

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI BETONARME BİNALARIN KİRİŞ VE  
KOLONLARINDA CFRP DONATI DAVRANIŞLARININ  
MODESEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Faisal GHAFORI**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ**

**Haziran 2021**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI BETONARME BİNALARIN KİRİŞ VE  
KOLONLARINDA CFRP DONATI DAVRANIŞLARININ  
MODESEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Faisal GHAFOORI**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ**

**Bu tez 14/06/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı**

**Üye**

**Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Faisal GHAFUORI

14.06.2021

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca öncelikle güzel Türkiye'nin güzel insanlarına samimi ve misafirperverlikleri için şükranlarımı sunarım. Eğitimim süresince birçok alanda bana yardım eden, değerli bilgilerinden faydalandığım, beni eğitimimin her aşamasında yönlendiren, fikir veren ve çalışmalarımın tüm aşamalarında gerek planlama olsun gerek araştırma ve yazma olsun bana destek çıkan çok değerli danışmanım Öğretim Üyesi Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Desteklerinden dolayı Dr. Heydar DEHGHANPOUR' a teşekkür ederim. Bana yardımcı olan Sakarya Üniversitesi öğretim görevlilerine, personeline ve tüm çalışanlarına teşekkür etmeyi borç bilirim.

Tüm eğitim kariyerim boyunca bana her zaman destek çıkan, sevgilerini hiç esirgemeyen, bana güvenen, sabır gösteren öncelikle annem Shokreya QURBANI, Babam Abdul Razaq SHAHAY ve aileme şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY .....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Araştırması .....	1
1.2. Literatür Özeti.....	3
BÖLÜM 2.	
KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1. Betonarme Taşıyıcı Sistemler .....	8
2.2. Geleneksel Çerçevesel Sistemler .....	9
2.3. Afganistan’da İnşaat Sektörü.....	10
2.4. CFRP (Karbon Elyaf Takviyeli Polimer).....	11
2.5. FRP Uygulamaları .....	12
2.6. FRP Tasarım Özellikleri .....	13
2.7. Performans Kavramı .....	15
2.8. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	15
2.9. Binalardan Bilgi Toplanması .....	17
2.10. Yapı Elemanlarının Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri .....	17
2.11. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar.....	18

2.12. Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle Belirlenmesi .....	19
2.13. Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleriyle Belirlenmesi .....	21
2.13.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	23
2.13.2. Artımsal mod birleştirme yöntemi.....	28
2.13.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi .....	29
2.14. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi.....	29
2.14.1. Hemen kullanım durumu.....	29
2.14.2. Can güvenliği durumu.....	30
2.14.3. Göçmenin önlenmesi durumu .....	30
2.14.4. Göçme durumu .....	31
2.15. Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri.....	31

### BÖLÜM 3.

#### MEVCUT BETONARME BİNANIN SAP2000 PROGRAMINDA

MODELLENMESİ .....	33
3.1. Mevcut Betonarme Binanın Genel Özellikleri .....	33
3.2. Beton Özelliklerinin Tanımlanması .....	37
3.3. Çelik ve CFRP Donatı Özelliklerinin Tanımlanması.....	39
3.4. Kiriş Kesitlerinin Tanımlanması .....	41
3.5. Kolon Kesitlerinin Tanımlanması .....	45
3.6. Plastik Mesnetlerin Tanımlanması.....	49
3.7. Plastik Mesnetlerin Betonarme Kolon ve Kirişlerin Etkili Kesit Sertliği .....	51
3.8. Model Analiz Koşullarının Tanımlanması.....	52
3.9. Düşey Analiz Koşullarının Tanımlanması .....	53
3.10. Sabit Tek Modlu İtme Analizi (Pushover Analysis) Koşullarının Tanımlanması .....	54

#### BÖLÜM 4.

BULGULAR.....	57
4.1. 5 Aksındaki CFRP ve Çeliğin Miktarı .....	57
4.2. Periyot Karşılaştırılması .....	57
4.3. Performans Noktalarının Tespiti .....	58
4.4. Göreli Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması.....	61
4.5. Tepe Yer Değiştirmesi ve Taban Kesme Kuvveti Eğrilerinin Karşılaştırılması .....	64

#### BÖLÜM 5.

SONUÇ .....	67
KAYNAKLAR.....	69
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	82

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Afganistan bina kodu
AFRP	: Aramid elyaf takviyeli polimer
ASCE	: Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği
BA	: Bazalt
CFRP	: Karbon elyaf takviyeli polimer
FRP	: Elyaf takviyeli polimer
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
GÖ	: Göçme sınırı
GFRP	: Cam elyaf takviyeli polimer
IBC	: Uluslararası bina kodu
KH	: Kontrollü hasar
PZT	: Piezo tabağı
RC	: Betonarme
SH	: Sınırlı hasar
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çerçevesel sistem .....	10
Şekil 2.2. Çerçeve elemanın yatay yük etkisi altındaki davranış .....	10
Şekil 2.3. CFRP donatıların görünümü .....	12
Şekil 2.4. FRP Uygulamaları .....	13
Şekil 2.5. Çelik ve FRP malzemeleri için gerilme-şekil değiştirme diyagramı .....	14
Şekil 2.6. Yatay elastik tasarım spektrumu .....	16
Şekil 2.7. Yatay elastik spektral yerdeğiştirmeler .....	17
Şekil 2.8. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri .....	18
Şekil 2.9. Performans noktasının belirlenmesi ( $T_{11} \geq TB$ ) .....	26
Şekil 2.10. Performans noktasının belirlenmesi ( $T_{1(1)} < TB$ ) .....	28
Şekil 3.1. Referans modelin üçüncü yeraltından sekinci kata kadar kalıp planı .....	34
Şekil 3.2. Referans modelin arka perspektif görünüşü .....	35
Şekil 3.3. Referans modelin ön perspektif görünüşü .....	36
Şekil 3.4. Referans modelin X yüzünün çerçevesi .....	36
Şekil 3.5. Referans modelin Y yüzünün çerçevesi .....	37
Şekil 3.6. Beton malzeme özelliklerinin tanımlanması .....	38
Şekil 3.7. Doğrusal olmayan analiz için beton malzeme özelliklerinin tanımlanması .....	38
Şekil 3.8. Çelik donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması .....	39
Şekil 3.9. Doğrusal olmayan analiz için çelik donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması .....	40
Şekil 3.10. CFRP donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması .....	40
Şekil 3.11. Doğrusal olmayan analiz için CFRP donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması .....	41
Şekil 3.12. Kiriş kesitinin tanımlanması .....	42
Şekil 3.13. Kiriş etriye donatılarının tanımlanması .....	42

Şekil 3.14. Kiriş moment eğrilik eğrisinin tanımlanması .....	43
Şekil 3.15. Kiriş kesitinin tanımlanması .....	44
Şekil 3.16. Kiriş etriye donatılarının tanımlanması .....	44
Şekil 3.17. Kiriş moment eğrilik eğrisinin tanımlanması .....	45
Şekil 3.18. Kolon kesitinin çeliği göre tanımlanması .....	46
Şekil 3.19. Kolon etriye donatılarının tanımlanması .....	46
Şekil 3.20. Kolon moment eğrisinin tanımlanması .....	47
Şekil 3.21. Kolon kesitinin CFRP'ye göre tanımlanması .....	48
Şekil 3.22. Kolon etriye donatılarının tanımlanması .....	48
Şekil 3.23. Kolon moment eğrilik eğrisinin tanımlanması .....	49
Şekil 3.24. Plastik mesnet tanımlanması .....	50
Şekil 3.25. Kirişin arttırılmış dönme kapasiteleri .....	50
Şekil 3.26. Kolonun arttırılmış dönme kapasiteleri .....	51
Şekil 3.27. SAP2000'de eklenen etkin kesit sertliği katsayısı, (1) kirişlerin sertlik katsayısı, (2) kolonların sertlik katsayısı .....	52
Şekil 3.28. Model analiz koşullarının tanımlanması .....	53
Şekil 3.29. Statik artımsal doğrusal olmayan düşey analizin tanımlanması .....	54
Şekil 3.30. Push X analizinin tanımlanması .....	55
Şekil 3.31. Push Y analizinin tanımlanması .....	55
Şekil 4.1. Mevcut betonarme binanın kiriş ve kolonlarda CFRP ve çeliğin miktarı .....	57
Şekil 4.2. Çelik ve CFRP'nin 18 Katlı modellerin periyotları karşılaştırılması .....	58
Şekil 4.3. Yatay elastik tasarım spektrumu .....	59
Şekil 4.4. Yatay elastik spektral yerdeğiştirmeler .....	60
Şekil 4.5. CFRP modelin yerdeğiştirmenin belirlenmesi .....	60
Şekil 4.6. Çelik modelin yerdeğiştirmenin belirlenmesi .....	61
Şekil 4.7. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerde X doğrultusunda görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması .....	63
Şekil 4.8. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin Y doğrultusunda görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması .....	64
Şekil 4.9. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin (X) doğrultusunda itme eğrisinin karşılaştırılması .....	65

Şekil 4.10. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin Y doğrultusunda itme eğrisinin karşılaştırılması.....	66
---	----

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. FRP elyaflarının tasarımı için dikkate alınan temel fiziksel özellikler ..	14
Tablo 2.2. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları .....	17
Tablo 2.3. Betonarme kirişler için hasar sınırları .....	21
Tablo 2.4. Betonarme kolonlar için hasar sınırları .....	21
Tablo 2.5. Betonarme perdeler için hasar sınırları .....	21
Tablo 2.6. Görelî kat ötelemesi sınırları .....	31
Tablo 2.7. Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri .....	31
Tablo 3.1. Binanın genel özellikleri .....	33
Tablo 3.2. Binanın deprem analizinde kullanılan parametreler .....	33
Tablo 3.3. Binanın ölü yükleri .....	34
Tablo 3.4. Binanın hareketli yükleri .....	34
Tablo 3.5 . Çelik donatı takviyeli kiriş kesit detayları .....	41
Tablo 3.6 . CFRP donatı takviyeli kiriş kesit detayları .....	43
Tablo 3.7. Çelik donatı takviyeli kolon kesit detayları .....	45
Tablo 3.8. Betonarme elemanların etkin rijitlik katsayıları .....	52
Tablo 4.1. Çelik ve CFRP'nin 18 Katlı modellerin periyotlarının karşılaştırılması	58
Tablo 4.2. Çelik ve CFRP'nin 18 Katlı modellerin elastik davranış spektrumu ....	59
Tablo 4.3. Çelik ve CFRP'nin X Yönünde görelî kat ötelemeleri $\Delta_i$ (mm) .....	62
Tablo 4.4. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin Y yönünde görelî kat ötelemeleri $\Delta_i$ (mm) .....	63
Tablo 4.5. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin (X) doğrultusunda itme eğrisi ve modal kapasite .....	65
Tablo 4.6. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin (Y) doğrultusunda itme eğrisi ve modal kapasitesi .....	66

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Performans, periyot, eğilme, dayanıklılık, CFRP, çelik donatı, kiriş ve kolon

Son zamanlarda meydana gelen depremler, yangınlar ve doğa afetleri mevcut yapıların bu tür problemlere karşı güvenli olmadığını ve bu afetlere karşı daha da geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sebepten dolayı can ve mal kayıplarını en aza indirilebilmek için tehlike altındaki çok sayıda yapının kısa sürede güçlendirilebilmesi veya yeni malzeme ve metodların kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle etkili ve hızlı uygulanabilir yöntemlere ihtiyaç vardır.

Bunun yanı sıra, betonarme binalarında çelik donatıların korozyonu betonarme elemanlarının dayanım kaybına yol açmaktadır. Çelik donatıların korozyonu sebebiyle betonarme yapıların güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu nedenle çelik yerine kullanılabilir yeni malzemeye ihtiyaç duyulmuştur

CFRP'nin kullanılmasındaki amaç; oluşacak olan afetin büyüklüğü göz önüne alınarak, mevcut binaların deprem esnasında ve sonrasında oluşacak can ve mal kayıplarının en aza indirmek.

Bu çalışmada SAP2000 programını kullanarak 18 katlı ticari bir binayı CFRP ve çelik donatı takviyeli olarak modellenmesi ve aralarındaki farklılıkların incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı kiriş-kolon kesitleri ve yük kombinasyonları tanımlayarak modellerin kritik durumları incelenmiştir.

Sonuçlara göre: kesit alanı olarak, CFRP kullanılan modelde Çelik donatı 'ya kıyasla %10 daha az donatıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte Kiriş boyutlarında %10 ve kolon boyutlarında %5 azalma gözlenmiştir. CFRP'nin çeliğe göre kıyaslandığında boyut azalması çok fazla olmadığından dolayı çok önem göstermiyor. CFRP donatının çelik donatıya göre mukavemeti yüksektir. Ama CFRP'nin akma dayanımı olmadığından dolayı kopma gerilmesine kadar şekil değiştirmeye devam eder ve bir anda kopar. CFRP'nin bir anda kopması sonucunda binanın yıkılmasına sebep olacaktır. Tasarım yapılmadan önce dikkat edilmesi gereken konulardan birisidir. Bununla birlikte CFRP kütle ağırlığı binada Çelik donatı 'ya kıyasla %20 daha azaldığı hesaplanmıştır.

# **MODEL INVESTIGATION OF CFRP REINFORCEMENT BEHAVIOR ON BEAMS AND COLUMNS OF HIGHRISE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS**

## **SUMMARY**

Keywords: Performance, period, flexibility, strength, CFRP, steel bar, beam and column

The recent earthquakes, fires and natural disasters show that existing structures are not safe against these types of problems and shows their further development against these disasters. For this reason, in order to minimize the loss of life and property, it is necessary to strengthen many endangered structures in a short time or to use new materials and methods. Therefore, effective and fast applicable methods are needed.

In addition, due to corrosion of steel in reinforced concrete buildings, it causes the reinforced concrete elements strength loss due to the loss of mass after a certain period of time. Therefore, a new material that can be used instead of steel was needed.

Purpose of using CRFP; To minimize the loss of life and property of existing buildings during and after the earthquake, taking into account the magnitude of the disaster that will occur. In this study, it is aimed to model an 18-storey commercial building as CFRP and steel reinforcement using the SAP2000 program and to examine the differences between them. Critical situations of the models are examined by defining different beam-column sections and load combinations.

According to the results, the model using CFRP requires 10% less reinforcement than steel reinforcement as cross-sectional area. However, 10% reduction in beam dimensions and 5% reduction in column dimensions were observed. Since the size reduction of CRFP is not much compared to steel, it does not show much importance. The strength of CRFP reinforcement is higher than steel reinforcement. But since CRFP has no yield strength, it continues to change shape until tensile stress and ruptures for a moment. It will cause the building to collapse as a result of the sudden rupture of the CRFP. It is one of the issues that should be considered before designing. However, it has been calculated that the CFRP mass weight is reduced by 20% in the building compared to steel reinforcement.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Birçok ülkede gerçekleşen depremlerle beraber insanların hayatı telef olurken bunların en büyük nedenlerinden biri bina çökmeleri ve bina dökülmeleridir. Afganistan da bu ülkelerden biri olup birçok şehir deprem ve güvensizlik tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bunlara rağmen gelişmekte olan ülkeler arasına girmekte olup; büyük ticari binalar, hastaneler, okullar, köprüler ve diğer yapılar inşa edilmektedir.

Sadece Afganistan değil, gelişmekte olan diğer ülkeler de bu tehlikelerle karşılaşmakta olup bu afetlere karşı çözüm yolu bulma mücadelesindedirler. Bazen kiriş ve kolon boyutlarını artırarak bazen tekrar güçlendirerek bu sorunların önüne geçiliyor. Sorunların çözümü için başvurulan yollardan birisi de FRP ürünlerini kullanmaktır ve bu ürün ticari açıdan marketlerde kendi özel yerine sahiptir. Sadece inşaat sektöründe olmayıp; uçak sanayii, araba sanayii, silah sanayii, elektrik ve elektronik eşya sanayii gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Son zamanlarda FRP ürünleri (özellikle de CFRP) inşaat sektöründe büyük oranda kullanılmaktadır. Bina güçlendirmesinde kullanılan CFRP kendi muadil inşaat malzemelerine göre rakipsizdir. Tekrardan güçlendirme, tamir ve restorasyon aşamalarında harici şekilde kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada inşaat sektöründe yaygın olan CFRP'yi çok katlı binalarda çelik donatı yerine değerlendirilmesi model olarak incelenmiştir.

### **1.1. Kaynak Araştırması**

Ceren 2019 yılındaki çalışmalarında FRP betonarme elemanlarının güçlendirilmesinde sık sık kullanılmaktadır. Bu güçlendirme yönteminin betonarme elemanı davranışı üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için çok sayıda deneysel incelemeler

gerçekleştirilmiştir. Ayrıca işbu tez çalışmasında kompleks sistemlerin modellenmesi için tasarlanmış bir bilgisayar yazılımı kullanılarak FRP Beton Kompozit, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek sonuç alınmaya çalışılmıştır. Literatürde de kendi yerine sahip olan deneysel incelemelerden seçilmiş olan iki grup şeklindeki FRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek incelemesi yapılmıştır. Deney sonucunda FRP kalınlığı arttıkça yük-taşıma kapasitesi artmış ve kiriş daha rijit bir davranış göstermiştir (GÖKCEN, 2019).

Kaya 2019 yılındaki çalışmalarında erozyon, patlama, toprak kayması, kaya düşmesi, karayolu veya denizyolu köprülerine taşıt çarpması gibi sebepler betonarme yapı elemanlarını kullanım süreleri boyunca impulsif (itici) dinamik yüklere maruz bırakabilir. Bu sebeplerden dolayı incelenen tez çalışması kapsamında CFRP etriyeleri ile güçlendirilmiş betonarme kolon-kiriş birleşim noktasının çarpma davranışı deneysel olarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Deney elemanlarının üretiminde 28 günlük basınç dayanımı 25 MPa olan beton ve 6 ve 8 mm çaplarında çelik donatılar kullanılmıştır. Numunelerin ivmele, deplasman, çarpma yükleri ve CFRP etriyelerinin birim şekil değiştirmeleri araştırılmıştır. Elde edilen bu deneysel sonuç CFRP şeritlerin çarpma yüklemesi etkisinde statik yüklemeye göre yüzeyden soyulmadan çok daha fazla kesme kuvveti taşıyabildiklerini ve performanslarının çok daha iyi olduğunu göstermiştir (TURĞUT, 2019).

Yasin Fırat 2007 yılındaki çalışmalarında Karbon elyafları ile güçlendirilen kumaşlar (CFRP) betonarme yapıların güçlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. CFRP malzemesi ile güçlendirilen elemanların dayanımı, rijitliği, göçme şekli ve davranışını etkileyen en önemli etkenlerden biri de betonarme elemanlar ile arasındaki gerilme dağılımıdır. Ayrıca gerilme dağılımının çentik olarak modellenen çatlaktan nasıl etkilendiği gözlemlenmiş ve detaylı bir şekilde incelenmiştir. CFRP şerit genişliği, diğer değişken olan beton basınç dayanımı ve CFRP yapıştırma boyuna kıyasla göçme yükünün artmasında çok daha etkili olduğu görülmüştür (KURTİPEK, 2007).



Mesut 2018 yılındaki çalışmalarında kolonlar, taşıyıcı sistemin bir elemanı olarak özellikle deprem ve rüzgâr sebep olduğu yapı sisteminde meydana gelen yanal etkilere karşı yapının düşey düzlemdeki dengesini sağlarken; eğilme momenti, aksenal kuvvet, burulma momenti ve kesme kuvveti gibi etkilere maruz kalmaktadır. Dolayısıyla kolonların hesaplaması, tasarım ve uygulanması önem arz etmektedir. Bu çalışmada, betonarme kolonlarda CFRP dokuma ve geogrid malzemelerinin geleneksel kapalı etriye ve sarmal etriye şeklinde eleman üzerindeki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak CFRP dokumaların kullanılması halinde gerek kapalı etriye uygulamaları gerek sarmal etriye uygulamaları çelik etriyeli kolonlara kıyasla daha yüksek moment taşıma kapasitesi sağlamıştır (KÜÇÜK, 2018).

Candan 2008 yılındaki çalışmalarında çelik profillerde, plastik tasarım ilkeleri için de geçerli olabilen yeni bir birleşim türü yapılabilmektedir. Birden fazla çelik profil; gevrek bir malzeme olan CFRP ile birleştirilerek 4 noktalı eğilme deneyi ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Deneylerde göçmenin asıl sebebi CFRP liflerinde olmadığı, CFRP ve çelik arasında bulunan yapıştırıcı işlevi gören epoksida olduğu göze çarpmıştır. Yazar geliştirilecek bir ankraj detayı ile bu sorunun üstesinden gelinebileceği ve liflerin çalıştırılması durumunda istenilen dönme kapasitesine ulaşabileceğine kanaat getirmektedir (BAŞAR, 2008).

## **1.2. Literatür Özeti**

Nurdan Gül 2018 yılındaki çalışmalarında, MATLAB tabanlı bilgisayar programında oluşturulan kod desteği ile betonarme kolonların aksenal yük seviyesi yüksek ve düşük olmakla beraber farklı miktar değeri için kesit boyutu, beton dayanım parametreleri ve CFRP kalınlığı; moment eğrilik ilişkisi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçlar karşılaştırılarak analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlarda beton dayanımı arttıkça betonarme kolonların her iki aksenal yüzey için esneklik ve dayanım arttığı söylenebilir. Kullanılan CFRP kalınlığının artırılması sonucunda, yüksek aksenal yük seviyesine sahip betonarme kolonların esneklik ve mukavemeti artırdığı; rijitliğin başlangıç değerinde sabit kaldığı görülmüştür. Öte yandan CFRP kalınlığının

artırılmasının düşük eksenel yük seviyeli değerlerde betonarme kolonların esnekliğini, mukavemetini ve rijitliğini artırdığı görülmüştür (KÖROĞLU, 2018).

Demir, Ergüt ve Yüksel 2017 yılındaki çalışmalarında betonarme kirişlerin kesme kapasitesini farklı yöntemlerle artırmak ve uygulanan yöntemlerin verimini karşılaştırmaktır. Bu amaçla kirişler yeterli kesmeye karşı CFRP elemanları ve dış çelik kelepçelerle güçlendirilmiştir. Yazarlar tarafından sağlanan çelik dış bağlantı elemanlarının detayları geliştirilmiştir. İki farklı şekilde uygulanan CFRP elemanlar hem şeritler şeklinde hem de kesme bölgelerinin tümüne yapıştırılarak oluşmaktadır. Testler sonucunda: Dış kelepçelerle güçlendirilen kirişlerin yük taşıma ve deplasman kapasite ve kabiliyetleri referans şahıslara göre artmaktadır. CFRP elemanlar ile güçlendirilen kirişlerin yük taşıma kapasiteleri iyileştirilmesine rağmen, deplasman kapasiteleri artmamıştır. Testler esnasında CFRP elemanlar betonarme kirişlerden sınırlı ve dış kelepçeler kadar iyi bir performans sergileyememiştir. (A.B., 2017).

Behçet 2008 yılındaki çalışmalarında betonarme kirişlerin eğilme etkisiyle çekme gerilmelerinin olduğu alt yüzeylerde ve kesme gerilmelerinin olduğu L/4 mesafede yan yüzeylerde CFRP tekstillerle güçlendirme amacıyla sarılma yapılmıştır. Deneysel çalışmada 9 adet betonarme kiriş test elemanı üretilmiştir. Betonarme kirişlerin yük deplasman davranışı, sünekliği ve enerji tüketim kapasitesi incelenmiştir. Kesme yönünden yetersiz üretilen kirişlerin kesme alanlarına 90° ve 45°'lik açılarla CFRP tekstilleri yapıştırılmıştır. Güçlendirme sonunda kirişlerde %60 kesme kabiliyetinin arttığı bilinmiştir. 45°'lik ve 90°'lik CFRP uygulamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı ortaya çıkmıştır (DÜNDAR, 2008).

Çelebi 2009 yılındaki çalışmalarında kesmede yetersiz betonarme kirişlerin U biçimli CFRP şeritlerle güçlendirme tekniğinin araştırılması amaçlanmıştır. Yetersiz betonarme kirişlerden biri referans, altısı güçlendirilmiş olmak üzere toplamda yedi kiriş test edilmiştir. Güçlendirilen kirişlerde, kirişin yan yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritlerin eksenleri arasındaki mesafeler 125 mm, 150 mm ve 200 mm olarak seçilmiştir. Güçlendirilen altı kirişin üçü CFRP şerit uçları, fan ankrajları ile kiriş gövdesine sabitlenmiştir. Test sonuçları, CFRP şeritlerin eksenleri arasındaki mesafe

ve ankraj uygulaması göz önünde bulundurularak tartışılarak değerlendirilmiştir. CFRP şeritler, kesmede yetersiz kirişlerin kesme dayanımını artırmasına rağmen kesmede göçmeye engel olamamıştır. CFRP şerit uçlarında ankraj ile güçlendirilen kirişlerde sünek eğilme davranışı gözlenmiştir (MERTOĞLÜ, 2009).

Mesut 2005 yılındaki çalışmalarında kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin tersinir tekrarlanır yükleme altında açılı CFRP şeritlerle kesme dayanımının artırılması hedeflenmiştir. Düzenlenen bu deney programının da 6 adet T kesitli kiriş test edilmiştir. Deneysel çalışmada: açılı CFRP şeritlerin kesme açıklığı boyunca yerleşim düzeni ve CFRP levha genişliği incelenen değişkenlerdir. Deney sonuçları CFRP şeritlerle güçlendirilen kirişlerin dayanım ve rijitliğinin önemli oranlarda arttığını göstermiştir. Deney elemanlarının sünekliği ve göçme modları da kullanılan CFRP şeritlerin genişliğine ve yerleşim düzenine göre değişkenlik göstermiştir (KELEŞ, 2005).

Yaşar 2019 yılındaki çalışmalarında kısa kolonların dayanım ve düktilitelerinin artırılmasına için iki farklı güçlendirme tekniğinin uygulanması ve bu uygulamaların farklı beton sınıflarına sahip kısa kolonlardaki etkinliği incelenmiş, kolonlardaki çatlak gelişiminin piezoelektrik sensörlerle (PZT) takibi yapıp, üzerine incelemeler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında sabit eksenel yük ve döngüsel yatay yük etkisi altında betonarme (BA) kolonların performanslarının araştırılması için bir dizi deneysel çalışmalar yapılmıştır. BA kolonlar, Dış Kuşaklama ve CFRP etriye uygulaması ile güçlendirilmiştir. Deneysel bulgular sonucunda beton dayanımının artması kolonların kesme dayanımını bir miktar artırırken, uygulanan güçlendirme yöntemleri kesme hâkim davranış gösteren BA kısa kolonlarının hem dayanım hem düktilite hem de enerji yutma kapasitelerini artırmıştır. PZT'ler ile çatlak gelişiminin sensörlerden alınan sinyaller sayesinde başarılı şekilde takip edilebildiği görülmüştür (GÜRKAN SEHAR, 2019).

Oğuzhan 2017 yılındaki çalışmalarında kısa kolon kusuru tüm dünyada yapı mühendislerinin karşılaştığı birçok yıkıcı problemlerden birisidir. Çalışmada kusurun giderilmesi için deprem yönetmeliğinin önerdiği referans düzenlemelerinin yanı sıra verev ve CFRP donatı uygulamaları ile güçlendirilmiş oniki adet test numunesi sabit

eksenel yük altında ve yatay deplasman kontrolünde test edilmiştir. Sonuçlar kısmında, CFRP ve verev donatılı kolonlar Referans kolonlarına göre gevrek davranışı daha sünek ve daha kuvvetli bir pozisyona taşımıştır (ATAŞ, 2017).

İlker 2018 yılındaki çalışmalarında, OpenSees sonlu eleman modeli yardımıyla güçlendirilmemiş ve CFRP ile güçlendirilmiş ve bunların arasındaki betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkileri ile davranışları ele alınmıştır. İncelediğimiz moment-eğrilik ilişkileri, betonarme kolonların dengeli eksenel kuvvet değerinin altındaki ve üstündeki iki farklı değeri için inceleme yapılmıştır. Ayrıca betonarme kare kolonların boyutları, güçlendirilmiş betonarme kolonların CFRP kalınlığı ve beton basınç dayanımı parametrik çalışmanın değişkenleri olarak seçilmiştir. Elde edilen moment-eğrilik ilişkileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Sonuç olarak CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kare kolon kesitlerinde eksenel kuvvet değerinin artması moment taşıma kapasitesini rijitliği arttırmaktayken ve sünekliği azaltmaktadır (SUBAŞI, 2018).

Sinan, Özgür, M. Emin, Yağmur ve Çelebi, 2011 yılındaki çalışmalarında kesme dayanımı yetersiz kirişlerin CFRP şeritler ile güçlendirilerek dayanımları ve süneklik düzeylerindeki artışları incelenmiştir. Bu kapsamda birisi referans 6 adedi ise U şeklinde ankrajlı ve ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilmiş olmak üzere toplam 7 adet T kesitli, ½ ölçekli, basit mesnetli kiriş numuneleri üretilmiştir. Sonuç olarak ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen numunelerin dayanım ve süneklikleri referans ve ankrajsız güçlendirmeye göre daha yüksek çıkmıştır (ALTTIN, ANİL, KARA. A, KOPRAMAN, MERTOĞLU, 2011).

Ali 2017 yılındaki çalışmalarında silindir numunelerin güçlendirilmesinde kullanılan elyaf takviyeli polimer (FRP) kompozitlerin elyaf türü, etriye katman sayısı ve hibrit olarak kullanılmasının etkisi incelenmiştir. Beton numuneler eksenel basınç yük altında sabit yükleme hızı ile deneye tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda etriye katman sayısı arttığında betonun basınç dayanımı ve diğer performanslarının arttığı gözlenmiştir (SARIBIYIK, 2017).

Nihat, Hasan ve Ş. Murat, 2004 yılındaki çalışmalarında FRP malzemelerle onarım ve güçlendirme yapılan kirişlerin yük-deplasman grafikleri çizilerek güçlendirme öncesi ve sonrası davranışları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak performanslarının çok iyileştiği gözlenmiştir (ÇETİNKAYA, KAPLAN, ŞENEL, 2004).

## **BÖLÜM 2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. Betonarme Taşıyıcı Sistemler**

Bir taşıyıcı sistem, güvenli, ekonomik, kullanım amacına uygun, çevreye uyumlu ve estetik açısından da kabul edilebilir olmalıdır.

Taşıyıcı bir sistemde, döşemelerin üzerindeki kalıcı ve hareketli dikey kendi ağırlıkları ile beraber kirişlere transfer edilir. Kirişler, üzerlerindeki duvar yüklerini ve kendi ağırlıklarını döşemelerden gelen yüklerle kolonlara aktarır. Kolonlar da yüklerini temellere ve temeller de zemine aktarır (Veysel, 2019).

Bir taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar:

1. Taşıyıcı sistem, yükleri en kısa yoldan temele aktarmak için düzenlenmiştir. Burulma gibi bazı ek etkilerden kaçınmak için gerekli çaba gösterilmiştir.
2. Yatay yükleri güvenli bir şekilde taşımak için, her iki yönde yatay yükleri karşılayacak çerçeveler oluşturmak gerekir.
3. Betonarme, sünekliğe sahip olmalı ve istenen mukavemeti sağlamalıdır.
4. Depremde en çok etkilenen yerlerden biri kolon-kiriş birleşim alanlarıdır. Donatı yerleştirilmesine ve kolon etriyelerinin burada tutulmasına dikkat edilmelidir.
5. Deprem kuvveti, kesme kuvveti olarak çoğunlukla alt katlarda meydana geleceğinden; buradaki kolonların tasarım hesaplamalarında ve uygulamalarında gerekli özen gösterilmelidir.
6. Bir taşıyıcı sistem oluştururken planların simetrik olmasına özen gösterilmelidir.

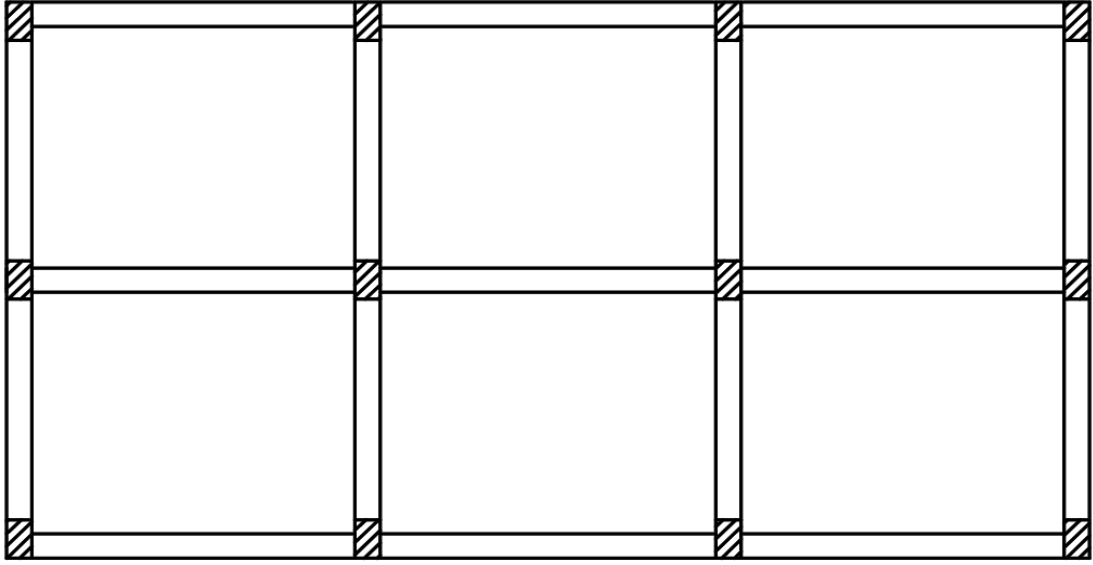
7. Taşıyıcı sistemin her iki yönünde kolon ve perde bölümlerinin rijitlikleri birbirine yakın olmalıdır.
8. Kolon ve kiriş bölgelerindeki mesnet bölgeleri deprem sırasında çok zorlanacağından, etriye yerleştirilerek mukavemet ve çökme deformasyonunun arttırılması sağlanabilir.
9. Plan aşamasında perdeleri dış kenarlara yakın yerleştirmek, yapının tüm plan bölümünün burulma rijitliğini artırır ve deprem sırasında oluşacak etkilerin düşük seviyede kalmasını sağlar. (İsa, 2009).

## 2.2. Geleneksel Çerçevesel Sistemler

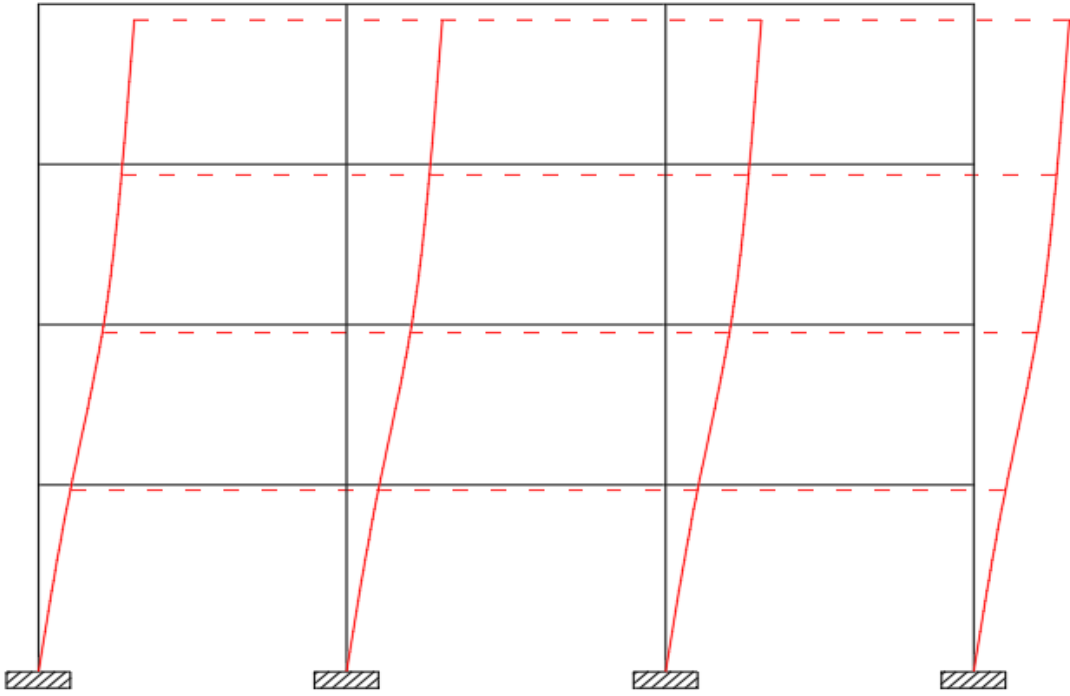
Kolon, kiriş veya döşemelerin monolitik konstrüksiyonu ile çerçeve adı verilen bir taşıyıcı sistem ortaya çıkmıştır. Çerçevesel sistemlerde, kirişleri birbirine bağlayan kolonların kütlesiz olduğu ve binanın kat kütlelerinin döşeme seviyelerinde toplandığı kabul edilir. Bu durumda her kat seviyesinde bir kütleyle sahip elastik kolonlar ve kirişlerden oluşan bir çerçeve oluşur.

Çerçevesel sistemler, mesnetlerdeki elemanların dayanıklılığı ile deprem sırasında yatay yükleri karşılar. Çerçevesel sistemler yatay yük altında büyük deplasman kapasitesine sahiptir (Şekil 2.2.). Çerçevesel olan betonarme bir taşıyıcı sistem: süneklik, mukavemet ve rijitlik özellikleriyle yatay yüklerin taşınmasına izin verir. (Halil İbrahim, 2019).

Çerçevesel sistemler deprem sırasında enerji tüketme kapasitesine diğer sistemlerden daha az sahiptir. Enerji tüketim kapasitesini arttırmak için, taşıyıcı sistem elemanları ve donatıları üzerinde birçok sınırlama getirilmiştir. Yaşanan son depremlerde en çok hasar gören veya tahrip olan sistemler çerçevesel sistemlerdir. Örnek bir çerçevesel sistemine sahip olan yapı planı aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Çerçevesel sistem



Şekil 2.2. Çerçeve elemanın yatay yük etkisi altındaki davranış

### 2.3. Afganistan'da İnşaat Sektörü

İnşaat sektörü genellikle ülkemiz için topluma sağlam bir yaşam ve sığınak yaratan bir kurum olup aynı zamanda topluma iş olanakları sağlayan bir sektördür. Belirtilen boyuttan daha uzun olan binalara yüksek bina denir. Genel olarak herhangi bir yapıya



bina denilebilmektedir. Afganistan'da inşa edilen binalar sınır durum tasarımı, yük faktörü yöntemi ve izin verilen stres tasarımı olmak üzere üç tasarım yönteminden biri ile tasarlanmaktadır (Prof. Dr. Polat, 2018).

Afganistan'daki betonarme binalarının tasarımı 1933 yılında Zahir Şah döneminde başlamıştır. Bundan önce Hindistan, Almanya, Türkiye, ABD ve diğer ülkelerin tipik tasarımı uygulanmaktaydı.

Zamanın kralları o dönemdeki önemli yapıların inşa edilmesinde Hindistan, Almanya, İran, Türkiye ve diğer ülkelerdeki deneyimli arkeologlar yardımıyla ve bu arkeologların kullandığı tipik tasarımlarını, teknik ve yerel deneyimlerini kullandığı dikkat çekmektedir.

Bu yöntem Avrupa ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan'dan gelen mühendisler tarafından Afganistan'a getirilmiş ve daha sonra 1956'da Kabil Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi'nin kurulmasıyla limit durum tasarımı Amerikalılar tarafından büyük ölçüde geliştirilmiştir. Bu yöntemle ilgili Ferguson ile Winter kitapları ve diğer kaynaklar mevcuttur (Abadurahman, 2019).

1967'de şu anki Kabil Poli Teknik Üniversitesi kurulduktan sonra ilk mezunları 1972 topluma kazandırıldı ve Rus yöntemlerinden kullanmaya başladılar. İnsanların kendi ihtiyaçları doğrultusunda kullanılan binalar sadece sağlık açısından değil belki estetik açısından da dikkate alınması gerekir. Böylece insanlar sıkılmamalı ve bu binalarda kendilerini iyi hissetmelidir. (Daryoosh ve Kiyotaka, 2017).

#### **2.4. CFRP (Karbon Elyaf Takviyeli Polimer)**

Karbon fiber: uygun fiberlerin kontrollü piroliziyle elde edilen en az %90 karbon içeren bir fiber olarak tanımlanmaktadır. Farklı karbon fiber türleri üretmek için çok çeşitli bileşenler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan bileşenler: poliakrilonitril (PAN), petrol veya kömür katranı zifti, selülozik elyaflar (viskon rayon, pamuk) ve bazı fenolik elyaflardır. Karbon lifleri, özellikleri nedeniyle diğer liflerden farklıdır.

Bu farklılık işlem sırasındaki gerilim ve sıcaklık gibi işlem koşullarından kaynaklanmaktadır. Daha iyi ve hafif malzemeler için havacılık endüstrisinin, özellikle askeri uçakların ihtiyaçları nedeniyle 1960'larda başarılı ticari karbon kompozit üretimi başlamıştır. Karbon fiber kompozitler: mukavemet, sertlik, düşük ağırlık ve olağanüstü yorgunluk dayanımı özelliklerinin kritik gereksinimleri oluşturduğu uygulamalar için idealdir. Cam ve aramid elyafların aksine, karbon elyaflar oda sıcaklığında şok korozyonu veya şok kırılma hasarları göstermezler. Yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal inertlik ve sönümlenme özellikleri gerektiren uygulamalar için uygundur (Deborah, 2012).



Şekil 2.3. CFRP donatıların görünümü

## 2.5. FRP Uygulamaları

1. CFRP kompozitler su altı boruları ve açık deniz platformunun yapısal parçaları için kullanılmaktadır.
2. Karbon fiber takviyeli polimerler çeliğe kıyasla (düşük yoğunluğundan dolayı) önemli ölçüde artırılmış bir yüzölçümü özelliği sağladığı için su altı borularını büyük derinliklerde kullanmak için üretilir.

3. Merdivenler ve yürüme yolları da ağırlık tasarrufu ve korozyon direnci için kompozitlerden yapılmıştır.
4. Yüksek performanslı hibrit yapılarda kullanılır.
5. FRP çubukları beton yapılar için iç takviye olarak kullanılır.
6. FRP çubuklar: levha, şerit, beton, duvarcılık, kereste ve hatta çelikten yapılmış çeşitli yapıların güçlendirilmesi için kullanılır.
7. FRP'ler sismik güçlendirme için de kullanılır.
8. Elyaf takviyeli polimerler, elektriksel nötrallite gerektiren özel yapıların yapımında kullanılır (Antonio, De luca ve Hany, 2014).



Şekil 2.4. FRP Uygulamaları

## 2.6. FRP Tasarım Özellikleri

Tasarım için dikkate alınan temel fiziksel özellikler şunlardır:

1. Nihai çekme dayanımı,  $f_u$  \*
2. Elastisite Çekme Modülü,  $E_f$
3. Nihai Kopma Uzama veya Kopma Sırasında Uzama,  $\epsilon_{fu}$  \*

Fiberle güçlendirilmiş polimerler doğrusal-elastik davranış sergiler. Bu özellikler Hooke Yasası ile tanımlandığı şekilde birbiriyle ilişkilidir.

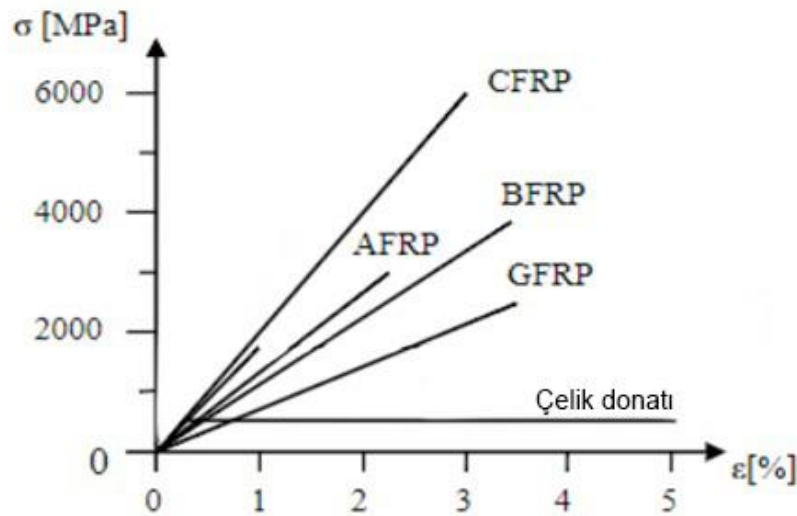
$$E_f = \frac{f_{fu}^*}{\varepsilon_{fu}^*} \quad (2.1)$$

Tablo 2.1. FRP elyaflarının tasarımı için dikkate alınan temel fiziksel özellikler

Malzemeler	Akma dayanımı Ksi	Gerilme direnci Ksi	Elastisite modülü Ksi	Zorlanma %
Çelik	40 - 70	N/A	29000	N/A
Cam FRP	N/A	70 - 230	5100 – 7400	1.2 – 3.1
Bazalt FRP	N/A	150 - 240	6500 – 8500	1.6 – 3
Aramid FRP	N/A	250 - 368	6000 – 18000	1.9 – 4.4
Karbon FRP	N/A	250 - 585	15900 - 84000	0.5 – 1.9

Not:

1. Bu çelik nihai gerilme mukavemetine sahip olduğu anlaşılmaktadır ancak tasarımda kullanılmaz.
2. Çeşitli FRP'ler için verilen değerler 0,5 ila 0,7'lik tipik bir elyaf hacmi fraksiyonuna dayanır.
3. ACI 440.6-08: cam elyaf ve karbon elyaf bazlı takviye çubuklarının sırasıyla en az 5.700 ksi (39,3 GPa) ve 18.000 ksi (124 GPa) çekme elastisite modülüne sahip olduğunu belirtir (Prince, 2018).



Şekil 2.5. Çelik ve FRP malzemeleri için gerilme-şekil değiştirme diyagramı

## 2.7. Performans Kavramı

Performans, bir binanın depreme karşı deprem hareketi altındaki davranışını ifade etmektedir. Yapısal performans, yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performanslarının kombinasyonu ile tanımlanmaktadır. Hakkında yeterli bilgiye sahip bir bina için belirli bir depremin etkisi altında hasar durumunun sınırlandırılması performans seviyelerine göre belirlenir. Bu performans seviyeleri ile binalardaki fiziksel hasarlar, bu hasarlardan kaynaklanan can güvenliği tehditleri ve binanın deprem sonrası kullanılabilirliği tespit edilmektedir (Cafer, 2011).

## 2.8. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Herhangi bir deprem, yer hareketi düzeyi için gözönüne alınan yatay elastik tasarım ivme spektrumu'nun kordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , natürel titreşim periyoduna bağlı bir şekilde gösterilen yerçekimi ivmesi ( $g$ ) olarak gösterilmektedir.

$$S_{ae}(T) = \left[ 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right] S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.2)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.3)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (2.4)$$

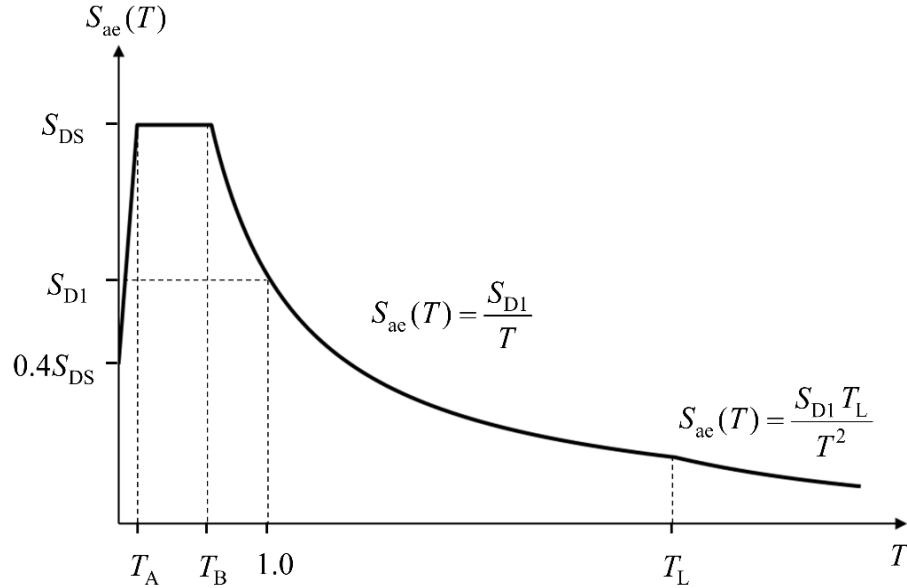
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.5)$$

Burada  $T$  natürel titreşim periyodunu,  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  ise tasarım spektral ivme katsayılarını göstermektedir.  $T_A$  ve  $T_B$  Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları,  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ 'e bağlı olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

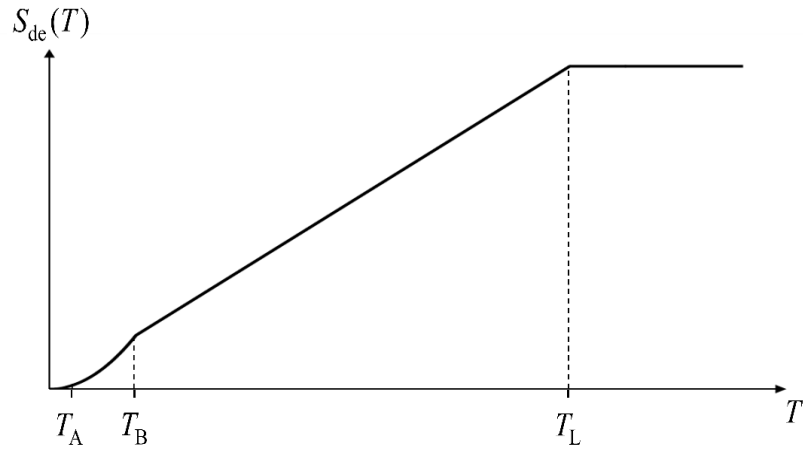
Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu ( $T_L = 6$  s) olarak alınıyor.



şekil 2.6. Yatay elastik tasarım spektrumu

Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için göz önüne alınan yatay elastik tasarım, yer değiştirme spektrumu'nun koordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri  $S_{de}(T)$ , natürel titreşim periyoduna bağlı bir şekilde gösterilen yerçekimi yer değiştirme (m) olarak gösterilmektedir. (TBDY, 2018).

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (2.8)$$



Şekil 2.7. Yatay elastik spektral yerdeğiştirmeler

## 2.9. Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların deprem performanslarını belli etmek için kullanılan malzeme özellikleri, eleman detayları ve taşıyıcı sistem geometrisi ile ilgili bilgiler, bina projelerinden elde edilen sonuçlar, binadaki ölçüm ve incelemeler ile malzeme numunelerine uygulanacak deneyler ile belirlenir. Bu verilerin kapsamı ve güvenilirliği doğrultusunda binalar için üç farklı bilgi seviyesi tanımlanmıştır: sınırlı derece bilgi seviyesi, orta derece bilgi seviyesi ve kapsamlı bilgi seviyesi. (İnş. Yük. Müh. Yüksel, 2020).

Tablo 2.2.'de verilen bilgi düzeylerine karşılık gelen bilgi düzeyi katsayıları taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesabında kullanılmaktadır.

Tablo 2.2. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

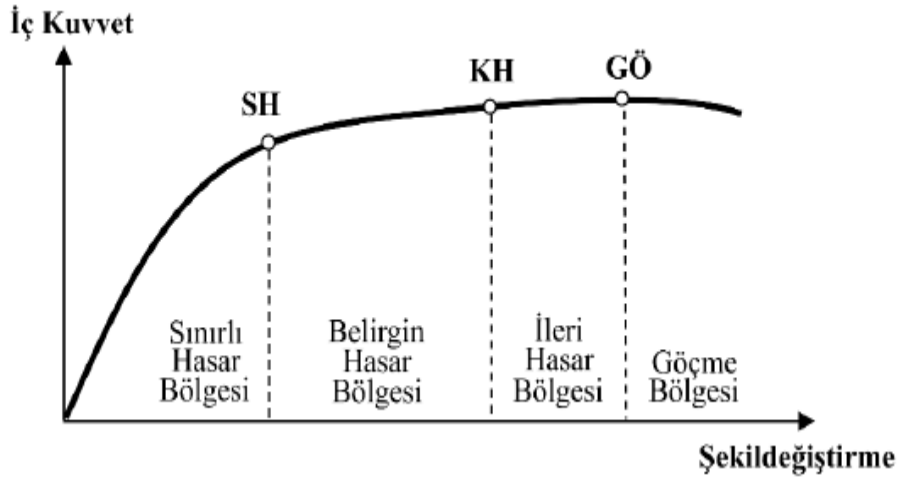
Bilgi düzeyi	Bilgi düzeyi katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

## 2.10. Yapı Elemanlarının Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Kesit seviyesindeki sünek elemanlar için üç sınır koşulu tanımlanmıştır. Bunlara; Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) denir. Sınırlı

Hasar: kritik bölümdeki esnek olmayan davranışın başlangıcını tanımlar. Kontrollü Hasar: bölümün güvenli bir şekilde sağlayabileceği esnek olmayan davranışın sınırını tanımlar. Göçme Öncesi Hasar: bölümün çarpışma öncesi davranışının sınırını tanımlar. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

Kritik kesitleri SH'ye ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesi'nde, KH ve GÖ arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesi'nde, GÖ'yi aşan elemanlar ise göçme bölgesi'nde kabul edilmektedir.



Şekil 2.8. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

Kesitlerin hasar sınırları, doğrusal elastik hesaplama yöntemleri veya doğrusal olmayan elastik hesaplama yöntemleri ile hesaplanmaktadır. İç kuvvetler ve yer değiştirmeler, kesit hasar limitlerine karşılık gelen sayısal değerlerle karşılaştırılarak belirlenir (Erdoğan, 2007).

## 2.11. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Güçlendirilmiş veya mevcut binaların depreme karşı performansını belirlemek için kullanılan doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik hesaplama yöntemleri için genel ilke ve kurallardan bazıları aşağıda açıklanmıştır:



1. Deprem hesaplamak için bina önem katsayısı kullanılmayacaktır ( $I=1$ ).
2. Deprem hesabında dikkate alınacak kat ağırlıkları ( $W_i = g_i + n q_i$ ) denklemine göre hesaplanacaktır. Kat kütlelerine bir ek dış merkezlik uygulanmayacaktır.
3. Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
4. Döşemelerin yatay düzlemde rijit bir diyafram olarak iş gördüğü binalarda, her bir katta iki yatay yer değiştirmeyeyle düşey eksen etrafındaki dönme serbestliği dikkate alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezine gözetanımlanacak ve ek dış merkezlik uygulanmayacaktır.
5. Eğilme etkisi altındaki betonarme elemanların akıştan önce doğrusal davranışlar için çatlama kesite ait olan eğilme rijitlikleri kullanılacaktır. Çatlama kesit etkin eğilme rijitlikleri aşağıda yer alanlar gibi kullanılacaktır:
  - a) Kirişlerde:  $0.40 EI_0$
  - b) Kolon ve perdelerde,  $(N_D/A_C f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda:  $0.40 EI_0$   
 $(N_D/A_C f_{cm}) \geq 0.40$  olması durumunda:  $0.80 EI_0$   $N_D$ 'nin ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılabilir.
6. Betonarme döşemeli kirişlerin artı ve eksi plastik momentlerinin hesaplamasında, betonarme döşeme ve içindeki donatı hesaplanabilir (DBYBHY, 2018).

## 2.12. Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle Belirlenmesi

Binaların deprem performansını doğrusal elastik hesap yöntemleriyle belirlemek için iki tür yöntem kullanılır. Bunlar mod birleştirme yöntemi ve eşdeğer deprem yükü yöntemidir. Mod birleştirme yönteminde de  $R_a$  deprem yükü azaltma katsayısı 1 alınarak elastik spektral ivme aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{aR}(T_n) = S_{ae}(T_n) \quad (2.9)$$

Eşdeğer deprem yükü yöntemi: binanın bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam  $r$  katsayısı 8'i aşmayacak şekilde, yapının eğilme düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 1.4$ 'den küçük olan binalarda kullanılabilir. Binayı etkisi altına alan eşdeğer deprem yükü aşağıda gösterilmiştir. Denklemdaki  $\lambda$  katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1, diğer binalarda 0.85 alınarak;  $R_a$  katsayısı ise 1 olarak Kabul edilmektedir.

$$V_t = W A(T) \quad (2.10)$$

Darbe/kapasite oranı  $r$ , yapı elemanlarının hasar limitlerini belirlemek için kullanılmaktadır.

$$r = \frac{M_e}{M_r - M_{g+q}} \quad (2.11)$$

Kolonlar, kirişler ve perdelerin sünek elemanlar olarak kabul görülmesi için hesaplanan kesme kuvveti ( $V_e$ ), kesme kapasitesini ( $V_r$ ) aşmamalıdır.  $V_r$  bina için tanımlanan bilgi seviyesini katsayı ile çarparak TS500'e göre hesaplanır.  $V_e$ 'nin  $V_r$  değerini geçerse, malzeme kırılğan eleman sınıfına dahil edilmesi gerekir. Performans değerlendirmesinde kolonlar, kirişler ve perdeler için kullanılacak olan  $V_e$  değeri aşağıda tanımlanmıştır.

$$\text{Kolonlarda: } V_e = (M_a + M_{\bar{u}})/l_n \quad (2.12)$$

$$\text{Kirişlerde: } V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj})/l_n \quad (2.13)$$

$$\text{Perdelerde: } V_e = [(M_p)_t / (M_d)_t] V_d \left( \frac{H_w}{1_w} > 2 \right) \quad (2.14)$$

Hesaplanan kolon, kiriş ve perde bölümlerinin etki/kapasite oranları Tablo 2.3. ve 2.4.'te verilen sınır değerlerle karşılaştırılmış ve elemanların hangi hasar alanında olduğuna karar verilmiştir (F., K.T., H. ve H., 2013).

Tablo 2.3. Betonarme kirişler için hasar sınırları

Sünek kirişler			Hasar sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Etriye	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}$ <sup>(1)</sup>	SH	KH	GÖ
$\leq 0.00$	Var	$\leq 0.65$	3	7	10
$\leq 0.00$	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
$\leq 0.00$	Yok	$\leq 0.65$	2.5	4	6
$\leq 0.00$	Yok	$\geq 1.30$	2	3	5
$\geq 0.5$	Yok	$\leq 0.65$	2.5	4	6
$\geq 0.5$	Yok	$\geq 1.30$	1.5	2.5	4
Gevrek Kirişler			1	1	1

Birimler N ve mm'dir. V kuvveti deprem kuvvetinin yönü ile uyumlu bir şekilde olur.

Tablo 2.4. Betonarme kolonlar için hasar sınırları

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Etriye	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}$ <sup>(1)</sup>	SH	KH	GÖ
$\leq 0.1$	Var	$\leq 0.65$	3	6	8
$\leq 0.1$	Var	$\geq 1.30$	2.5	5	6
$\geq 0.4$	Var	$\leq 0.65$	2	4	6
$\geq 0.4$	Var	$\geq 1.30$	2	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
$\geq 0.4$	Yok	$\leq 0.65$	1.5	2	3
$\geq 0.4$	Yok	$\geq 1.30$	1	1.5	2
Gevrek Kolonlar			1	1	1

Tablo 2.5. Betonarme perdeler için hasar sınırları

Sünek perdeler		Hasar sınırı		
Etriye	SH	KH	GÖ	
Var	3	6	8	
Yok	2	4	6	
Gevrek Perdeler	1	1	1	

### 2.13. Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleriyle Belirlenmesi

Deprem etkileri altında olan mevcut binaların yapısal performanslarının ve donatı analizinin belirlenmesinde kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesaplama yöntemlerinin amacı: belirli bir deprem karşılığında, sünek davranış için plastik gerilim taleplerini ve kırılğan davranış için iç kuvvet taleplerini hesaplamaktır. Daha sonra bu talep büyüklüklerini bu bölümde tanımlanan deformasyon ve iç kuvvet

kapasiteleri ile karşılaştırarak kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

Düzenlemeye dahil edilen doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri: artımlı eşdeğer deprem yükü yöntemi, artımlı mod kombinasyon yöntemi ve zaman alanında hesaplama yöntemleridir.

Bu yöntemlerin hesaplanması sonucunda plastik eğrilik talebi, çıktı bilgisi olarak herhangi bir bölümde elde edilen  $\theta_p$  plastik döndürme talebine dayanarak hesaplanacaktır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.15)$$

Amaca göre seçilen bir beton model ile takviyede dikkate alınan takviye çelik modeli kullanılarak, plastik bölümünde aksenal kuvvet talebi altında yapılan değerlendirmeden elde edilen iki hat moment eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ak  $\phi_y$  eşdeğer verim eğriliği, plastik  $\phi_p$  plastik Denklem (2.15) tarafından tanımlanmıştır. Eğrilik isteğine eklenerek, bölümdeki toplam eğrilik talebi  $\phi_t$  sonuç alınacaktır.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.16)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birimini değiştirme talebi ve betonarme çeliğindeki birim değişikliği talebi, denklem (2.16) tarafından tanımlanan toplam eğrilik isteğine göre moment eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

Betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında plastik deformasyonlara uğradığı, izin verilen deformasyon üst limitleri çeşitli kesit üst limitlerine göre aşağıda tanımlanmıştır (Z, 2008).

1. Kesit Sınırlı Hasar (SH) için, donatı çelik birim deformasyonunun üst sınırları ve kesitin en dış elyaftaki beton basınç birimi deformasyonu hesaplamak için denklem (2.17) kullanılmaktadır.

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.004 ; (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (2.17)$$

2. Kontrollü Hasar (KH) için, donatı çelik birim deformasyonunun üst sınırları ve etriyeli olan bölgenin en dışta kalan lifindeki beton basınç birimi deformasyonu denklem (2.18)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 \left( \frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \right) \leq 0.0135 ; (\varepsilon_s)_{MN} = 0.040 \quad (2.18)$$

3. Kesit Göçme Sınırı (GÖ) için etriyeli bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim deformasyonu ile donatı çeliği birim deformasyonu üst sınırları denklem (2.19)'deki gibi hesaplanmaktadır (Cem, Murat Serdar ve B., 2011).

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013 \left( \frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \right) \leq 0.018 ; (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (2.19)$$

### 2.13.1. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

Binaların deprem performanslarının artımlı eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizinde atılan adımlar aşağıda özet bir şekilde anlatılmıştır.

1. Artımlı itme değerlendirilmesinden önce, kütlelerle uyumlu bir şekilde dikey yüklerin dikkate alındığı doğrusal olmayan bir statik taşıyıcı sistem analizi gerçekleştirilir. Bu analizin sonuçları artımlı itme analizinin başlangıç koşulları olarak kaydedilir.
2. Artımlı eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analizde, koordinatları “modal yer değiştirme-modal hızlanma” olarak tanımlanan ilk modun “modal kapasite diyagramı” sonuç alınmıştır. Bu şema ile: birinci modun modal yer değiştirme talebi, farklı üstesinden gelme olasılığı olan depremler için elastik

davranış spektrumu göz önüne alınarak belirlenir. Son aşamada: modal yer değiştirme istemine karşılık gelen yer değiştirme, plastik deformasyon ve iç kuvvet değerleri hesaplanır

3. Plastikleşen kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve ardından toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra bunlara göre betonarme kesitlerde beton ve donatı çeliğindeki birim deformasyon talepleri hesaplanır. Bu talep değerleri, kesit seviyesindeki çeşitli hasar limitleri için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim deformasyon kapasiteleri ile karşılaştırılır ve kesit seviyesindeki sünük davranış üzerinde bir performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti talepleri yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılmış ve kırılğan davranış ile ilgili performans düzeyinde kesit değerlendirmesi yapılmıştır.
4. Bu yöntemin amacı: ilk (deprem yönündeki hakim) titreşim modu şekli ile orantılı olarak deprem talep sınırına kadar adım adım monoton olarak artırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi yapmaktır. Düşey yük analizini takiben itme analizinin her adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen defomasyon, plastik deformasyon ve iç kuvvet artışları ile bunların birikmiş değerleri ve son deprem talebine karşılık gelen maksimum değerler adım hesaplanır.
5. Yöntemi kullanmak için katsayının bodrum hariç 8'den fazla olmama ve herhangi bir kattaki ek elastikiyet dikkate alınmadan doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu karşılamalıdır. Ayrıca ilk titreşim modunun etkili kütlelerinin, dikkate alınan deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış temelinde hesaplanan oranı en az 0,7 olması şarttır.
6. Analiz sırasında, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumuna bakılmaksızın eşdeğer deprem yük dağılımının sabit kaldığı varsayılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin ilk aşamasında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci doğal titreşim modu şekil genliğinin kütlelerinin çarpımından sonuç alınan değerle orantılı olarak tanımlanır. Bu sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile koordinatları "pik defomasyon-baz kesme kuvveti" olan itme

eğrisi elde edilir. Pik defomasyon, binanın en üst katındaki kütle merkezinde dikkate alınan deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan deformasyondur. Temel kayma kuvveti, her adımda deprem yönünde eşdeğer deprem yüklerinin toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları “modal deformasyon-modal hızlanma” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki gibi elde edilir:

- a) İlk itme adımında, birinci (deprem doğrultusunda hakim) modun modsal ivmesi  $a_1^{(i)}$  aşağıdaki gibi elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{v_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (2.20)$$

- b) İlk itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal defomasyon  $d_1^{(i)}$  'nin hesabı için ise, aşağıdaki gibi elde edilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (2.21)$$

- c) İlk modun modal katkı çarpanı,  $\Gamma_{x1}$  depremine uygun olarak ilk taşıyıcı yatak sisteminin doğrusal elastik davranışı için tanımlanan  $L_{x1}$  ve  $M_1$  kullanılarak elde edilebilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (2.22)$$

7. İlk modun maksimum modsal yer değiştirme (modsal yer değiştirme), itme analizi sonucunda elde edilen modsal kapasite diyagramı ile birlikte hesaplanır. Tanımlamak için uygun olan, modsal yer değiştirme istemi  $d_1^{(p)}$  doğrusal olmayan spektral yer değiştirme  $S_{d11}$ 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{d11} \quad (2.23)$$

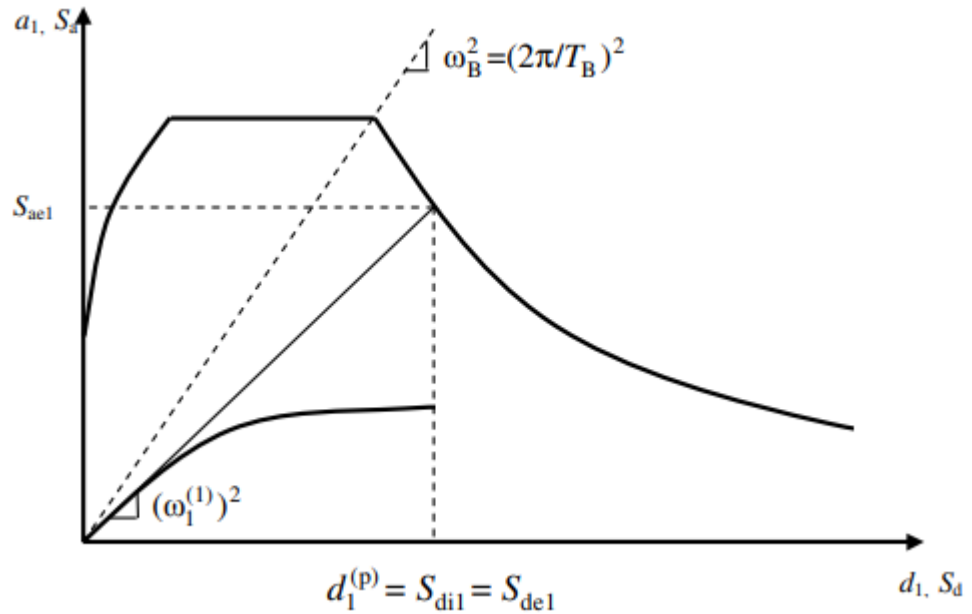
8. İtme analizinin ilk adımında doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme  $T_1^{(1)}$ , doğrusal elastik davranışı temel alan ilk modun başlangıç dönemine karşılık gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirme  $S_{de1}$ 'e esas alınarak elde edilir.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.24)$$

9. İtme analizinin ilk aşamasında doğrusal elastik spektral yer değiştirme  $S_{de1}$ , birinci modun elastik spektral ivmesi  $S_{ae1}$ 'den hesaplanır.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (2.25)$$

10. Spektral deformasyon oranı  $C_{R1}$ ,  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot  $T_B$ 'ye eşit yada daha büyük olması durumunda ( $T_1^{(1)} \geq T_B$  veya  $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$ )  $C_{R1} = 1$  varsayılır.



Şekil 2.9. Performans noktasının belirlenmesi ( $T_1^{(1)} \geq T_B$ )



11. Spektral deformasyon oranı  $C_{R1}$ ,  $T_1^{(1)}$  başlangıç döneminin ivme spektrumunda olan karakteristik periyot  $T_B$ 'den daha kısa olması durumunda ( $T_1^{(1)} < T_B$  veya  $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$ ) ise ardışık yaklaşımla aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

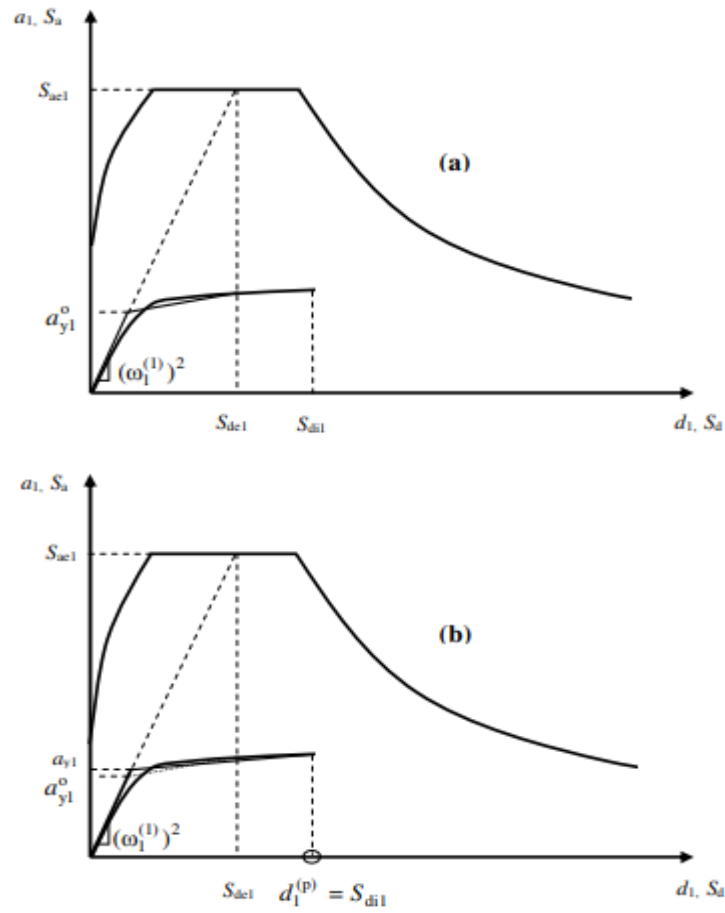
- a) Modal kapasite diyagramının itme analizi sonucunda elde edilen, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama çevirilir. Diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, item analizinin ilk aşamasındaki ( $i=1$ ) doğrunun eğimi olan ilk moda ait özdeğere  $(\omega_1^{(1)})^2$  eşit alınır  $T_1^{(1)} = \frac{2\pi}{\omega_1^{(1)}}$  Şekil (2.9).
- b) Ardışık yaklaşımın birinci aşamasında  $C_{R1} = 1$  esas alınarak; eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralıyla belirlenir. Şekil 2.9.'da görülen  $a_{y1}^0$  dikkat alınarak  $C_{R1}$  aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{R1} = \frac{1 + \frac{(R_{y1}-1)T_B}{T_1^{(1)}}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.26)$$

Burda  $R_{y1}$  ilk moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (2.27)$$

- c) Eşdeğer akma noktasının koordinatları ( $S_{di1}$ ) esas alınarak, eşit alanlar yöntemi ile yeniden belirlenir ve bunlara göre  $a_{y1}$ ,  $R_{y1}$  ve  $C_{R1}$  tekrardan hesaplanır. Ardışık iki basamakta netice alınan sonuçların kabul edilebilir düzeyde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.10. Performans noktasının belirlenmesi ( $T_1^{(1)} < T_B$ )

12.  $i = p$  için son itme adımı deprem doğrultusundaki pik deformasyonu  $u_{xN1}^{(p)}$  aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (2.28)$$

Karşılık gelen tüm boyutları, mevcut itme analizi dosyasından elde edilir veya pik deformasyon ulaşına kadar gerçekleştirilecek yeni bir itme analizi ile hesaplanır (Hande şahin, 2014).

### 2.13.2. Artımsal mod birleştirme yöntemi

Bu yöntemin amacı: taşıyıcı sistem davranışını temsil eden yeterli sayıda doğal titreşim modu ile kademeli olarak orantılı olan ve buna göre ölçeklendirilen modal

deformasyonlar veya bunlarla uyumlu mod deprem yüklerine dayanan mod birleştirme yöntemini kademeli olarak uygulamaktır. Bu analiz yönteminde, birbirini takip eden iki plastik bölüm oluşumu arasında itmenin her adımı, taşıyıcı sistemdeki adım adım doğrusal elastik davranışa dayanmaktadır. Bu yöntemde, dikkate alınan tüm modların modal kapasite diyagramları ile birlikte modal yer değiştirme istemleri de elde edilir ve taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik deformasyon ve iç kuvvet istemleri buna göre hesaplanır (Salar ghafourzadeh, 2014).

### **2.13.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi**

Yöntemin amacı: taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak sistemin hareket denklemini adım adım entegre etmektir. Analiz sırasında, sistemde her zaman meydana gelen yer değiştirme, plastik deformasyon ve iç kuvvetler ve bu büyüklüklerin deprem karşılık gelen maksimum değerler hesaplanır (Zeynep, 2011).

## **2.14. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi**

Binaların depreme karşı güvenliği, uygulanan depremin etkisi altında yapıda meydana gelecek olan hasarların durumu ile ilgilidir ve dört ayrı hasar durumu için tanımlanmıştır. Bina deprem performans değeri, hesaplama yöntemlerinden biri uygulanarak ve element hasar bölgelerine karar verilerek belirlenir. Sonuçlar değerlendirilerek güçlendirici bir karar verilir (Şahin özdoğan, 2020).

### **2.14.1. Hemen kullanım durumu**

Herhangi bir kattaki her deprem yönü için yapılan hesaplama sonucunda; kirişlerin %10'u işaretli hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer tüm taşıyıcı elemanlar en az hasar bölgesindedir. Bu durumda, bina derhal kullanım durumunda kabul edilebilir ve takviye edilmesi gerekmez (Abdulhamit, 2017).

### 2.14.2. Can güvenliği durumu

Her katta, her deprem yönü için yapılan hesaplama sonucunda kirişlerin ve kolonların en fazla %20'si gelişmiş hasar bölgesine geçebilir. Ancak, gelişmiş hasar bölgesindeki kolonların, kolonlarca taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20'nin altında olması gerekir. Diğer tüm taşıyıcı elemanlar minimum hasar bölgesinde veya görünür hasar bölgesinde yer almaktadır. Bu durumda bina, can güvenliği seviyesinde kabul edilebilir. Can güvenliğinin kabul edilebilmesi için, kolonlarca taşınan kesme kuvvetlerinin herhangi bir kattaki hem alt hem de üst kısımlarda maksimum hasar sınırını aşan oranı, tüm yüzeyler tarafından taşınan kesme kuvvetinin %30'unu geçmemelidir. İleri hasar alanındaki dikey elemanların toplam kesme kuvvetlerinin üst kata oranı, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve binadaki dağılımına göre karar verilir (Yaseen ali, 2017).

### 2.14.3. Göçmenin önlenmesi durumu

Herhangi bir kattaki her deprem yönü için yapılan hesaplama sonucunda kirişlerin ve kolonların en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir. Bununla birlikte; kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'den az olmamalı ve bu elemanların durumu yapının stabilitesini bozmamalıdır. Diğer tüm taşıyıcı elemanlar görünür hasar bölgesinde, minimum hasar bölgesinde veya gelişmiş hasar bölgesindedir. Bu durumda, göç önlenirse bina kabul edilebilir. Göçmenin önlenmesinin kabul edilebilmesi için herhangi bir kattaki hem alt hem de üst bölümlerde en az hasar sınırına sahip kolonlarca taşınan kesme kuvvetlerinin oranı, buradaki tüm kolonlarca taşınan kesme kuvvetlerinin %30'unu geçmemelidir. Üst kattaki kolonların toplam kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut haliyle kullanımı olumsuz ve can güvenliği açısından sakıncalı olarak geçmektedir. Ancak güçlendirmenin ekonomik açıdan incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekir (Saeid ve S. Bahadır, 2019).

#### 2.14.4. Göçme durumu

Her deprem yönü için, binanın herhangi bir katındaki görelî kat ötelemesi, her performans seviyesi için Tablo 2.6.'yı sağlamalıdır. Tablodaki  $(\delta_i)_{max}$ , ilgili düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesini gösterir ve  $h_i$  kat yüksekliğini gösterir (Oğuzhan, 2016).

Tablo 2.6. Görelî kat ötelemesi sınırları

Görelî kat ötelemesi oranı $(\delta_i)_{max}/h_i$	Performans düzeyi		
	Hemen kullanım	Can güvenliği	Göçmenin önlenmesi
	0.008	0.02	0.03

#### 2.15. Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri

Yönetmelikte tanımlanan ivme spektrumu, 50 yıl içinde %10 aşılma olasılığı olan deprem etkisine dayanmaktadır. 50 yılda %50 aşılması olasılığı olan depremin ivme spektrumu bu spektrumun yaklaşık yarısıdır ve 50 yılda %2 aşılma olasılığı olan depremin ivme spektrumu yaklaşık 1.5 kattır. Mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenen performans seviyeleri Tablo 2.7.'da verilmiştir.

Tablo 2.7. Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri

Binanın kullanım amacı ve türü	Depremin aşılma olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, 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.	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren 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	-

Bu analizler sonucunda deprem hasarına yol açacak kusurların giderilmesi, deprem güvenliğinin artırılması için yeni elemanların eklenmesi, kütlenin azaltılması, mevcut elemanların deprem davranışlarının geliştirilmesi, kuvvet iletiminde sürekliliğın sağlanması gibi kararlar alınmakta ve güçlenip güçlendirilmemesine karar verilmektedir. (FEMA, 2009).

## BÖLÜM 3. MEVCUT BETONARME BİNANIN SAP2000 PROGRAMINDA MODELLENMESİ

### 3.1. Mevcut Betonarme Binanın Genel Özellikleri

İncelenen mevcut ticari merkez türü betonarme bina Mezar-i-Şerif /Afganistan’da hali hazırda bulunan ve toplam 18 kattan oluşan bir yapıdır. Kat yükseklikleri bodrum katından 10. kata kadar 3,2m ve 11. kattan 18. kata kadar 3 metredir. Binanın temel yüzeyinden toplam yüksekliği 56 metredir. Bu binanın uzunluğu 37 metre olup genişliği ise 26,35 metredir. Binanın içersinde ticari konutlar, restoranlar, sivil yaşam konutları ve otoparklar bulunmaktadır. Bu bina Mezar-i-Şerif/ Afganistan’daki modern yapılardan birisidir.

Tablo 3.1. Binanın genel özellikleri

Binanın Özellikleri	
Bina Oturma Alanı	981.61m <sup>2</sup>
Kat Sayısı	18 Kat
Kullanım Amacı	Ticare Merkez
Kat Yükseklikleri	3.5m – 3m
Toplam Bina Yüksekliği	56m
Bina Taşıyıcı Sistemi	Betonarme Çerçeve

Tablo 3.2. Binanın deprem analizinde kullanılan parametreler

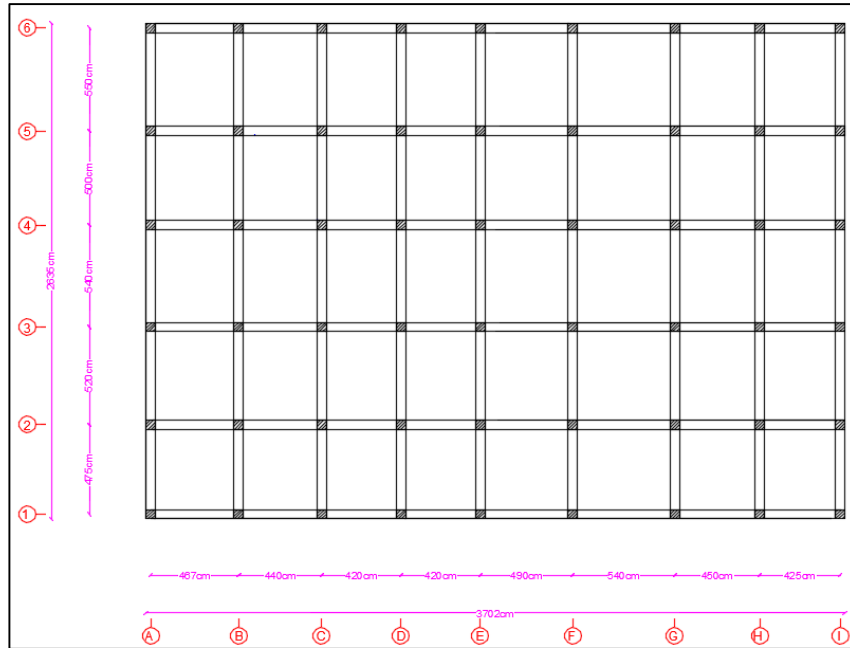
Binanın Deprem Parametreleri	
S <sub>S</sub> (Kısa Periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı)	1.672
S <sub>1</sub> (1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı)	0.457
Yerel Zemin Sınıfı	ZC
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	2
Bina Önem Katsayısı (I)	1.2
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	3

Tablo 3.3. Binanın ölü yükleri

Betonarme Beton	$(25 \text{ KN/m}^3)$
Sıva	$(20 \text{ KN/m}^3)$
Mermer	$(27 \text{ KN/m}^3)$
Dış Duvarlar	$(4.2 \text{ KN/m}^3)$
İç Duvarlar	$(2.5 \text{ KN/m}^3)$

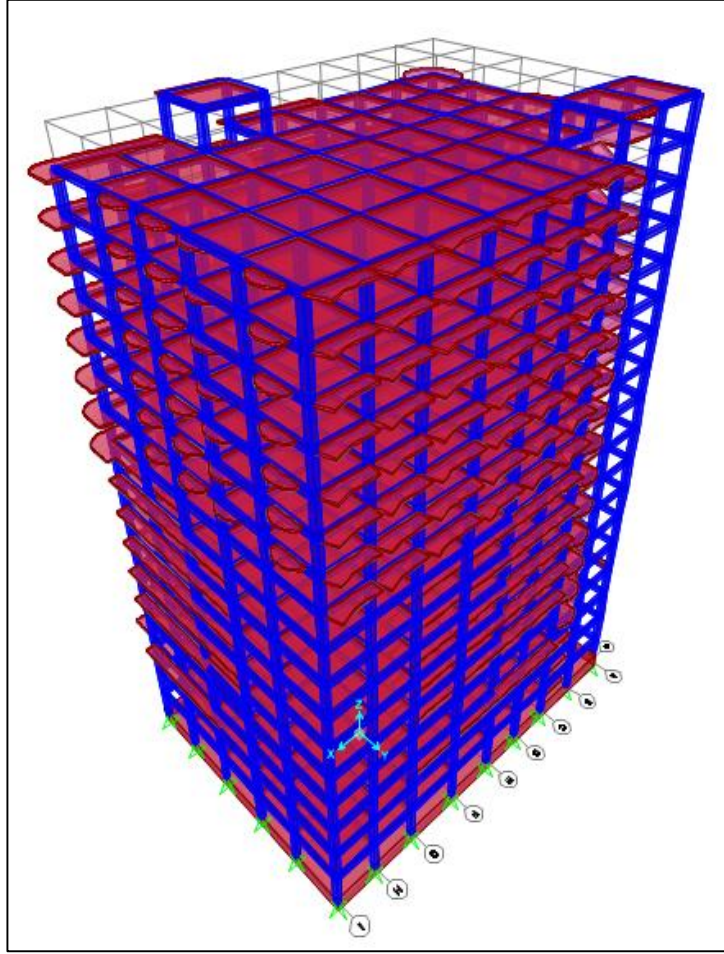
Tablo 3.4. Binanın hareketli yükleri

Hafif İmalat	$(6 \text{ KN/m}^2)$
Ofis Binalarında Ofisler	$(2.4 \text{ KN/m}^2)$
Yerleşim Alanları	$(2 \text{ KN/m}^2)$
Merdivenler ve Çıkışlar	$(4.8 \text{ KN/m}^2)$
Perakende Satış Mağazaları-Birinci Kat	$(4.8 \text{ KN/m}^2)$
Perakende Mağazalar-Üst Katlar	$(3.6 \text{ KN/m}^2)$

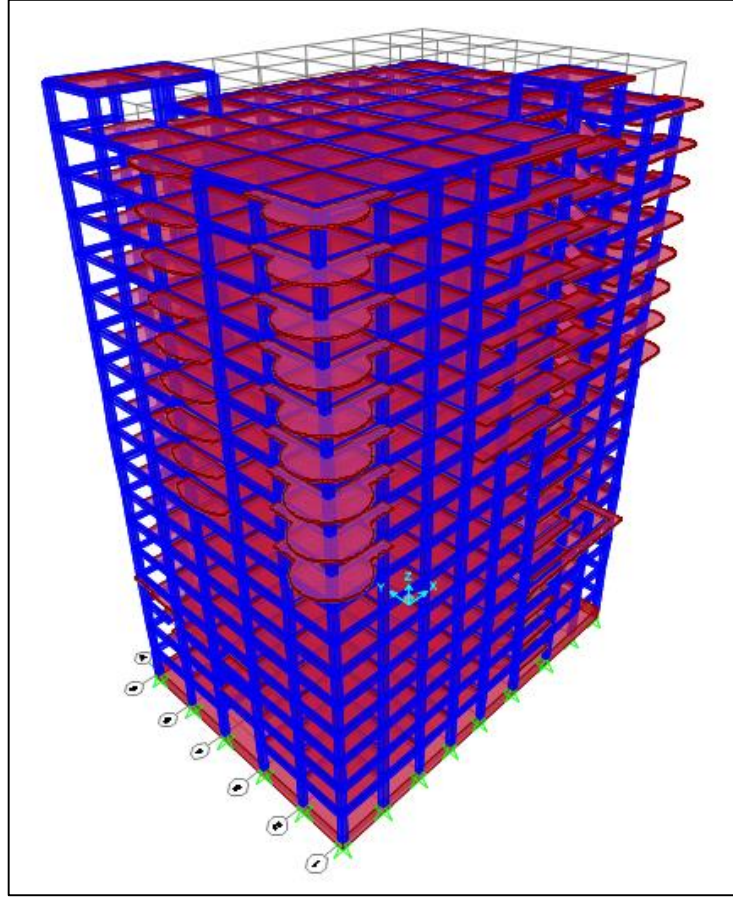


Şekil 3.1. Referans modelin üçüncü yeraltından sekinci kata kadar kalıp planı

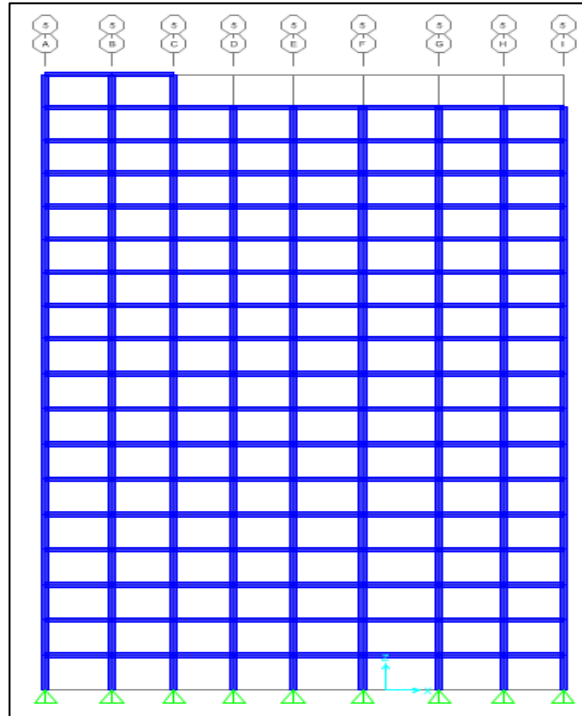




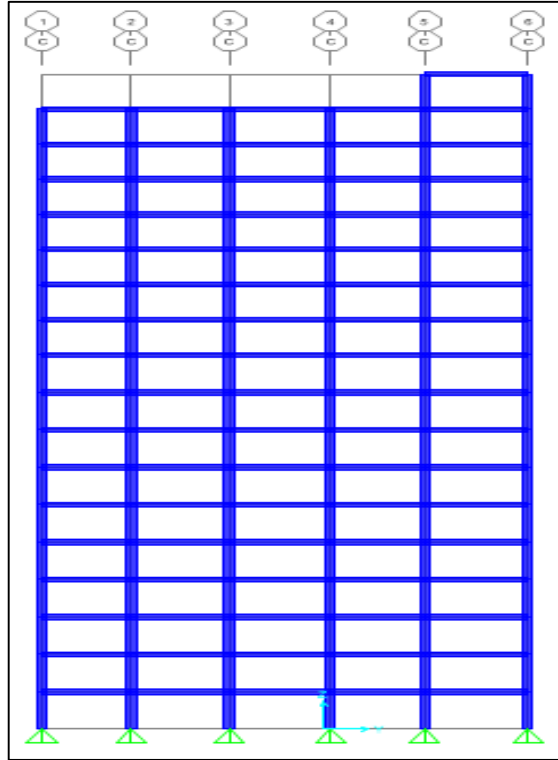
Şekil 3.2. Referans modelin arka perspektif görünüşü



Şekil 3.3. Referans modelin ön perspektif görünüşü



Şekil 3.4. Referans modelin X yüzünün çerçevesi



Şekil 3.5. Referans modelin Y yüzünün çerçevesi

### 3.2. Beton Özelliklerinin Tanımlanması

Bu incelenen binada mevcut olan betonunun maksimum şekil değıştirme değeri 0,002  $f_c$  kabul edilmiştir. Betonun hasar aldığı ve fonksiyonel özelliklerini tamamen kaybettiğı gerilme kapasitesi değeri ise TBDY 2018'in konu ile ilgili maddeleri gereğı 0,0035 alınmıştır. Betonarme malzeme özelliklerinin doğrusal ve doğrusal olmayan analizları Şekil 3.6. ve 3.7.'de gösterilmiştir.

**Material Property Data**

Material Name: C35  
Material Type: Concrete  
Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E = 33000000.  
Weight and Mass: Weight per Unit Volume = 35., Mass per Unit Volume = 2.4028  
Units: KN, m, C

Poisson: U = 0.2  
Other Properties For Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength,  $f_c$  = 35000., Expected Concrete Compressive Strength = 35000.  
 Lightweight Concrete  
Shear Strength Reduction Factor: [ ]

Coeff of Thermal Expansion: A = 9.900E-06  
Shear Modulus: G = 13750000.

Advanced Material Property Data:  
Nonlinear Material Data...  
Material Damping Properties...  
Time Dependent Properties...  
Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 3.6. Beton malzeme özelliklerinin tanımlanması

**Nonlinear Material Data**

Edit

Material Name: C35  
Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda  
Drucker-Prager Parameters: Friction Angle = 0., Dilatational Angle = 0.  
Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options:  
 Parametric (Mander)  User Defined  
Convert To User Defined

Parametric Strain Data:  
Strain At Unconfined Compressive Strength,  $f_c$  = 2.000E-03  
Ultimate Unconfined Strain Capacity = 3.500E-03  
Final Compression Slope (Multiplier on E) = -0.1

Show Stress-Strain Plot...

OK Cancel

Şekil 3.7. Doğrusal olmayan analiz için beton malzeme özelliklerinin tanımlanması

### 3.3. Çelik ve CFRP Donatı Özelliklerinin Tanımlanması

Çelik donatının birim hacim ağırlığı  $78,5 \text{ KN/m}^3$ , akma dayanımı  $350 \text{ N/mm}^2$ , CFRP donatının birim hacim ağırlığı  $19,00 \text{ KN/m}^3$  ve TBDY 2018 Tablo (5.1.)'e göre donatı çeliğinin kopma dayanımı, akma dayanımının 1,30 katı tanımlanmıştır.

CFRP ve çeliğin şekil değiştirme grafiği bir aşamaya kadar aynıdır, ama CFRP'nin akma özelliği olmadığı için sap2000 programından yararlanarak doğru sonuçları elde etmek için CFRP'nin akma dayanımının normal çeliğe göre  $300 \text{ N/mm}^2$ , kopma dayanımı, akma dayanımının 1,1 katı olarak kabul edildi. (LEY, 2020). CFRP ve çeliğin şekil değiştirmeleri Şekil 2.5.'te gösterilmektedir. Çeliğinin elastisite modülü  $200 \text{ Gpa}$ , CFRP'nin ise  $370 \text{ Gpa}$  alınmıştır. Çelik donatının akma sahanlığının bitip, pekleşmeye başladığı deformasyon değeri  $0,008$  ve CFRP'nin  $0,015$  olarak alınmıştır. Kolon ve kirişler için davranış modeli olarak yığılı plastik davranış modeli esas alındığı için TBDY 2018'in 5.3.1.5'inci maddesinin "b" koşulu gereği donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi  $0,001$  ve CFRP'nin  $0,012$  (kaynak) alınmıştır (Şekil 3.8., 3.9., 3.10. ve 3.11.) (Farmington, 2017).

Şekil 3.8. Çelik donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması

**Nonlinear Material Data**

Edit

Material Name: S350

Material Type: Rebar

Hysteresis Type: Kinematic

Drucker-Prager Parameters

Friction Angle: [ ]

Dilatational Angle: [ ]

Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options

Parametric  User Defined

Simple [ ] Convert To User Defined [ ]

Parametric Strain Data

Strain At Onset of Strain Hardening: 8.000E-03

Ultimate Strain Capacity: 0.001

Final Slope (Multiplier on E): -0.1

Use Caltrans Default Controlling Strain Values (Bar Size Dependent)

Show Stress-Strain Plot... [ ]

OK [ ] Cancel [ ]

Şekil 3.9. Doğrusal olmayan analiz için çelik donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması

**Material Property Data**

Material Name: CFRP

Material Type: Rebar

Symmetry Type: Uniaxial

Modulus of Elasticity

E1: 3.700E+08

Poisson

U12: 0.35

Coeff of Thermal Expansion

A1: 6.900E-05

Shear Modulus

G12: 1.370E+08

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 19.00

Mass per Unit Volume: 1.900

Units: KN, m, C

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 300000

Minimum Tensile Stress, Fu: 354000

Expected Yield Stress, Fye: 300000

Expected Tensile Stress, Fue: 354000

Advanced Material Property Data

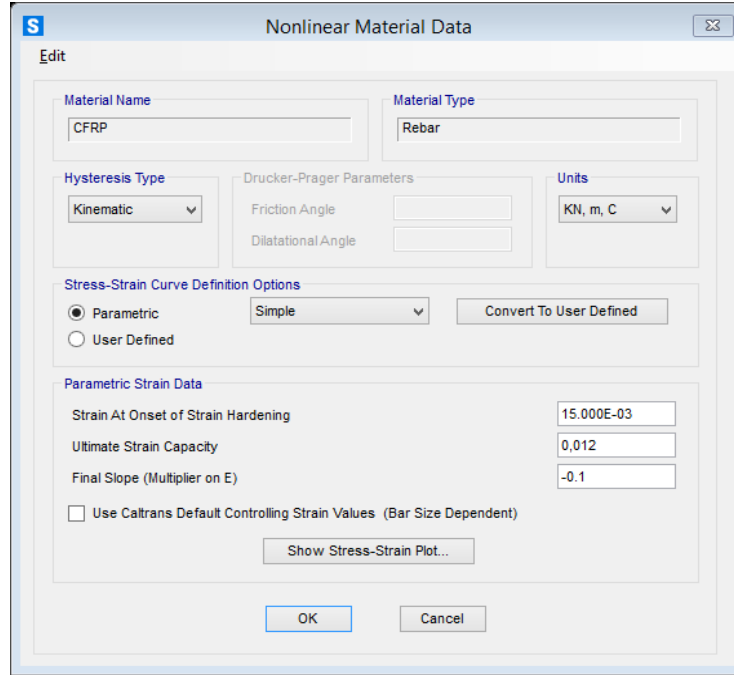
Nonlinear Material Data... [ ]

Material Damping Properties... [ ]

Time Dependent Properties... [ ]

OK [ ] Cancel [ ]

Şekil 3.10. CFRP donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması



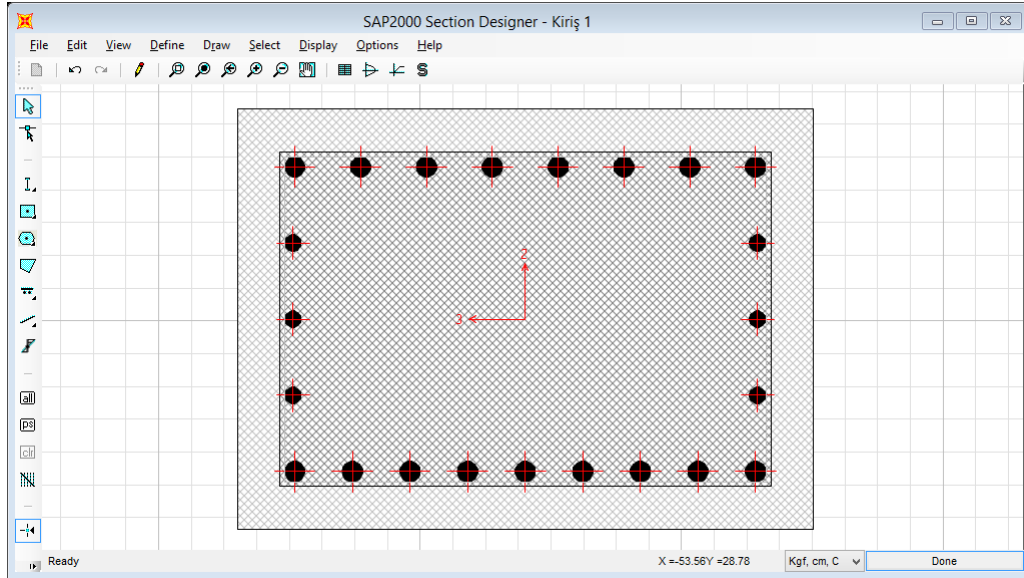
Şekil 3.11. Doğrusal olmayan analiz için CFRP donatı malzemesinin özelliklerinin tanımlanması

### 3.4. Kiriş Kesitlerinin Tanımlanması

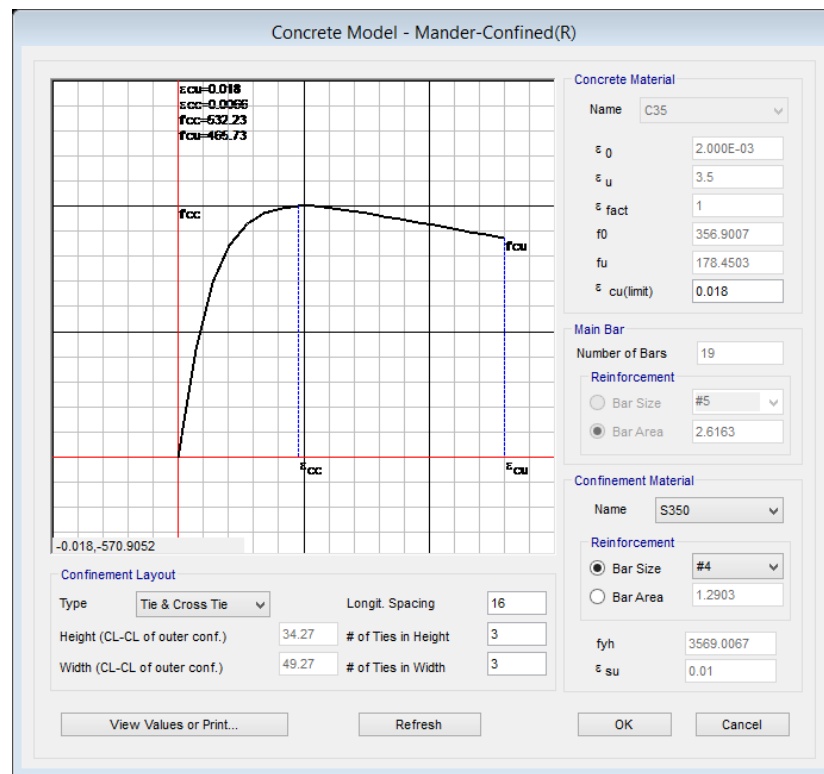
İncelenen ticari türü mevcut betonarme binada yedi tür kiriş mevcuttur. Her 3 katta taşıma kapasitesine göre bu kirişlerin boyutları da azalmaktadır. Tüm kiriş kesitleri CFRP ve çeliğin özelliklerine göre ayrı ayrı Tablo 3.5. ve 3.6.'da tanımlanmıştır. Çelik donatılara göre kiriş kesiti, etriye özellikleri ve kirişlerde oluşan moment eğrileri analiz ve tasarımı için Şekil 3.12., 3.13. ve 3.14.'de ve CFRP donatıları için Şekil 3.15., 3.16 ve 3.17.'de detaylı şekilde gösterilmektedir..

Tablo 35.. Çelik donatı takviyeli kiriş kesit detayları

Kiriş kesitleri	Mevcut çelik donatı adetleri			
	Alt	Üst	Gövde	Etriye
40x55cm	9Ø20	8Ø18	2x3Ø16	Ø12@16
40x50cm	8Ø18	7Ø18	2x2Ø16	Ø10@18
40x45cm	5Ø16	5Ø16	2x2Ø14	Ø10@20
40x40cm	5Ø16	4Ø16	2x2Ø14	Ø10@20
40x35cm	4Ø16	3Ø16	2x2Ø14	Ø10@20
35x30cm	3Ø16	3Ø16	—	Ø10@25
25x25cm	2Ø16	2Ø16	—	Ø10@30

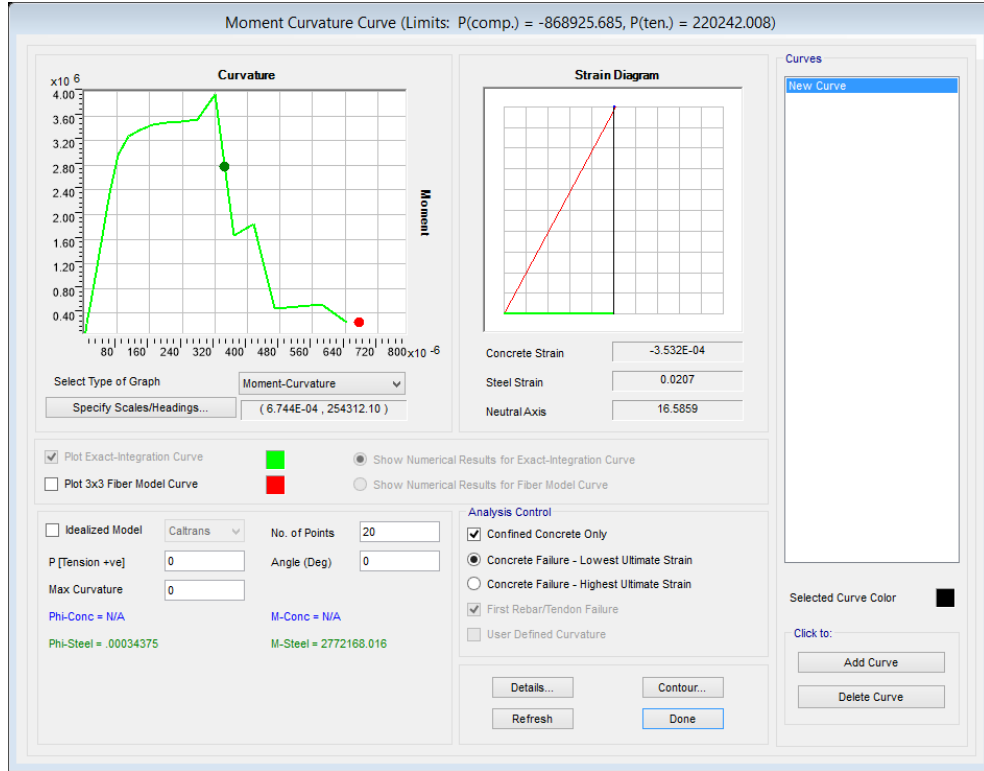


Şekil 3.12. Kiriş kesitinin tanımlanması



Şekil 3.13. Kiriş etriye donatılarının tanımlanması

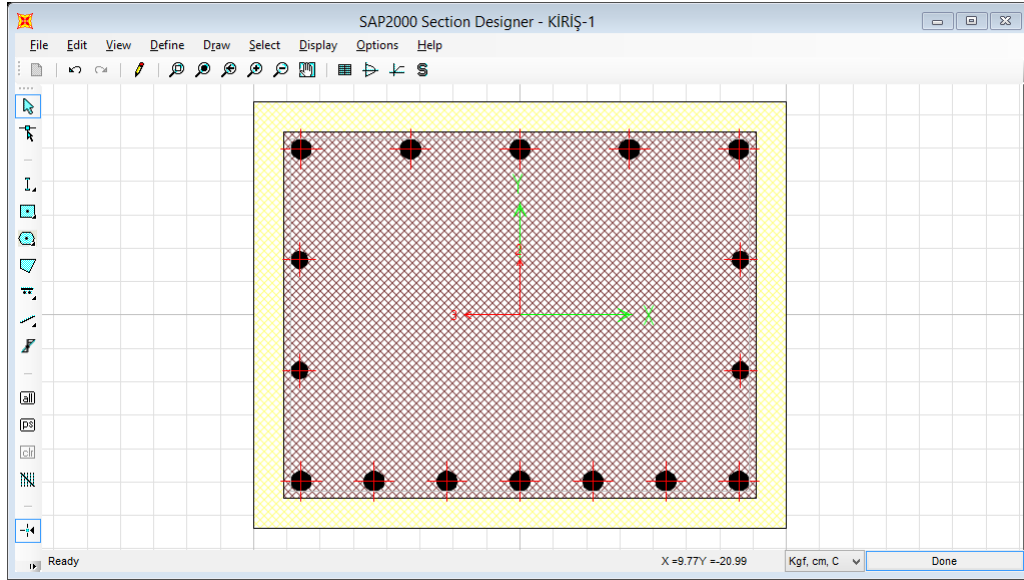




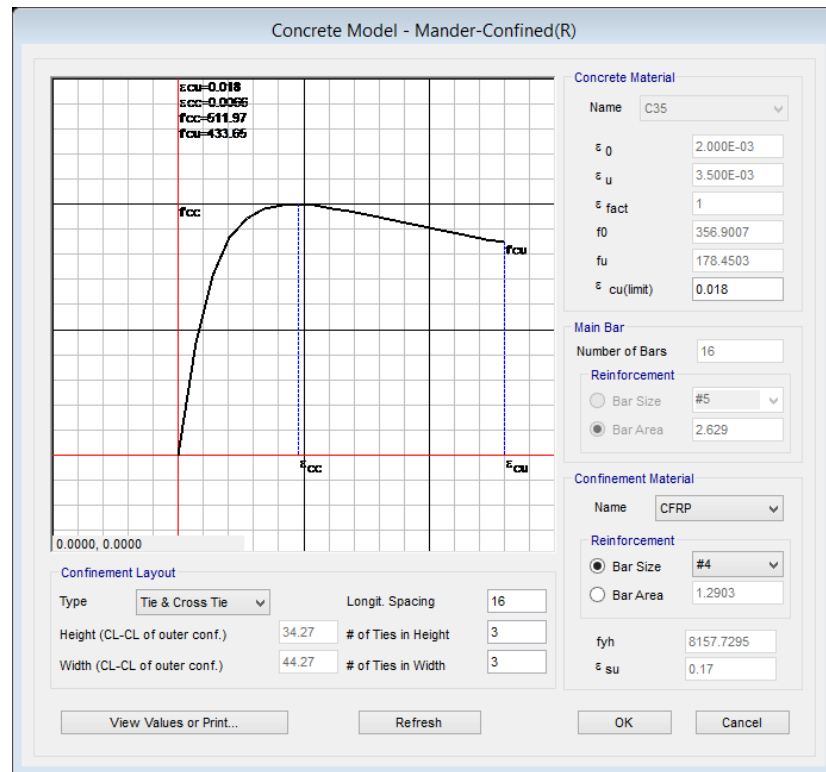
Şekil 3.14. Kiriş moment eğrilik eğrisinin tanımlanması

Tablo 36.. CFRP donatı takviyeli kiriş kesit detayları

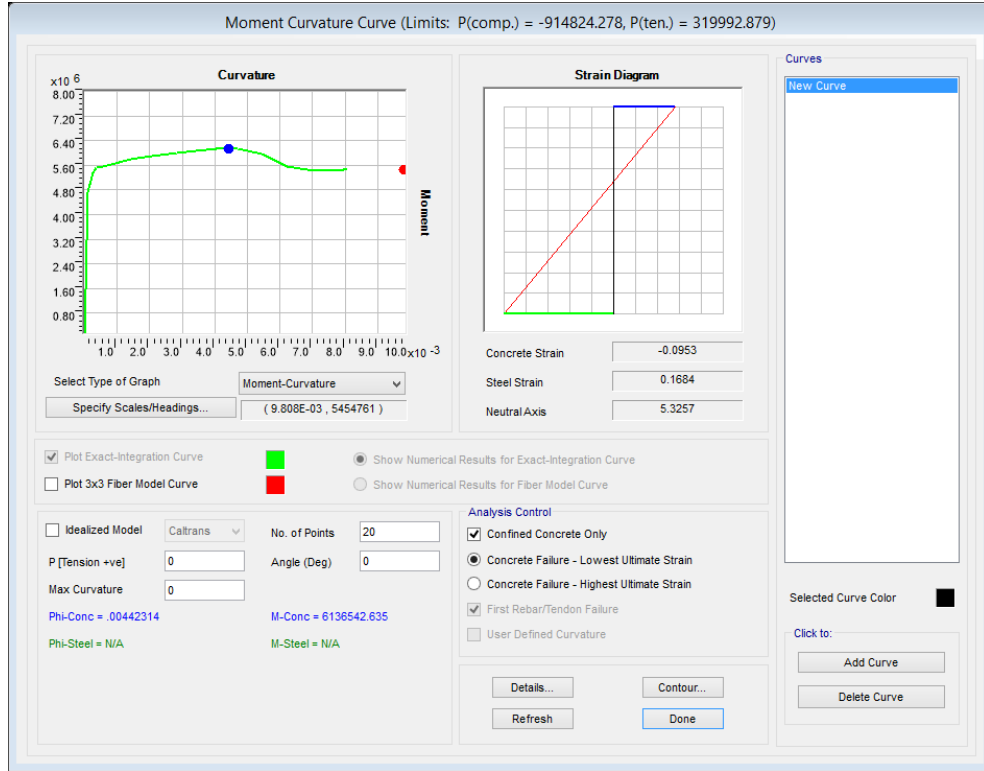
Kiriş Kesitleri	Mevcut CFRP Donatı Adetleri			
	Alt	Üst	Gövde	Etriye
40x55cm	7Ø18	5Ø18	2x2Ø16	Ø12@16
40x50cm	7Ø18	5Ø16	2x2Ø16	Ø10@18
45x40cm	6Ø16	4Ø16	2x2Ø14	Ø10@20
40x40cm	4Ø16	3Ø16	2x2Ø14	Ø10@20
40x35cm	4Ø16	3Ø16	2x2Ø14	Ø10@20
35x30cm	2Ø16	2Ø16	—	Ø10@25
25x25cm	2Ø14	2Ø14	—	Ø10@30



Şekil 3.15. Kiriş kesitinin tanımlanması



Şekil 3.16. Kiriş etriye donatılarının tanımlanması



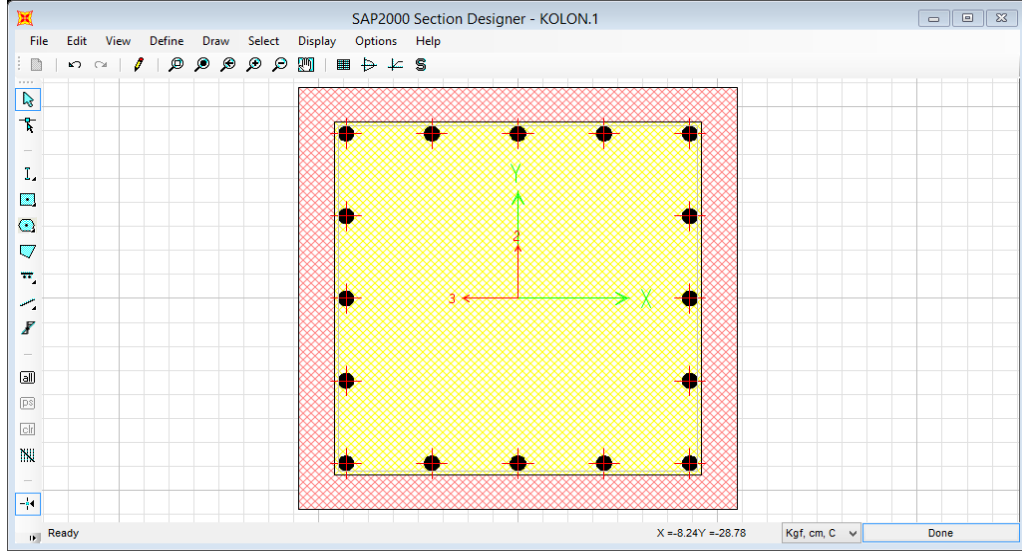
Şekil 3.17. Kiriş moment eğrilik eğrisinin tanımlanması

### 3.5. Kolon Kesitlerinin Tanımlanması

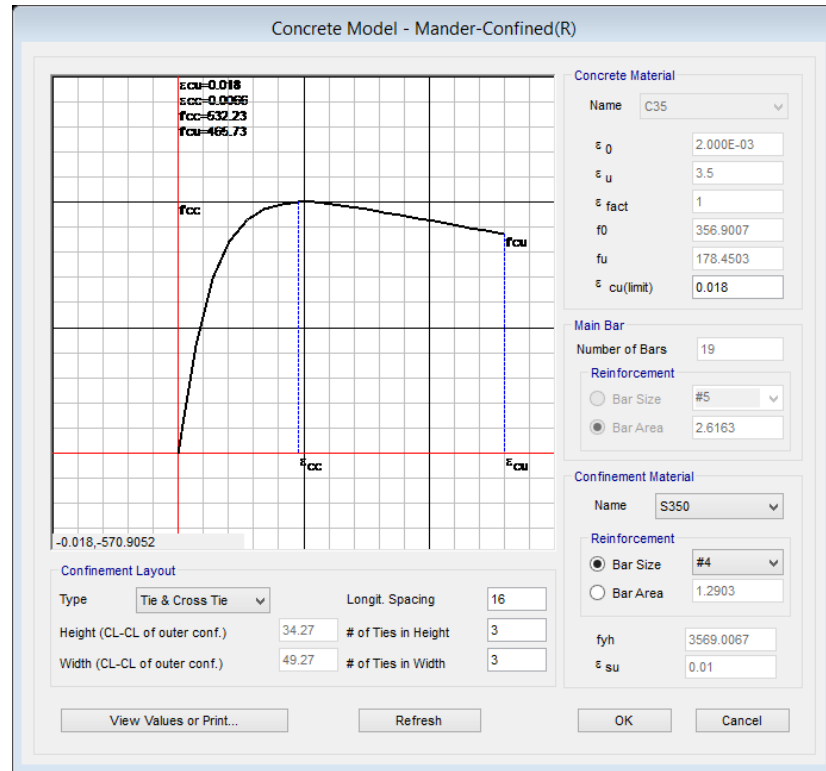
İncelenen ticari türü mevcut betonarme binada yedi tür kolon mevcuttur. Kirişler gibi her 3 katta taşıma kapasitesine göre bu kolonların boyutları da azalmaktadır. Genel olarak bu binada 388 kolon bulunmaktadır. Kolon kesitleri CFRP ve donatı çeliğinin özelliklerine göre ayrı ayrı Tablo 3.7.'de tanımlanmıştır. Çelik donatılara göre kolon kesiti, etriye özellikleri ve kolonlarda oluşan moment eğirileri analiz ve tasarımı için Şekil 3.18., 3.19. ve 3.20.'te ve CFRP donatıları için Şekil 3.21., 3.22. ve 3.23.'de detaylı şekilde gösterilmektedir.

Tablo 3.7. Çelik donatı takviyeli kolon kesit detayları

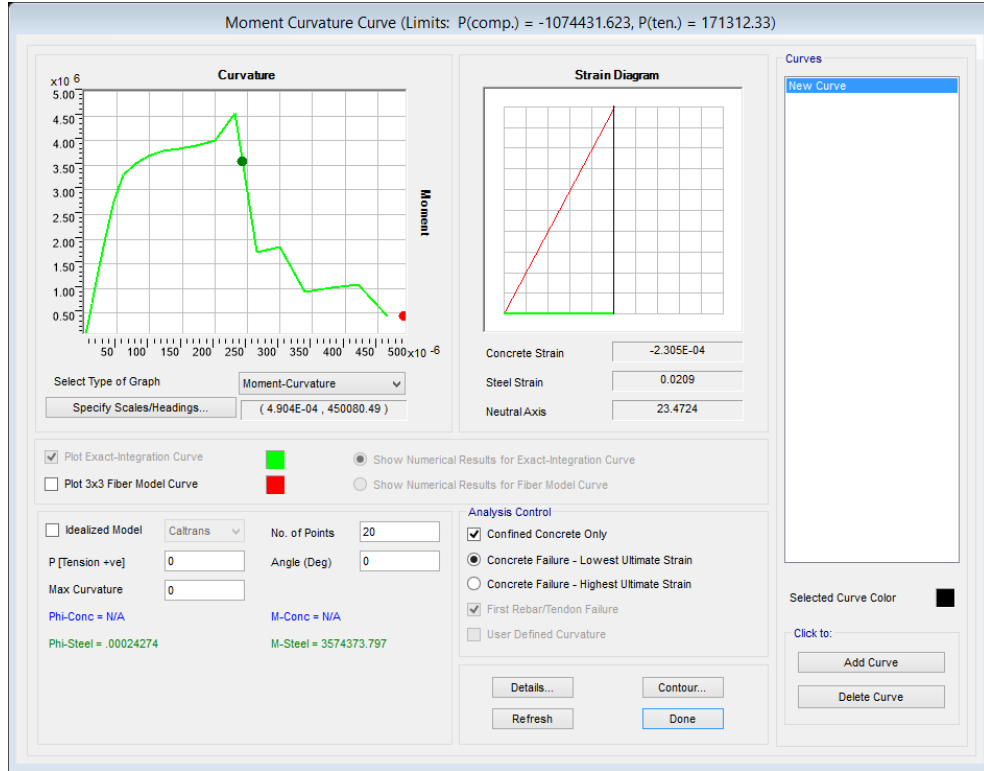
Kolon kesitleri	Mevcut donatı adetleri			
	Kenar	Gövde	Etriye	Çiroz
55x55cm	2x5Ø20	2x3Ø20	Ø12@16	Ø12@15
50x50cm	2x5Ø18	2x3Ø18	Ø10@16	Ø10@15
45x45cm	2x5Ø18	2x3Ø16	Ø10@16	Ø10@18
40x40cm	2x4Ø18	2x2Ø16	Ø10@18	Ø10@18
35x35cm	2x3Ø16	2x1Ø16	Ø10@18	Ø10@18
30x30cm	2x2Ø16	2x1Ø14	Ø10@20	—
30x25cm	2x2Ø14	2x1Ø14	Ø10@20	—



Şekil 3.18. Kolon kesitinin çeliği göre tanımlanması



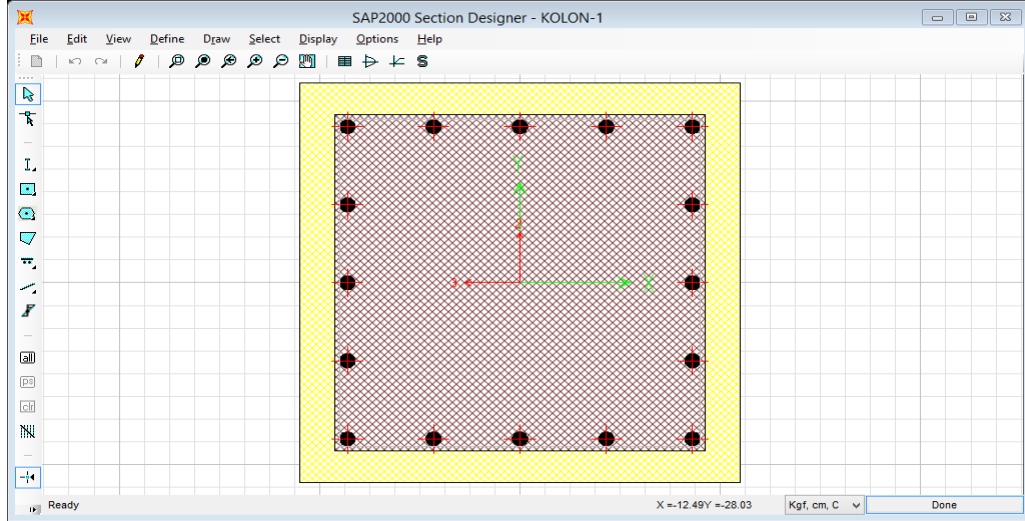
Şekil 3.19. Kolon etriye donatılarının tanımlanması



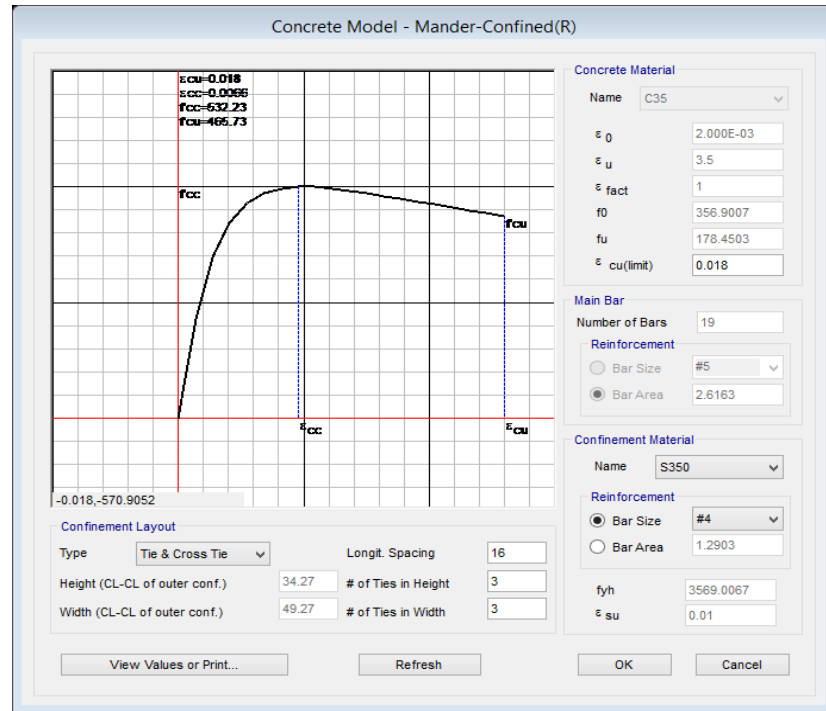
Şekil 3.20. Kolon moment eğrisinin tanımlanması

Yapının kolonlarındaki CFRP miktarını, gerilme ve basınçtaki özelliklerinin incelenmesinden ve ardışık analizlerden sonra çeliğin sağladığı direncin CFRP ile aynı basınçta gerçekleştirildiği bulunmuştur. Uygulama alanı kolonlardaki çelik ile daha az ağırlığa sahip olmakla aynıdır. Bu neden ile CFRP sayısına eşit kolonlardaki çelik miktarını belirlendi ve analizlerde kullanıldı.

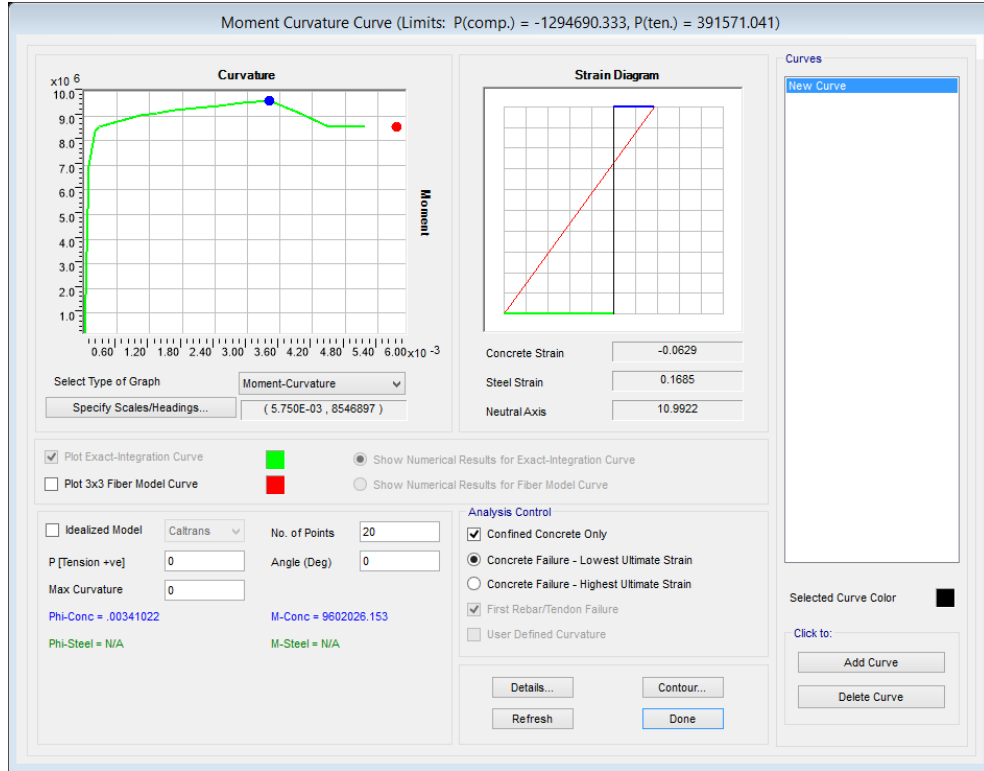
Şekil 3.21.'de belirtildiği gibi SAP2000 programında tasarladığımız kolonun CFRP donatı miktarını göstermektedir. Etriyelerin mesafesi, donatısı ve etriyelerin şekil değiştirme grafiği Şekil 3.22.'de ve Kolon moment eğrilik eğrisi ilgili programa girdiğimiz verileri Şekil 3.23.'de dıtal olarak belirledik.



Şekil 3.21. Kolon kesitinin CFRP'ye göre tanımlanması



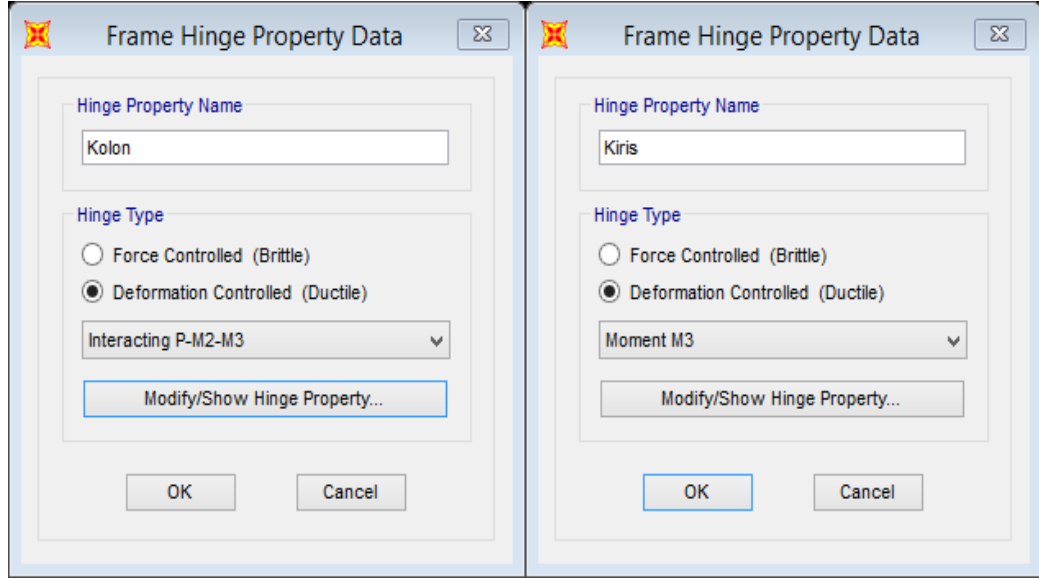
Şekil 3.22. Kolon etriye donatılarının tanımlanması



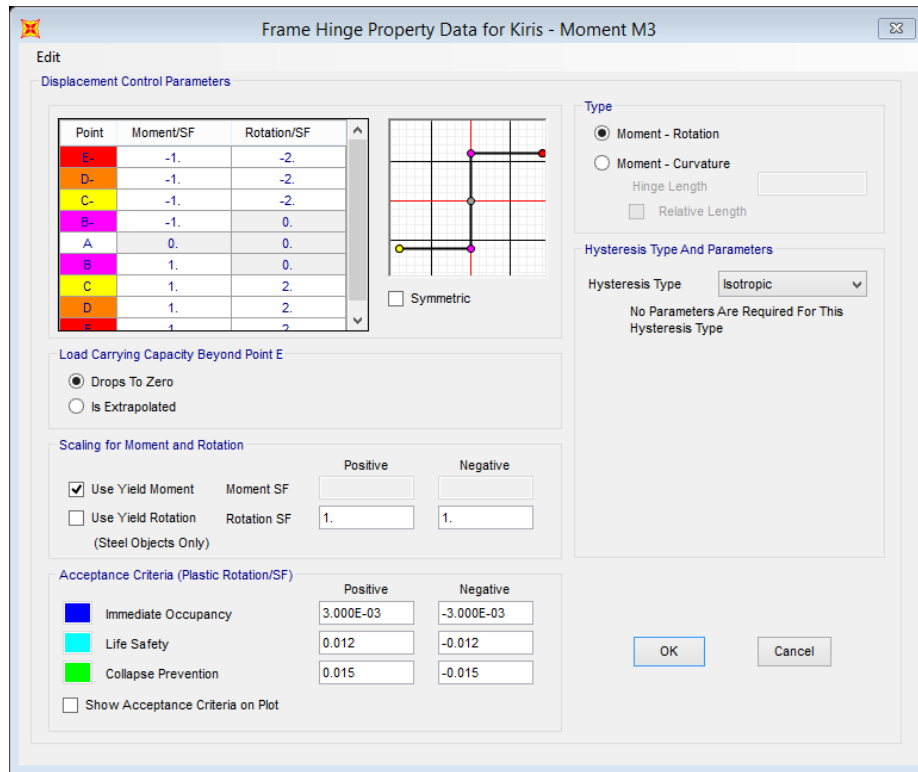
Şekil 3.23. Kolon moment eğrilik eğrisinin tanımlanması

### 3.6. Plastik Mesnetlerin Tanımlanması

Bina modelindeki katlara rijit diyafram tanımı yapıldıktan sonra elemanlara plastik mesnetler tanımlanmıştır. Bu aşamada normal kuvvet, moment etkisi ve kirişler için eğilme etkisi dikkate alınır. Ek olarak, deprem talebini elde etmek amacıyla analizi kesintiye uğratmamak için plastik mesnetlerin tanımlanmasıyla elementlerin dönme kapasiteleri artırılmıştır. Böylece elemanlar kapasitelerinin sonuna kadar çalıştırılmış ve elemanlardaki hasarlar gözlemlenmiştir. Plastik mesnet uzunlukları yönetmeliğe göre kesit yüksekliği kadar alınmış ve mesnet yüksekliğinin yarısına atanmıştır.

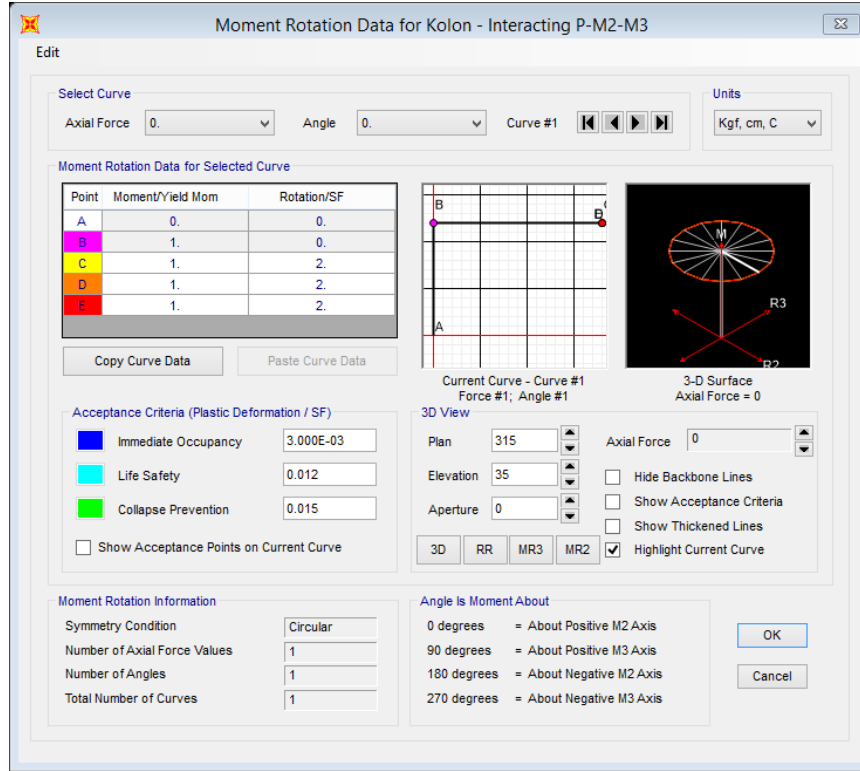


Şekil 3.24. Plastik mesnet tanımlanması



Şekil 3.25. Kirişin arttırılmış dönme kapasiteleri





Şekil 3.26. Kolonun arttırılmış dönme kapasiteleri

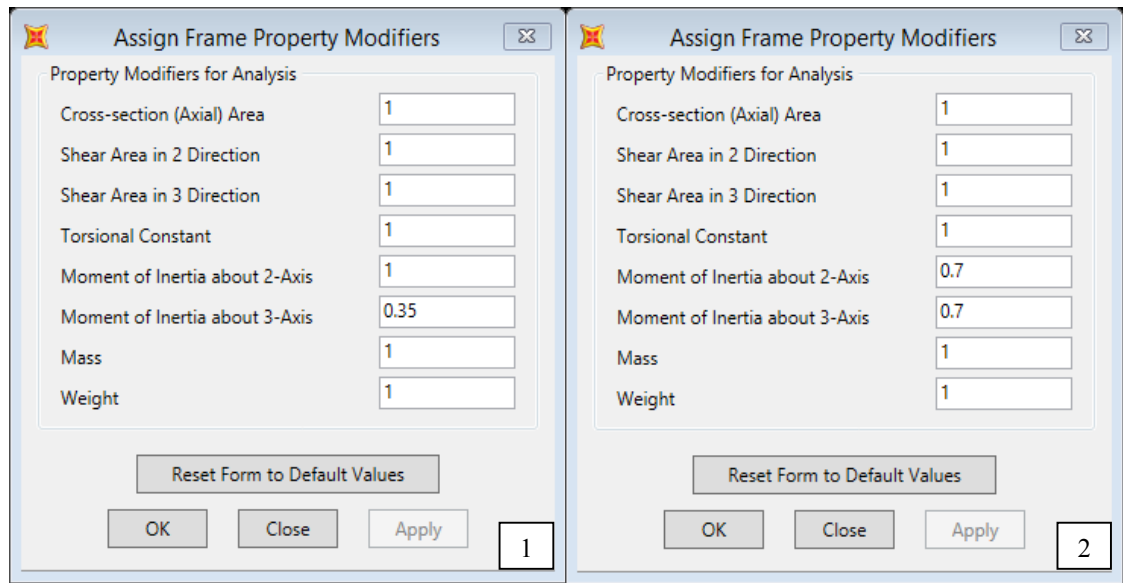
### 3.7. Plastik Mesnetlerin Betonarme Kolon ve Kirişlerin Etkili Kesit Sertliği

Bir binanın analiz sürecinde, yükün aktarılması için temel olarak elemanların rijitliği tanımlanmıştır. Yüksek rijitliğe sahip elemanlar, düşük rijitliğe sahip elemanlardan daha fazla yük almaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalara dayanarak, deprem etkisi altındaki betonarme yapı elemanlarının rijitlik değerlerinin tasarım aşamasında öngörülmesi farklı olduğu saptanmıştır. Bu sebeple, sismik analiz için çatlak kısmının sertliği dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda: perde duvarları, levhalar, kirişler, bağlantı kirişleri ve kolonlar dahil olmak üzere RC elemanları için bazı etkili rijitlik değerleri önermektedir. Bu hükümde: TEC-2018 RC bileşenlerinin etkili rijitlik miktarı, karşılık gelen başlangıç rijitliği açısından tanımlanmaktadır. Çerçeve elemanları için bu sismik kod tarafından önerilen etkin rijitlik katsayısı Tablo 3.8.'de gösterilmektedir. (Akif, 2019)

Tablo 3.8. Betonarme elemanların etkin rijitlik katsayıları

Eleman türü	Etkili sertlik katsayıları	
	Bükme	Kesme
Kolonlar	0.7	1
Kirişler	0.35	1
T-Kirişler	0.15	1
Perdeler	0.5	0.5

Tablo 3.8.'de verilen etkin rijitlik katsayılarının değerleri daha sonra her bir eleman için SAP2000 programında tanıtılmıştır. Kolonlar ve kirişlerde rijitlik katsayıları, Şekil 3.27.'de gösterildiği gibi kesitin atalet momenti ile çarpılarak verilir.



Şekil 3.27. SAP2000'de eklenen etkin kesit sertliği katsayısı, (1) kirişlerin sertlik katsayısı, (2) kolonların sertlik katsayısı

### 3.8. Model Analiz Koşullarının Tanımlanması

Her katta serbestlik derecesi 3 olarak göz önüne alındığında; model analiz sonuçlarından betonarme yapının periyot, kütle katılım oranı, model katkı faktörü ve model büyüklüğü gibi değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.28.).

Şekil 3.28. Model analiz koşullarının tanımlanması

### 3.9. Düşey Analiz Koşullarının Tanımlanması

Performans analizinin ilk adımı olarak, betonarme binanın düşey yükler altında istatistiksel artımlı doğrusal olmayan analiz düzenlemesi ilgili bölümlere göre tanımlanmıştır. Yük ve yükleme katsayıları da TEC-2018 ile uyumlu olacak şekilde programa girilmiştir (Şekil 3.29.).

Yük kombinasyonları TEC-2018 göre SAP2000'de eklenilmektedir. Yüklere göre değişken olan bu yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir:

$$1.4G + 1.6Q \quad (3.1)$$

$$G + 0.5Q \quad (3.2)$$

$$1.2G + 0.5Q \pm Ed \quad (3.3)$$

$$1.2G + Q \pm Ed \quad (3.4)$$

$$0.9G \pm Ed \quad (3.5)$$

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: DUSEY ANALIZ [Set Def Name] [Modify/Show...]

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 [Dropdown]

 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	ÖLÜ YÜK	1.2
Load Pattern	HAREKETLİ YÜK	1.6
Load Pattern	KAR	0.5

[Add] [Modify] [Delete]

Geometric Nonlinearity Parameters:
 

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

Mass Source: MSSSRC1

Other Parameters:
 

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

[OK] [Cancel]

Şekil 3.29. Statik artımsal doğrusal olmayan düşey analizin tanımlanması

### 3.10. Sabit Tek Modlu İtme Analizi (Pushover Analysis) Koşullarının Tanımlanması

Modal ve yerçekimi yük durumlarının tanımlanmasından sonra, yanal yükler (deprem eşdeğer yükler) baskın mod şekline uygun olarak uygulanır ve başlangıçta yerçekimi yük durumunun sonundan başlayacak şekilde ayarlanır. Mevcut betonarme bina simetrik olmadığından Push X ve Push Y analizleri her iki yönde de tanımlanmaktadır. Bu yükleme türü, itme Yük Durumu olarak adlandırılır ve Şekil 3.30. ve 3.31.'de gösterildiği gibi SAP2000'de tanımlanır.

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: PUSH-X [Set Def Name] [Modify/Show...]

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 [DUSEY ANALIZ]

 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
Mode	2	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:
 

- Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]
- Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: [Default] [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.30. Push X analizinin tanımlanması

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: PUSH-Y [Set Def Name] [Modify/Show...]

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 [DUSEY ANALIZ]

 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
Mode	1	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:
 

- Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]
- Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: [Default] [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.31. Push Y analizinin tanımlanması

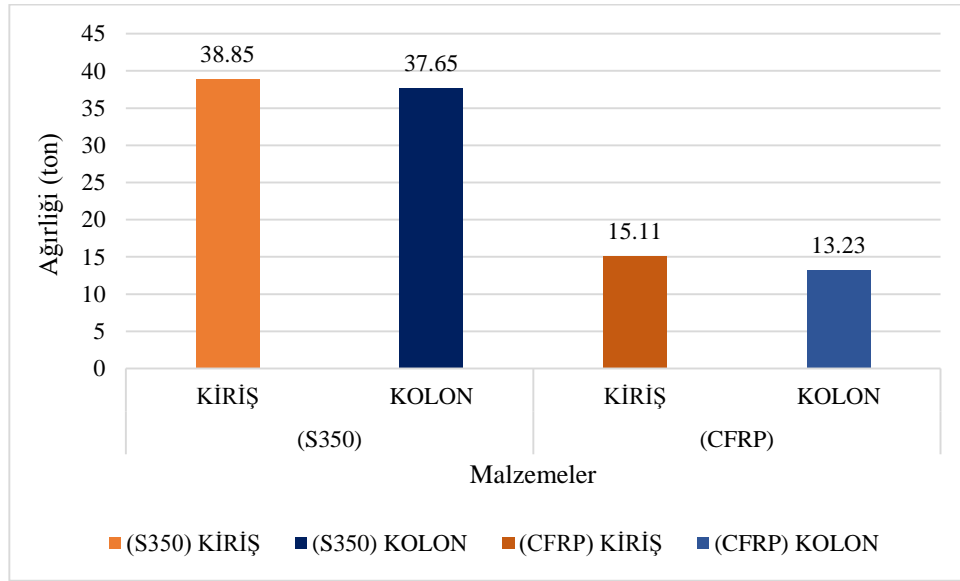
Doğrusal olmayan itme analizi, yer değiştirme kontrol seçeneği kullanılarak gerçekleştirilir. Her analitik modelin çatı seviyesinde izlenen bir yer değiştirme tanımlanır ve itme eğrisinin grafiğini çizmek için kullanılır.

Başlangıçta, binanın ne kadar uzağa taşınması gerektiği bilinmemektedir, bu nedenle daha büyük bir yer değiştirme bileşeni seçilir ve itme eğrisi elde edilir. Daha sonra elde edilen itme eğrisi, spektral formatta talep eğrisi ile aynı koordinatta çizilir. Ardından kurumsal temmeler bölümünde açıklanan prosedür kullanılarak yer değiştirme talebi elde edilir. Son olarak, modeller tekrar hesaplanan yer değiştirme talebine kadar itilir ve gerçek itme eğrileri elde edilir. Ayrıca incelenen binaların global ve bileşen bazlı performans seviyeleri araştırılır. Performans noktasına karşılık gelen katlar arası sapmalar, genel performans kontrolü için kullanılır. Performans noktasına karşılık gelen kat kolonlarının hasar durumları, bileşen bazlı performans seviyelerini belirlemek için kullanılır.

## BÖLÜM 4. BULGULAR

### 4.1. 5 Aksındaki CFRP ve Çeliğin Miktarı

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi, kirişlerde 38,85 ve kolonlarda 37,65 ton çelik donatı kullanılmıştır. CFRP kullandığımızda ise kiriş ve kolonlarda sırasıyla 15,11 ton ve 13,23 ton CFRP ağırlığı hesaplanmıştır. Dolayısıyla çelik donatı yerine CFRP donatı kullanıldığında, toplamda takviye eleman ağırlığının 76,5 ton'dan 28,34 tona düştüğü görülmektedir. Ağırlık binanın dış etkenlere karşı sağlamlığını koruması için en önemli unsurdur. Bu nedenle CFRP'nin çeliğe göre avantajlarından birisi de ağırlıktır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Mevcut betonarme binanın kiriş ve kolonlarda CFRP ve çeliğin miktarı

### 4.2. Periyot Karşılaştırılması

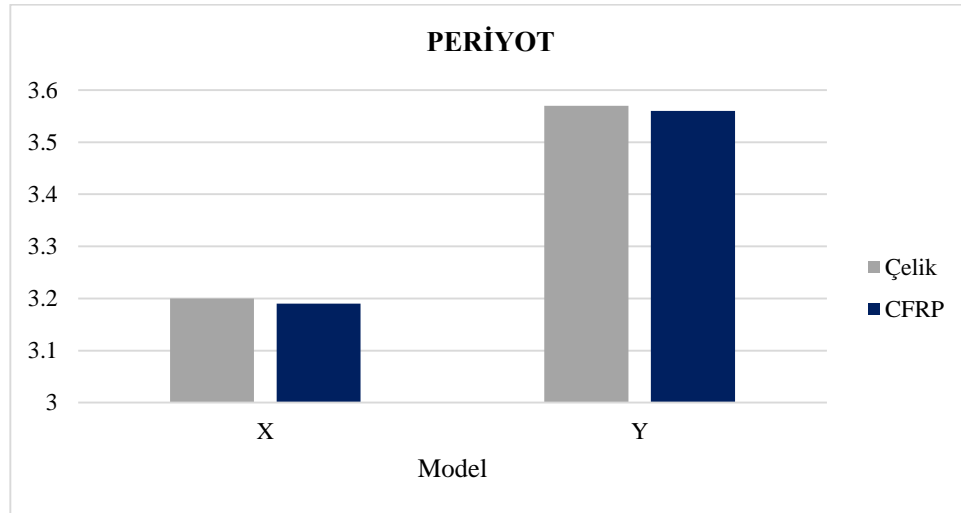
Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modeller için X ve Y yönünde periyot Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Çelik ve CFRP'nin 18 Katlı modellerin periyotlarının karşılaştırılması

Yön	Çelik	CFRP
X	3.21	3.20
Y	3.57	3.56

Tablo 4.1.'de görüleceği üzere CFRP kullanılan model periyodu ile çelik donatı kullanılan model periyodu arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Periyot değişimlerinin iki modelin arasında bu kadar az olması, kesitlerin boyutu, mesnetlerin rijitliği ve binanın yüksekliğine bağlıdır. Yükseklik ve boyut her iki modelde de aynı olmasından dolayı periyot değeri de değişmemektedir. SAP 2000'den elde edilen periyot değerleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Periyotların düşük ve yüksek olması, tanımlanan yüklerin etkisinde yapının salınım sürelerini göstermektedir. En düşük periyot modellerin X yönünde ve en yüksek periyot modelleri Y yönündedir. Bu periyot değişimlerinin sebebi X yönü boyutunun Y yönü boyutuna göre fazla olmasıdır. Bu yüzden bina dayanıklılığı X yönünde Y yönüne göre fazla olup düşük hasar görme oranına sahiptir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.2. Çelik ve CFRP'nin 18 Katlı modellerin periyotları karşılaştırılması

### 4.3. Performans Noktalarının Tespiti

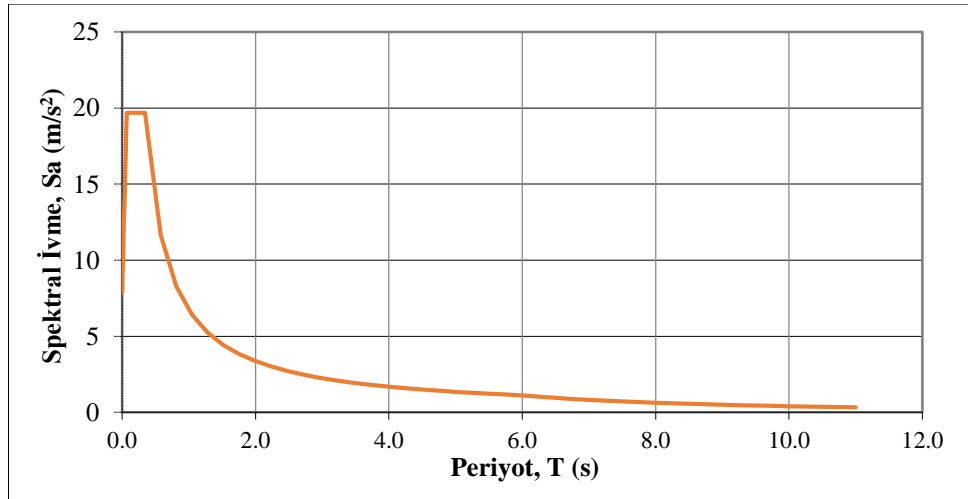
Deprem tasarımı DD-2 için elastik tepki spektrumları, ZC zemin tipi için zemin özellikleri göz önüne alındığında denklem (2.8) kullanılarak Şekil 4.4.'te



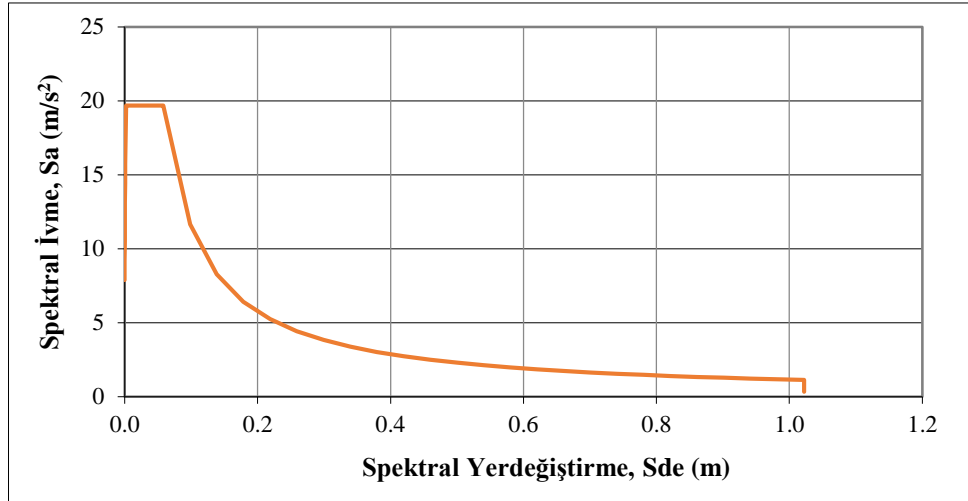
gösterilmiştir, bu diyagram daha sonra spektral ivme grafiğine sahip olan sismik talep eğrisine dönüştürülür. Spektral yer değiştirme grafiği Şekil 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Çelik ve CFRP'nin 18 Katlı modellerin elastik davranış spektrumu

Elastik Davranış Spektrumu - TBDY-2019					
Şehir :	Sakarya	Zemin Sınıfı	ZC		
$S_S$	1.672	$F_S$	1.2	$S_{DS}$	2.006
$S_1$	0.457	$F_1$	1.5	$S_{D1}$	0.686
Bölge	T (s)	$S_{ae}(T)$	$S_{ae}(T) \cdot g$ (m/s <sup>2</sup> )	$S_{de}(T)$	
0	0.000	0.803	7.873	0.00000	
	0.008	0.936	9.185	0.00001	
	0.015	1.070	10.497	0.00006	
	0.023	1.204	11.810	0.00016	
	0.030	1.338	13.122	0.00031	
	0.038	1.471	14.434	0.00053	
	0.046	1.605	15.746	0.00083	
	0.053	1.739	17.058	0.00122	
	0.061	1.873	18.371	0.00172	
$T_A$	0.068	2.006	19.683	0.00233	
	0.114	2.006	19.683	0.00647	
	0.159	2.006	19.683	0.01267	
	0.205	2.006	19.683	0.02095	
	0.251	2.006	19.683	0.03130	
$T_B$	0.296	2.006	19.683	0.04371	
	0.342	2.006	19.683	0.05820	

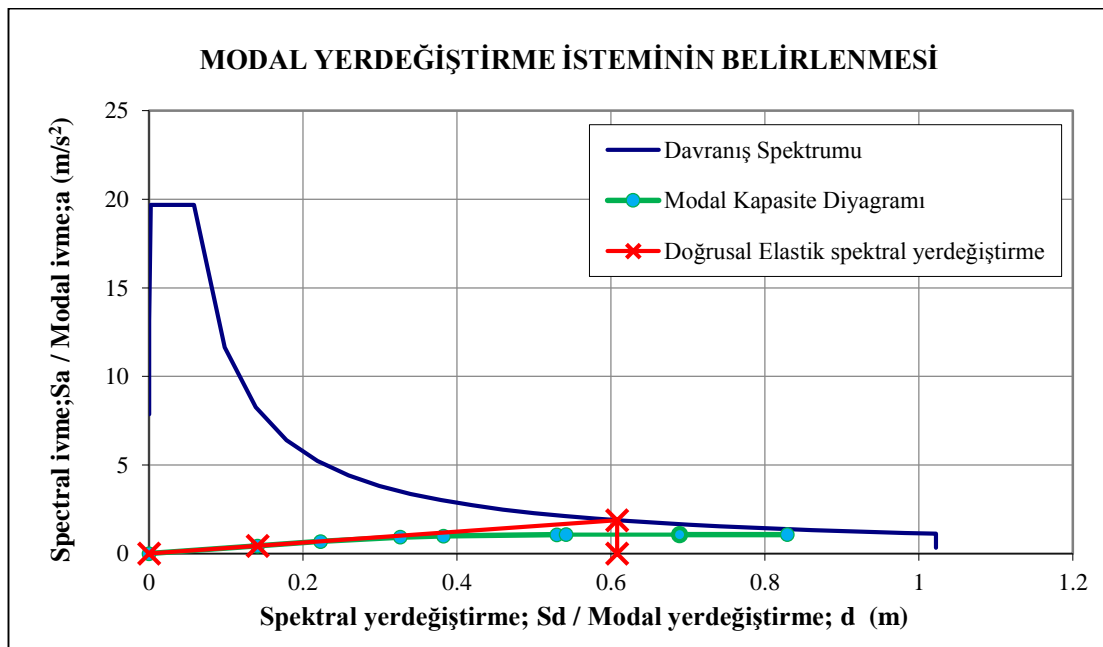


Şekil 4.3. Yatay elastik tasarım spektrumu

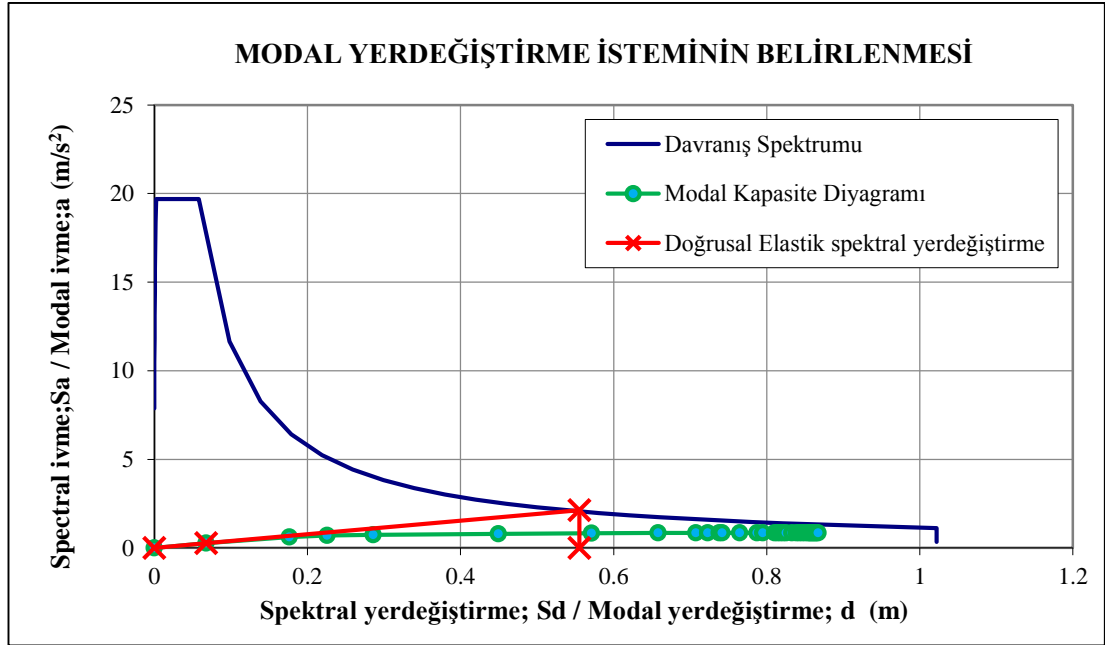


Şekil 4.4. Yatay elastik spektral yerdeğiştirmeler

Bina kapasitesi ve talep eğrisini geliştirdikten sonra, aynı koordinatlarda Şekil 4.9. ve 4.10. çizilirler ve sismik yer değiştirme talebi, analitik prosedüre dayanarak model yer değiştirme (yani elastik olmayan spektral yer değiştirme) açısından belirlenir. Çelik ve CFRP modelleri için sismik yer değiştirme talebinin tahmini grafikleri Şekil 4.9. ve 4.10.'da sunulmaktadır.



Şekil 4.5. CFRP modelin yerdeğiştirmenin belirlenmesi



Şekil 4.6. Çelik modelin yerdeğiştirmenin belirlenmesi

Şekil 4.9. ve 4.10.'dan da anlaşıldığı gibi sismik yer değiştirme talepleri binalarda çelikten ziyade CFRP kullanılarak artmaktadır. Bununla birlikte, binalar ZA, ZB ve ZC zemin tipleri gibi daha sert zemin profilleri üzerine kurulduğunda değişiklikler çok az hatta neredeyse önemsizdir. Oysa ZD ve ZC zemin tiplerini içeren zemin koşulları yumuşadıkça değişiklikler önemli ölçüde artar.

#### 4.4. Göreli Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması

Görelî kat ötelemelerinin deformasyonu katın bir önceki kat ile arasındaki yer değişimini belirtmektedir.

Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modeller için yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar X ve Y yönünde göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması Tablo 4.2. ve 4.3.'te gösterilmiştir.

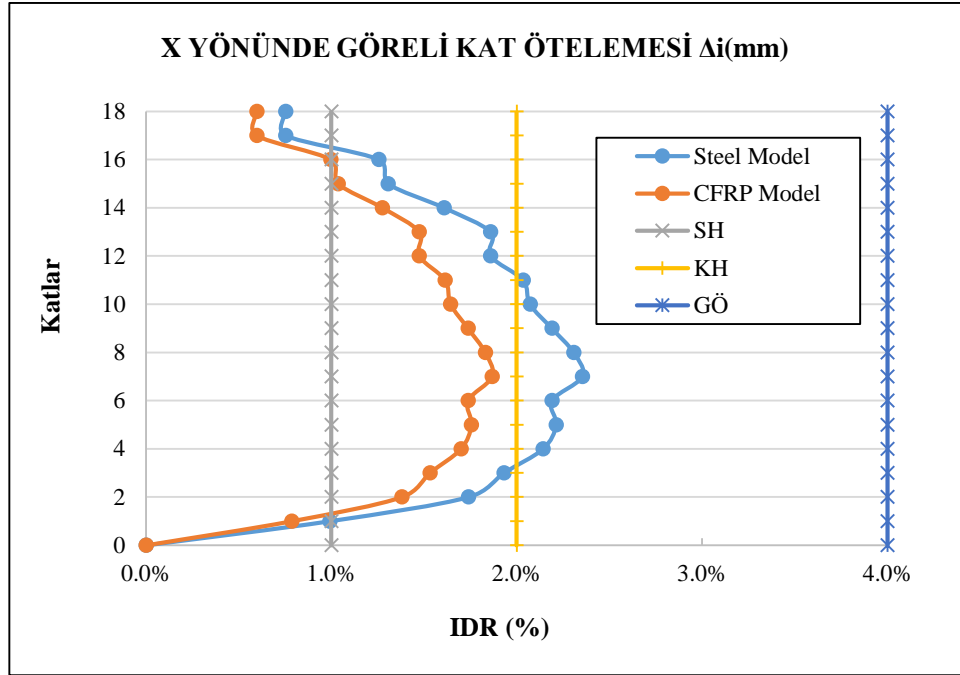
Tablo 4.3. Çelik ve CFRP'nin X Yönünde görel kat ötelemeleri  $\Delta_i$ (mm)

Kat	Çelik	CFRP
1	0.0	0.0
2	9.9	7.9
3	17.4	13.8
4	19.3	15.3
5	21.4	17.0
6	22.1	17.6
7	21.9	17.4
8	23.5	18.7
9	23.1	18.3
10	21.9	17.4
11	20.7	16.4
12	20.3	16.1
13	18.6	14.7
14	18.6	14.7
15	16.1	12.7
16	13.1	10.4
17	12.6	10.0
18	7.5	6.0

Tablo 4.2.'de görüldüğü gibi X yönünde yer değiştirme değerleri çelik donatı takviyeli modelde CFRP donatı takviyeli modelden daha fazla kaydedilmiştir. Her iki modelde de 8. kat en yüksek yer değiştirme oranına sahiptir. Bu değer CFRP modelinde 18,7mm ve çelik modelinde 23,5 olarak elde edilmiştir.

Her iki modelde de 1., 17. ve 18. katlar (SH) bölgesindedir. Ancak CFRP modelinde kalan tüm katlar (SH) ve (KH) arasındaki bölgede bulunmaktadır. Çelik modelinde 2., 12., 13., 14., 15. ve 16. katlar (SH) ve (KH) arasındaki bölgede olup kalan tüm katlar (KH) ve (GÖ) arasındaki bölgededir.

Bu değişkenlik binanın deprem esnasındaki deplasmanda önemli rol oynamaktadır. Deplasman ne kadar az olursa bir o kadar da binanın sağlamlığı ve dayanıklılığı sağlanmaktadır. CFRP yüksek dayanıklılığa sahip olduğundan dolayı binanın deplasmanını azaltarak çeliğe göre binayı güçlendirmektedir (Şekil 4.11.).



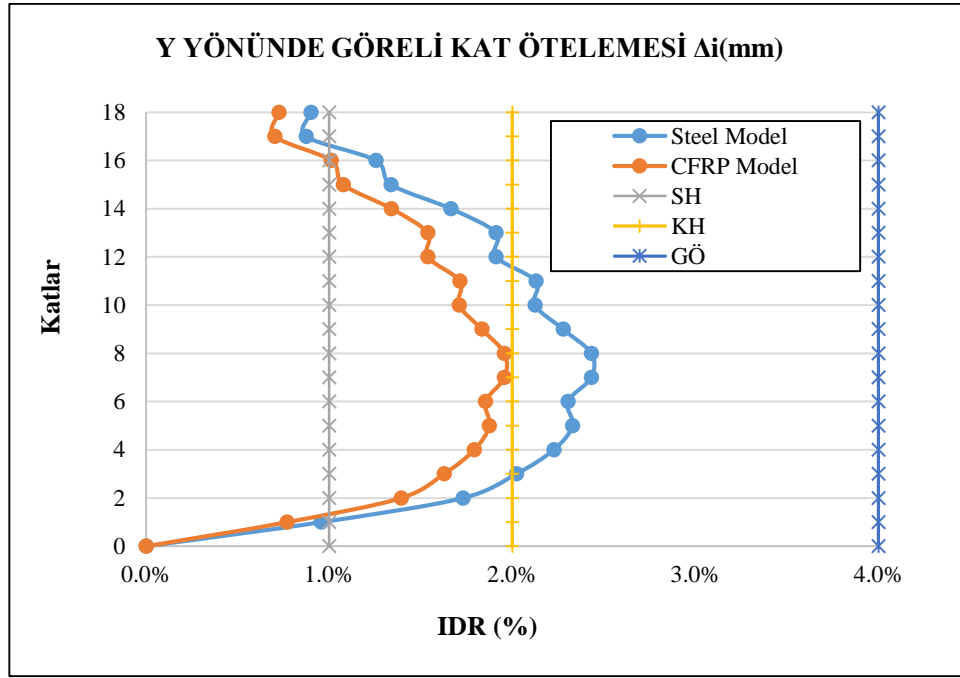
Şekil 4.7. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerde X doğrultusunda görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 4.4. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin Y yönünde görelî kat ötelemeleri  $\Delta_i$ (mm)

Kat	Çelik	CFRP
1	0.0	0.0
2	9.6	7.7
3	17.3	13.9
4	20.2	16.3
5	22.3	17.9
6	23.3	18.7
7	23.0	18.5
8	24.3	19.6
9	24.3	19.6
10	22.8	18.3
11	21.2	17.1
12	21.3	17.1
13	19.1	15.4
14	19.1	15.4
15	16.7	13.4
16	13.4	10.8
17	12.6	10.1
18	8.7	7.0

Tablo 4.3.'te görüldüğü gibi Y yönünde deplasman değerleri çelik donatı takviyeli modelde CFRP donatı takviyeli modelden daha fazla kaydedilmiştir. Her iki modelde de 8. ve 9. kat en yüksek deplasman oranına sahiptir. Bu değerler CFRP modelinde 19,6mm, çelik modelinde 24,6mm olarak elde edilmiştir.

Her iki modelde de 1., 17. ve 18. katlar (SH) bölgesindedir, ancak CFRP modelinde kalan tüm katlar (SH) ve (KH) arasındaki bölgede bulunmaktadır. Çelik modelinde 2., 12., 13., 14., 15. ve 16. katlar (SH) ve (KH) arasındaki bölgede olup kalan tüm katlar (KH) ve (GÖ) arasındaki bölgede kalmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, CFRP'nin çeliğe göre binanın deplasman açısında işlevi yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.12.).



Şekil 4.8. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin Y doğrultusunda görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Görel kat ötelemesi, yapı katlarının etkiler altında ötelenmesidir. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modeller için yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar X ve Y yönünde kat ötelemeleri Şekil 4.11. ve 4.12.'de gösterilmiştir.

#### 4.5. Tepe Yer Değiştirmesi ve Taban Kesme Kuvveti Eğrilerinin Karşılaştırılması

Tablo 4.5. ve Şekil 4.13., ZC zemin tipine göre CFRP ve çelik donatı takviyeli modeller arasındaki itme eğrisi değişiklikleri X yönünde göstermektedir. CFRP yüksek elastisite değerine sahip olduğundan çeliğe göre yüksek itme eğrisi değişikliğine sahiptir. Bu, binanın dış etkenlere karşı dayanıklılığını artırarak çatlak ve kırılmayı önlenmesini sağlar. Bu değişiklik yüksek oranda zemin tipine de bağlıdır. zemin tipi ne

kadar iyi olursa değişiklik o kadar az olmaktadır. Bu değişiklikler, kiriş ve kolonlardaki mesnetlerde de incelenebilir. Binanın simetrik olmadığı durumunda, X ve Y yönüne göre ayrı ayrı incelenir. Eğer bina simetrik ise bu durumda X veya Y yönünden birisini incelenir.

Tablo 4.5. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin (X) doğrultusunda itme eğrisi ve modal kapasite

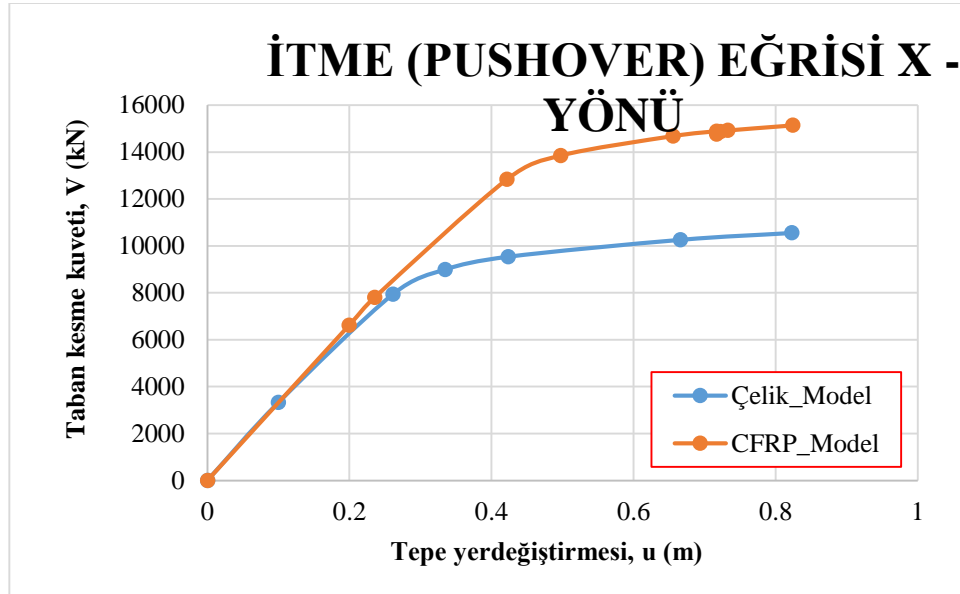
Periyot; T (s)	3.2100	T	3.2080	Periyot; T (s)	3.2070	T	3.2189
Kütle Katılım oranı	0.734	d (m)	0.06741	Kütle Katılım oranı	0.744	d (m)	0.13346
Toplam Kütle; M (ton)	17478	a (m/s <sup>2</sup> )	0.259	Toplam Kütle; M (ton)	17478	a (m/s <sup>2</sup> )	0.509
Katki çarpanı; $\Gamma_{z1}$	113.08			Katki çarpanı; $\Gamma_{z1}$	113.86		
Modal büyüklük; $\Phi_{zN1}$	0.0131	Direction	+X	Modal büyüklük; $\Phi_{zN1}$	0.0131	Direction	+X

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi		Modal Kapasite Diyagramı		Elastik Sistem	
No	$u_{zN1}^i$ (m)	$V_{z1}^i$ (kN)	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0.0000	0.00	0	0	0	0
1	0.0999	3317.54	0.06741	0.259	0.06741	0.259
2	0.2610	7932.04	0.17617	0.618	0.55525	2.13
3	0.3343	8990.86	0.22570	0.701	0.55525	0
4	0.4235	9537.71	0.28589	0.743		
5	0.6658	10257.65	0.44945	0.800		
6	0.8458	10593.50	0.57097	0.826		
7	0.9752	10751.59	0.65830	0.838		
8	1.0483	10801.77	0.70767	0.842		

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi		Modal Kapasite Diyagramı		Elastik Sistem	
No	$u_{zN1}^i$ (m)	$V_{z1}^i$ (kN)	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	-0.0005	0.00	0	0	0	0
1	0.1995	6612.23	0.13346	0.509	0.13346	0.509
2	0.2352	7793.18	0.15735	0.599	0.55115	2.1
3	0.4218	12829.61	0.28212	0.987	0.55115	0
4	0.4973	13848.33	0.33264	1.065		
5	0.6554	14677.57	0.43842	1.129		
6	0.7168	14876.78	0.47944	1.144		
7	0.7168	14754.81	0.47945	1.135		
8	0.7220	14861.45	0.48296	1.143		



Şekil 4.9. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin (X) doğrultusunda itme eğrisinin karşılaştırılması

Tablo 4.6. ve Şekil 4.14., Y yönünde CFRP ve çelik donatı takviyeli modeller arasındaki itme eğrisi değişikliklerini göstermektedir. CFRP bu yönde de çeliğe göre yüksek itme eğrisi değişikliğine sahiptir. X yönünde olduğu gibi, CFRP tanımlı modelde çeliğe kıyasla aynı yer değişimi için daha yüksek kesme kuvvetlerini taşıdığı belirtilmiştir.

Tablo 4.6. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin (Y) doğrultusunda itme eğrisi ve modal kapasitesi

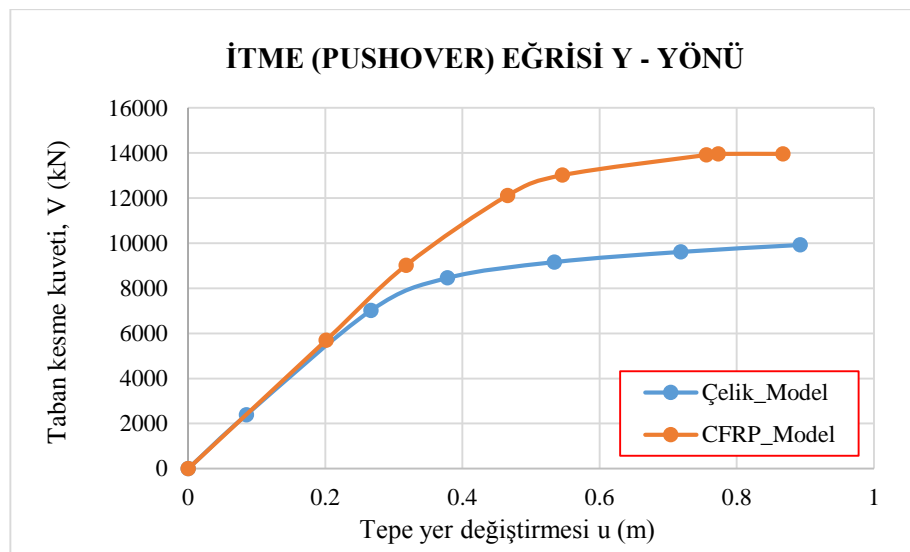
Periyot; T (s)	3.5470	T	3.5771	Periyot; T (s)	3.5470	T	3.5633		
Kütle Katılım oranı	0.744	MODE	d (m)	0.05954	Kütle Katılım oranı	0.744	MODE	d (m)	0.14097
Toplam Kütle; M (ton)	17478	1	a (m/s <sup>2</sup> )	0.184	Toplam Kütle; M (ton)	17478	1	a (m/s <sup>2</sup> )	0.438
Katkı çarpanı; $\Gamma_{z1}$	113.86	Direction			Katkı çarpanı; $\Gamma_{z1}$	113.86	Direction		
Modal büyüklük; $\Phi_{z1}$	0.0125	+Y			Modal büyüklük; $\Phi_{z1}$	0.0125	+Y		

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi		Modal Kapasite Diyagramı		Elastik Sistem	
No	$u_{z1}^i$ (m)	$V_{z1}^i$ (kN)	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0.0011	0.00	0	0	0	0
1	0.0849	2388.86	0.05954	0.184	0.05954	0.184
2	0.2663	7013.68	0.18664	0.539	0.62553	1.93
3	0.3780	8458.79	0.26494	0.651	0.62553	0
4	0.5337	9161.27	0.37410	0.705		
5	0.7183	9614.83	0.50349	0.739		
6	0.9056	9946.57	0.63475	0.765		
7	1.0406	10098.72	0.72937	0.777		
8	1.1615	10179.49	0.81414	0.783		

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi		Modal Kapasite Diyagramı		Elastik Sistem	
No	$u_{z1}^i$ (m)	$V_{z1}^i$ (kN)	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	d (m)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0.0011	0.00	0	0	0	0
1	0.2011	5699.49	0.14097	0.438	0.14097	0.438
2	0.3178	9024.48	0.22275	0.694	0.60787	1.89
3	0.4657	12115.97	0.32641	0.932	0.60787	0
4	0.5454	13016.76	0.38230	1.001		
5	0.7558	13913.87	0.52975	1.070		
6	0.7730	13961.73	0.54181	1.074		
7	0.9830	13965.00	0.68902	1.074		
8	1.1830	13964.00	0.82921	1.074		



Şekil 4.10. Çelik ve CFRP'nin 18 katlı modellerin Y doğrultusunda itme eğrisinin karşılaştırılması



## BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu araştırmayı diğer benzer araştırmalardan farklı kılan faktör, çok katlı bir binada modelsel olarak Çelik donatı yerine CFRP donatı kullanımının incelenmesidir. CFRP'nin yüksek maliyeti nedeniyle binalarda kullanılması yaygın değildir. Ancak bu olumsuz faktör karşılığında CFRP'nin avantajları da vardır.

Bu ticari binanın Afganistan'daki Mazar-e-Sharif şehrinde ÷lkede kullanılan bina yasalarına uygun olarak inşa edildiğini ve CFRP'nin henüz Afganistan'da bulunmayan yeni bir malzeme olduğunu belirtmek gerekir. Bu araştırmanın amaçlarından biri, inşaat alanındaki üstünlüğünden yararlanabilmemiz için Afganistan'da bu yapı malzemesini tanıtmaktır.

CFRP ve çeliğin çok katlı binalarda performansını karşılaştırmak için 18 katlı iki model, SAP2000 programı kullanarak analiz edilmiştir. CFRP ve Çelik donatı takviyeli iki model arasındaki farklılık incelenmiştir.

Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. CFRP kütle ağırlığı binada, Çelik donatı 'ye kıyasla %55 daha az olduğu hesaplanmıştır.
2. Aynı performansa sahip CFRP takviyeli modelde, Çelik donatı takviyeli modele kıyasla kolon ve kiriş kesitlerinde sırasıyla %5 ve %10 kısalma gözlenmiştir.
3. Yüksek elastisite modülüne sahip olan CFRP, kirişlerdeki gerilme mukavemetini Çelik donatı takviyeli modele kıyasla %30 artmaktadır.
4. CFRP takviyeli modelin kolonlarında, Çelik donatı takviyeli modele göre %5 basınç mukavemet artışı gözlenmiştir.

5. Çelik modelinde 3-11 katlar hasar görme açısından Kontrollü Hasar Sınırı ve Göçme Sınırı alanındadır, CFRP modelinde 2-16 katlar Sınırlı Hasar Sınırı ve Kontrollü Hasar Sınırı arasında yer almaktadır.
6. (Y) yönündeki deformasyon, (X) yönüne göre daha fazladır. Bunu sebebi binanın boyut farkıdır. Bina boyutu küçük olan her yönde deformasyon ve hasar görme oranı fazladır.
7. Yükseklik farkı ve yanal yüklerden kaynaklanan yer değiştirme nedeniyle; deformasyon ve hasar oranı yüksek olan katlar, orta katlar olarak belirlenmiştir.
8. CFRP takviyeli modelde, rijitliğin %30 artmasıyla mesnetlerdeki yük etkisi azalmaktadır.
9. CFRP'nin akma dayanımı olmadığından dolayı bir noktaya kadar şekil değiştirmeye devam ediyor, ama belirli bir noktadan sonra bir anda kopar. CRFP nin kopması sonucu binada donatı olarak kullanılması tehlikeli olur.
10. CFRP nin fiyatı çelik donatıya göre 30 kat daha pahalıdır . Bundan dolayı CRFP kullanımı daha maliyetlidir.
11. CFRP ve Çelik donatı takviyeli modeller arasında periyot açısından önemli bir fark görülmemiştir. Her iki modelde de periyot (X) yönünde 3,20sn ve (Y) yönünde 3,56sn olarak elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- A.B., 2017. Betonarme Kirişlerin Kesme Güçlendirmesi İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı, 10.
- Abadurahman, 2019. İnşaat Sektöründe Proje Yönetimi Ve Verimlilik Analizi. İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 13 06, P. 136.
- Abdulhamit, 2017. Yüksek Yapıların Tasarımın Optimizasyonu Ve Deprem Performansının Değerlendirilmesi. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, P. 155.
- Akhil, Nand Kishore Ve Kalyan Kumar, 2015. Analysis Of Gfrp Leaf Spring. Ijmer, 5(5).
- Akif, 2019. Dbybhy (2007) Ve Tbdy (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması Comparison Of Tec (2007) And Tbec (2018) Earthquake Codes İn Terms Of Section Damage Limits, Turkey: Mimarlık Fakültesi.
- Altın, Anil, Kara. A, Koprman, Mertoğlu, 2011. Kesmede Yetersiz Betonarme Kirişlerin Cfrp İle Dayanım Ve Sünekliğinin Artırılması. Türkiye Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı, P. 8.
- Antonio, De Luca Ve Hany, 2014. Reinforced Concrete With Frp Bars: Mechanics And Design. 1 Ed. Franc: Crc Press.
- Ataş, 2017. Betonarme Kısa Kolonların Performansının Artırılmasında Verev Donatı Cfrp Sargı Uygulamalarının Deneysel Araştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, P. 142.
- Avinash G, Biradar Ve Nagraj, 2018. Comparative Study On Gfrp And Steel Tube Reinforced Gfrp Composite İn Terms Of Strength To Weight Ratio. Ijarıt, 4(4).
- Başar, 2008. Çelik Profillerin Birleştirilmesinde Cfrp Malzemesinin Kullanılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, 11 06.

- Cafer, 2011. Performans Kavramı, Değerlendirmesi Ve Balıkesir İl Emniyet Müdürlüğü Yıldırım Ekipler Amirliği'nde Performans Uygulaması Örneği. Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, P. 130.
- Cem, Murat Serdar Ve B., 2011. Betonarme Kolonların Hasar Sınır Eğriliklerinin Belirlenmesi\*. İmo Teknik Dergi,, 30(2011).
- Çetinkaya, Kaplan, Şenel, 2004. Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (Frp) Malzemeler Kullanılarak Onarım Ve Güçlendirilmesi. Journal Of Engineering Sciences, P. 8.
- Daryoosh Ve Kiyotaka, 2017. Afghanistan Building Codes (Abc): Focused On Comparative Analysis And The Viability Of Enforcement. 1 Ed. S.L.:S.N.
- Dbybhy, 2018. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara: Bayındırlık Ve Đskan Bakanlığı.
- Deborah, 2012. Carbon Fiber Composites. 2 Ed. State Univ. Of New York: Butterworth-Heinemann.
- Dündar, 2008. Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Cfrp İle Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 27 06, P. 75.
- Erdinç, 2007. Düşeyde Düzensiz Bir Yapının Depreme Dayanıklılığının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, 10.
- F., K.T., H. Ve H., 2013. Mevcut Betonarme Binaların Doğrusal Elastik Ve Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle İncelenmesi Üzerine Bir Değerlendirme. Türkiye Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı, 10(2013).
- Farmington, 2017. Specification For Carbon And Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials For Concrete Reinforcement. 1 Ed. Abd: American Concrete İnstitute.
- Fema, F. E. M. A., 2009. Effects Of Strength And Stiffness Degradation On The Seismic Response Of Structural Systems, Washington, D.C: Fema Report 440a.
- Gian Piero, Fabio, Andrea Ve Antonio De Luca, 2011. Analysis Of Rc Hollow Columns Strengthened With Gfrp. American Society Of Civil Engineers.
- Giosuè Ve Salvatore, 2010. Gfrp Structures Subjected To Dynamic Action. Cıce 2010 - The 5th International Conference On Frp Composites İn Civil Engineering.
- Gökçen, 2019. Frp İle Güçlendirilmiş Betonarme Elemanlarda Frp-Beton Sıyrılma Davranışının İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 20 08.
- Gökdemir, Hande, Tankut, Tuğrul, Aydın Ve Ruhi, 2013. Kiriş-Kolon Birleşim Bölgesinin Cfrp Rulolarla Depreme Karşı Güçlendirilmesi. Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler Ve Mühendislik.

- Gürkan Sehar, 2019. Ba Kısa Kolonlarda Çatlak Oluşumunun Tespiti Ve Beton Sınıfına Bağlı Olarak Cfrp Ve Dış Kuşaklama Güçlendirmelerinin Performansa Katkısının Deneysel Araştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 25 07, P. 105.
- Halil İbrahim, 2019. Betonarme Bir Yapıda Geleneksel Yöntem Ve Taban İzolatörü Kullanımının Karşılaştırmalı Analizi. Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi, Issue 2018, P. 13.
- Hande Şahin, 2014. Mevcut Bir Betonarme Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Performansının Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı, 20 01, P. 119.
- Huang, Chao, Lin, Min, Cheng Ve Ding, 2018. Seismic Retrofit Of Reinforced Concrete Buildings Using Combination Of Column Jacketing And Supplemental Beams. Department Of Civil Engineering, National Taipei University Of Technology.
- İnş. Yük. Müh. Yüksel, 2020. İnşaport. [Online] Available At: <https://www.insaport.com/makale/yuksel-kaya/performans-analizi-icin-binadan-bilgi-toplanmasi/> [Accessed 12 04 2018].
- İsa, 2009. Düşeyde Düzensiz Betonarme Bir Bđnanın Deprem Etkisi Altındaki Yapısal Performansının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İnşaat Mühendisliği, Mayıs.
- Jassam Ve Altaee, 2011. Effect Of Cfrp Plate Location On Flexural Behavior Of Rc Beam Strengthened With Cfrp Plate. Isc 2011.
- Keleş, 2005. Betonarme Krişlerde Açılı Cfrp Şeritlerin Kesmeye Katkısı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 12, P. 113.
- Köroğlu, 2018. Cfrp İle Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Moment-Eğrilik İlişkilerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, 1, P. 65.
- Kurtipek, 2007. Beton İle Cfrp Şeritler Arasındaki Kayma Gerilmsei Dağılımının Deneysel Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 8.
- Küçük, 2018. Sarmal Etriye Olarak Çelik, Cfrp Ve Geogrid Kullanılan Kare Kesitli Betonarme Kolonların Yapısal Davranışlarının İncelenmesi. Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Bilim Dalı, 01 06.

- Lim P.J, Mahini S.S Ve Ronagh H.R, 2015. Anchorage Of Web-Bonded Cfrp Retrofitting On Rc Joints With Variable Column & Beam Widths And With Cross-Beams Present. School Of Civil Engineering, University Of Queensland, Australia; Discipline Of Civil And Environmental Engineering, University Of New England, Australia..
- Mertoğlu, 2009. Kesmeye Karşı Cfrp Şeritlerle Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Davranışı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 5 05, P. 117.
- Mesut, 2018. Sarmal Etriye Olarak Çelik, Cfrp Ve Geogrid Kullanılan Kare Kesitli Betonarme Kolonların Yapısal Davranışlarının İncelenmesi. Erzincan Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı / Mekanik Bilim Dalı, 01 06, P. 113.
- Muhammad Masood Ve Ali, 2017. Behavior Of Hybrid (Steel–Cfrp) And Cfrp Bar-Reinforced Concrete Beams In Fire. Journal Of Composite Materials.
- Oğuzhan, 2016. Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi Ve Beton Dolgulu Kutu Kesitli Kolonların Deprem Performansına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı.
- Prince, 2018. Fiber Reinforced Polymers Characteristics And Behaviors. [Online] Available At: <https://www.build-on-prince.com/fiber-reinforced-polymers.html>
- Prof. Dr. Polat, 2018. On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023). 1 Ed. Ankara: Kalkınma Bakanlığı.
- Saeid Ve S. Bahadır, 2019. Betonarme Kolonların Şekil Değiştirme Esaslı Hasar Sınırlarının Araştırılması. Umagd, Issue 2019.
- Salahuddin, Shaukat Ali, Muhammad Usman Ve Mushtaq, 2017. Seismic Vulnerability Assessment Of Cfrp Strengthened Rc Structures. Grağevinar 2/2017.
- Salar Ghafourzadeh, 2014. Betonarme Binaların Deprem Performansının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Belirlenmesi Ve Perde İle Güçlendirmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, 11 08, P. 116.
- Sarıbıyık, 2017. Betonların Güçlendirilmesinde Frp Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımının Etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, P. 9.
- Subaşı, 2018. Cfrp Sargılı Betonarme Kolonların Davranışının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, 05 10, P. 80.

- Şahin Özdoğan, 2020. Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi Konusunda Türkiye'deki Yönetmeliklerin Ve Esasların Karşılaştırmalı Değerlendirmesi. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, 06 01, P. 146.
- Tbdy, 2018. İnsapedia. [Online] Available At: <https://insapedia.com/Tbdy-Deprem-Yer-Hareketi-Duzeyleri-Ve-Spektrumları/> [Accessed 22 11 2018].
- Thomas R., P. Ve S., 2010. Minimum Design Loads For Buildings And Other Structures. 3 Ed. United States Of America: American Society Of Civil Engineers.
- Tsigkourakos, George, Silberschmidt Ve Vadim, 2010. Damage Analysis Of Cfrp Under Impact Fatigue. Wolfson School Of Mechanical And Manufacturing Engineering, Loughborough University, Leicester-Shire, Le11 3tu, Uk.
- Turğut, 2019. Kesme Dayanımı Yetersiz Cfrp İle Güçlendirilmiş Kolon – Kiriş Birleşimlerinin Çarpma Davranışının İncelenmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Türer, A., 2019. Karabon Takviyeli Elyaf Şeritler İle Güçlendirilmiş Ahşap Kalıp Kirişlerinin Çarpışma Yükleme Etkisindeki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 17 06.
- Veysel, 2019. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Tasarımında Maliyet Optimizasyonu İçin Çelik Sistemlerin Kullanılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı, 18 09, P. 93.
- Vlcek Ve Karmazinova, 2013. Behavior Of Composite Timber - Concrete Beam With Cfrp Reinforcement. Institute Of Metal And Timber Structures, Brno University Of Technology..
- Yaseen Ali, 2017. Frp İle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Betonarme Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 01, P. 118.
- Yasir Matloob, 2016. Behavior Of Prestressed Concrete Beams With Cfrp Strands. Pdxscholar.
- Z, C., 2008. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış Ve Çözümleme, İstanbul: Beta Dağıtım.
- Zeynep, 2011. Rijit Ötelenme Hareketine Maruz Mevcut Dolgu Duvarlı Bir Yapının Deprem Performansının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, 22 08, P. 184.

## EKLER

### EK A: Projenin grafik kısmı



Şekil A.1. Binanın ön görünümü

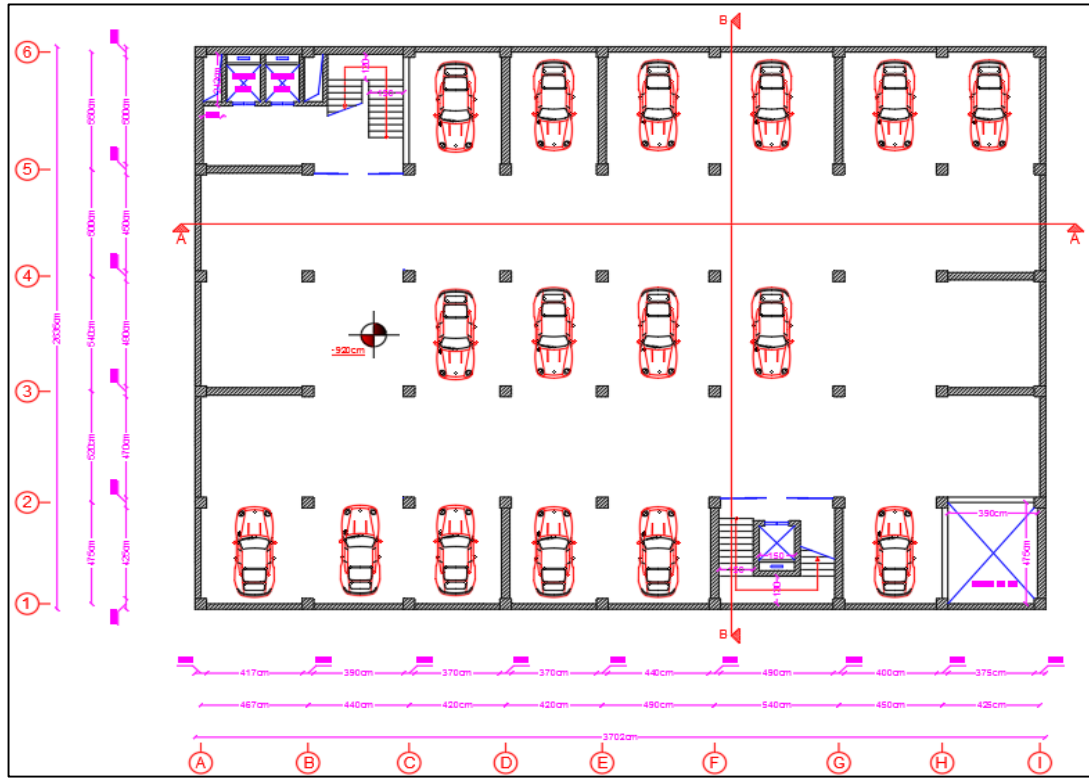


Şekil A.2. Binanın arka görünümü

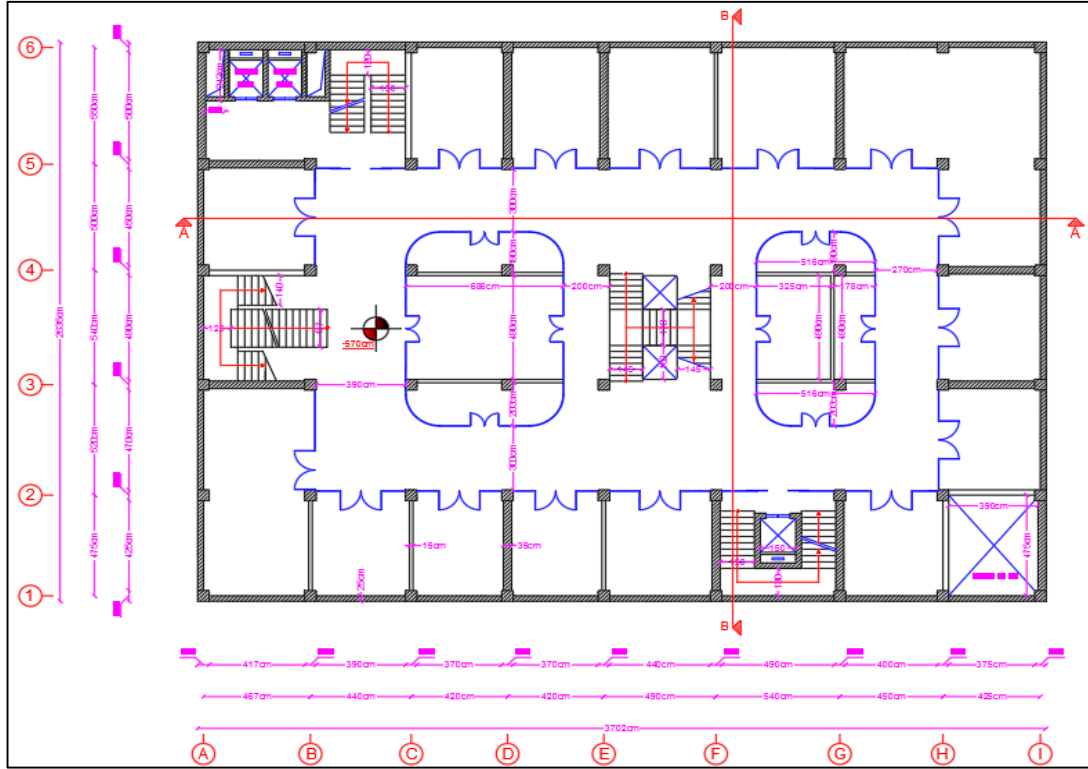




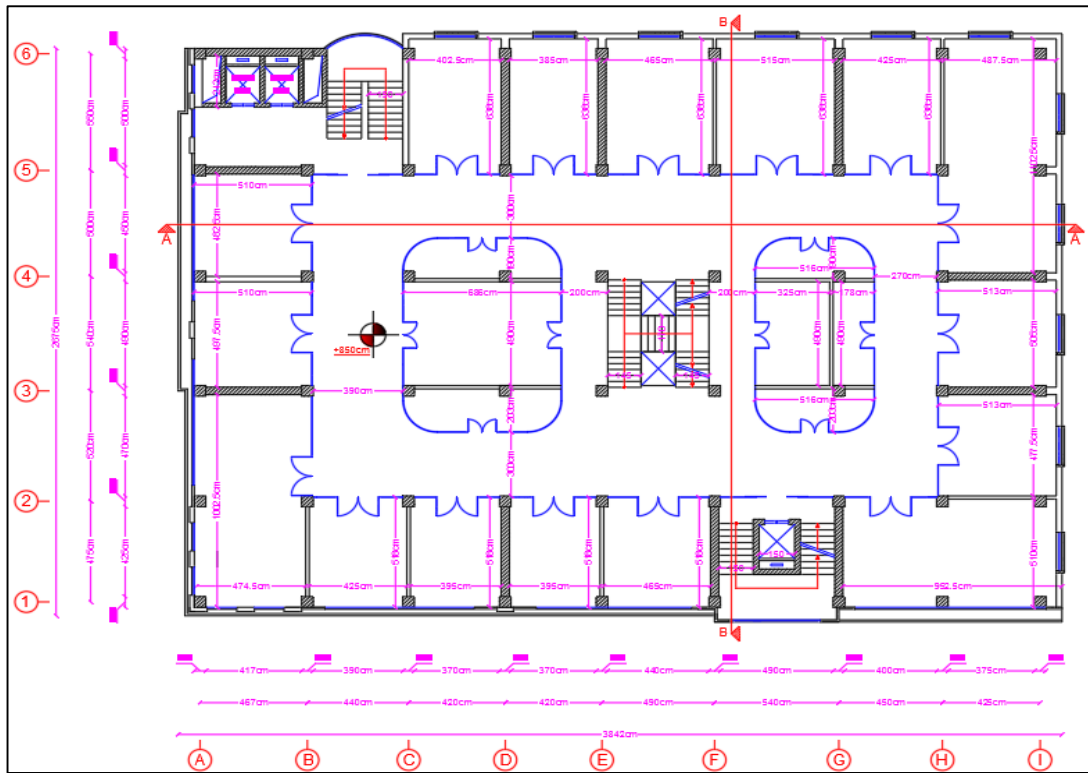
Şekil A.3. Binanın yan görünümü



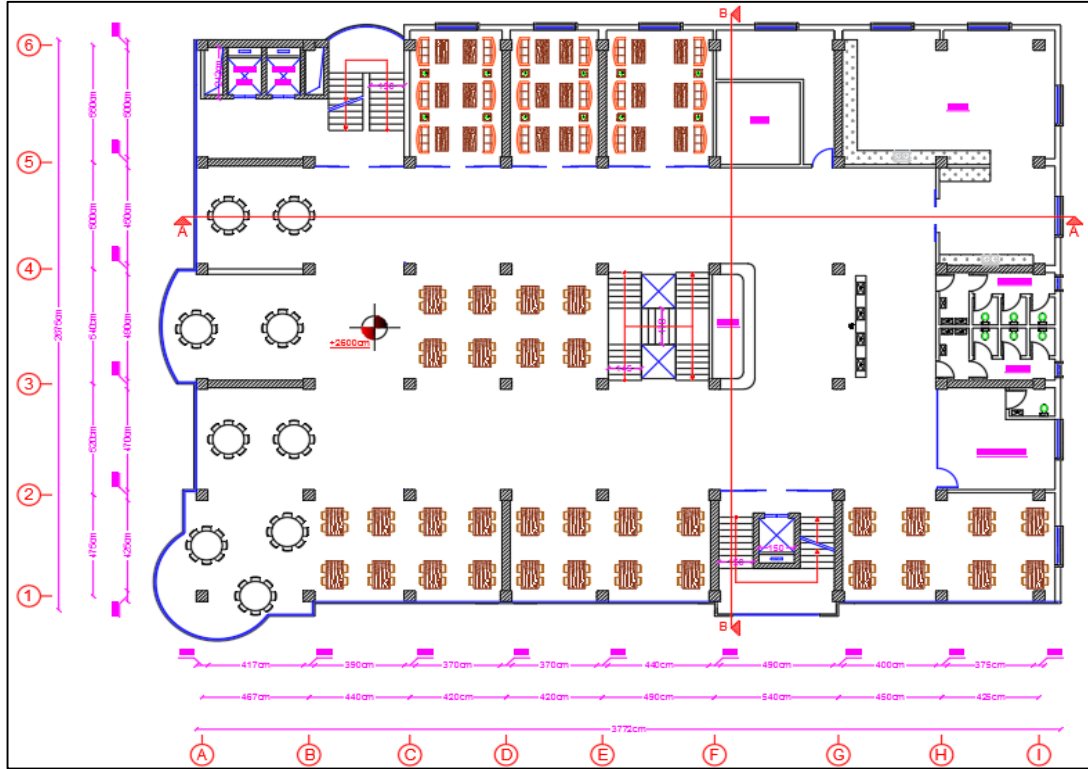
Şekil A.4. Binanın üçüncü yeraltı katın planı



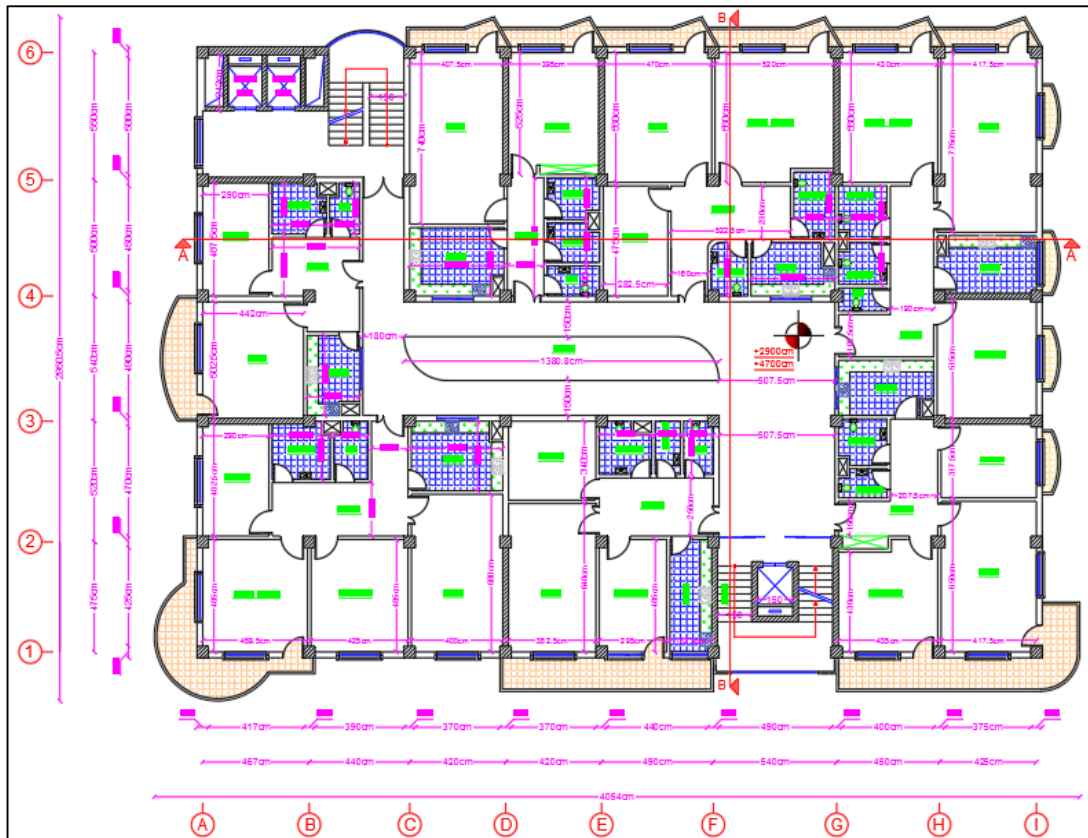
Şekil A.5. Binanın ikinci yeraltı katan birinci kata kadar planı



Şekil A.6. Binanın ikinci katan yedinci kata kadar planı



Şekil A.7. Binanın sekizinci kat planı



Şekil A.8. Binanın döküzüncü katan ön dördüncü kata kadar planı

**EK B: Projenin uygulanan kısmı**

Şekil B.1. Binanın ikinci kat kolon donatısı



Şekil B.2. Binanın ikinci kat kolon kesiti





Şekil B.3. Binanın döküncü kat kolon kesiti



Şekil B.4. Binanın ikinci kat kolon boyutu



Şekil B.5. Binanın üçüncü yeraltı kat (otopark)



Şekil B.6. Binanın döküzcüncü kat kiriş kesiti



Şekil B.7. Binaın arka görünümü

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Faisal GHAFORI

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Endüstri Mühendisliği	2021
Lisans	Aria Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği / Afghanistan	2016
Lise	Sultan Gheyasudain Lisesi	2012

### İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2016-2018	G.R.C Company	Sokak Tasarımcısı
2015-2016	Memahar Shar Constraction Company	Kalite Kontrol
2014-2015	Salim Shabir Constraction Company	Proje Asistanı

### YABANCI DİL

İngilizce

Farsça

Urduca

Türkçe

### ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Investigation of CFRP Behavior on Columns and Beams of Highrise Reinforced Concrete Buildings (Makala).
2. Yırmı Katlı Bir Binanın Tasarım ve Yaptırması (**Proje**).



### 3. 15. km Sokağın Tasarım ve Yaptırması (**Proje**).