

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KOLONLARIN
MOMENT-EĞRİLİK İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurdan Gül KÖROĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR

Ocak 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

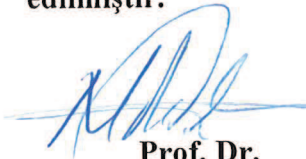
CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KOLONLARIN
MOMENT-EĞRİLİK İLİŞİKİLERİNİN İNCELENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

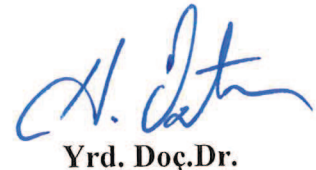
Nurdan Gül KÖROĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 11/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

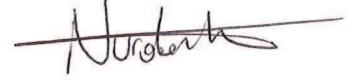

Prof. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Mehmet Emin ARSLAN
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Hakan ÖZTÜRK
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.



Nurdan Gül KÖROĞLU

11.01.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında bana danışmanlık ederek bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve aydınlatan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenim ve tez çalışma aşamam boyunca her yardıma ihtiyacım olduğunda yanımda olup bana desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Gökhan DOK ve Yrd. Doç. Hakan ÖZTÜRK'e, farklı anabilim dallarında olsalar dahi yüksek lisans sürecimi daha güzel ve anlamlı kılan her zaman manevi desteklerini yanımda hissettiğim Arş. Gör. Fatma DEMİR ve Arş. Gör. Esra DOBRUCALI hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Her anımda güzel dileklerini ve beni cesaretlendirmelerini esirgemeyen lise arkadaşlarım Merve Naz KAYA, Sena KOÇALI, İslim Zeynep ÇİFTÇİ, Betül AKIN ve Eda Zeynep ILGAZ'a canı gönülden teşekkürü borç bilirim. Yüksek lisans öğrenimimde tanıştığım ve yol arkadaşlarım olarak gördüğüm İnşaat Yük. Müh. Nadır ALOLABİ ve Arş. Gör. İlker SUBAŐI'ya yardımları ve destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini, bir ebeveynin yapabileceği tüm fedakarlıkları evlatlarından esirgemeyen, haklarını yapabileceğim hiçbirşey ile ödeyemeyeceğim çok değerli annem ve babama, hayata gözlerimi açtığım andan itibaren arkamda olduğunu bana hissettiren ve bana her konuda yol göstericim olan ablam Metalurji ve Malzeme Yük. Müh. Münevver KÖROĞLU'na sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	3
1.2. Tezin Kapsamı ve Amacı	5
1.3. Tezin Organizasyonu.....	6
BÖLÜM 2.	
BETONARME KOLONLARIN FİBER TAKVİYELİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ	7
2.1. Fiber Takviyeli Polimerler ile Güçlendirme.....	8
2.1.1. Karbon FRP.....	9
2.2. Fiber Takviyeli Polimerlerin Uygulanması.....	9
2.2.1. FRP kumaşların uygulaması.....	10
2.2.2. FRP plakaların uygulaması.....	10
BÖLÜM 3.	
MOMENT-EĞRİLİK İLİŞKİSİ.....	13

3.1. Moment Eğrilik İlişkisinin Belirlenmesi.....	15
3.2. Malzeme Modelleri.....	17
3.2.1. FRP sargılı beton modeli.....	17
3.2.2. FRP malzeme modeli.....	21
3.2.3. Donatı çeliği modeli.....	22
BÖLÜM 4.	
GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR TABANLI KOD	23
4.1. MATLAB Tabanlı Bilgisayar Kodun Doğrulanması.....	23
BÖLÜM 5.	
SAYISAL ÇALIŞMA.....	27
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	46
5.1. Sonuçlar	46
5.2. Öneriler	47
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ	51

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_s	: Kolon kesit alanı
b	: Kolon kesit genişliği
c	: Tarafsız eksen derinliği
CFRP	: Karbon takviyeli polimer
D	: Dairesel kolonun çapı
$d\phi$: Elastik eğride iki komşu nokta arasındaki açı
dx	: Elastik eğride iki komşu nokta arasındaki mesafe
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_j	: FRP malzemesinin elastisite modülü
EI_e	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
f'_c	: Mevcut beton dayanımı
f'_{cu}	: Betonun nihai dayanımı
f_{tu}	: FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış yanal gerilmesi
f'_{tu}	: FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış etkili yanal gerilmesi
FRP	: Fiber takviyeli polimer
F_{ju}	: FRP malzemesinin çekme dayanımı
GPa	: Giga Pascal
k_e	: Sınırlandırma etkililik katsayısı
MPa	: Mega Pascal
M_u	: Kesitin kırıldığı andaki moment
M_y	: Kesitteki çekme donatısının aktığı andaki moment
N_{max}	: Kolona etkiyen maksimum normal kuvvet
P	: Uygulanan yük
r_c	: Kolon kesiti köşe yuvarlaklığı
TDY2007	: Türk Deprem Yönetmeliği 2007
ε_c	: Birim deformasyon değeri

ε_{cu}	: Kolonun nihai dayanımının şekil değiştirmesi
ε_s	: Çekme donatısı şekil değiştirmesi
ε_{sh}	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim deformasyonu
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma anındaki birim deformasyonu
ε_{sy}	: Donatı çeliğinin akma anındaki birim deformasyonu
ε_t	: FRP malzemesinin aktif hale geçtiği noktasındaki deformasyon
ε_{jt}	: Kolonun nihai dayanımının şekil değiştirmesi
σ	: Gerilme
ρ	: Elastik eğride iki komşu noktanın arasında açđ ile mesafesi
ρ_j	: FRP malzemesinin hacimsel oranđ
ρ_l	: Boyuna donatının alan oranđ
t_j	: FRP malzemesinin kalınlıęđ

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası	1
Şekil 1.2. Hasarlı kolon örnekleri	2
Şekil 2.1. FRP çeşitlerinin ve çeliğin gerilme-şekil değiştirme grafiği [18]	8
Şekil 2.2. CFRP örneği	9
Şekil 2.3. FRP ile güçlendirme uygulamaları	11
Şekil 3.1. Eksenel yük ve eğilme etkisinde deforme olmuş eleman parçası [28]	14
Şekil 3.2. Bilineer moment-eğrilik grafiğinin genel yapısı [29]	15
Şekil 3.3. Moment-eğrilik ilişkisi için katmanlı modelleme yöntemi.....	17
Şekil 3.4. Geliştirilen MATLAB kodun You-Yi Wei ve ark. tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılması.....	21
Şekil 3.5. FRP malzemesinin gerilme deformasyon ilişkisi.....	22
Şekil 3.6. Donatı çeliği modelinin gerilme deformasyon ilişkisi [13]	22
Şekil 4.2. Iacobucci R.D'nin deneyleri ile MATLAB kodunun karşılaştırılması	24
Şekil 5.1. Kullanılan beton kesitleri	30
Şekil 5.2. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	31
Şekil 5.3. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	31
Şekil 5.4. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	32
Şekil 5.5. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	32
Şekil 5.6. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	33
Şekil 5.7. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	33

Şekil 5.8. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	34
Şekil 5.9. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	34
Şekil 5.10. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	35
Şekil 5.11. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	35
Şekil 5.12. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	36
Şekil 5.13. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	36
Şekil 5.14. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	37
Şekil 5.15. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	37
Şekil 5.16. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	38
Şekil 5.17. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	38
Şekil 5.18. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	39
Şekil 5.19. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	39
Şekil 5.20. 18MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	40
Şekil 5.21. 18MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	40
Şekil 5.22. 18MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun aksenal yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	41
Şekil 5.23. 18MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun aksenal yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	41

Şekil 5.24.	18MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	42
Şekil 5.25.	18MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	42
Şekil 5.26.	30MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	43
Şekil 5.27.	30MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	43
Şekil 5.28.	30MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	44
Şekil 5.29.	30MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	44
Şekil 5.30.	30MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	45
Şekil 5.31.	30MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi.....	45

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. CFRP genel özellikleri	8
Tablo 4.1. Iacobucci ve ark [5] kullandıkları numunelerin özellikleri	24
Tablo 5.1. Analizi yapılan parametre değerleri	28
Tablo 5.2. CFRP çeşitlerinin mekanik özellikleri	29
Tablo 5.3. Hesaplanan N_{max} ve seçilen normal kuvvet değerleri	29
Tablo 5.4. Sayısal çalışma için kullanılan değerler	30

ÖZET

Anahtar Kelimeler: CFRP, fiber takviyeli polimerler, güçlendirilmiş betonarme kolon, MATLAB.

Ülkemizde ve dünyada son yıllarda yaşananılan depremler sonucu ortaya çıkan can kayıpları ve hasarlar, mevcut yapıların depremlere karşı yetersizliğini gözler önüne sermiş ve güçlendirme ihtiyaçlarını ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada; MATLAB tabanlı bilgisayar programında geliştirilmiş olan kod yardımıyla betonarme kolonların aksenal yük düzeyi yüksek ve düşük olmak üzere iki farklı değer için kesit boyutu, CFRP kalınlığı ve beton dayanımı gibi parametrelerinin moment eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiş ve yorumlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlarda, beton dayanımı arttıkça her iki aksenal yük düzeyi için güçlendirilmiş betonarme kolonun sünekliği, dayanımı ve rijitliğinin arttığı söylenebilir. Kullanılan CFRP kalınlığının artışı sonucunca ise aksenal yük düzeyi yüksek olan değerde güçlendirilmiş betonarme kolonun sünekliği ve dayanımı artarken, rijitliğin başlangıç değerinde sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Öte yandan CFRP kalınlığının artışı aksenal yük düzeyi düşük olan değerde ise güçlendirilmiş betonarme kolonun sünekliği, dayanımı ve rijitliği arttırdığı gözlemlenmiştir.

INVESTIGATION OF MOMENT-CURVATURE RELATIONS OF CFRP JACKETED RC COLUMNS

SUMMARY

Keywords: CFRP, polymer fiber, concrete column strengthening, MATLAB

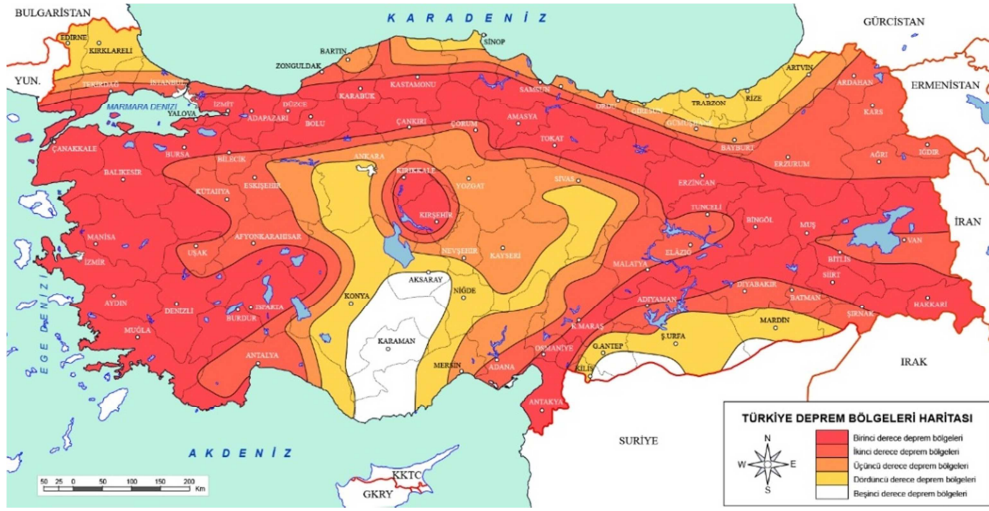
Since earthquakes have great influence, in our country and the world, on the loss of lives and damage generation in buildings, the need for strengthening existing structures and structural elements is required.

In this study and by using a computer code developed and based on MATLAB computer program, and by changing different parameters, like concrete strength, section dimensions, FRP thickness, and different axial loads, the effect of strengthening concrete columns using FRP materials is analyzed, and the results are examined and commented on.

Under the two different axial loads, ductility, strength and rigidity of the strengthened concrete using FRP is affected by increasing the concrete compressive strength. Moreover, the thickness of FRP sheets used for strengthening have a considerable affect on strength and ductility of the column when applying the bigger axial load, but the rigidity is unchanged. On the other hand, under the smaller axial load and by increasing FRP thickness all of concrete column characteristics, ductility, Strength and rigidity, are increased.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada en tehlikeli doğal afetlerden biri olarak kabul edilen depremler, tarih boyunca farklı bölgelerde can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Bilindiği gibi ülkemiz aktif bir deprem kuşağı içerisinde yer almaktadır. Ülkemizin yüz ölçümünün % 42'si birinci derecede olmak üzere %92'si deprem kuşağı üzerindedir (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler ağır hasarlara ve can kayıplarına sebep olmuştur. Türkiye'nin geçmiş yıllarda yaşadığı en büyük ve ağır depremlerden biri olan 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde yaklaşık 17.000 kişi hayatını kaybetmiş, bu sayının yaklaşık üç katı kadar insan yaralanmış ve binlerce insan evsiz kalmıştır. Aynı zamanda yaklaşık 77.000 binanın yıkıldığı ve yaklaşık 245.000'inin ise hasar gördüğü resmi kayıtlarda sunulmuştur. Depremler sonucunda betonarme yapılarda incelenen kolon hasarlarının (Şekil 1.2.) ve genel olarak yapıların deprem davranışı etkisi altında yetersizliklerinin ana sebepleri olarak a) güçlü kiriş zayıf kolon ilişkisi b) uygunsuz sistem tasarımı c) işçilik hataları ve d) yetersiz malzeme kullanımı sıralanabilir.

Marmara depremi, ülkemizde bu tarihten öncesinde inşa edilmiş mevcut binaların çoğunun deprem açısından ciddi riskleri barındırdığını gözler önüne sermiştir [1]. Bu tür güvensiz yapıların güvenli hale getirebilmek için yıkıp tekrardan yapmak çok maliyet ve zaman alacak bir yol olduğundan bu yapıların güçlendirilmesi iyi bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Yapının taşıyıcı elemanlarının deprem etkisi altındaki davranışını iyileştirerek hasar riskini azaltmaya yardımcı olacaktır. Varolan betonarme kolonların güçlendirilmesi birçok yöntem vardır. Başlıcaları; betonarme mantolama, dıştan gerdirme ve çelik ile güçlendirme, tekstil takviyeli harç güçlendirme ve fiber takviyeli polimerler ile güçlendirmedir.



Şekil 1.2. Hasarlı kolon örnekleri

Bilinen geleneksel güçlendirme yöntemlerine (betonarme mantolama, çelik levha ile kılıf veya iskelet geçirme) ek olarak fiber takviyeli polimerler mevcut betonarme kolonların güçlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntem, mevcut betonarme kolonun etrafına yüksek mukavemetli epoksi reçine kullanılarak fiber takviyeli polimerin mevcut betona yapıştırılması sonucu dayanım ve süneklik açısından davranışı iyileştirilmiş yeni bir kolon oluşturulması esasına dayanır [3].

Betonarme yapıların davranışları incelenirken ilk önem verilmesi gereken husus yapıyı oluşturan elemanlarının davranışlarının iyi bir şekilde anlaşılmasıdır. Betonarme yapı ve elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarının bilinmesi sistemin güvenliği için oldukça önemlidir [6]. Betonarme yapıların veya yapı elemanlarının davranışlarını incelemek üzere birçok deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır [2-6, 21-25]. Bu çalışmalarda betonarme yapı ve betonarme yapı elemanlarının davranışlarının gerçekçi bir şekilde modellenildiği ve davranışlarının incelendiği gösterilmiştir.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Betonarme kolonların güçlendirilmesinde birçok farklı metod kullanılmakla beraber bu çalışma kapsamında sadece FRP ile güçlendirme dikkate alındığından literatürdeki bulunan FRP ile güçlendirme çalışmalarında birkaçı aşağıda sunulmuştur.

Betonarme yapılarında fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş kolonlar ile ilgili literatürde birçok deneysel ve nümerik çalışmalar bulunmaktadır. Youssef ve diğerleri [2] tarafından yapılan çalışmada öncelikle FRP ile güçlendirilmiş kolonlar için malzeme modeli oluşturmak için hazırlanan Youssef malzeme modeli sunulmuş ve modelin detayları denklemler halinde verilmiştir. Belirtilen malzeme modelini de kullanarak dairesel ve dikdörtgen kesitli kolonlar kullanılarak FRP ile güçlendirilmiş kolonların deneysel analizleri, nümerik analizlerle karşılaştırılmıştır.

Hosseini ve diğerleri [3] çalışmasında CFRP ile güçlendirilmiş kare kesitli betonarme kolonların davranışını nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Farklı yönetmeliklere göre ayrılmış 3 kolon grubunun aksenal ve tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışları deneysel ve nümerik çalışmalar ile irdelenmiştir. Çalışmanın amacı, yüksek dayanımlı betonlara sahip kolonların CFRP ile güçlendirilmesi ile mevcut kolonun davranışa nasıl etkisi bulunacağını göstermektir.

Iacobucci ve diğerleri [5] çalışmasında 1971 öncesi yapılmış olan hasarlı ya da yetersiz yapı ve köprü kolonları dikkate alınarak hazırlanmış olan 8 farklı kolonun

CFRP ile güçlendirilmesinin kolon dayanımına etkisi incelenmiştir. Kolonlarda güçlendirme kolonun belli bölgelerinde, özellikle kiriş-kolon birleşim bölgeleri, yapılmıştır. Tekrarlı yük ve aksenal yük etkisi altında kolonların davranışları incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonunda CFRP'nin tekrarlı yük ve aksenal yük etkisi altında dayanımın artmasının yanında sünekliğinin ve enerji kapasitesinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Guan [6] tarafından yapılmış olan doktora tezinde FRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonların sismik performansı incelenmiştir. Gerek kullanılan literatürdeki farklı malzeme modelleri gerekse betonarme kolonların şeklini değişken olarak incelendiğinden birçok yönde geniş çaplı nümerik bir çalışma elde edilmiştir. Başta sayılabilecek değişkenler olarak kolon boyutu, FRP çeşidi, beton dayanımı, donatı dizilimi ve oranı, FRP kalınlığı kullanılarak birçok parametre OpenSees programı tabanında incelenmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tüm bu analizler kare ve daire kesitli olmak üzere iki farklı betonarme kolon şeklinde uygulanmıştır. Önerilen analitik modelin geçerliliği deney sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Juntanalikit ve diğerleri [8] CFRP ile güçlendirilmiş dikdörtgen kesitli betonarme kolonların davranışını incelemek üzere 3 farklı gruba ayrılmış kolon gruplarını incelemiştir. Kesit boyutunu ve şeklini sabit tutarak kolon boyu, beton dayanımı ve bindirme boyu gibi parametreleri değiştirerek tekrarlı yük etkisi altında nümerik ve deneysel bir çalışma yapmışlardır.

Teng ve diğerleri [11] tarafından hazırlanmış olan çalışmada FRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonlar ile nümerik çalışma yapılmıştır. Literatürde sismik yük etkisi altında FRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonların nümerik çalışma eksikliğini ilke edinerek hazırlanan bir çalışmadır. Hazırlanmış olan 3 farklı betonarme kolonda hem monotonik hem de tekrarlı yük etkisi altındaki davranışlar araştırılmıştır. OpenSees programı tabanlı hazırlanan kod literatürde bulunan birçok deneysel çalışma ile karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir. Önerilen analitik modelin doğruluğu test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Lo ve diğeri [18] yapmış oldukları sonlu eleman analizi çalışmasında FRP ile güçlendirilmiş farklı geometrik şekillere (dikdörtgen, kare) sahip birçok kolon grubu örneklerinin analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında FRP kalınlığı, beton dayanımı, kolon köşe yuvarlaklığı gibi birçok farklı parametreler ile kolonların analizi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın doğruluğunu göstermek üzere literatürde yapılmış olan deneysel çalışmalar ile yapılan sonlu eleman analizi karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda sonlu eleman analizinin gerçeğe yakın sonuçlar elde edildiği ve köşe yuvarlaklığının oldukça büyük etkisi olduğu tespit edilmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı ve Amacı

Bu tez çalışmasında, fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilen betonarme kolonların davranışlarını incelemek üzere parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, güçlendirilen betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkisini gerçekçi bir şekilde simüle edebilen MATLAB tabanlı bir bilgisayar kodu yazılmıştır. Yapılan parametrik çalışmada, mevcut kolonun beton dayanımı, kolonun kesit boyutları, FRP kalınlığı ve eksenel yük seviyesi olmak üzere farklı durumlar için sayısal analizler yapılmıştır. Literatürdeki çalışmaların genelinde eksenel yük etkisi sabit tutularak analizler yapılmıştır. Bu çalışmada ise kolon davranışı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olan eksenel yük seviyesinin dengeli eksenel yük seviyesine göre yüksek ve düşük değerleri için analizler yapılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların davranışı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuş ve karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında deneysel bir çalışma yapılmamış olup sayısal analizler, çalışma kapsamında geliştirilen MATLAB tabanlı bilgisayar kodu kullanılarak yapılmıştır. FRP sargılı beton davranış modeli ve geliştirilen sayısal model literatürden seçilen deney sonuçları doğrulanmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, fiber takviyeli polimer çeşitlerinden sadece CFRP kullanılmış olup güçlendirme elemanı olarak betonarme kolonlar seçilmiştir. Bunların dışında kalan FRP çeşitleri (cam, aramid vs.) ve yapı elemanları (kiriş, perde vs.) çalışma kapsamında bulunmamaktadır. Ayrıca

yapılan çalışmada kolon kesiti kare olarak seçilmiş olup, dikdörtgen ve daire kesitli kolonlar çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması altı adet bölümden oluşmakla beraber her bir bölümün içerikleri aşağıda sunulmuştur.

Bölüm birde, çalışmanın konusu tanımlanarak ve konu hakkında genel bazı bilgiler verilmiştir. Fiber takviyeli polimerler ile betonarme kolonların güçlendirilmesi ve bu konu ile ilgili daha önceki yıllarda yapılan birkaç çalışmadan kısaca bahsedilmiştir. Bununla birlikte tezin organizasyonu da bu bölümde sunulmuştur.

Bölüm ikide, fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş betonarme kolonlar hakkında sunulan konu ayrıntılı tartışılmıştır.

Bölüm üçte, moment eğrilik ilişkisi ile ilgili bilgiler verilerek moment eğrilik hesaplamalarında kullanılan ana prensipler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca seçilen malzeme modelleri açıklanarak sunulmuştur.

Bölüm dörtte, kullanılan MATLAB tabanlı bilgisayar kodun çalışma prensipleri detaylıca tanıtılmıştır. Geliştirilen sayısal model literatürden seçilen deneysel sonuçlar ile doğrulanmıştır.

Bölüm beşte, FRP ile güçlendirilen betonarme kolonların davranışını belirlemek üzere parametrik bir çalışma yapılmış ve bu parametrik çalışmada doğrulanmış MATLAB tabanlı bilgisayar kodu kullanılmıştır.

Bölüm altıda, elde edilen sonuçlar ve bulgular özetlenerek açıklanmış aynı zamanda bazı öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. BETONARME KOLONLARIN FİBER TAKVİYELİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Güçlendirme, bir yapının veya yapı elemanın yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini veya stabilitesini ya da bunlardan bazılarını mevcut durumunun üstüne çıkarmak için yapılan değişiklikler olarak tanımlanabilir [12]. Yapıların veya yapı elemanlarının güçlendirilme gereksinimi birçok nedenden dolayı oluşabilir. Bu nedenlerden başlıcaları mevcut yük durumunun artışı, yönetmeliklerde yapılan güncellemeler, hasarlı yapı ya da yapı elemanları, yapının kullanım amacının değişmesi olarak sayılabilir.

Geçmiş yıllarda yaşanmış büyük depremler sonucu oluşan hasarlar, ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun yetersizliğini gözler önüne sermiştir. Bu yetersizliklerin başında düzensiz taşıyıcı sistemler, yetersiz donatı oranları ya da yanlış uygulamaları, beton kalitesinin düşük olması sıralanabilir [10]. Bu gibi eksikliklerle deprem kuvvetlerine maruz kalan yapılar ağır hasar veya çökme riski altındadırlar. Olası deprem kuvvetlerini karşılayabilmek için gerekli görülen yapılarda güçlendirme yapılması gerekmektedir.

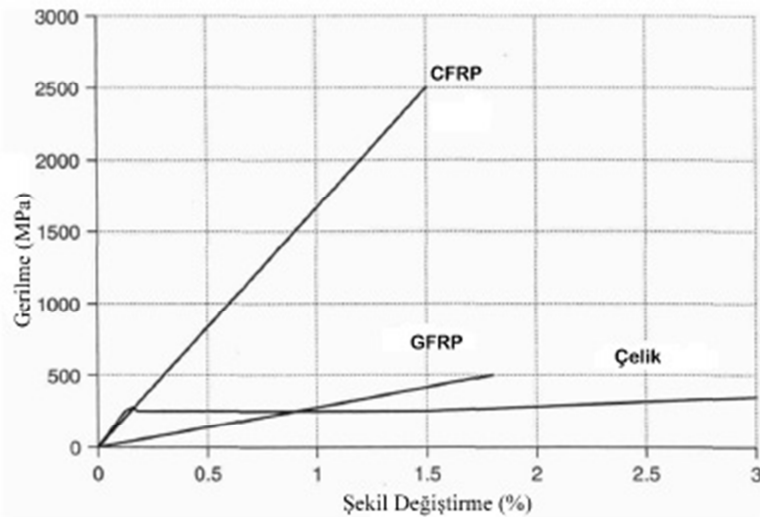
Her yapı kendine özgü yetersizlikler ya da sorunlar içerdiğinden güçlendirme yöntemleri de her yapıya her duruma özgü seçilmeli, standartlaştırılmamalıdır. Mevcut yapıların veya elemanların güçlendirilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan yaygın olarak kullanılanları betonarme mantolama, çelik levha ile kılıf veya iskelet geçirme ve fiber takviyeli polimerler ile güçlendirme.

Uygulama zorlukları, yanlış tasarım veya imalatlar, mimari açıdan ortaya çıkan olumsuzluklar, uygulama süresinin uzunluğu, mevcut yapının ağırlığının aşırı artışı

gibi olumsuz etkenlerden dolayı fiber takviyeli polimerlerle güçlendirme yöntemi diğer güçlendirme yöntemlerinin yanında büyük avantajlar sağlamaktadır.

2.1. Fiber Takviyeli Polimerler ile Güçlendirme

Lif takviyeli polimerler (FRPler), bir polimer reçinesinin içine gömülmüş yüksek mukavemetli liflerden oluşan kompozit elemanlardır [4]. Rijitlik ve mukavemetinin yüksek olmasının yanında uygulandığı zaman sargılama etkisinde, elemanın basınç dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesinde önemli gelişmeler sağlayabilen fiber takviyeli polimerler kullanım alanına göre birçok çeşide sahiptir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları ise karbon, cam ve aramid kompozitleridir. Birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunan FRP çeşitleri farklı uygulama alanlarında uygun sonuçlar vermektedir. Bundan dolayı, fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilecek olan yapı veya elemanın tüm durumlarını gözeterek çeşit seçimi yapılmalıdır. Şekil 2.1.'de CFRP ve GFRP'nin çelik ile gerilme-şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Ayrıca liflerin genel özellikleri Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. FRP çeşitlerinin ve çeliğin gerilme-şekil değiştirme grafiği [18]

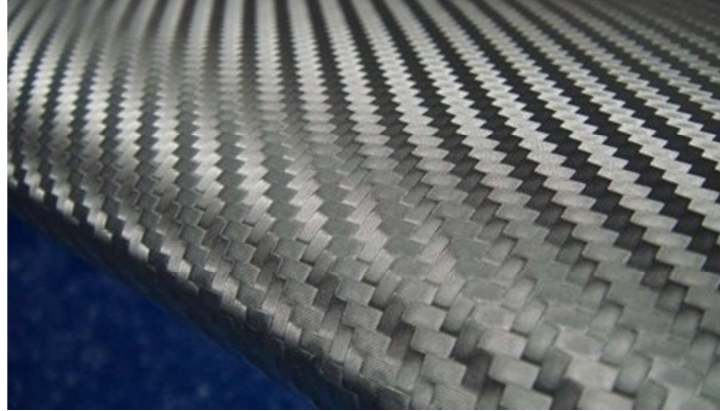
Tablo 2.1. CFRP genel özellikleri

Lif Tipi	Çekme Mukavemeti (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Uzama (%)	Özgül Yoğunluk (t/m ³)
CFRP	2.60-5.49	230-640	0.40-2.10	1.78-2.12

2.1.1. Karbon FRP

CFRP kompozit bir malzeme olup çeşitli karbon liflerinden ve ısı ile sertleşen reçinelerden oluşur. CFRP, yüksek mukavemet ve rijitlik gerektirecek alanlarda en fazla kullanılan fiber takviyeli güçlendirme malzemesidir (Şekil 2.2.).

- a. Kimyasal etkilere karşı oldukça dirençli ve anti korozif malzemelerdir.
- b. Esnek bir malzeme olduğundan istenilen şekle adaptesi kolaydır.
- c. Her türlü eleman ve yapılara uygulanabilirler.
- d. Tasarımı oldukça kolaydır.
- e. Uygulama sırasında herhangi bir makine yada ekipman gerektirmez.
- f. Sehim azaltmasının yanında eğilme dayanımına ve durabiliteye olumlu etkileri fazladır.
- g. Hafif malzeme olduklarından bina ağırlığına herhangi bir olumsuz etkileri yoktur.



Şekil 2.2. CFRP örneği

CFRP, yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip olduğundan çevre şartlarından çok etkilenmezler. Bu nedenle sürekli yük etkisinde olan yapılarda ya da elemanlarda diğer FRP çeşitleri yerine karbon liflerinin kullanılması daha uygundur.

2.2. Fiber Takviyeli Polimerlerin Uygulanması

Fiber takviyeli polimerlerin uygulanma şekli FRP'nin tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

2.2.1 FRP kumaşların uygulanması

FRP uygulamasından önce güçlendirme yapılacak yüzeyin hazırlığı çok önemlidir. Beton yüzeyinde mevcut olan her türlü kirleri gerekli mekanik uygulamalarla temizlenmelidir. Yüzeyde oluşan boşlukları epoksi dolgu malzemesi (epoxy puty) ile pürüzsüzleştirilmelidir. Uygulamaya hazır olan beton yüzeyine yapışkan özelliklik epoksi sürülür ve FRP kumaşı gerdirilerek yapıştırılmalıdır. Epoksi ve fiber takviyeli polimerin birbirine kenetlenip sabitlenmesi için üzerinden rulo gezdirilmelidir.

2.2.2 FRP plakaların uygulanması

Güçlendirme yapılacak yüzeyin hazırlığı için betonun yüzeyinin temizlenerek FRP uygulamasına uygun hale getirilmelidir. En az 2 mm kalınlığında sürülen yapıştırıcı epoksi reçine plakalara uygulanmalıdır. Belirlenen yüzeylere plakalar yerleştirildikten sonra üzerinde rulo gezdirilerek yerine sabitlenir.

FRP uygulamaları farklı alanlarda farklı elemanlar üzerinde uygulanabilmektedir. Şekil 2.4.'te FRP ile güçlendirilmelere örnekler verilmiştir.



Şekil 2.4. a) FRP ile kemer güçlendirilmesi



Şekil 2.4. b) FRP ile kiriş elemanının güçlendirilmesi



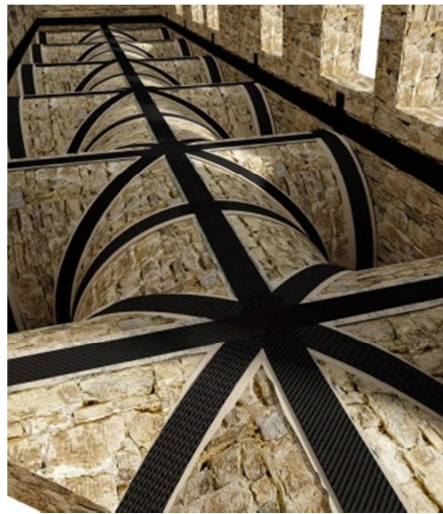
Şekil 2.4. c) FRP ile kolon elemanının güçlendirilmesi



Şekil 2.4. d) FRP ile kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesi



Şekil 2.4. e) FRP ile kubbe güçlendirilmesi



Şekil 2.4. f) FRP ile kemer ve kemer bağıntılarının güçlendirilmesi

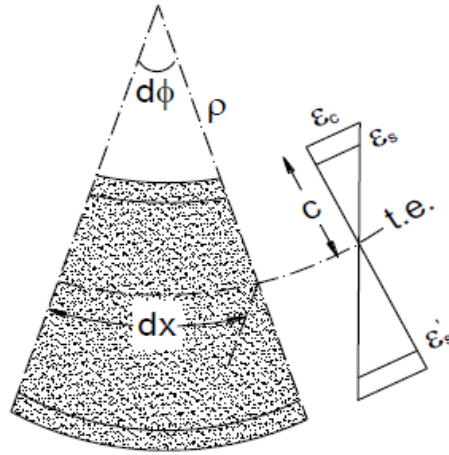
BÖLÜM 3. MOMENT EĞRİLİK İLİŞKİSİ

Kesit davranışının bilinmesi, yapı elemanlarının ve yapının davranışını gerçekçi bir şekilde belirlemede önemli rol oynamaktadır. Kesitte kullanılan malzeme özellikleri, kesit geometrisi gibi faktörler kesit davranışını belirlemektedir. Eğilmeye zorlanan bir kesitin davranışı, moment-eğrilik ilişkisinden gerçekçi bir şekilde incelenebilmektedir. Aynı zamanda, kesit davranışının sünekliği veya gevrekliği, sargılamamanın etkisi, rijitliğin değişimi, boyuna donatının pekleşmesinin mevcut elemana etkisi gibi olayları belirlemede moment-eğrilik ilişkisinden yararlanılır [26-28].

Moment-eğrilik ilişkisinin gerçek davranışa en yakın durumunu elde edebilmek ancak deneysel çalışmalar ile sağlanmaktadır. Ancak her istenilen durumda deneysel çalışma yapmak birçok açıdan zorluklar içerdiğinden, analitik çözüm yöntemleri deneysel çalışmalara alternatif olarak kullanılabilir. Analitik çözümlerde kullanılan analizlerin doğruluğu, kullanılan malzeme modellerinin gerçek davranışı yansıtmasına ve kullanılan analitik çözüm yöntemlerinin gerçekliğe uygunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Eğrilik, kesitteki deformasyonu simgeleyen birim dönme açısıdır. Bu dönme açısı elastik bir eğri üzerinde bulunan iki komşu nokta arasındaki açının, aradaki mesafeye oranıdır.

Şekil 3.1.'de bir elemanın aksenal yük ve eğilme etkisi altında olan oluşan deformasyon şekli ve kesite ait birim deformasyon dağılımı sunulmuştur [28]. Şekil 3.1. doğrultusunda eğrilik bağıntısı ise Denklem 3.1'de tanımlanmıştır.



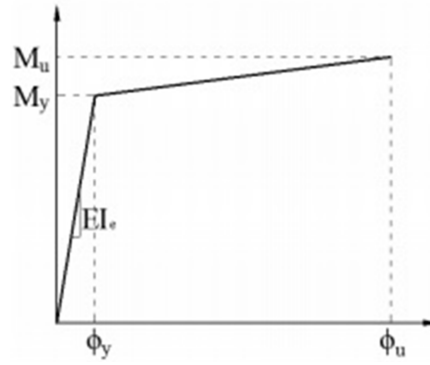
Şekil 3.1. Aksenal yük ve eğilme etkisinde deforme olmuş eleman parçası [28]

$$Eğrilik = \phi = \frac{d\phi}{dx} = \frac{1}{\rho} \quad (3.1)$$

Betonarme kesitler, bilindiği gibi farklı özelliklere sahip malzemelerden meydana gelmektedir. Donatı çeliği, elasto-plastik davranış gösteren ve çekme ile basınç gerilmeleri altındaki davranışlarının aynı olduğu varsayılan bir malzemedir. Beton ise doğrusal bir davranışa sahip olmayan, çekme ile basınç gerilmeleri altında farklı davranış gösteren bir malzemedir. Bundan ötürü, kesit davranışının doğrusal elastik olmadığı anlaşılmaktadır.

Moment eğrilik eğrileri; akma momenti, akma eğriliği, etkin eğilme rijitliği ve eğrilik sünekliği kapasitesini elde etmek amacıyla iki doğru (bilineer) halinde idealize edilir (Şekil 3.2.) [29].

Betonarme eleman kesitinde, etkin eğilme rijitliği (EI_e), moment eğrilik ilişkisinde akma momenti (M_y) ve akma eğriliğinin (ϕ_y) oranı olup, 1. Eğrinin eğimi olarak Denklem 3.2'deki gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 3.2. Bilineer Moment-Eğrilik grafiğinin genel yapısı [29]

$$EI_e = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (3.2)$$

3.1. Moment Eğrilik İlişkisinin Belirlenmesi

Moment eğrilik ilişkisi hesaplanırken önemli üç koşulün sağlanması gerekmektedir. Bunlar;

1. Denge koşullarının sağlanması
2. Uygunluk koşullarının sağlanması
3. Malzeme veya malzemeler için kuvvet deformasyon ilişkilerinin belirlenmesi.

Moment eğrilik değerlerinin doğru bir şekilde elde edilmesi için ilk olarak gerilme birim deformasyon ilişkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise gerilme birim deformasyon ilişkileri, basınç ve çekme bölgeleri için ayrı ayrı oluşturulmalıdır.

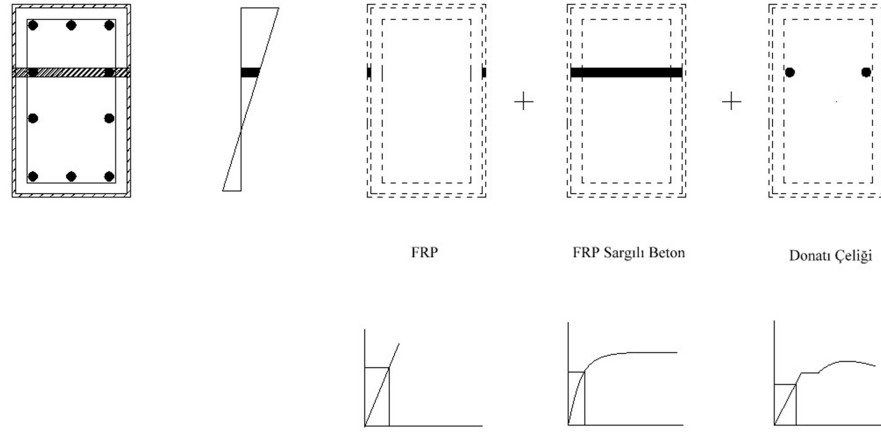
Moment eğrilik ilişkisinin hesabı için izlenecek yol aşağıda detaylıca anlatılmıştır. Çözümde kolaylık sağlaması açısından beton malzemesinin çekme dayanımı ihmal edilmiştir.

- a. Kesitin basınç altında kalan bölgesindeki en dıştaki lif için bir birim deformasyon değeri (ϵ_c) seçilir.

- b. Tarafsız eksen mesafesi (c) için bir değer kabul edilir. Bu değer kabulü ile birim deformasyon dağılımının geometrisi oluşturulmuş olur.
- c. Kesit belirlenen kalınlıklarda şeritlere bölünür ve seçilen her ε_c ve c için her bir şeritin ortasına denk gelen birim deformasyon değerleri uygunluk koşulları dikkate alınarak hesaplanır.
- d. Bir önceki adımda bulunmuş olan birim deformasyon değerleri kullanılarak, her bir şeritte bulunan FRP malzemesi, FRP ile sargılanmış olan beton ve varsa donatı düzeyi için gerilme değerleri hesaplanır.
- e. Her donatı düzeyi ve FRP malzemesi için bulunan gerilme değerleri, o düzeydeki donatı ve FRP alanları ile çarpılarak donatı ve FRP kuvvetleri bulunur.
- f. FRP ile sarılmış betonların basınç bileşke kuvveti, her bir şerit için bulunan gerilme değerleri şeritteki beton alanları ile çarpılarak bulunan beton basınç kuvvetlerinden hesaplanır.
- g. Hesaplanan donatı, FRP ve beton basınç bileşke kuvvetleri ile dış eksenel kuvvetin denge denklemini sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilir. Denge denklemini sağlamıyorsa, b adımına geri dönülerek yeni bir c değeri seçilir. Denge denlemi sağlanana kadar bu işleme devam edilir. Eşitlik sağlandığı zaman bir sonraki adıma geçilir.
- h. Kesitin ağırlık merkezi etrafında iç kuvvetlerin momentleri alınır.
- i. Moment elde edildikten sonra, en dış lif için seçilen birim deformasyon tarafsız eksen derinliğine oranlanır ve eğrilik elde edilir. Böylelikle moment eğrilik eğrisine ait bir nokta elde edilmiş olur.
- j. Daha sonra ilk adıma geri gidilir ve en dış lif için başka bir birim deformasyon değeri alınır. Bu şekilde işlemler tekrarlanarak eğriye ait yeni noktalar elde edilir ve işlem yeterli nokta elde edene kadar devam eder. Tüm noktaların bulunması sonucunda moment eğrilik grafiği elde edilmiş olur.

Moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de “katmanlı modelleme” [20] tekniği ile yapılan hesaplamalardan oluşmaktadır. Bu yöntemde göre kesit, şeritler halinde bölümlenerek her bir şeritte bulunan FRP, FRP sargılı beton ve donatı çeliğine ait birim deformasyona karşılık gelen gerilme değerleri belirlenir

(Şekil 3.1.) ve seçilen belirli bir eğrilik değeri için tüm şeritlerin oluşturduğu eğilme momentleri hesaplanır. Eğilme momentinin hesap adımları artan eğrilik değerleri için tekrarlanılarak kesite ait moment eğrilik ilişkisi belirlenir.



Şekil 3.3. Moment-eğrilik ilişkisi için katmanlı modelleme yöntemi

Katmanlı modelleme tekniği uygulanırken aşağıdaki varsayımlar kullanılmıştır:

- Kesitteki birim deformasyon dağılımının lineerdir
- Donatı ve beton arasında tam aderans vardır
- Boyuna donatıda burkulma yoktur
- Beton ve FRP arasında tam aderans vardır.

3.2 Malzeme Modelleri

Moment eğrilik ilişkisinde, seçilmiş olan malzemelerin modellerinin gerçekliği oldukça önemlidir. Bu nedenle kullanılacak olan malzemelerde en uygun olan malzeme modelleri seçilmelidir.

3.2.1. FRP sargılı beton modeli

Geliştirilen MATLAB tabanlı bilgisayar kodunda kullanılan FRP sargılı beton modelinin gerçek beton modeli davranışını simüle edebilmesi parametrik çalışma sonuçlarının sağlığı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, Fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş kolonlara ait olan malzeme modellerinden Youssef M. ve ark. [2]

tarafından çalışılmış olan literatürdeki bilinen adıyla Youssef malzeme modelinin seçilmesi uygun görülmüştür.

Youssef M ve ark. tarafından hazırlanmış olan bu malzeme modelinde FRP ile güçlendirilmiş farklı geometrilere sahip betonarme kolonların gerilme şekil değiştirme diyagramları elde edilmiş literatürde bulunan deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Malzeme modelinde kullanılan denklemler aşağıda sırasıyla detayları ile sunulmuştur.

Youssef malzeme modeli tanımlasında ilk olarak kullanılacak olan denklem (Denklem 3.3) FRP malzemesinin hacimsel oranını ifade etmektedir.

$$\rho_j = \frac{4t_j}{D} \quad (3.3)$$

- ρ_j : FRP malzemesinin hacimsel oranı
 t_j : FRP malzemesinin kalınlığı
 D : Dairesel kolonun çapı

Bir sonraki adım ise FRP malzemesinin çekme dayanımını (F_{ju}) dikkate alarak hesaplanmakta olan FRP malzemesinin nihai koşullardaki sınırlandırılmış yanal gerilmesini hesaplama olmalıdır (Denklem 3.4)

$$f_{lu} = \frac{1}{2} \rho_j F_{ju} \quad (3.4)$$

- f_{lu} : FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış yanal gerilmesi
 ρ_j : FRP malzemesinin hacimsel oranı
 F_{ju} : FRP malzemesinin çekme dayanımı

FRP malzemesinin nihai koşullardaki sınırlandırılmış etkili yanal gerilmesinin (Denklem 3.5) hesaplanabilmesi için öncelikle kare ve dikdörtgen kesitli kolonlarda kullanılması gereken sınırlandırma etkililik katsayısı (Denklem 3.6) ve boyuna donatının alan oranı (Denklem 3.7) elde edilmelidir.

$$f'_{lu} = k_e x f_{lu} \quad (3.5)$$

$$k_e = \frac{1 - \left[\frac{(b - 2r_c)^2 + (h - 2r_c)^2}{3hb} \right] - \rho_l}{1 - \rho_l} \quad (3.6)$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{bh} \quad (3.7)$$

- f'_{lu} : FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış etkili yanal gerilmesi
 k_e : Sınırlandırma etkililik katsayısı
 f_{lu} : FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış yanal gerilmesi
 h : Kolon kesit yüksekliği
 b : Kolon kesit genişliği
 r_c : Kolon kesiti köşe yuvarlaklığı
 ρ_l : Boyuna donatının alan oranı
 A_s : Kolon kesit alanı

Bir sonraki denklem ise beton dayanımını yardımı ile betonun elastisite modülünün hesaplanması yönünde olmalıdır (Denklem 3.8) .

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.8)$$

- E_c : Betonun elastisite modülü
 f'_c : Mevcut beton dayanımı

FRP ile sarılmış betonun nihai dayanımını bulmak için kesit şekline uygun olan denklem seçilmelidir. Çalışma boyunca kullanılan kesit şekli kare olduğundan FRP ile sarılmış betonun nihai dayanımını bulmak için aşağıdaki eşitlik (Denklem 3.9) kullanılmaktadır.

$$\frac{f'_{cu}}{f'_c} = 0.5 + 1.225 \left(\frac{f'_{lu}}{f'_c} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (3.9)$$

- f'_{cu} : Betonun nihai dayanımı
 f'_c : Mevcut beton dayanımı
 f'_{lu} : FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış etkili yanal gerilmesi

Betonun nihai dayanımına karşılık gelen şekil değiştirmeyi hesaplamak için kullanılan denklem de aynı şekilde kesit şekline göre seçilmelidir. Denklem 3.10'de verilen eşitlik kare veya dikdörtgen kolonun nihai dayanımının şekil değiştirmesini vermektedir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004325 + 0.2625 \left(\frac{f'_{lu}}{f'_c} \right) \left(\frac{f'_{lu}}{E_j} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

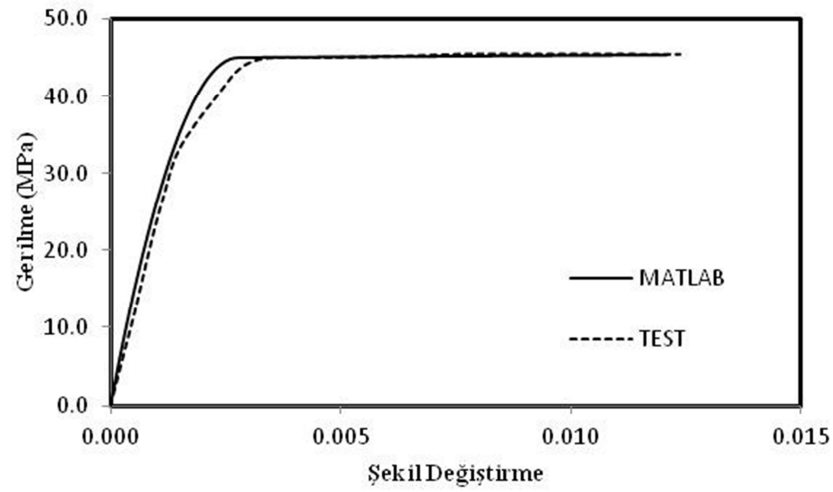
- ε_{cu} : Kolonun nihai dayanımının şekil değiştirmesi
 f'_{lu} : FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış etkili yanal gerilmesi
 f'_c : Mevcut beton dayanımı
 E_j : FRP malzemesinin elastisite modülü

Kullanılmış olan FRP malzemesinin tam anlamıyla aktif hale geçtiği sınır noktasındaki şekil değiştirme değeri aşağıda belirtilen (Denklem 3.11) eşitlikte gösterilmiştir.

$$\varepsilon_t = 0.002 + 0.0775 \left(\frac{\rho_j E_j \varepsilon_{jt}}{f'_c} \right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{f'_{lu}}{E_j} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

ε_t	: FRP malzemesinin aktif hale geçtiği noktasındaki deformasyon
ρ_j	: FRP malzemesinin hacimsel oranı
E_j	: FRP malzemesinin elastisite modülü
ε_{jt}	: Kolonun nihai dayanımının şekil değiştirmesi
f'_{lu}	: FRP nihai koşullardaki sınırlandırılmış etkili yanal gerilmesi
f'_c	: Mevcut beton dayanımı

Hazırlanmış olan Matlab kodunda kullanılmış olan tüm denklemler sonucunda Youssef malzeme modelinin doğruluğunu irdelemek üzere aynı şekilde bu modeli kullanıp gerilme - şekil değiştirme analizi yapmış olan You-Yi Wei ve ark.'nın çalışması incelendi. Elde edilen sonuçlar doğrultusundan hazırlanmış olan malzeme modelinin çalışması doğrulandı (Şekil 3.4.) .

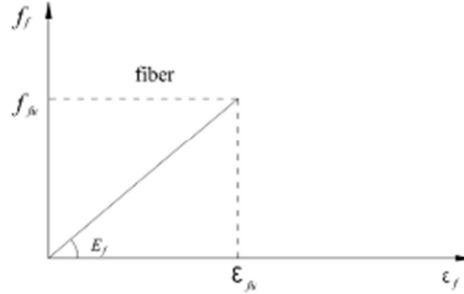


Şekil 3.4. Geliştirilen MATLAB kodun You-Yi Wei ve ark. tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılması

3.2.2 FRP malzeme modeli

CFRP ile sarılmış betonarme kolon için kullanılan malzeme modellerinden biri olan FRP modeli için Şekil 3.5.'te sunulmuş gerilme birim deformasyon grafiği kullanılmıştır. FRP malzemesi beton ve çelikten farklı olarak herhangi bir akma,

kopma vb. noktası bulunmamakla beraber sonsuz doğrusal bir grafiğe sahip olduğu kabul edilir.

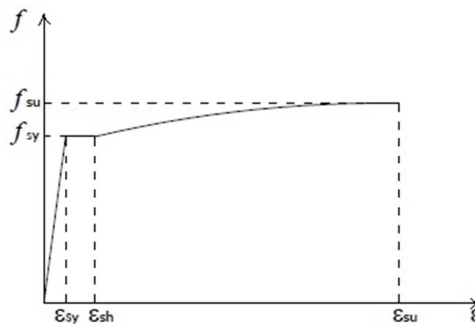


Şekil 3.5. FRP malzemesinin gerilme deformasyon ilişkisi

3.2.3 Donatı çeliği modeli

Donatı çeliğinin, malzeme modelinin gerilme birim deformasyonu eğrisi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Bu eğri, 2007 Deprem Yönetmeliği 7B.2'de verilen pekleşmeyi de göz önünde bulunduran donatı çeliği modelidir [13].

Grafiğe göre çelikteki gerilme f_{sy} ve birim deformasyonu ϵ_{sy} değerine ulaştığı anda çelikte plastik deformasyon meydana gelir. Sabit gerilme altında birim deformasyonunun artışı devam eder. Birim deformasyon değeri ϵ_{sh} değerine ulaştığında çelikte pekleşme başlar ve deformasyon artışı ile gerilme artışı yeniden başlar. Pekleşme devam ederken gerilme değeri çekme dayanımına yani f_{su} ulaşır. Bu noktadan sonra dayanımda azalma meydana gelir ve birim deformasyonu ϵ_{su} ulaştığı anda çelikte kopma gerçekleşir.



Şekil 3.6. Donatı çeliği modelinin gerilme deformasyon ilişkisi [13]

BÖLÜM 4. GELİŞTİRİLEN MATLAB TABANLI BİLGİSAYAR KODU

Bu tez çalışmasında, fiber takviyeli polimerler (FRP) ile güçlendirilen betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkisini gerçekçi bir şekilde simüle edebilen MATLAB tabanlı bir bilgisayar kodu geliştirilmiş ve parametrik bir çalışma yapılmıştır. Geliştirilen bilgisayar kodunun teorik temeli, kullanılan FRP, çelik ve FRP sargılı beton modellerinin detayları bir önceki bölümde detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde ise geliştirilmiş olan MATLAB tabanlı bilgisayar kodun deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak etkinliği gösterilecektir.

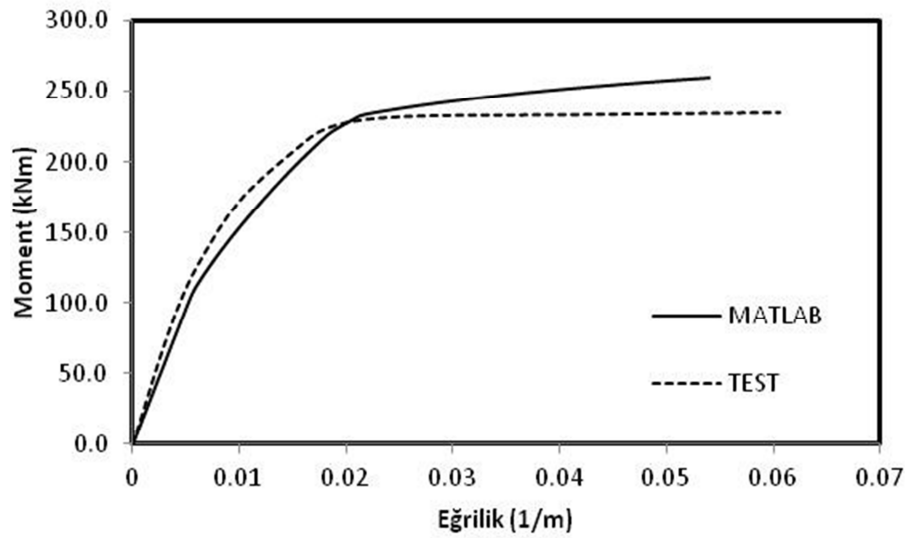
4.3 MATLAB Tabanlı Bilgisayar Kodunun Doğrulanması

Bu çalışma kapsamında geliştirilen MATLAB tabanlı bilgisayar kodu sonuçları ile literatürden seçilen deneysel sonuçlar karşılaştırılarak modelin doğrulanması yapılacaktır. Bu amaçla, FRP ile güçlendirilmiş farklı özelliklere sahip olan 5 adet kolonun deneysel analizleri seçilmiştir [5]. Doğrulama için seçilen kolonların bilgileri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

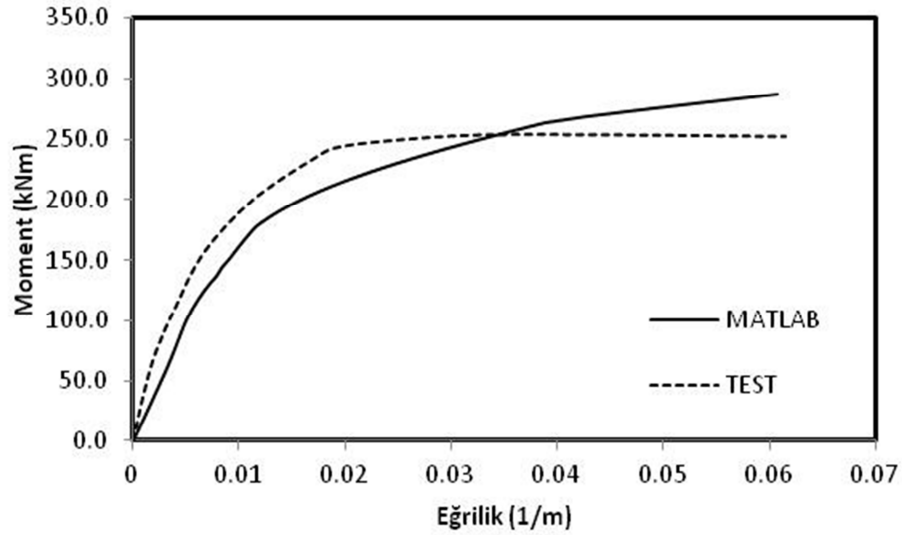
Tablo 4.1. Iacobucci ve ark [5] kullandıkları numunelerin özellikleri

Numune Adı	Beton Dayanımı(MPa)	Kolon Boyutu(mm)	FRP Kalınlığı(mm)	Normal Kuvvet($P/f_c'A_g$)
ASC-2NS	36.5	305x305	1	0.38
ASC-3NS	36.9	305x305	2	0.65
ASC-4NS	36.9	305x305	1	0.65
ASC-5NS	37.0	305x305	3	0.65
ASC-6NS	37.0	305x305	2	0.38

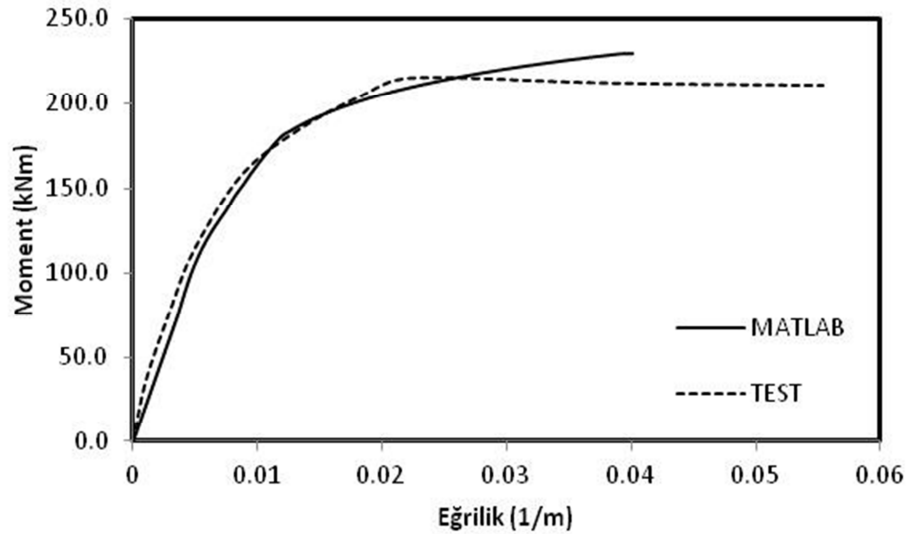
Deneysel sonuçlar ile geliştirilmiş olan MATLAB tabanlı bilgisayar kod sonuçları aynı grafikte sunulularak sonuçlar karşılaştırılmıştır.



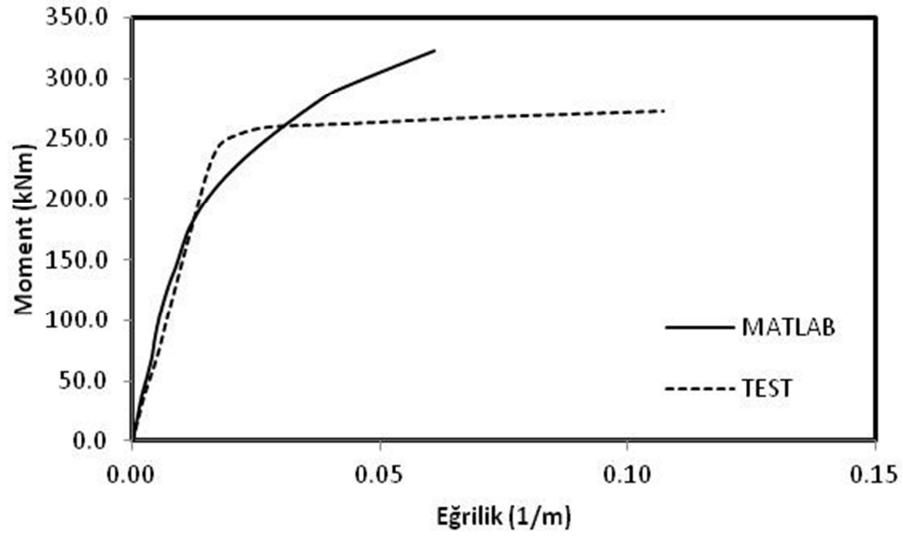
Şekil 4.2.a) Iacobucci R.D. 'nin ASC-2NS isimli modelinin Matlab kodu ile karşılaştırılması



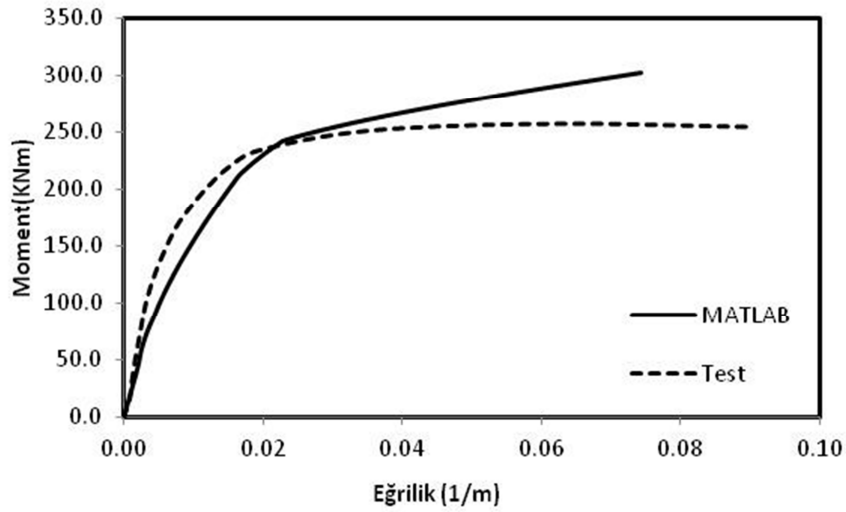
Şekil 4.2. b) Iacobucci R.D. 'nin ASC-3NS isimli modelinin Matlab kodu ile karşılaştırılması



Şekil 4.2. c) Iacobucci R.D. 'nin ASC-4NS isimli modelinin Matlab kodu ile karşılaştırılması



Şekil 4.2.d) Iacobucci R.D. 'nin ASC-5NS isimli modelinin Matlab kodu ile karşılaştırılması



Şekil 4.2. e) Iacobucci R.D. 'nin ASC-6NS isimli modelinin Matlab kodu ile karşılaştırılması

Şekil 4.2.' den de açıkça görüldüğü gibi deney sonuçları [5] ile geliştirilen MATLAB tabanlı kod sonuçları birbirleriyle oldukça uyumludur. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında geliştirilen MATLAB tabanlı kod FRP ile güçlendirilen betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisini belirlemede rahatlıkla kullanılabilir.

BÖLÜM 5. SAYISAL ÇALIŞMA

Geliştirilmiş ve doğruluğu ispatlanmış Matlab tabanlı kodu elde ettikten sonra incelenmek istenilen parametreler belirlenmiştir. CFRP malzemesi ile güçlendirilmiş kolonların moment-eğrilik ilişkileri incelenmek istenildiğinden öncelikle malzeme kalınlığının davranışına etkisini gösterebilmek için 1mm, 2mm ve 3mm kalınlıkları uygulanmıştır. Kesit şeklini kare olarak sabit tutarken kesit boyutları 400x400mm, 500x500mm ve 600x600mm olarak işlemlere tabii tutulmuştur. Son değişken parametre olan beton dayanımının etkisini incelemek için ise 18 MPa, 20 MPa, 25 MPa ve 30 MPa olmak üzere 4 farklı değer kullanılmıştır (Tablo 5.1.) .

Kullanılmış olan FRP çeşidinin mekanik özellikleri ise Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Çalışma kapsamı içerisindeki amaç fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş kolonların farklı aksel yük etkisi altındaki davranışını incelemek olduğu için her kesit için aksel yük düzeyi yüksek ve düşük olmak üzere iki farklı normal kuvvet değerleri seçilmiştir.

Öncelikle her bir kolona ait N_{max} değerleri belirlenmiştir. Aksel düzeyi yüksek değerler için belirlenen noktalar N_1 olarak adlandırılmış olup N_{max} değerinin 0.5 katı olarak belirlenmiştir ($N_1=0.5 \times N_{max}$). Aksel düzeyi düşük değerler için ise belirlenen noktalar N_2 olarak adlandırılıp N_{max} değerinin 0.1 katı olarak işlemlere katılmıştır ($N_2=0.1 \times N_{max}$). Tablo 5.3.'te kullanılan her kesit için N_{max} ve seçilen N_1 ve N_2 değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Analizi yapılan parametre değerleri

Kolon Boyutu (mm)	Beton Dayanımı (MPa)	CFRP Kalınlığı (mm)
400x400	18	1
		2
		3
	20	1
		2
		3
	25	1
		2
		3
	30	1
		2
		3
500x500	18	1
		2
		3
	20	1
		2
		3
	25	1
		2
		3
	30	1
		2
		3
600x600	18	1
		2
		3
	20	1
		2
		3
	25	1
		2
		3
	30	1
		2
		3

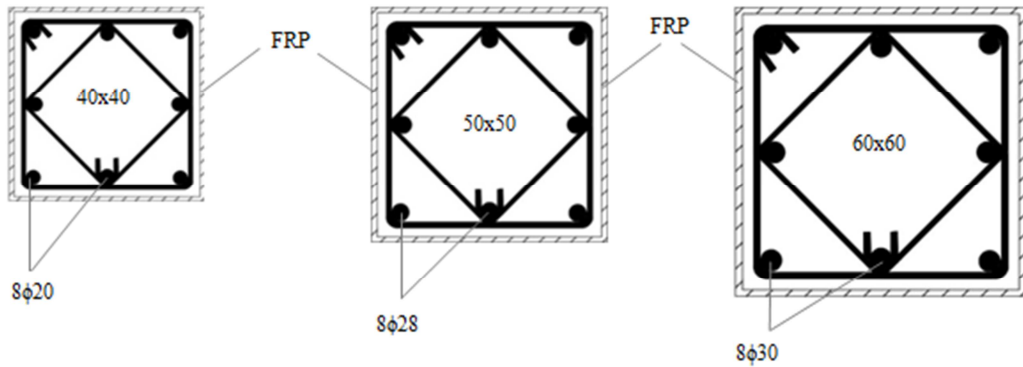
Tablo 5.2. CFRP mekanik özellikleri

	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Gerilmesi (GPa)
CFRP	240	2.60

Tablo 5.3. Hesaplanan Nmax ve seçilen normal kuvvet değerleri

400x400	fc=18MPa	Nmax=4345kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=2172\text{kN}$
			$N_2=0.1 \times N_{max}=434\text{kN}$
	fc=20MPa	Nmax=4660kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=2230\text{kN}$
			$N_2=0.1 \times N_{max}=466\text{kN}$
fc=25MPa	Nmax=5443kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=2721\text{kN}$	
		$N_2=0.1 \times N_{max}=544\text{kN}$	
fc=30MPa	Nmax=6214kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=3107\text{kN}$	
		$N_2=0.1 \times N_{max}=621\text{kN}$	
500x500	fc=18MPa	Nmax=7299kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=3649\text{kN}$
			$N_2=0.1 \times N_{max}=729\text{kN}$
	fc=20MPa	Nmax=7795kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=3897\text{kN}$
			$N_2=0.1 \times N_{max}=779\text{kN}$
fc=25MPa	Nmax=9029kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=4514\text{kN}$	
		$N_2=0.1 \times N_{max}=902\text{kN}$	
fc=30MPa	Nmax=10251kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=5125\text{kN}$	
		$N_2=0.1 \times N_{max}=1025\text{kN}$	
600x600	fc=18MPa	Nmax=9828kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=4914\text{kN}$
			$N_2=0.1 \times N_{max}=982\text{kN}$
	fc=20MPa	Nmax=10550kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=5275\text{kN}$
			$N_2=0.1 \times N_{max}=1055\text{kN}$
fc=25MPa	Nmax=12323kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=6161\text{kN}$	
		$N_2=0.1 \times N_{max}=1232\text{kN}$	
fc=30MPa	Nmax=14085kN	$N_1=0.5 \times N_{max}=7042\text{kN}$	
		$N_2=0.1 \times N_{max}=1408\text{kN}$	

3 farklı kesit boyutu seçildiğinden her biri için donatı hesabı yapılmıştır. Seçilen değişkenlerin etkisi incelemek istenildiğinden dolayı sabit bir donatı oranı üzerinden 3 kesit boyutu için farklı donatı çeşidi seçilmiştir. TDY’de [13,14] verilen standart donatı oranı aralığı $0.01 \leq \rho < 0.04$ bağlı kalınarak 0.015 değeri doğrultusunda donatılar seçilmiştir. 400x400 mm kolon boyutu için 8 ϕ 20, 500x500 mm kolon boyutu için 8 ϕ 28 ve 600x600 mm kolon boyutu için ise 8 ϕ 30 seçilmiştir (Şekil 5.1.) .



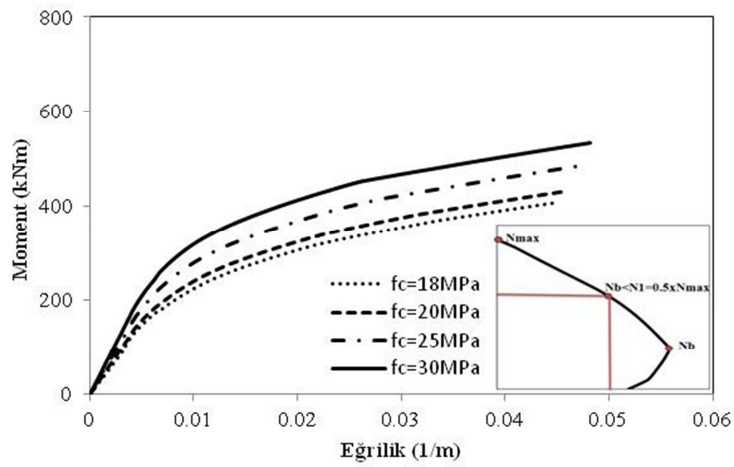
Şekil 5.1. Kullanılan kolon kesitleri

Araştırılan parametrelerden biri olan beton dayanımının moment-eğrilik ilişkisinde etkisini incelemek için farklı üç kolon kesitinde 18MPa, 20MPa, 25MPa ve 30 MPa olmak üzere dört farklı beton dayanımı değeri kullanılmıştır. Seçilen her kolon kesiti için aksenal yük düzeyi yüksek ($N_1=0.5 \times N_{max}$) ve düşük ($N_2=0.1 \times N_{max}$) olmak üzere iki farklı normal kuvvet değeri için ayrı hesaplamalar yapılmıştır. 1 mm, 2 mm ve 3 mm olmak üzere üç farklı FRP kalınlığı kullanıldığından her bir kesit için toplamda 6 farklı analiz yapılmıştır. Ayrıca analizlerde kullanılan diğer bilgiler Tablo 5.4.’te sunulmuştur.

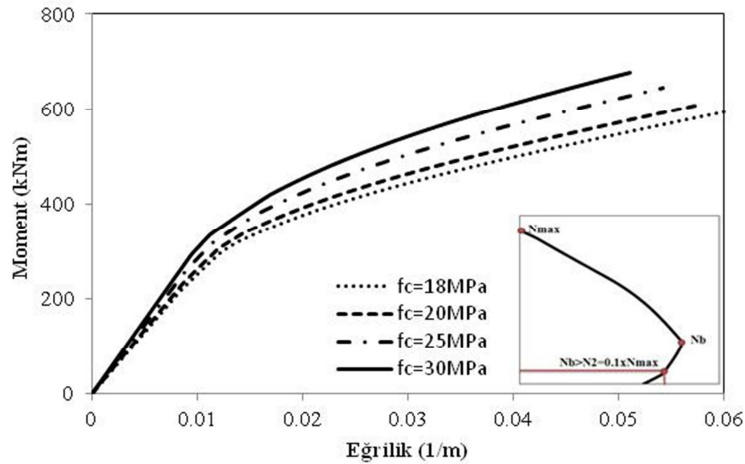
Tablo 5.4. Sayısal çalışma için kullanılan değerler

Kolon Yüksekliği(mm)	Etriye Çapı	Etriye Mesafesi(mm)	Kolon köşe yuvarlaklığı (mm)	Donatı Kalitesi
1500	10	300	16	S420

400x400mm kolon kesitine sahip ve 1 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.2.'de ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.3.'te sunulmuştur. Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi beton dayanımı arttıkça kolonun rijitlik ve dayanımı artarken aynı şekilde süneklilikte de artış gözlemlenmiştir. N_2 değeri seçilerek yapılan analizde (Şekil 5.3.) ise beton dayanımı arttıkça sünekliliğin azaldığı, kolon dayanımının arttığı gözlemlenirken, rijitlikteki artışın ise çok fazla olmadığı görülmüştür.

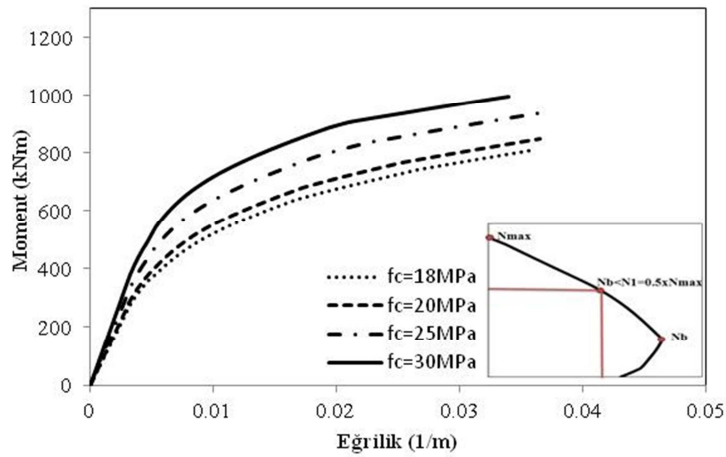


Şekil 5.2. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

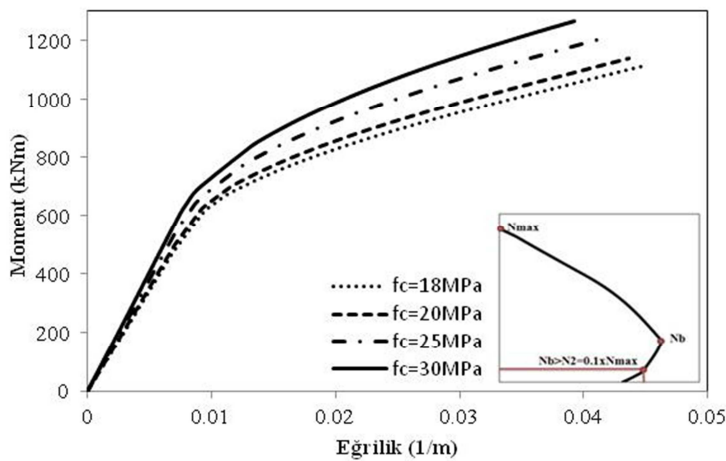


Şekil 5.3. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

500x500mm kolon kesitine sahip ve 1 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.4.'te ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.5.'te sunulmuştur. N_1 değeri seçilerek yapılan analizde (Şekil 5.4.) beklendiği gibi beton dayanımı arttıkça rijitlik ve kolon dayanımı artarken, süneklikte azalmalar olduğu söylenebilmektedir. N_2 değeri seçilerek yapılan analizde (Şekil 5.5.) ise beton dayanımı arttıkça sünekliğin aynı şekilde azaldığı, kolon dayanımının yaklaşık yüzde %18 arttığı fakat bunların yanı sıra rijitlik önemli derecede değişiklik göstermemiştir.

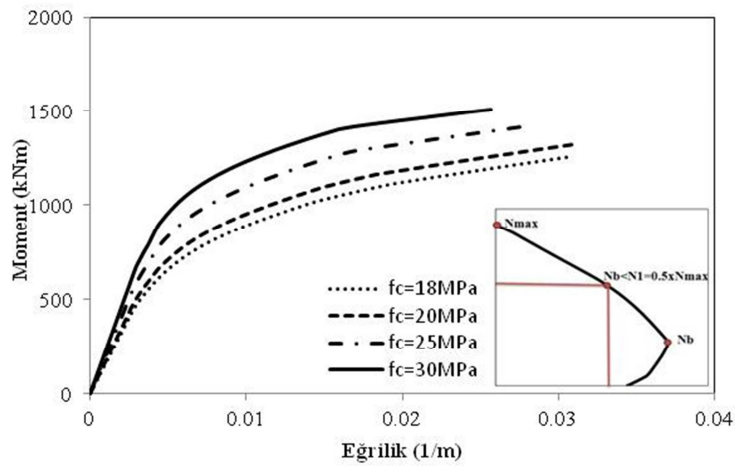


Şekil 5.4. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

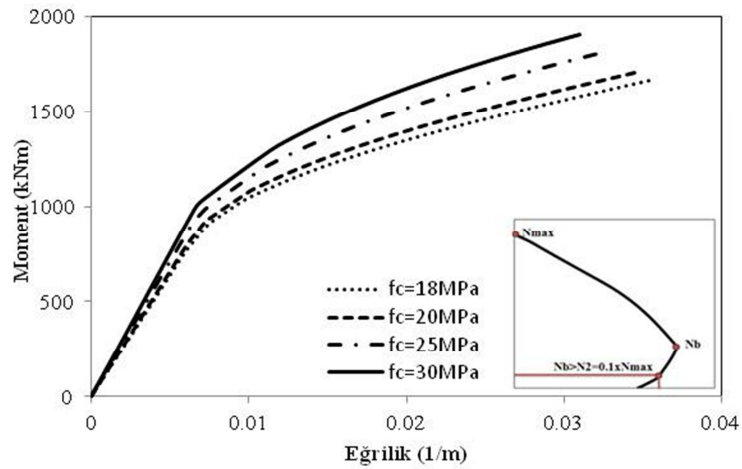


Şekil 5.5. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

600x600mm kolon kesitine sahip ve 1 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi aksel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.6.'da ve aksel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.7.'de sunulmuştur. Diğer kolon boyutlarında görüldüğü gibi N_1 değerine göre yapılan analizlerde rijitliğin ve dayanımın ciddi anlamda artış yaparak değişiklik gösterdiği bu kolon kesitinde daha iyi bir şekilde görülmektedir. Süneklik kavramı da aynı şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. N_2 değerinde ise kolon dayanımının yaklaşık %18 artış gösterirken, süneklik beton dayanımı artarken azalsa ve rijitlik artsa bile kolon dayanımına kıyasla çok fazla değişim göstermemiştir.

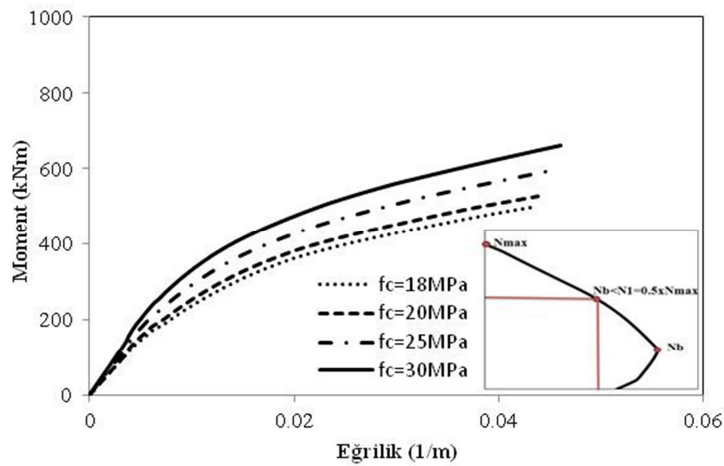


Şekil 5.6. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

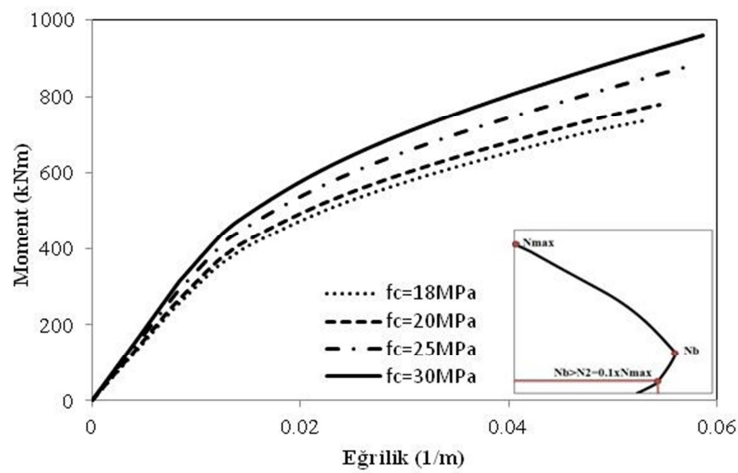


Şekil 5.7. 1mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

400x400mm kolon kesitine sahip ve 2 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.8.'de ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.9.'da sunulmuştur. N_1 değerinin uygulandığı Şekil 5.8.'de beton dayanımının artması ile kolon dayanımının yaklaşık olarak 100 kNm kadar arttığı gözlemlenebilmektedir. Bunun yanı sıra rijitlik ve süneklik önemli ölçüde artış göstermiştir. Aynı şekilde N_2 değeri uygulanan kolonlarda ise kolon dayanımı ve süneklik gözle görülür şekilde artışı gözlemlenirken, artan beton dayanımının karşısında rijitlik neredeyse aynı değerlerde kalmıştır (Şekil 5.9.).

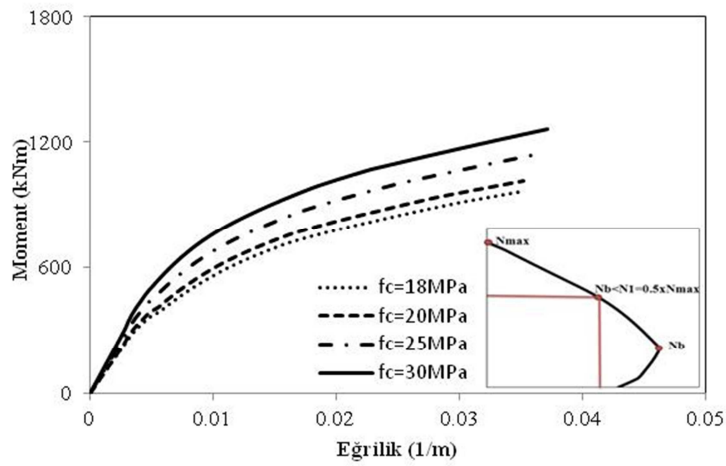


Şekil 5.8. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

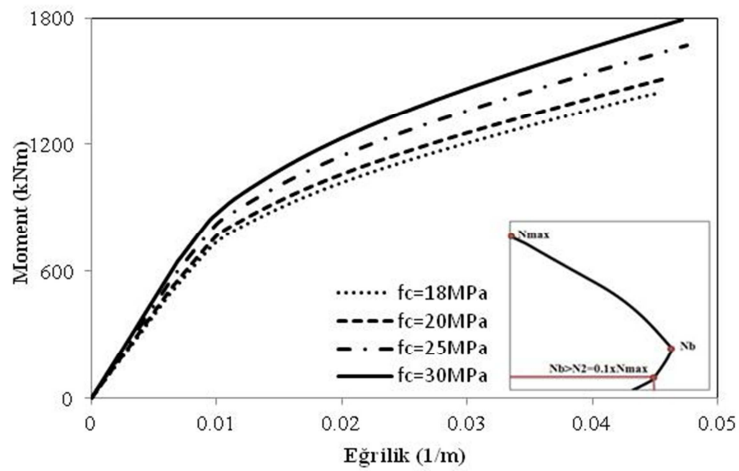


Şekil 5.9. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

500x500mm kolon kesitine sahip ve 2 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.10.'da ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.11.'de sunulmuştur. Şekil 5.10.'da artan beton dayanımında sünekliğin, kolon rijitliğinin ve dayanımının artması göze çarpmaktadır. Kolon dayanımı N_1 değerinde yaklaşık %50 artış gösterirken N_2 değerinde yaklaşık %30 artış göstermiştir. Bunun yanında Şekil 5.11.'den açıkça anlaşılacağı gibi, eksenel yük düzeyi düşük olan bölgede seçilen normal kuvvetlerin süneklik ve kolon dayanımına etkisi açıkça gözlemlenirken, rijitlikte çok az değişim elde etmiştir.

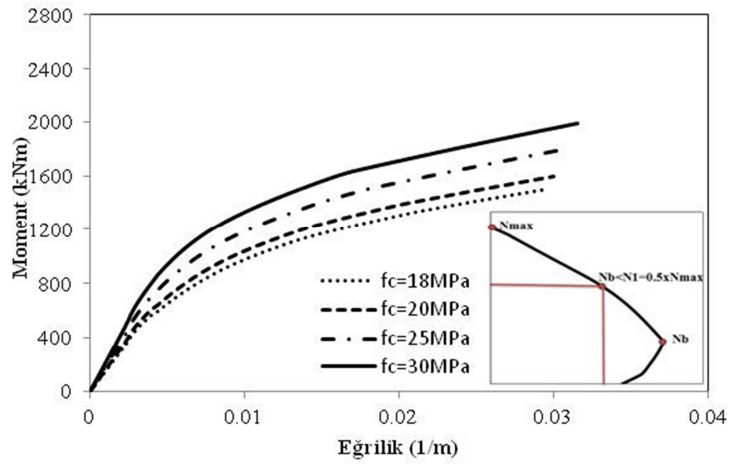


Şekil 5.10. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

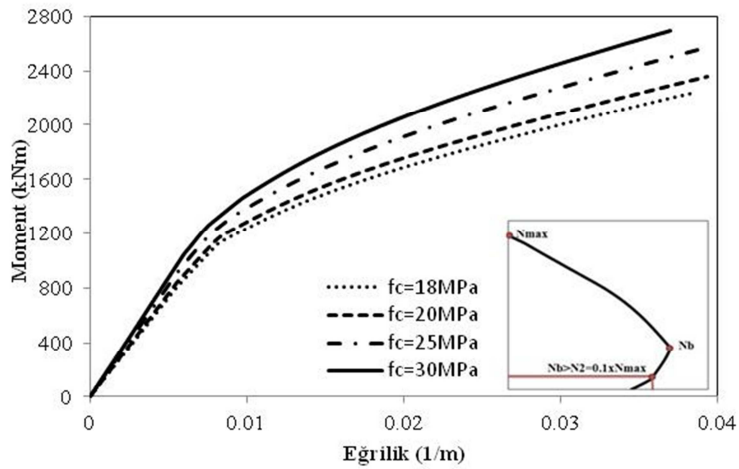


Şekil 5.11. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

600x600mm kolon kesitine sahip ve 2 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi aksel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.12.'de ve aksel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.13.'te sunulmuştur. Şekil 5.11.'den beton dayanımı rijitliği ve sünekliliği gözle görülür şekilde arttırmış, kolon dayanımında ise yaklaşık %50'a varan artış gözlemlenmiştir. Şekil 5.12.'de ise rijitlik gözle görülür bir şekilde artmazken, kolon dayanımında artış gözlemlenmiştir. Süneklilik ise seçilen bu normal kuvvet değerleri için beton dayanımı arttıkça azalma olduğu söylenebilmektedir. Beklenildiği gibi N_2 değerindeki moment kapasiteleri, N_1 değerindeki moment kapasitelerine göre daha büyüktür.

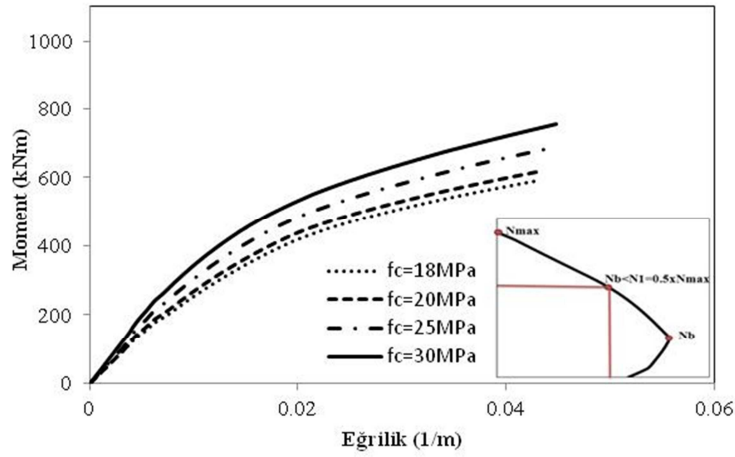


Şekil 5.12. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

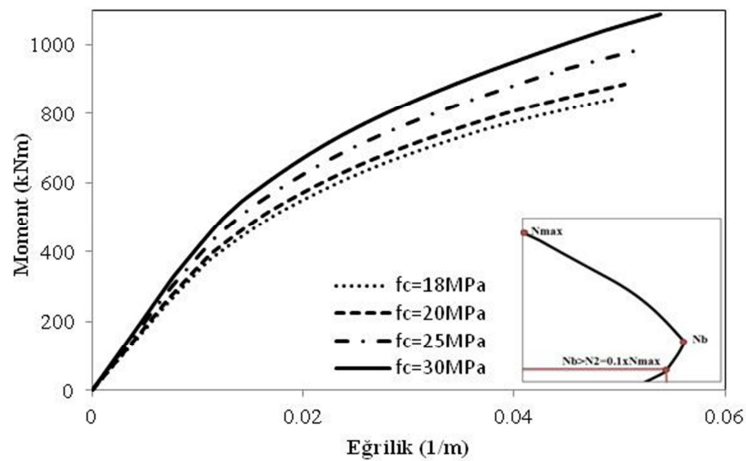


Şekil 5.13. 2mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun aksel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

400x400mm kolon kesitine sahip ve 3 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.14.'te ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.15.'da sunulmuştur. Şekil 5.14. ve 5.15.'ten de görüldüğü gibi güçlendirilen betonarme kolonların beton dayanımı arttıkça, eksenel yük düzeyinin hem yüksek hem de düşük değerleri için rijitlik, dayanım ve sünekliklerinde önemli iyileşmeler oluşmaktadır. Öngörüldüğü gibi N_2 değerleri sonucunda elde edilmiş olan moment kapasiteleri N_1 değerleri sonucunda elde edilmiş moment kapasitelerine göre yüksek çıkmıştır.

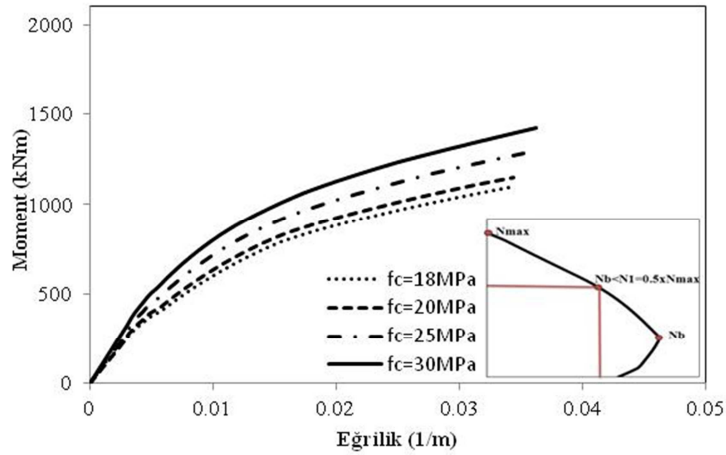


Şekil 5.14. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

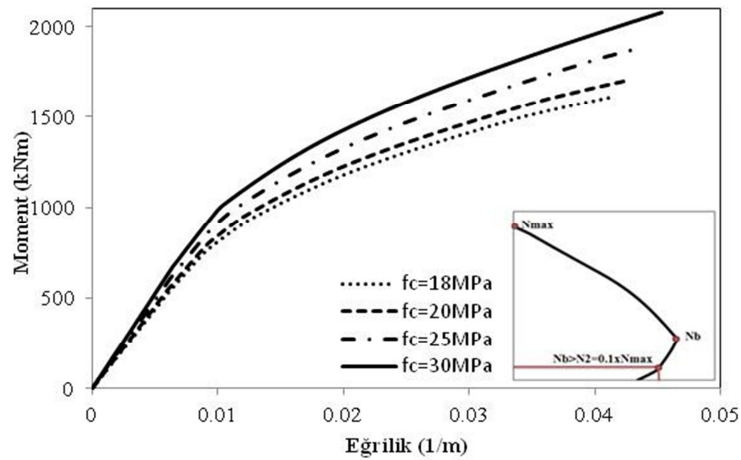


Şekil 5.15. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

500x500mm kolon kesitine sahip ve 3 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi aksel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.16.'da ve aksel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.17.'de sunulmuştur. Bu kolonlarda kesit boyutları ile CFRP kalınlığı sabit tutulmuş ve farklı beton dayanımları için davranışları incelenmiştir. Şekil 5.16. ve 5.17.'den de görüldüğü gibi güçlendirilen betonarme kolonların beton dayanımı arttıkça, aksel yük düzeyinin hem yüksek hem de düşük değerleri için rijitlik, dayanım ve sünekliliklerinde önemli iyileşmeler oluşmaktadır. Güçlendirilen betonarme kolonların davranışlarındaki iyileşmeler beton dayanımının daha yüksek değerlerinde çok daha belirgin olarak gözlemlenmiştir.

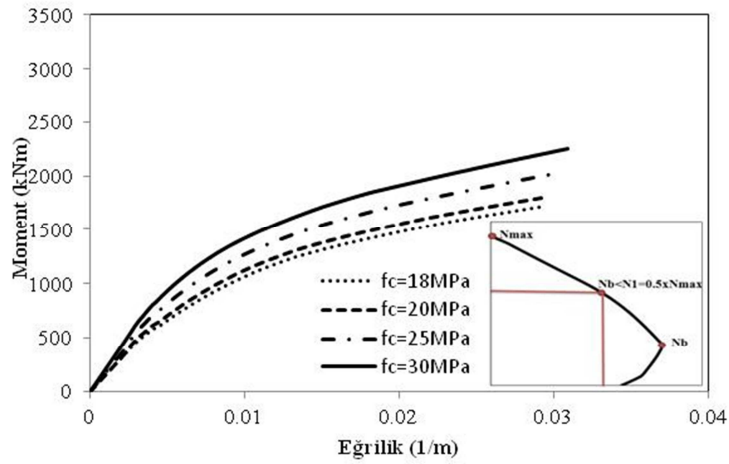


Şekil 5.16. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun aksel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

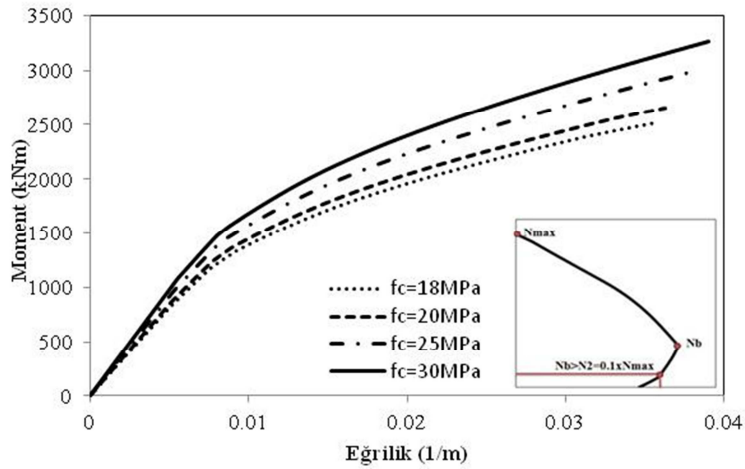


Şekil 5.17. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 500x500 kolonun aksel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

600x600mm kolon kesitine sahip ve 3 mm CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) olması durumları için Şekil 5.18.'te ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.19.'da sunulmuştur. 3 mm FRP ile güçlendirilmiş diğer kesitlerde olduğu bu kesitte de beton dayanımı arttıkça her iki normal kuvvet değerleri (N_1 ve N_2) için rijitlik, kolon dayanımı ve süneklik değerlerinde artış gözlenmiştir. N_1 değerleri dikkate alınarak hesaplanan moment eğrilik ilişkisinden anlaşılacağı gibi kolon dayanımı yaklaşık %35-40 artış gösterirken, N_2 değerleri dikkate alınarak hesaplanan moment eğrilik ilişkisinde kolon dayanımı yaklaşık olarak %40'tan fazla bir şekilde artmıştır.

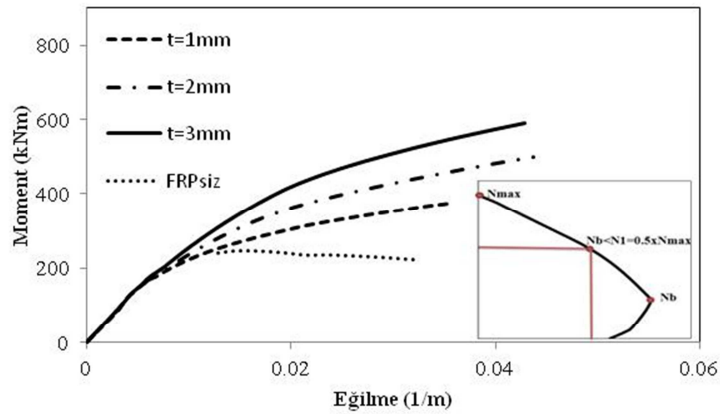


Şekil 5.18. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

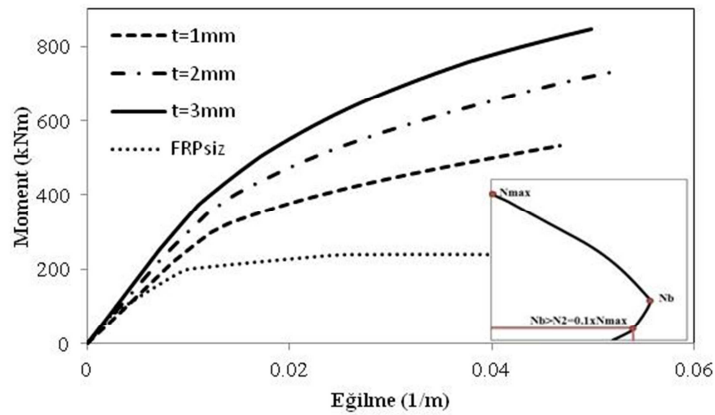


Şekil 5.19. 3mm CFRP ile güçlendirilmiş 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

Kolon kesiti 400x400mm ve beton dayanımı 18MPa olan ve farklı kalınlıklarda uygulanan CFRP lerle güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi davranışları eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.20. ve 5.21.'de sunulmuştur. Grafiklerden de görüldüğü gibi güçlendirilen betonarme kolonun dayanımı ve sünekliği, CFRP kalınlığının artmasıyla eksenel yük düzeyinin hem yüksek hem de düşük olması durumları için artmaktadır. Bununla birlikte güçlendirilen betonarme kolonların başlangıç rijitlikleri, eksenel yük düzeyinin düşük değerleri için %50 civarında artarken yüksek değerleri için yaklaşık olarak aynı davranışı göstermektedir. Seçilmiş olan normal kuvvet değerlerinden ötürü N_2 değerleri kullanılarak işleme tabii tutulan kolonların moment kapasiteleri N_1 değerlerine göre hesaplanan kolonların moment kapasitelerinden daha yüksektir.

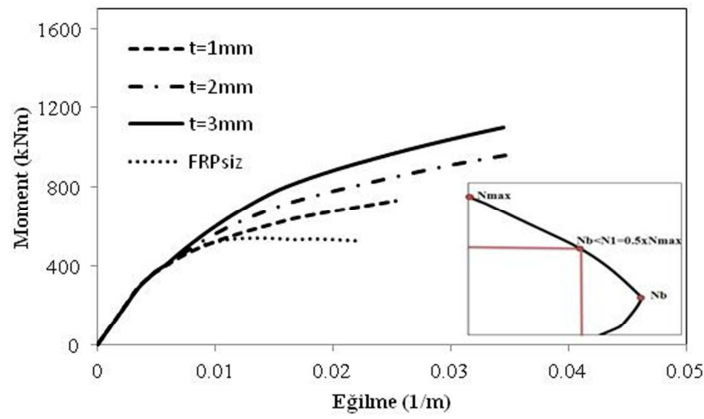


Şekil 5.20.18MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

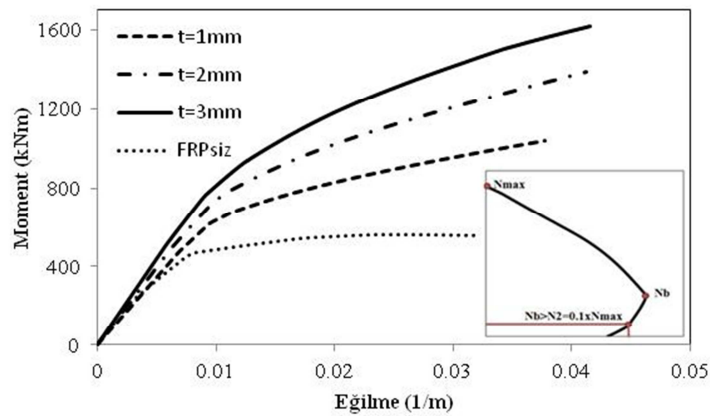


Şekil 5.21.18MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

Kolon kesiti 500x500mm ve beton dayanımı 18MPa olan ve farklı kalınlıklarda uygulanan CFRP lerle güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi davranışları eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.22. ve 5.23.'te sunulmuştur. CFRP kalınlığı ile elde edilen sonuçlarda FRP kalınlığının N_1 değerlerinde başlangıç rijitliğini değiştirmezken kolon dayanımı ve süneklilikte önemli bir artış elde edilmiştir. N_2 normal kuvvet etkisi altında artan kalınlık değerleri ile orantılı bir şekilde rijitlik, süneklilik ve kolon dayanımının arttığı tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek kullanılan kalınlıklar olan 1 ve 3 mm arasındaki dayanım farklı neredeyse %90 civarında olduğu görülmüştür.

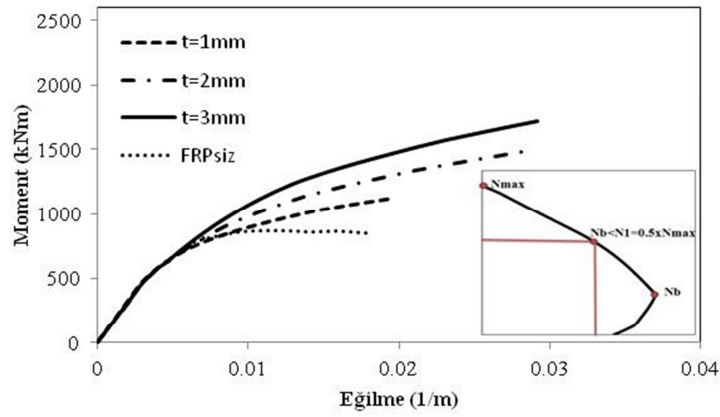


Şekil 5.22.18MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

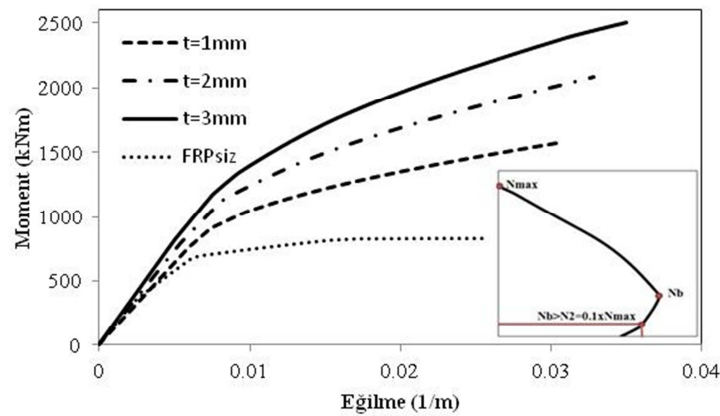


Şekil 5.23.18MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

Kolon kesiti 600x600mm ve beton dayanımı 18MPa olan ve farklı kalınlıklarda uygulanan CFRP lerle güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi davranışları eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.24. ve 5.25.'te sunulmuştur. Buna göre N_1 değerinin uygulandığı kolonlarda diğer kesitlerde elde edildiği gibi CFRP kalınlık artışının sünekliği ve kolon dayanımını artırırken rijitliğe hiçbir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. N_2 değeri kullanılarak yapılan incelemelerde CFRP kalınlık artışının süneklik, kolon rijitlik ve dayanımında pozitif bir etkisi olduğu Şekil 5.25.'te sunulmuştur. Hatta kolon dayanımını yaklaşık %72 oranında arttırdığı söylenebilmektedir.

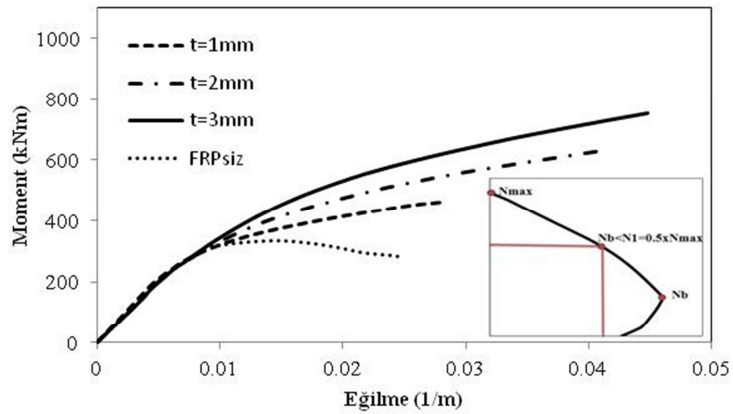


Şekil 5.24.18MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

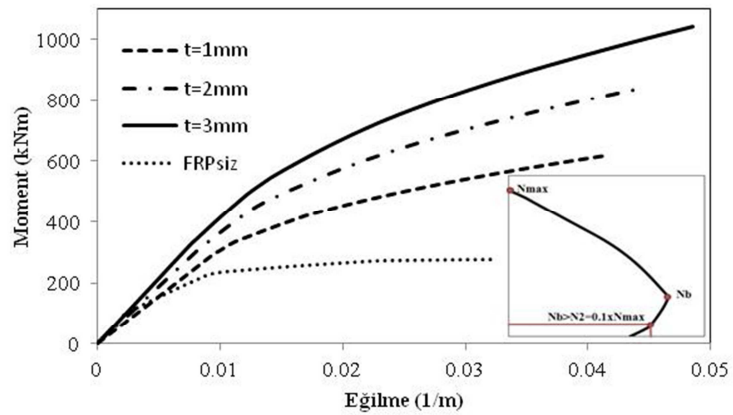


Şekil 5.25.18MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

Kolon kesiti 400x400mm ve beton dayanımı 30MPa olan ve farklı kalınlıklarda uygulanan CFRP lerle güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi davranışları eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.26. ve 5.27.'de sunulmuştur. N_1 değeri ile hesaplanmış olan moment eğrilik grafiğinde görüldüğü gibi CFRP kalınlığı arttıkça rijitlik herhangi bir değişim göstermemiştir. Öte yandan kalınlığın artması ile süneklilik ve kolon dayanımı önemli ölçüde artış göstermiştir. N_2 değeri ile hesaplanmış olan moment eğrilik grafiğinde ise artan her kalınlıkta süneklilik, rijitlik ve kolon dayanımı orantılı bir şekilde artmıştır. Seçilen normal kuvvetlerinin moment kapasitelerinin farkından dolayı beklenildiği gibi N_2 değerine sahip normal kuvvet etkisi altında kolonlar daha yüksek moment kapasiteleri elde etmiştir.

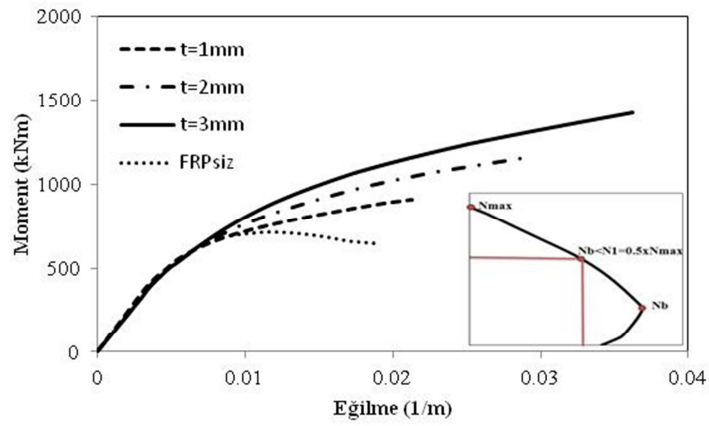


Şekil 5.26.30MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

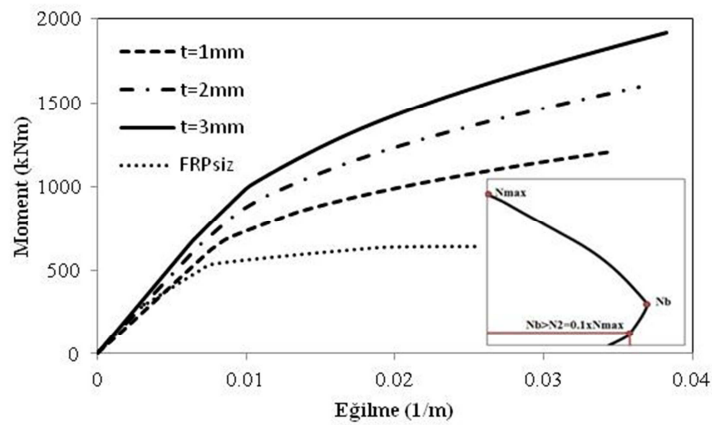


Şekil 5.27.30MPa beton dayanımına sahip 400x400 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

Kolon kesiti 500x500mm ve beton dayanımı 30MPa olan ve farklı kalınlıklarda uygulanan CFRP lerle güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi davranışları eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.28. ve 5.29.'da sunulmuştur. Şekil 5.28.'den de anlaşılacağı üzere CFRP kalınlığının rijitliğe etkisi görülmemiştir. Fakat bunun yanı sıra artan CFRP kalınlığı karşısında süneklik ve kolon dayanımında ciddi artışlar meydana gelmiştir. Şekil 5.29.'da ise elde edilen sonuçlarda CFRP kalınlığının süneklik, rijitlik ve kolon dayanımında önemli bir katkı sağladığı söylenebilmektedir. Hatta rijitlik yaklaşık %64 artarken, kolon dayanımı yaklaşık %72 oranında artış gösterdiği söylenebilmektedir.

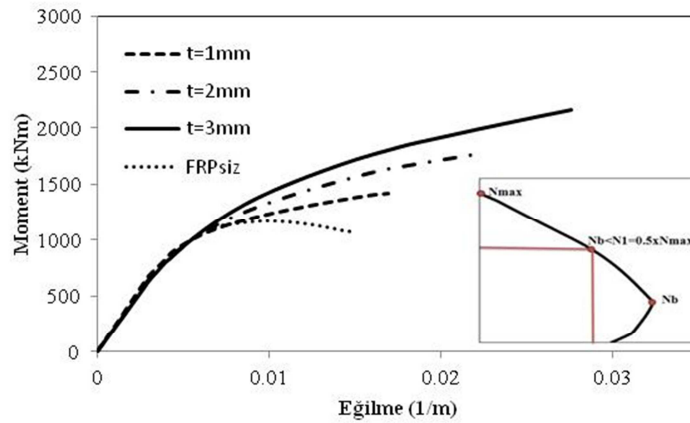


Şekil 5.28.30MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

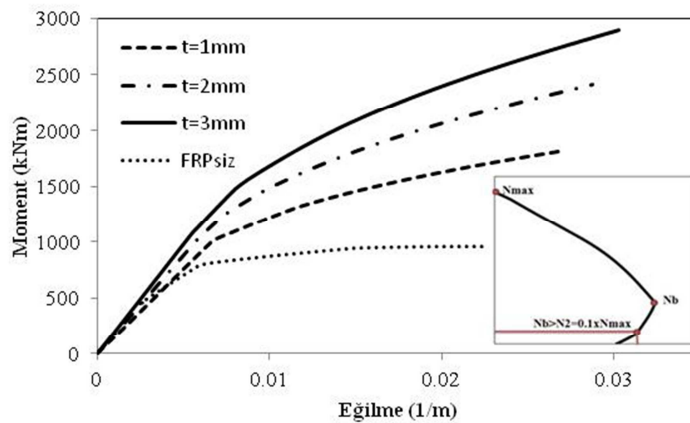


Şekil 5.29.30MPa beton dayanımına sahip 500x500 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

Kolon kesiti 600x600mm ve beton dayanımı 30MPa olan ve farklı kalınlıklarda uygulanan CFRP lerle güçlendirilmiş betonarme kolonların moment eğrilik ilişkisi davranışları eksenel yük düzeyi yüksek ($N_b < N_1 = 0.50N_{max}$) ve eksenel yük düzeyi düşük ($N_b > N_2 = 0.10N_{max}$) olması durumları için de Şekil 5.30. ve 5.31.'de sunulmuştur. Şekil 5.30.'da diğer kesitlerde görüldüğü gibi CFRP kalınlığının artması sünekliliği ve kolon dayanımını artırırken, rijitlik kalınlık ile herhangi bir değişime uğramamıştır. Şekil 5.31.'de ise CFRP kalınlığının kolon dayanımı başta olmak üzere rijitlik ve süneklikte önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Grafikten de açıkça yorumlanacağı gibi CFRP kalınlığı arttıkça süneklik, kolon rijitliği ve dayanımı doğru orantılı bir şekilde artış göstermiştir.



Şekil 5.30.30MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi yüksek kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 5.31.30MPa beton dayanımına sahip 600x600 kolonun eksenel yük düzeyi düşük kuvvet ile moment-eğrilik ilişkisi

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, CFRP ile güçlendirilmiş kolonların davranışını incelemek amacıyla nümerik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran kısım ise çalışmada yapılan tüm analizlerde iki farklı normal kuvvet değerine göre karşılaştırmalı hesaplamalar yapılmış olmasıdır. FRP ile güçlendirilmiş kolonların malzeme modelini oluşturmak üzere literatürden seçilmiş olan Youssef [2] malzeme modeli ile hazırlanmış olan MATLAB tabanlı kod yardımıyla belirlenen farklı parametreler için moment eğrilik ilişkileri nümerik olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışma kapsamında elde edilen moment eğrilik ilişkileri incelendiğinde elde edilmiş olan bulgular aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- a. Eksenel kuvvet düzeyi yüksek olan değerler ile yapılan incelemede beton dayanımı arttıkça kolon rijitliğinin ve dayanımının arttığı, sünekliliğin ise genel olarak artış gösterdiğini söyleyebilir.
- b. Eksenel kuvvet düzeyi düşük olan değerler ile yapılan incelemede ise beton dayanımı arttıkça süneklilik, kolon rijitliği ve dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.
- c. CFRP kalınlığının artması, eksenel kuvvet düzeyi yüksek olan değerlerde rijitliğe bir etki etmezken, sünekliliğe ve kolon dayanımına katkı sağlamıştır. Ayrıca CFRP kalınlık tahkiki yapılan grafiklerde açıkça görüldüğü gibi, CFRPsiz olan kolon ile CFRP uygulanmış kolonlar arasında ciddi bir süneklilik ve dayanım farklılığı bulunurken, rijitlik etkilenmemiştir.
- d. CFRP kalınlığının artması, eksenel kuvvet düzeyi düşük olan değerlerde ise, süneklilik, kolon dayanımı ve rijitliğinde önemli artışlar meydana getirmiştir. Ayrıca CFRPsiz kolon ile CFRP ile güçlendirilmiş kolonlar

karşılaştırıldığında aynı şekilde süneklik, kolon dayanımı ve rijitliğinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

6.2. Öneriler

Bu çalışmada kapsamında yapılmış olan nümerik sonuçlar dikkate alınarak ve geliştirilerek gelecekte yapılacak olan çalışmalar için bir takım öneriler ve bilgiler verilmektedir.

Bu çalışmada önerilen ve kullanılan malzeme modelleri ve yapılan sayısal çalışma dikkate alınarak literatürde bulunan fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş kolonlar için kullanılabilir.

Çalışma kapsamında kullanılan güçlendirme malzemesi CFRP olarak belirlenmiş olup gelecek yapılan çalışmalarda farklı FRP çeşitleri olan GFRP ve AFRP de kullanılabilir.

Yapılan çalışma nümerik olduğundan istenilirse deneysel çalışma da yapılarak çalışma zenginleştirilebilir ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Sezen H, Elwood KJ, Whittaker AS, Mosalam KM, Wallace JW, Stanton JF “Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey”. Engineering Structures 2003; 25(1):103–14.
- [2] Youssef M. N, Feng M. Q, Mosallam A. S “Stress-Strain Model For Concrete Confined By FRP Composites” Composites Part B: Engineering 2007 Vol.38, No.5, pp. 614-628.
- [3] Hosseini A, Khaloo Ali R, Fadee S “Seismic performance of high-strength concrete square columns confined with Carbon Fiber Reinforced Polymers(CFRPs)”. Canada J. Civ. Eng. Vol. 32, 2005.
- [4] Koçak A. R “Betonarme Yapıların Lif Takviyeli Polimerler (Frp) İle Onarımı Ve Güçlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi 2003.
- [5] Iacobucci R. D, Sheikh S. A, Bayrak O “Retrofit of Square Concrete Columns Of Carbon Fiber-Reinforced Polymer For Seismic Resistance” ACI Structural Journal, 2003.
- [6] Guan L “Seismic Performance of FRP-Confined RC Columns: Stress-Strain Models and Numerical Simulation” Doktora Tezi, 2016.
- [7] Öztürk H “Betonarme Kısa Kirişlerde Kesme Dayanımının Çapraz Kesme Donatıları İle İyileştirilmesi” Doktora Tezi 2016.
- [8] Juntanalikit P, Jirawattanasomkul T, Pimanmas A “Experimental And Numerical Study Of Strengthening Non-Ductile RC Columns With And Without Lap Splice By Carbon Fiber Reinforced Polymer(CFRP) Jacketing” Engineering Structures 2016; 125:400–418.
- [9] Keskin Elbruz “Betonarme Yapıların Onarımı, Güçlendirilmesi Ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler” Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2005.
- [10] Karamuk Emre “Karbon Lif Takviyeli Polimer Malzeme İle Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Eksenel Yükler Altında Davranışı” Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2005.

- [11] Teng J. G, Lam L, Lin G, Lu J. Y. Xiao Q. G “Numerical Simulation of FRP Jacketed RC Columns Subjected to Cyclic and Seismic Loading” J. Compos. Constr., 2016, 20(1): -1--1.
- [12] Farah A. F “Betonarme Manto İle Güçlendirilmiş Betonarme Kolonlarda Ara Yüzey Kayma Katsayısının İrdelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2017.
- [13] TDY2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [14] TDY2016 (Taslak) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2016.
- [15] Dukkipati R. V, Solving Vibration Anaylsis Problems Using MATLAB, New Age International, 4835/24, 2007.
- [16] Carolin A “Strengthening Of Concrete Structures With CFRP” Doktora Tezi, 2001.
- [17] Büyükkaragöz A, Koprman Y “Eksenel Yük Etkisi Altındaki Kare Kesitli Mantolanmış Kolonun Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, Cilt 23, No 2, 309-315, 2008.
- [18] Teng J. G, Chen J. F, Smith S.T, Lam L “FRP Composites For Strengthening RC Structures” John Wiley & Sons, 2002.
- [19] Lo S. H, Kwan A. K. H, Ouyang Y, Ho J. C. M “Finite Element Analysis Of Axially Loaded FRP-Confined Rectangular Concrete Columns” Engineering Structures 2015; 100:253–263.
- [20] Parviz, S., Jongsung, S., Jer-Wen, H. 1991. “Axial/Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Sections: Effects of the Design Variable”, ACI, Vol 88, No 1, pp. 17-21.
- [21] Ersoy U, A. Tugrul Tankut and Ramadan Suleiman “BEHAVIOR OF JACKETED COLUMNS” ACI Structural Journal.
- [22] A practical approach for the strength evaluation of RC columns reinforced with RC jackets. Giovanni Minafò Università degli Studi di Enna “Kore”, Facoltà di Ingegneria e Architettura, Cittadella Universitaria, 94100 Enna, Italy.
- [23] Vandoros G, Stephanos E. Dritsos “Concrete Jacket Construction Detail Effectiveness When Strengthening RC Columns” Construction and Building Materials 22 (2008) 264–276.

- [24] Stathis N. Bousias, Dionysis Biskinis, Michael N. Fardis, and Alexis-Loukas Spathis “STRENGTH, STIFFNESS AND CYCLIC DEFORMATION CAPACITY OF CONCRETE JACKETED MEMBERS” ACI Structural Journal.
- [25] Çalışkan H “Betonarme Yapıların Güçlendirme Teknikleri” Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2003.
- [26] Yıldırım İ “ Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi” Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2009.
- [27] Ersoy U, Özcebe G ” Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İnceleme” İMO Teknik Dergi 1799-1827,Yazı 129, 1998.
- [28] Akkaya A “ Betonarme Kolonların Davranışının Moment Eğrilik İlişkisi İle Parametrik Olarak İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2014.
- [29] Demir A, Çağlar N “Dairesel Betonarme Kolonlarda Çatlamış Kesitte Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin İrdelenmesi” Sakarya, ISITES2013, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Nurdan Gül Köroğlu, 27.10.1992'de Karabük'de doğdu. İlk ve orta eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2010 yılında Özel Maltepe Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. Aynı yıl akabinde, yapı anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılı ocak ayında yüksek lisans eğitimini tamamladı.