam eden bir profil elde edilmiş olacaktır. Birleşimler için kullanılan çelik plakaların boyutları  $20 \times 20 \times 1$  cm olarak seçilmiş ve profiller ile plakaların maliyeti ağırlık üzerinden hesaplanmıştır.

Kompozit bina için çelik profiller ve çelik plakaların oluşturduğu maliyet Çizelge 4.8.' deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Kompozit yapının malzeme fiyatlarına göre maliyet analizi

Çelik Profil Tipi	Çelik Profil Uzunluğu	Çelik Profil Ağırlığı	Çelik Profil Toplam Ağırlığı	Çelik kg Fiyatı	Toplam Maliyet
W150x150x20	390 m	29.8 kg/m	11 622 kg	14.8 TL/kg	172 005.6 TL
Çelik Plaka Tipi	1 Adet Çelik Plaka Ağırlığı	Toplam Çelik Plaka Adedi	Çelik Plaka Toplam Ağırlığı	Çelik Kg Fiyatı	Toplam Maliyet
$20 \times 20 \times 1$ cm	3.15 kg	104	327.6 kg	14.8 TL/kg	4 848.48 TL
				Toplam	176 854.08 TL

Çizelgeden görüldüğü gibi çelik profil ve plakaların toplam maliyeti 176 854.08 TL dir. Çelik üretiminde kilogram başına işçilik ücreti, binanın bulunduğu konum ve 2022 yılı Mayıs ayı esas alındığında 4 TL/kg' dır. Binadaki toplam çelik profil ve birleşim plakası ağırlığı Çizelge 4.8.' den görüldüğü gibi 11 949.6 kg' dır. Buna göre bu çelik inşaatın işçilik maliyeti  $11 949.6 \times 4$  TL/kg = 47 798.4 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre kompozit binanın toplam maliyeti 1 153 251.64 TL + 176 854.08 TL + 47 798.4 TL = 1 377 904.12 TL olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada göz önüne alınmış olan normal betonarme binanın her bir kolonuna S235

çeliğinden birer W150x150x20 profil yerleştirilmesi suretiyle elde edilmiş olan kompozit bina için ilave maliyet  $176\,854.08\text{ TL} + 47\,798.4\text{ TL} = 224\,652.48\text{ TL}$  olarak belirlenmiş olmaktadır. Buna göre, kompozit binanın maliyeti, normal betonarme binanın maliyetinden  $\% [(1\,377\,904.12\text{ TL} - 1\,153\,251.64\text{ TL}) / 1\,153\,251.64\text{ TL}] \times 100 \cong \%19,5$  kadar yüksektir. Depremlerde binanın ayakta kalıp, özellikle can kaybının önlenmesi bakımından üstünlüğü görülmüş olan kompozit binanın bu ilave maliyeti takdir edileceği üzere çok da büyütülecek bir maliyet değildir.



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada toplam 5 katlı normal betonarme bir bina ile bu binanın kolonlarına birer I profili yerleştirilerek oluşturulan kompozit binanın doğrusal olmayan statik itme analizleri ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bulgular kompozit binanın normal betonarme binaya göre çok daha yüksek sünekliğe sahip olduğunu göstermiştir. Bu, ülkemiz ve diğer tüm deprem ülkeleri için önemli bir sonuçtur. Çünkü, tüm dünyadaki depremler sonrası incelemeler, kolon - kiriş birleşim bölgelerinin hasar görmesi nedeniyle ayakta duramayan ve buna bağlı olarak kısmen veya tamamen göçen binaların önemli bir yüzde oluşturduğunu göstermektedir.

Normal betonarme ve kompozit binaların modal analiz sonuçları incelendiğinde kompozit binanın yer değiştirme kapasitesi normal betonarme binaya göre daha fazla olduğu için kompozit binanın periyodu normal betonarme binanın periyoduna göre daha fazla çıkmaktadır. Ayrıca normal betonarme binanın 1. modunda bina burulma etkisindeyken, kompozit binanın 1. modunda burulma etkisi ortadan kalkmıştır.

Binalar hedef yer değiştirme kapasiteleri bakımından değerlendirildiğinde kompozit binanın daha fazla yatay yük etkisi altında daha fazla yer değiştirme talebinde bulunduğu görülmüştür.

Sunulan bu çalışma, kolonlara profil yerleştirilmesiyle kolon - kiriş birleşim bölgelerinin hasar görmesinin büyük ölçüde önüne geçileceğini ve yüksek süneklikli binalar inşa edilmiş olacağını gözler önüne sermiştir. Profil kullanımıyla binaya gelen ek maliyetin ise abartılmayacak bir düzeyde kaldığını göstermiştir.

Çalışmanın çeşitli yönlerden geliştirilme potansiyeli vardır. Örneğin kolon boyutları bakımından olanak sağlayan binalarda, kolonların iki başına profil yerleştirilmesi ile benzer bir çalışma yapılabilir. Ayrıca, perde duvarlı yapılarda perdelerin uç kısımlarına profil yerleştirilmesinin bina deprem davranışına etkileri incelenebilir. Bunların dışında, kolonları yanında kirişlerine de profil yerleştirilmiş bir

kompozit binanın, normal bir betonarme binaya göre dayanım ve süneklik farkı da araştırılabilir.



## KAYNAKLAR

- AFAD, (20 Nisan 2022). *Türkiye' deki Önemli Depremler*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı <https://deprem.afad.gov.tr/galeri/236369>
- ANADOLU AJANSI, (20 Nisan 2022). *Elazığ'daki Depremde Sürsürü Mahallesi'nde Yıkılan Binada Arama Kurtarma Çalışmaları Sürüyor*. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/elazigdaki-depremde-sursuru-mahallesinde-yikilan-binada-arama-kurtarma-calismalari-suruyor/1715203>
- BHARTIA, R., Chidambaram, R.S. and Kwatrac, N., 2017, Influence of Fiber Reinforced Concrete on Plastic Behavior on Exterior Beam Column Joint under Cyclic Loading, *Procedia Engineering* 173: 1122 - 1129.
- BINDHU, K.R., JAYA, K.P. and MANICKA SELVAM, V.K., 2008. Seismic resistance of exterior beam column joints non-conventional reinforcement detailing. *Structural Engineering and Mechanics*, 30(6): 733-761.
- BORGHİNİ, A., Gusella, F. and Vignolli, A., 2016, Seismic vulnerability of existing R.C. buildings: A simplified numerical model to analyse the influence of the beam-column joints collapse, *Engineering Structures* 121: 19-29.
- DAS, P. and CHOUDHURY, S., 2018. Experimental Study on Fibre-Reinforced Concrete Beam-Column Joint with Ductile Detailing Under Reverse Cyclic Loading. *International Journal of Engineering & Technology*, 7: 85–89.
- DOĞANGÜN, A., 2021. Deprem Zemin ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Birsen Yayınevi, İstanbul, 514s.
- HAKUTO, S., PARK, R. and TANAKA, H. 2000. Seismic Load Tests on Interior and Exterior Beam-Column Joints with Substandard Reinforcing Details. *ACI Structural Journal*, 97 (1): 11-25.
- HASABALLA, M., 2014. Gfrp-Reinforced Concrete Exterior Beam-Column Joints Subjected To Seismic Loading. The University of Manitoba, Faculty of Graduate Studies, PHD, Manitoba, Canada. 393p.
- LİANG, X-w., Wang, Y-j., Tao, Y. and Deng, M-k., 2016, Seismic performance of fiber-reinforced concrete interior beam-column joints, *Engineering Structures* 126: 432-445.
- METELLİ, G., Messali, F., Beschi, C. and Riva, P., 2015, A model for beam-column corner joints of existing RC frame subjected to cyclic loading, *Engineering Structures* 89:19-92.
- MISIR, İ.S. ve GİRĞİN, S.C., 2019. Betonarme Eleman Davranışı. s. 20.
- PATEL, P. A., DESAI, A. K. and DESAI, J. A., 2013. Evaluation of RC and SFRC exterior beam-column joint under cyclic loading for reduction in lateral reinforcement of the joint region. *Magazine of Concrete Research*, 65: 405-414.
- PAULAY, T. (1989), Equilibrium criteria for reinforcement concrete beam-column joints. *ACI Structural Journal*, 86: 653-643.
- SAİD, S.H. and Razak, H.A., 2016, Structural behavior of RC engineered cementitious composite (ECC) exterior beam-column joints under reversed cyclic loading, *Construction and Building Materials* 107: 226-234.

- SHAFAEI, J., Zareian M.S., Hosseini, A. and Marefat, M.S., 2014, Effects of joint flexibility on lateral response of reinforced concrete frames, Engineering Structures 81: 412-431.
- SÖZCÜ GAZETESİ, (20 Nisan 2022). *İzmir’de tarihe geçen deprem!* <https://www.sozcu.com.tr/2020/gundem/izmirde-tarihe-gecen-deprem-6104864/>
- ŞERMET, F., 2018 Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim noktasının tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İzmir, 191 s.
- ŞERMET, F. ve ARISOY, B., 2018 Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim noktasının tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışının nümerik olarak incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(58): 138-149.
- TSONOS, A.G., TEGOS, I.A. and PENELIS, G.G., 1993. Seismic resistance of Type 2 exterior beam-column. joints reinforcement with inclined bars”, ACI Structural Journal, 89 (1): 3-12.
- TÜRK STANDARTLAR ENSTİTÜSÜ (2018), Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar.TBDY-2018. Ankara, Türkiye
- YAĞLIKÇI, S., 2020 Betonarme binaların doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile analizi üzerine bir çalışma. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 143 s.
- ASCE 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings; American Society of Civil Engineers: Reston, USA
- TÜRK STANDARTLAR ENSTİTÜSÜ (2000), Betonarme yapıların tasarım ve inşaatı için gereklilikler.Ts-500.Ankara, Türkiye
- TÜRK STANDARTLAR ENSTİTÜSÜ (1987), Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Ts-498.Ankara, Türkiye