

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME MANTO İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
BETONARME KOLONLARDA ARA YÜZEY KAYMA
KATSAYISININ İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed Farhan FARAH

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

Mayıs 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME MANTO İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
BETONARME KOLONLARDA ARA YÜZEY KAYMA
KATSAYISININ İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed Farhan FARAH

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç.Dr.
Necati MERT
Üye**

**Yrd. Doç.Dr.
Zehra Şule GARİP
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.

Ahmed Farhan FARAH

25.05.2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin 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.

Nümerik çalışma süresinde her türlü yardımı eden Arş. Gör. Aydın DEMİR, Arş. Gör. Hakan ÖZTÜRK ve Arş. Gör. Gökhan DOK teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli annem, babam, kardeşlerim ve eşime sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	3
1.2. Tezin Organizasyon.....	5
BÖLÜM 2.	
BETONARME KOLONLARIN BETONARME MANTO İLE GÜÇLENDİRİLMESİ	6
2.1. Betonarme Mantolama.....	7
BÖLÜM 3.	
BETON VE DONATI MALZEMENİN NÜMERİK MODELLENMESİ.....	10
3.1. Sonlu Eleman Modelleri	10
3.2. ABAQUS Programı	10
3.3. Beton Malzeme Modeli	11
3.3.1. Beton Hasar Plastisite Modeli (BHP).....	11
3.3.2. Betonun basınç ve çekme (Tek eksenli) davranışı.....	12

3.3.3. Hasar gelişim parametreleri ve rijitlik iyileşmesi	14
3.3.4. Betonun Çekme Sertleşmesi	15
3.3.5. Beton Çatlama Enerjisi	16
3.3.6. Beton Akma Fonsiyonu	17
3.3.7. Plastik Akma Kuralı	18
3.4. Donatı Malzeme Modeli.....	19
BÖLÜM 4.	
SONLU ELEMAN MODELİ (SEM) VE DOĞRULANMASI	21
4.1. Giriş.....	21
4.2. Sonlu Eleman Modeli.....	22
4.3. Sonlu Eleman Modelinin Doğrulanması.....	24
4.4. Ara yüz sürtünme (slip interface) katsayısı.....	27
4.4.1. Q-RC Modeli (Pürüzsüz ve ankrajsız).....	29
4.4.2. Q-RCR (Pürüzlü ve ankrajsız).....	31
4.4.3. Q-RCD (Pürüzsüz ve ankrajlı).....	33
4.5. Parametrik Çalışma.....	36
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	41
5.1. Sonuçlar	41
5.2. Öneriler	43
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	47

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

b_c	: Beton basınç hasar parametresi
b_t	: Beton çekme hasar parametresi
d_c	: Basınç hasar parametresi
d_t	: Çekme hasar parametresi
E_o	: Elastisite modülü
E_s	: Donatı elastisite modülü
f_c	: Beton basınç dayanımı
F_c	: Basınç bölgesinde betona uygulanan bileşke kuvvet
f'_c	: Beton basınç dayanımı
f_{cd}	: Beton tasarım basınç dayanımı
F_{ce}	: Basınç çubuğu kesme kuvveti
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Beton ortalama basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
F_s	: Çekme bileşke kuvveti, asal çekme gerilmesi
F'_s	: Basınç bölgesinde donatılara uygulanan bileşke kuvvet
f_t	: Beton çekme dayanımı
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	: Donatı akma dayanımı
F_{sw}	: Kesme donatıları tarafından taşınan kesme kuvveti
f_y	: Donatı akma dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatı tasarım akma dayanımı

f_{yw}	: Enine donatı karakteristik akma dayanımı
G_f	: Çatlama enerjisi
h	: Kesit yüksekliği
kN	: Kilo Newton
k_1	: Basınç bloğu katsayısı
mm	: Milimetre
MPa	: Mega Pascal (N/mm^2)
P	: Uygulanan yük
BHP	: Beton hasar plastisite
SE	: Sonlu eleman
SEM	: Sonlu eleman modeli
TDY2007	: Türk Deprem Yönetmeliği 2007
TDY2016	: Türk Deprem Yönetmeliği 2016 (Taslak)
w	: Çatlak genişliği
α	: Basınç çubuğu eğimi, Diyagonal donatı eğimi
α_f	: Gerilme-çatlak genişliği parametresi
β	: Kesme donatısı eğimi
γ	: Diyagonal donatı açısı
γ_{mc}	: Beton için malzeme katsayısı
Δ	: Yer değiştirme (mm)
ϵ	: Akma yüzeyi eksantirisitesi
ϵ	: Birim şekil değiştirme
ϵ_c	: Beton şekil değiştirmesi
ϵ_{ci}	: Beton inelastik şekil değiştirme
$\epsilon_{ci}^{\sim in}$: Basınç etkisinde inelastik şekil değiştirme
$\epsilon_c^{\sim pl}$: Basınç etkisinde plastik şekil değiştirme
$\epsilon_t^{\sim pl}$: Çekme etkisinde plastik şekil değiştirme
ϵ_s	: Çekme donatısı şekil değiştirmesi
ϵ_{0t}^{el}	: Hasar görmemiş malzeme için elastik şekil değiştirme
$\epsilon_t^{\sim ck}$: Çatlama birim şekil değiştirmesi

ε_t	: Toplam birim şekil değiştirme
σ	: Gerilme
σ_c	: Basınç gerilmesi
σ_{cc}	: Basınç gerilmesi
σ_{co}	: Maksimum elastik basınç gerilmesi
σ_{ct}	: Beton çekme gerilmesi
σ_{cu}	: Maksimum beton basınç gerilmesi
σ_s	: Donatı çekme gerilme
σ_{sw}	: Etriye çekme gerilmesi
σ_t	: Çekme gerilmesi
σ_{to}	: Eksenel çekme gerilmesi, güç tükenme gerilmesi
τ	: Kayma gerilmesi
τ_s	: Kayma gerilmesi
$\sum F_{sw}$: Eğik çatlağın keştiği etriyelerdeki çekme kuvvetlerinin toplamı
K_c	: Çekme fonksiyonu üzerindeki ikincil sabit gerilme oranı
δ	: Yer değiştirme
G	: Plastik akma fonksiyonu
ψ	: Dilasyon/genleşme açısı
q_{ci}	: Çatlak içi kesme gerilmeleri
\bar{q}	: Eşdeğer Mises etkili gerilmesi
\bar{p}	: Hidrostatik basınç gerilmesi
μ	: Vizkozite parametresi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye depremler bölgeleri haritası	1
Şekil 1.2. 1999 Marmara depreminde hasarlı kolon	2
Şekil 2.1. Betonarme manto ile güçlendirilmiş en kesit	7
Şekil 2.2. Kolon mantolama çeşitleri.....	8
Şekil 2.3. Kolon güçlendirme detayı.....	9
Şekil 3.1. Beton için aksel basınç modeli, Hibbitt ve diğerleri. (2011)....	13
Şekil 3.2. Beton için aksel çekme modeli, Hibbitt ve diğerleri (2011)....	13
Şekil 3.3. Betonun çekme sertleşmesi davranışı	15
Şekil 3.4. Betonun çatlama sonrası çekme davranışı.....	16
Şekil 3.5. Betonun iki aksel gerilme-güç tükenme zarfı.....	17
Şekil 3.6. Drucker-Prager plastik potansiyel fonksiyonu	19
Şekil 3.7. Donatı davranış modeli	20
Şekil 4.1. Betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolon kesiti ve yan görünüşü.....	22
Şekil 4.2. Sonlu eleman modelin (Q-RCM) kullanılan döküm (monolitik).....	23
Şekil 4.3. Bousias ve diğerleri [7] 'nin yaptığı deneysel çalışma sonuçları	24
Şekil 4.4. farklı dilasyon (Genişleme) açısı	25
Şekil 4.5. Farklı dilasyon (Genişleme) açısı	27
Şekil 4.6. Manto ile güçlendirilmiş kesitin birim şekil değiştirme profili	28
Şekil 4.7. Q-RC kesitin gerilme profili	29
Şekil 4.8. Farklı ara yüz sürtünme katsayısı	30
Şekil 4.9. Ara yüz sürtünme katsayısı ($\eta=0.75$) olan seçilen SE modeli	31
Şekil 4.10. Q-RCR kesitin gerilme profili	32
Şekil 4.11. Farklı ara yüz sürtünme katsayısı	32
Şekil 4.12. Ara yüz sürtünme katsayısı ($\eta=0.95$) olan seçilen SE modeli	33
Şekil 4.13. Q-RCD kesitin gerilme profili	34

Şekil 4.14. Farklı ara yüz sürtünme katsayısı	34
Şekil 4.15. Ara yüz sürtünme katsayısı ($\eta=0.80$) olan seçilen SE modeli	36
Şekil 4.16. Mevcut kolon ve manto beton dayanımları aynı olan numuneler	37
Şekil 4.17. Her iki nümerik numunelerin karşılaştırılması	37
Şekil 4.18. Parametrik çalışmadaki sonuçları	39

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri	22
Tablo 4.2. Beton hasar plastisite parametreleri	23
Tablo 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri	29
Tablo 4.4. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri	32
Tablo 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri	34
Tablo 4.6. Önerilen ara yüz sürtünme katsayısı (η) değerleri.....	36
Tablo 4.7. Parametrik çalışmada kullanılan mevcut ve manto kolonun beton dayanımı.....	38

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Ankraj, sonlu eleman analizi, ABAQUS, betonarme ile güçlendirilmiş kolon

Uygun prosedürler hesaba katılmayacak anında, betonarme güçlendirme etkililiğini etkileyebilecek birkaç faktör olabilir. Eğilme kapasitesini azaltabilecek eski-yeni beton arasındaki arayüz sürtünme katsayısına belirli bir husus dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmanın ana amacı, Bousias ve diğerleri tarafından yük kapasitesi açısından yürütülen deneyin mevcut kolon ve manto arasındaki yüzey etkileşimini temsil eden ara yüz sürtünme katsayısını bulmaktır. Daha sonra, mevcut kolonun beton basınç mukavemetinin artırılarak elemanın kapasitesi üzerindeki etkisini görmek için bir model önerildi. Bu amaçla, ABAQUS/Standard programı kullanılarak sonlu eleman (SE) bir nümerik çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, pürüzlendirilmemiş numune için, mevcut kolon ve manto arasındaki ara yüz sürtünme katsayısı 75%, pürüzlendirilmiş numune için 95% ve pürüzlendirilmemiş ve ankraj çubuğu olan numune 80% bir oran gözlenmiştir. Ayrıca, parametrik çalışmada, beton basınç dayanımı arttırılmasının, elemanın kapasitesini arttırmadığı elde edilmiştir.

INVESTIGATION OF INTERMEDIATE SURFACE OF REINFORCED CONCRETE JACKETED COLUMNS

SUMMARY

Keywords: Dowel, finite element analysis, ABAQUS, RC jacketed columns

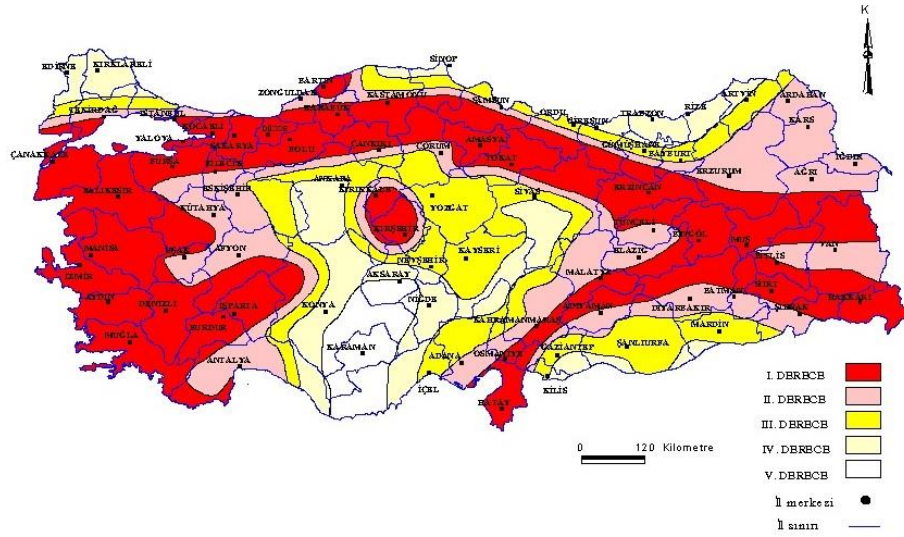
Several factors can lead to affect the effectiveness of RC jacketing if a proper procedures will not be taken into account. A certain consideration has to be paid to interface between old-new concrete, which could reduce the flexural capacity.

In accordance to that, the main objective of this present work is to find a frictional coefficient representing the surface interaction between core and jacket of an experiment conducted by Bousias et al in terms of load capacity. Later on a model is proposed to see the effect of increasing concrete compressive strength of core on the capacity of the member. For that purpose, a parametrical numeric simulation analysis is conducted in a commercial FE analysis ABAQUS/Standard.

Results obtained from the study shows that the friction between old-new surfaces of the experiment is well captured at 75% for the unroughned specimen, 95% for roughned specimen and 80% for the specimen with dowels. Moreover, for the parametric study it has been observed that increasing the concrete compressive strength doesn't increase the capacity of the member.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Depremler dünyanın birçok yerinde can ve mal kayıplarına neden olabilen en tehlikeli doğal afetlerden biridir. Türkiye topraklarının %92'si deprem bölgelerinde ve nüfusunun %95'i deprem tehlikesi altında yer almaktadır. Türkiye'de geçmiş yıllarda meydana gelen birçok deprem ağır hasarlara ve can kayıplarına neden olmuştur (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası

17 Ağustos 1999 da meydana gelen Marmara depreminde 17.200 kişi hayatını kaybetmiş, 44.000 kişi yaralanmış ve binlerce insan evsiz kalmıştır. Resmi kayıtlara göre 77.300 ev ve işyerinin tahrip olduğu ve 244.500'ünün ise hasar gördüğü tespit edilmiştir. Yapısal hasarların çoğu özellikle birinci kat kolonlarında olmuştur [1]. Betonarme yapılarda gözlemlenen kolon hasarlarının ve yapıların deprem güvenliklerindeki yetersizliklerin ana nedenleri olarak a) sünek olmayan detayların

kullanılması b) güçlü kiriş zayıf kolon analogisi, ve c) yapı inşaa esnasında mühendislik uygulama kurallarına uyulmaması sayılabilir.



Şekil 1.2. 1999 Marmara depreminde hasarlı kolon [1]

Türkiye’de 1999 yılı öncesinde inşa edilmiş mevcut binaların büyük bir bölümü deprem açısından önemli riskler taşımaktadır. Bu yapıların gözden geçirilerek güvensiz olanlarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Mevcut yapıların deprem etkisi altında hasar riskini azaltmak için taşıyıcı sistem elemanlarının sünek davranışının iyileştirilmesi ve kesme kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Mevcut betonarme kolonların güçlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; betonarme mantolama, dıştan gerdirme ve çelik veya karbon fiber takviyeli polimer ile mantolama, tekstil takviyeli harç mantolamadır [2].

Mevcut betonarme kolonların güçlendirmesinde Türkiye’de yaygın olarak betonarme manto yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, mevcut betonarme kolonun etrafında donatısı yeniden tasarlanmış, mevcut betondan daha yüksek dayanıma sahip yeni bir kolon (betonarme manto) oluşturulması esasına dayanır [3].

Betonarme yapı davranışının tespit edilebilmesi için yapıyı oluşturan elemanların davranışlarının çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Taşıyıcı sistemin güvenliği açısından statik ve dinamik yükler etkisinde betonarme yapı ve yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışının iyi bir şekilde tanımlanması önemlidir [4]. Betonarme yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi amacıyla birçok deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile betonarme yapıların doğrusal olmayan davranışının gerçekçi bir şekilde modellenbildiği birçok araştırmacı tarafından başarıyla gösterilmiştir [5, 6].

Bu tez çalışmasında, betonarme manto ile güçlendirilen betonarme kolonların yatay yük etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Betonarme manto ile mevcut kolon ara yüzlerinde ara yüz kayması oluşmaktadır. Ara yüz kayması nedeniyle betonarme manto kendisinden beklenen güçlendirme davranışını tam olarak yansıtamamaktadır. Bu olumsuz durumu gidermek ve ara yüz kaymasını minimize etmek için yüzeylerin pürüzlendirilmesi ve ankraj çubuklar uygulanması gibi birçok yöntem bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, yüzeyin pürüzlendirilmesi ve/veya ankraj uygulanmasının güçlendirilmiş betonarme kolon davranışına etkilerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, bu tez çalışması kapsamında tanımlanmış olan “ara yüz sürtünme katsayısı” için en uygun değerlerin belirlenmesi hedeflenmektedir.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Betonarme yapıların betonarme manto ile güçlendirilen kolonlar literatürde birçok deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Bousias ve diğerleri [7] tarafından yapılan deneysel çalışmada betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolonlar incelenmiştir. Bu çalışmada, a) yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankraj çubuğu uygulanmamış bir numune; Q-RC, b) sadece yüzeyi pürüzlendirilmiş bir numune; Q-RCR, c) sadece ankraj çubuğu uygulanmış bir numune; Q-RCD d) yüzeyi pürüzlendirilmiş ve ankraj çubuğu uygulanmış numune; Q-RCRD, ve e) bir döküm (monolitik); Q-RCM üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır.

Uğur Ersoy ve diğerleri [8] betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolonların davranışını incelemiş ve iki farklı deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Birinci seri tek eksenli olarak yüklenmiş numuneden oluşan betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonunun davranışı bir döküm (monolithic) numune ile karşılaştırmışlardır. İkinci seride bileşik eğilme etkisi altındaki davranışı hem monotonik hem de tekrarlı yük altında (monotonic and reversed cyclic) araştırılmıştır. Ayrıca, referans olarak iki monolitik numune ile test edilmiştir. Çalışmanın amacı betonarme kolon numunelerin yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve/ veya enerji dağılımlarına onarım ve/veya güçlendirmenin etkilerinin incelemesidir.

Georgia E. Thermou ve diğerleri [9] betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolonların tekrarlı yükleme altında davranışlarını belirlemek amacıyla analitik bir model önermişlerdir. Bu analitik modelde mevcut betonarme kolon ile güçlendirme manto ara yüzeylerinde oluşan “ara yüz kayması” dikkate alınarak güçlendirilen kolonun davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Ara yüzey kaymasını minimize etmek amacıyla yapılan yüzey pürüzlendirilmesi ve ankraj uygulamasının güçlendirilmiş kolon davranışına etkileri de araştırılmıştır. Önerilen analitik modelin geçerliliği deney sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Aydin Demir ve diğerleri [5] tarafından monotonik ve tekrarlı yüklemeler altındaki kesme davranışı kritik betonarme kirişlerin kayma kapasitesini ve sünekliğini arttırmak için kolayca uygulanabilir, ekonomik ve alternatif bir teknik olarak diyagonal kesme donatı (DSR) olarak adlandırılan yeni kayma takviyesi yapılandırması önerilmiştir. Bu çalışmanın ilk aşamasında, betonarme kiriş sonlu eleman modelinin doğrulanması literatürden seçilen deney sonuçları ile yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise önerilen diyagonal kesme donatının (DSR) betonarme kiriş davranışına etkileri parametrik bir çalışma ile araştırılmıştır. Diyagonal kesme donatının (DSR) betonarme kirişlerinin kesme ve süneklik kapasitesinde önemli iyileştirmeler oluşturduğu gösterilmiştir.

G. Vadoros ve E. Dritsos [10] betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolonların davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Bu deneysel çalışmada, üç

farklı yöntem kullanılarak güçlendirilen kolonların davranışları orijinal güçlendirilmemiş tek döküm (monolitik) numune sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu üç farklı yöntem, a) mantonun etriye uçlarının kaynaklanması, b) mevcut kolon ile manto arasındaki ara yüzeyler boyunca ankraj çubuklarının yerleştirilmesi ve c) ek olarak mantonun etriye uçlarının kaynaklanması ve mevcut kolonun boyuna donatı çubuklarının mantodaki boyuna donatı çubuklarına birleştirilmesidir.

1.2. Tezin Organizasyon

Beş bölümden oluşan bu tez çalışmasının her bir bölümüne ait içerikleri aşağıda sıralanmıştır.

Birinci bölümde, çalışma konusu tanımlanmış ve konu hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Betonarme manto ile betonarme kolonların güçlendirilmesi ve sonlu eleman analizleri ile ilgili daha önceki yıllarda yapılan çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. Ayrıca tezin organizasyon yapısı hakkında da bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolonlar hakkında sunulan konu ayrıntılı tartışılmıştır.

Üçüncü bölümde, sonlu elemanlar (SE) hakkında bilgiler verilerek ve ABAQUS / Standard yazılımında kullanılan betonarme ve donatı malzeme modellerini ve donatının ve betonun doğrusal olmayan malzeme modellerini tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve deneysel sonuçlar ile sonlu eleman modeli doğrulanmıştır. Doğrulanmış olan SE modeli ve deneysel sonuçlar kullanılarak ara yüz sürtünme katsayısı için en uygun değerler araştırılmıştır. Ayrıca bu sonuçlarda kullanılarak parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Beşinci bölümde, elde edilen sonuçlar ve bulgular özetlenerek ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

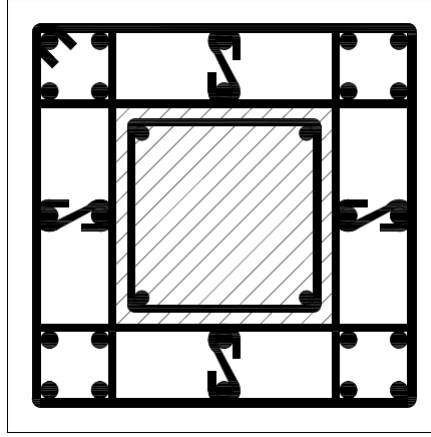
BÖLÜM 2. BETONARME KOLONLARIN BETONARME MANTO İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Güçlendirme, bir yapının veya yapı elemanın yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini veya stabilitesini yada bunlardan bazılarını mevcut durumunun üstüne çıkarmak için yapılan değişiklikler olarak tanımlanabilir. Yapının kullanım amacının değişmesi veya mevcut durumunun yüklerinde bir artmanın söz konusu olması durumunda güçlendirmeye gereksinim duyulabilir [11,12].

Beton dayanımının düşük oluşu, kolonların zayıf olması ve etriye sıklaştırılması yapılmadan düzenlenmiş olması, sargı olarak yerleştirilen etriyelerin uçları 135^0 bükülerek çekirdeğe kenetlenmemesi v.b gibi olumsuzluklar betonarme yapıların deprem etkisi altında ağır hasar görmesine hatta yıkılmasına neden olabilmektedir [4].

Türkiye’de geçmişte yaşanan depremler sonucu oluşan can ve mal kayıpları dikkate alındığında mevcut yapı stokunun depreme dayanıklı olmadığı anlaşılmaktadır [1, 13, 14, 15, 16, 17]. Dolayısıyla yakın zamanda oluşabilecek depremler etkisi altında büyük can ve mal kaybının önlenmesi için mevcut yapı stokunun belli öncelikler de dikkate alınarak gözden geçirilmesi ve deprem açısından yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir [11, 13, 14, 15, 16, 17]. Mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesinde temel olarak iki yol izlenmektedir; 1) mevcut taşıyıcı elemanlar güçlendirilerek eleman bazında ve 2) yeni taşıyıcı elemanlar ekleyerek sistem bazında yapılan güçlendirmeler [15].

Ülkemizde uygulanan güçlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında mevcut kolonların betonarme manto ile güçlendirilmesi gelmektedir (Şekil 2.1.).



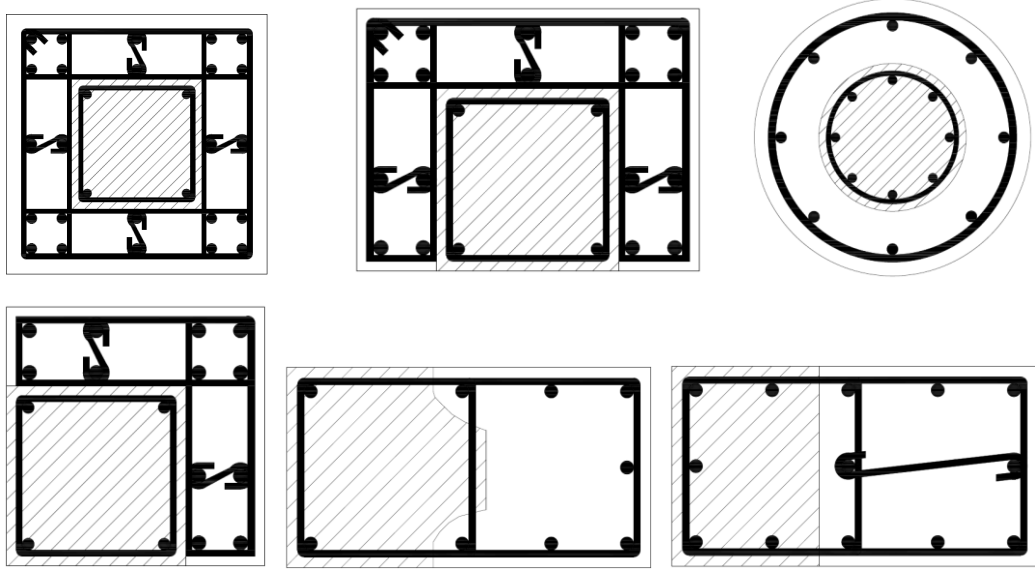
Şekil 2.1. Betonarme manto ile güçlendirilmiş en kesit

Betonarme manto ile güçlendirilen betonarme kolonun hem aksenal yük kapasitesi, hem kesme kuvveti kapasitesi, hem de moment kapasitesinde önemli iyileşmeler oluşmaktadır [14, 15, 16, 17, 18, 19].

2.1. Betonarme Mantolama

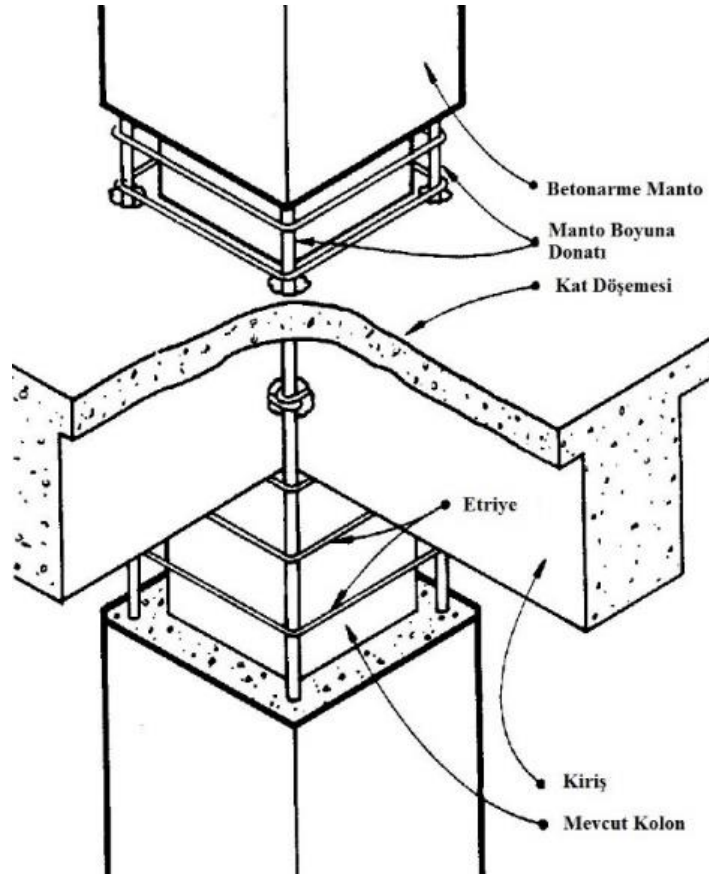
Betonarme manto ile mevcut kolonun beton en kesiti artırılarak boyuna donatı ve enine donatı konfigurasyonunda iyileştirilmeler sağlanmış olur. Bu konuda en önemli nokta eski ve yeni betonun kaynaşması ile yeni donatı ile eski donatının ankrajının sağlamasıdır. Bu durumda eski ve yeni betonun birlikte çalışması sağlanmış olur ve eski bölümden yeni bölüme yük iletilmiş olur.

Kolonların mantolamasında çeşitli yöntemler vardır (Şekil 2.2.). Ancak tüm elemanı kaplayan bir mantolama tercih edilmelidir. Bu tür mantolama yöntemi ile mevcut ve yeni beton arasında daha iyi bir kuvvet iletişimi sağlanabilir.



Şekil 2.2. Kolon mantolama çeşitleri

Mantolama işlemlerine başlamadan önce, mevcut kolon yüzeyleri sargı bölümleri, etriyelerin ve boyuna donatıların sınırladığı yüzeye kadar kazınmalıdır. Yüzeyler basınçlı su ile yıkanmalı, toz ve pisliklerden arındırılmalıdır. Donatı sürekliliği, döşemelerde açılan deliklerden donatıların geçirilmesi suretiyle sağlanmaktadır (Şekil 2.2). Manto yüksekliği boyunca kat seviyelerinde kirişle kesişen bölgelerde düğüm noktalarının da güçlendirilmesi açısından kirişlere de ankraj çubukları yerleştirilmesi gerekmektedir. Betonarme mantonun beton ve donatı malzemelerin mukavemeti mevcut kolonun mukavemetinden düşük olmamalıdır [11, 12, 15].



Şekil 2.3. Kolon güçlendirme detayı [18]

BÖLÜM 3. BETON VE DONATI MALZEMENİN NÜMERİK MODELLENMESİ

3.1. Sonlu Eleman Modelleri

Bu çalışmada, monotonik yükleme etkisi altındaki betonarme manto ile güçlendirilen betonarme kolonların yapısal tepkileri, sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak çalışan ABAQUS programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu bölümde, ABAQUS sonlu elemanlar programı, beton hasar parametreleri (BHP) ve donatı malzeme modelleri hakkında detaylı bilgiler verilmektedir.

3.2. ABAQUS Programı

ABAQUS, sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirebilen bilgisayar destekli mühendislik yazılım paketidir. Başka bir deyişle, ABAQUS, yüksek performanslı, güvenilir, yüksek kalite ve gerçekçi biçimde sonlu elemanlar modelleri yaratan ve çözen yazılımdır [4]. ABAQUS programı içerisinde yaklaşık olarak dört ana biçim modülü bulunmaktadır. Bu modüller; ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit, ABAQUS/CFD ve ABAQUS/CAE şeklindedir.

ABAQUS/Standard, Implicit çözüm yöntemini kullanan genel amaçlı bir sonlu eleman yazılımıdır. Doğrusal ve doğrusal olmayan statik, dinamik ve ısı transferi gibi mühendislik problemlerinin çözümlenmesi için geliştirilmiştir.

ABAQUS/Explicit, zamana bağlı dinamik ve statik, yüksek derecede geometrik ve malzeme doğrusal olmayan içeren problemlerin modellenmesi ve çözümlenmesi için geliştirilmiş modüldür. Explicit çözümler iterasyon yapmadan yeterli küçüklükte adım sayısı kullanılarak sonuca ulaşmaya çalışır.

ABAQUS/CFD, doğrusal olmayan ısı-akış ve yapısal-akış problemleri, laminer ve türbülanslı akışlar, ısı transferi, hareket ve türbülanslı taşınım problemleri modüldür.

ABAQUS/CAE ise yukarıda bahsedilen ABAQUS çözücülerini için modelleme, çözüm, çözüm yönetimi ve sonuçların değerlendirilmesi süreçlerini tek bir kullanıcı ara yüzü altında toplamaya yardımcı olan modelleyicidir.

Beton ve çeliğin davranışı birbirinden farklı olduğundan, betonun tek eksenli davranışının belirlenmesinde malzeme modellemesiyle ilgili olarak büyük bir belirsizlik bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, hem beton hem de donatı malzeme ve geometrisi için doğrusal olmayan davranış dikkate alınarak ABAQUS/Standard-Implicit çözüm yöntemi kullanılmıştır [19].

3.3. Beton Malzeme Modeli

Beton model türüne bağlı olarak, ABAQUS'te iki farklı beton malzeme modeli bulunmaktadır. Her iki model de donatılı ve donatısız betonlar için kullanılmaktadır. ABAQUS'te donatısız betonlar için beton dağınık çatlak modeli, donatılı betonlar ise beton hasar plastisite modeli bulunmaktadır [20]. Bu çalışmada beton malzeme modelinin tanımlanmasında beton hasar plastisite (BHP) modeli kullanılmıştır.

3.3.1. Beton hasar plastisite modeli (BHP)

ABAQUS / Standard'daki Beton Hasar Plastisite (BHP) modeli, hem statik hem de dinamik yükler altındaki donatısız betonlar ile betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışını modelleme yeteneği sağlar. Beton hasar plastisite (BHP) modeli, Lublinear [21], tarafından monotonik yüklemeler için önerilmiş ve daha sonra Lee ve Fenves [22] tarafından dinamik ve tekrarlı yükler için geliştirilmiştir. Beton hasar plastisite (BHP) modeli, betonun inelastik davranışını temsil etmek için izotropik hasarlı elastikiyet ile izotropik gerilme ve basınç plastisitesi kombinasyonlarını kullanmaktadır. Buna ek olarak, bu modelde betonda çekme çatlama ve basınç kırılması olmak üzere 2 önemli hasar mekanizması vardır [23].

Bu bölümde betonun basınç ve çekme davranışı ile birlikte betonun çekme sertleşmesi, çatlama enerjisi, akma fonksiyonu ve akma potansiyeli hakkında bilgi verilmektedir.

3.3.2. Betonun basınç ve çekme (Tek eksenli) davranışı

ABAQUS/Standard'daki Beton hasar plastisite (BHP) malzeme modeli ile karakterize edilen betonun basınç ve çekme davranışı sırasıyla Şekil 3.1. ve 3.2.'de gösterilmiştir. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi, beton numunenin gerilme-şekil değiştirme eğrileri üzerinde maksimum çekme ve basınç gerilmelerinin ardından plastik şekil değiştirmeler oluşmakta ve betonun elastite modülü azalmaktadır. Elastisite modülündeki bu azalma sıfır ile bir arasında değerler alabilen d_c ve d_t hasar parametrelerine bağlı olarak ifade edilmektedir. Burada sıfır hasar oluşmadığı bir ise maksimum hasarı ifade etmektedir. Hibbitt ve diğerleri. [23] (2011).

Eksenel basınç ve çekme etkisi altında oluşan gerilmeler aşağıdaki eşitlikler (Denklemler 3.1 ve 3.2) ile ifade edilmektedir, Hibbitt ve diğerleri. [23] (2011).

$$\sigma_c = (1 - d_c). E_0. (\varepsilon_c - \varepsilon_c^{\sim pl}) \quad (3.1)$$

$$\sigma_t = (1 - d_t). E_0. (\varepsilon_t - \varepsilon_t^{\sim pl}) \quad (3.2)$$

Bu denklemde;

σ_c : toplam gerilme

σ_t : toplam çekme

ε_c^{pl} : basınç etkisinde plastik şekil değiştirme

ε_t^{pl} : çekme etkisinde plastik şekil değiştirme

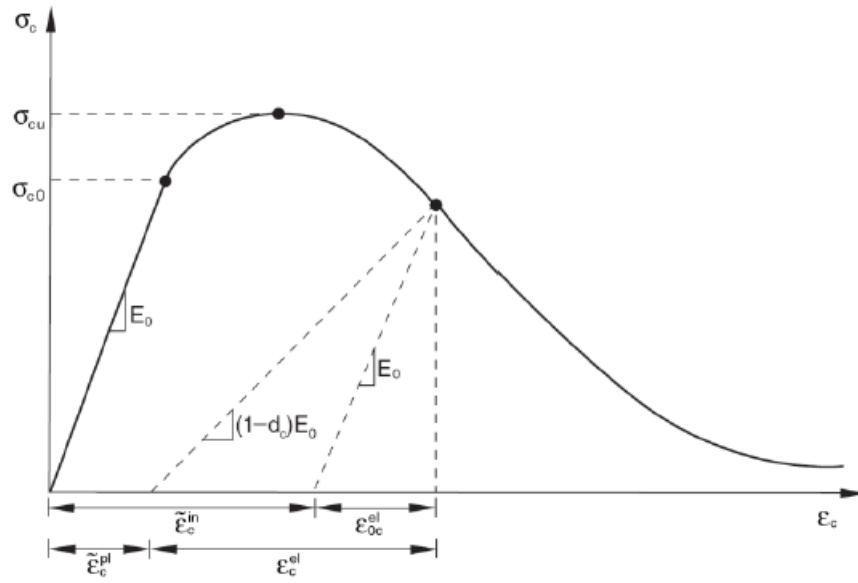
ε_c : basınç birim şekil değiştirme

ε_t : çekme birim şekil değiştirme

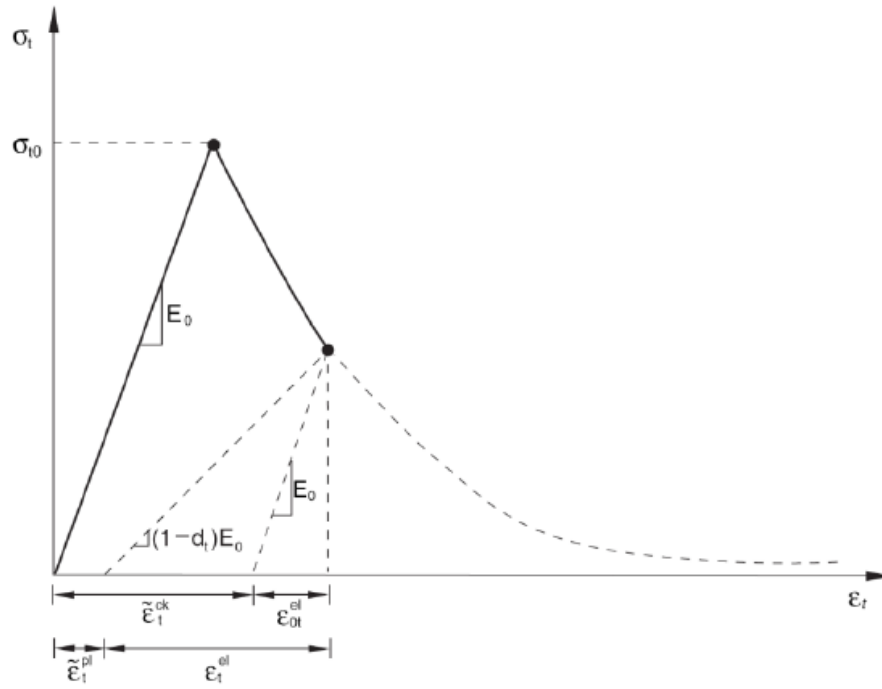
E_0 : Elastisite modülü

d_c : basınç hasar parametresi

d_t : çekme hasar parametresi



Şekil 3.1. (Beton için aksenal basınç modeli), Hibbitt ve diğerleri. (2011) [23]



Şekil 3.2. (Beton için aksenal çekme modeli), Hibbitt ve diğerlerinden (2011) [23].

ABAQUS'daki BHP modeli, tek eksenli gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin gerilmeye karşı plastik birim şekil değiştirme eğrilerine dönüştürülebileceği varsayımına dayanmaktadır. Bu plastik şekil değiştirme verileri ve hasar parametreleri

otomatik olarak kullanıcı tarafından tanımlanır ve aşağıdaki 3.3 ve 3.4 denklemleri ile ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_c^{\sim pl} = \varepsilon_c^{\sim in} - \frac{d_c}{(1 - d_c)} \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_t^{\sim pl} = \varepsilon_t^{\sim ck} - \frac{d_t}{(1 - d_t)} \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (3.4)$$

Bu denklemde;

$\tilde{\varepsilon}_c^{pl}$: basınç etkisinde plastik şekil değiştirme

$\tilde{\varepsilon}_t^{pl}$: çekme etkisinde plastik şekil değiştirme

$\tilde{\varepsilon}_c^{in}$: basınç etkisinde inelastik şekil değiştirme

$\tilde{\varepsilon}_t^{ck}$: çatlama birim şekil değiştirmesi

3.3.3. Hasar gelişim parametreleri ve rijitlik iyileşmesi

BHP modelinde dinamik yüklemeler etkisi altındaki betonda oluşan hasar, basınç (dc) ve çekme (dt) hasar parametrelerinin dikkate alınmasıyla belirlenir. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2. göz önüne alınarak bu hasar parametreleri denklem (3.3) ve (3.4) yardımıyla hesaplanabilir:

$$d_c = 1 - \frac{\sigma_c E_0^{-1}}{\sigma_c E_0^{-1} + \varepsilon_c^{\sim in} (1 - b_c)} \quad (3.5)$$

$$b_c = \frac{\varepsilon_c^{\sim pl}}{\varepsilon_c^{\sim in}} \quad (3.6)$$

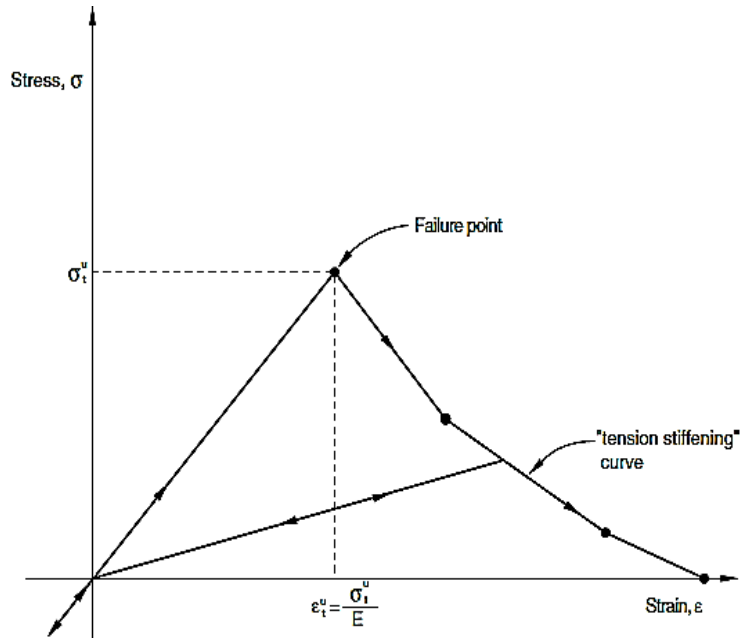
$$d_t = 1 - \frac{\sigma_t E_0^{-1}}{\sigma_t E_0^{-1} + \varepsilon_t^{\sim ck} (1 - b_t)} \quad (3.7)$$

$$b_t = \frac{\varepsilon_t^{\sim pl}}{\varepsilon_t^{\sim ck}} \quad (3.8)$$

Plastik ve elastik olmayan şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi temsil eden faktörler bc ve bt , döngüsel testlerin eğri uydurma sonucuna göre belirlenebilir, Sinha ve diğerleri [24] (1964). Genel olarak basınç hasar parametresi ($0,5 \leq bc \leq 1$) ve çekme hasar parametresi ($0,1 \leq bt \leq 1$) arasında bir değer alınabilir [25]. Bu tez çalışmada, beton hasar parametreleri ($bc = 0,7 / bt = 0,1$) bir değer alınmıştır.

3.3.4. Betonun çekme sertleşmesi

Beton içerisinde oluşan çekme gerilmelerinin elastik rijitlik üzerindeki etkisi çekme sertleşmesi olarak tanımlanmaktadır. Beton ve donatı arasında meydana gelen sıyrılma ve donatının kaldıraç etkisi nedeniyle oluşan beton davranış modeli, donatı boyunca betonda oluşan çatlaklarda çekme sertleşmesi (tension stiffening) davranışı dikkate alınarak tanımlanmaktadır. Çekme sertleşmesi, gerilme-şekil değiştirme ve çatlak enerjisi ile modellenebilir (Şekil 3.3.) [4].



Şekil 3.3. Betonun çekme sertleşmesi davranışı [19]

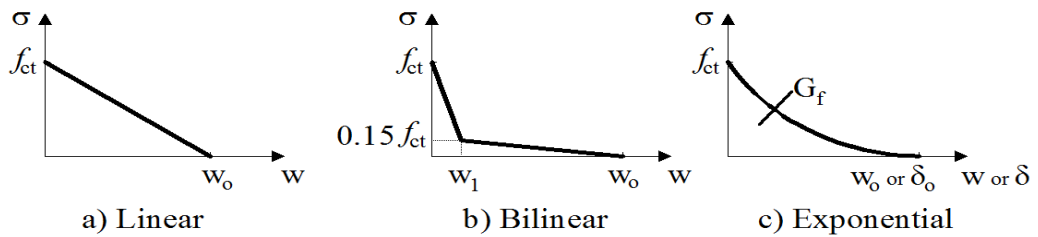
Gerilme yumuşaması davranışı, betonda çatlak boyunca oluşan şekil değiştirmenin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Sonlu eleman analizlerinde, kesitte donatı bulunmaması veya az miktarda bulunması nedeniyle çatlak oluşumunun kesitte düzgün yayılı olmaması hali, çekme sertleşmesinin tanımlanmasında problemlere neden olabilmektedir.

Çatlakların düzgün yayılı olması durumunda ise çözüm ağı hassasiyeti çok önemli olmamaktadır. Beton ve donatı arasındaki etkileşimin doğru bir şekilde modellenmesi durumunda çözüm ağı hassasiyeti azalmaktadır. Beton ve donatı arasında meydana gelen bu olumsuz etkileşim nedeni ile beton modelinde çekme sertleşmesi davranışı göz önüne alınmaktadır. Sonlu eleman analizlerinden doğru sonuçlar elde etmek için çekme sertleşmesi (tension stiffening) parametrelerinin belirlenmesi önemlidir [19].

3.3.5. Beton çatlama enerjisi

Birim alanda çatlak oluşumu için gerekli olan enerji, Çatlak enerjisi (G_f) ile tanımlanır. Bu yaklaşımda betonun gevrek davranışı, gerilme-yer değiştirme davranışı ile karakterize edilir. Betonda çatlama sonrası çekme sertleşmesi davranışı, çatlak enerjisi-çatlak genişliği parametreleri kullanılarak belirlenebilir. Çatlama enerjisi (G_f) malzemenin güç tükenmesine karşılık gelen gerilme (σ_{t0}) değeri ile bağıntılıdır [19, 26, 27, 28-30, 31].

Betonda oluşabilecek çatlak yayılımının düzgün dağıtılabilmesi amacıyla çekme sertleşmesinin tanımlanması için literatürde doğrusal, çift doğrusal ve doğrusal olmayan şeklinde üç farklı model bulunmaktadır [32] (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Betonun çatlama sonrası çekme davranışı [5]

Bu tez çalışmada, analiz anında en iyi sonuç veren davranışı doğrusal olmayan exponential (üstel fonksiyon) çekme modeli (Şekil 3.4.c.).

Şekil 3.4.c.'de verilen exponential (üstel fonksiyon) model literatürde aşağıdaki denklemler ile ifade edilebilmektedir.

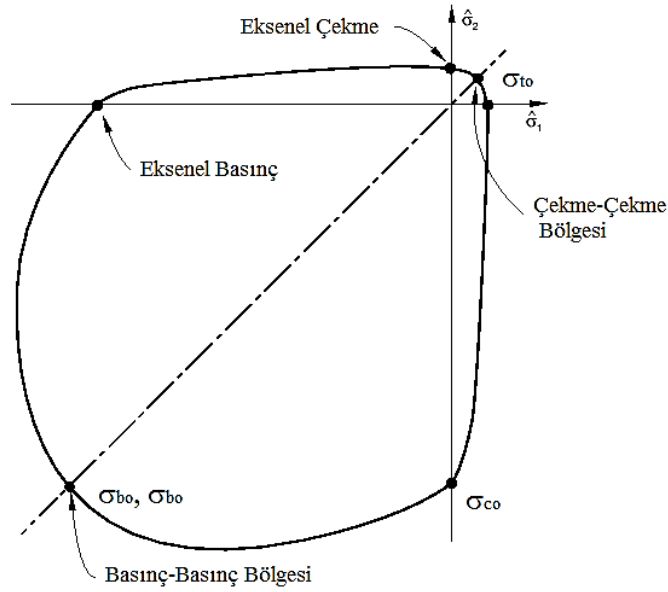
$$G_f = 73x f_{cm}^{0,18} \quad (3.9)$$

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f \quad (3.10)$$

Burada $\Delta f = 8 \text{ MPa}$ alınırken, f_{cm} , betonun ortalama basınç dayanımını, f_{ck} ise betonun karakteristik basınç dayanımını göstermektedir [27, 31].

3.3.6. Beton akma fonksiyonu

Beton Hasar Plastisite parametresi (BHP) modelinde, betonun basınç ve çekme etkisi altında elastik sınırlarını belirleyen yüzey, kırılma (akma) yüzeyi olarak tanımlanır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Betonun iki eksenli gerilme-güç tükenme zarfı [19]

Şekil 3.5.'da görüldüğü gibi düzlem gerilme halinde verilen göçme zarfında iki doğrultuda basınç etkimesi durumunda betonun dayanımı artmaktadır. Dayanımda meydana gelen en büyük artış ($\sigma_1 = 0,50\sigma_2$) durumunda oluşmakta ve bu değer tek eksenli basınç dayanım değerine oranla %25 daha fazla olmaktadır. Eşit basınç gerilmeleri uygulanması durumunda ($\sigma_1 = \sigma_2$) ise bu artış %12-16 seviyelerinde gerçekleşmektedir [4].

ABAQUS programında akma yüzeyi dört farklı parametre ile belirlenmektedir [19]. Bunlar, ψ (dilasyon/genleşme açısı), ϵ (eksantrisite), σ_{b0}/σ_{c0} , ve K_c şeklindedir. Burada, (ψ) çatlak oluşumu ile malzemede meydana gelen genleşme açısını, (ϵ) akma yüzeyi eksantrisitesini, σ_{b0}/σ_{c0} başlangıç eksenel basınç akma gerilmesinin başlangıç eksenel basınç gerilmesine oranını ve K_c , çekme fonksiyonu üzerindeki ikincil sabit gerilme oranını ifade etmektedir [4]. Bu tez çalışmasında ABAQUS'da kullanılacak akma yüzey parametreleri bir sonraki bölümde bahsedilecektir.

Nümerik çalışmalarda vizkozite parametresi kullanılmasıyla gerilmelerin akma yüzey sınırlarının dışına bir miktar çıkması sağlanarak sayısal modelin yakınsama yeteneği artırılmıştır. Vizkozite parametresi için geliştirilmiş Duvaut-Lions yaklaşımı kullanılmaktadır [4]. Genelde, vizkozite parametresi sıfıra yakın bir değer alınır. Bu çalışmada vizkozite parametresini alınacak değeri dördüncü bölümünde verilmiştir [25].

3.3.7. Plastik akma kuralı

Beton Hasar Plastisite parametresi (BHP) modelinde, plastik akma potansiyelin fonksiyonu gerilme ile plastik şekil değiştirme arasındaki ilişki ile tanımlanmaktadır. Bunun için aşağıdaki denklem 3.11 verilen Drucker-Prager fonksiyonu kullanılmaktadır (Şekil 3.6.). Drucker-Prager yaklaşımı gevrek malzemeler için doğrusal olmayan davranışın dikkate alındığı elasto-plastik bir malzeme modelidir [4].

$$G = \sqrt{(\epsilon \cdot \sigma_{to} \tan \psi)^2 + \bar{q}^2} - \bar{p} \cdot \tan \psi \quad (3.11)$$

Burada;

G : plastik akma fonksiyonu

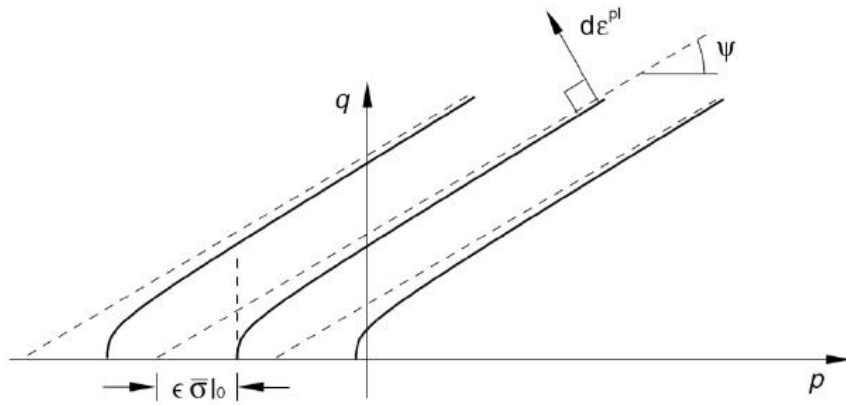
ψ : dilasyon/genleşme açısı

ϵ : Eksantrisite

σ_{to} : aksenal çekme gerilmesi

\bar{q} : eşdeğer Mises etkili gerilmesi

\bar{p} : hidrostatik basınç gerilmesi olarak tanımlanmaktadır [33].



Şekil 3.6. Drucker-Prager plastik potansiyel fonksiyonu [33]

3.4. Donatı Malzeme Modeli

Donatıların gerilme-şekil değiştirme davranışları kupon testleri veya donatı çubuklarına çekme deneyi uygulanmasıyla elde edilmektedir. Donatı malzeme davranışını belirlemek için metal plastisite modelleri kullanılır [19]. Şekil 3.7.'de donatı için elastik ve pekleşmeyi içeren elastik ötesi davranış sergileyen gerilme birim şekil değiştirme cinsinden malzeme modeli tanımlanmıştır [34].

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \quad \epsilon_s \leq \epsilon_{sy} \quad (3.12)$$

$$f_s = f_{sy} \quad \epsilon_{sy} < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh} \quad (3.13)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\epsilon_{su} - \epsilon_s)^2}{(\epsilon_{su} - \epsilon_{sh})^2} \quad \epsilon_{sh} < \epsilon_s \leq \epsilon_{su} \quad (3.14)$$

Burada;

f_s : Donatı çeliğindeki gerilme

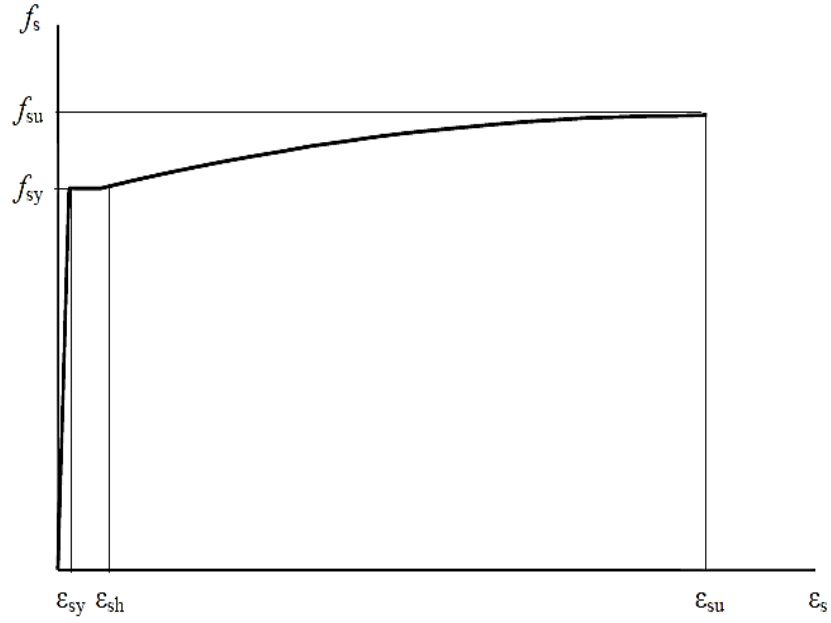
f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı

f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı

E_s : Donatı elastisite modülü

ϵ_s : Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi

ϵ_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi [33].



Şekil 3.7. Donatı davranış modeli [33]

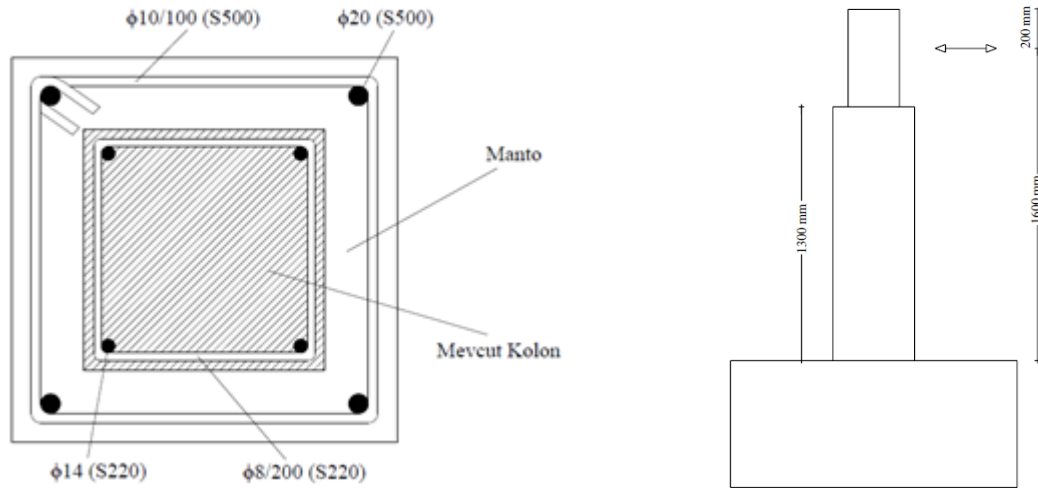
BÖLÜM 4. SONLU ELEMAN MODELİ (SEM) VE DOĞRULANMASI

4.1. Giriş

Literatürde ara yüz kaymasını minimize etmek için uygulanan yöntemlerle ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Bousias ve değerleri [7] tarafından yürütülen deneysel çalışmada betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolonlar incelenmiştir. Bu çalışmada, a) yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankraj çubuğu uygulanmamış (no treatment) bir numune; Q-RC, b) sadece yüzeyi pürüzlendirilmiş bir numune; Q-RCR, c) sadece ankraj çubuğu uygulanmış bir numune; Q-RCD d) yüzeyi pürüzlendirilmiş ve ankraj çubuğu uygulanmış numune; Q-RCRD, ve e) bir döküm (monolitik); Q-RCM üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu yapılan tez çalışmasında, bu deneysel sonuçlar dikkate alınarak SE modelleri için bir ara yüz sürtünme katsayısı önerilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, ABAQUS/Standard [2] programı kullanılarak, sonlu eleman modelleri oluşturulmuş ve monotonik yükleme etkisi altında betonarme manto ile güçlendirilen kolon modellerinin analizleri yapılmıştır. Bu bölümde öncelikle SE modelinin doğrulanması deney sonuçları dikkate alınarak yapılacak ve ardından da seçilen SE modeli kullanılarak ara yüz sürtünme katsayısı belirlenecektir.

Deneysel çalışmanın tamamında kolon boyutları aynı seçilmiş olup mevcut kolon 250x250 mm manto kalınlığı ise 75 mm olarak belirlenmiştir (şekil 4.1.). Ayrıca her deneysel çalışmada da kullanılan beton ve donatı özellikleri Tablo 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1. Betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolon kesiti ve yan görünüşü

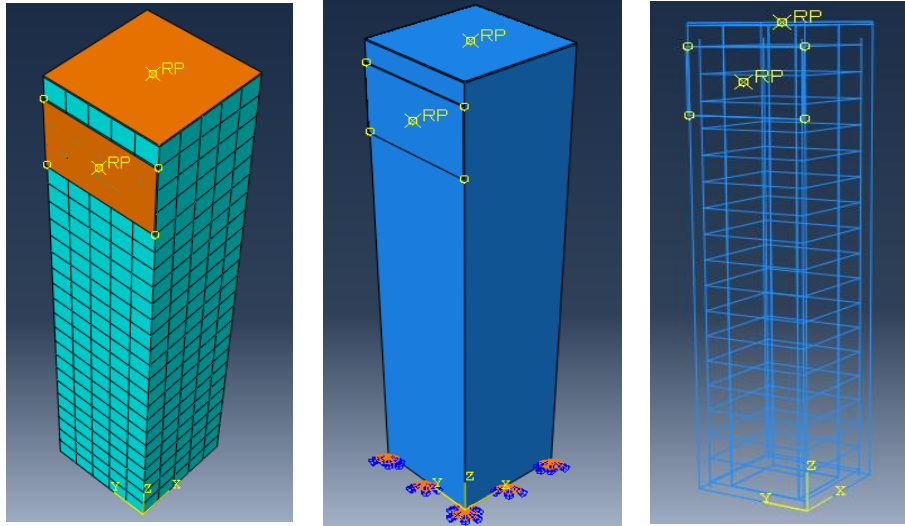
Tablo 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri

Numune	Mevcut Kolon					Betonarme Manto				
	$f_{c,c}$ MPa	boyuna donatı	$f_{y,c}$ MPa	Etriye	$f_{yw,c}$ MPa	$f_{c,j}$ MPa	boyun donatı	$f_{y,j}$ MPa	Etriye	$f_{yw,j}$ MPa
Q-RC	26,3	4 Φ 14	313	Φ 8/200	425	55,3	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599
Q-RCR	27,7	4 Φ 14	313	Φ 8/200	425	55,3	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599
Q-RCRD	26,3	4 Φ 14	313	Φ 8/200	425	53,2	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599
Q-RCD	27,4	4 Φ 14	313	Φ 8/200	425	55,3	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599
Q-RCM	30,6	-	-	-	-	30,6	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599

4.2. Sonlu Eleman Modeli

Literatürden seçilen numuneler [7] betonarme kolonlarının sonlu eleman modelleri için ABAQUS/Standard programı [19] kullanılarak oluşturulmuş ve monotonik yükleme altında analizleri yapılmıştır. Sonlu elemanlar modellerinde yükleme ve sınır koşulları dikkate alınarak betonarme kolonun herhangi bir parçası veya bölünme yerine tanımının modellenmesi yapılmıştır. Bu sonlu eleman modellerinin tamamında sonlu eleman ağ boyutu 50 mm olarak seçilmiştir. Betonun doğrusal olmayan malzeme davranışı beton hasar plastisite modeli kullanılarak modellenmiş ve çelik için elastik-plastik bilinear model kullanılmıştır. Donatıların tamamı beton içine gömülü eleman (embeded) olarak modellenmiştir. Sonlu eleman modeline yükler rijit bir eleman yardımıyla uygulanmıştır (Şekil 4.2.). Düşey yük, kolonun üst yüzeyinin merkezine (z-doğrultusu) ve yatay yük ise yan yüzeyine temel seviyesinden 1600mm yukarıda

seçilen noktalara uygulanmıştır. Mesnetler enkastra alınmış ve deneylerin her iki modelini aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sonlu eleman modelin (Q-RCM) kullanılan döküm (monolitik).

Sonlu eleman modelinin betonarme kolon davranışını gerçekçi bir şekilde simüle edebilmesi için betonarme hasar plastisite parametrelerinin uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Demir ve değerleri [5] çalışmasında T-profil betonarme kirişlerinin sonlu elemanlar analizlerini yapmışlar ve bu çalışmalarında Tablo 2'de verilen beton hasar plastisite parametreleri kullanmışlardır. V. Birtel ve P. Mark [24] çalışmasında benzer şekilde Tablo 4.2.'de verilen beton hasar plastisite parametrelerini kullanmışlardır.

Tablo 4.2. Beton hasar plastisite parametreleri

Parametreler	Demir ve değerleri	V. Birtel ve P. Mark	Acıklama
ψ	30	30	Genişleme açısı/ Dilasyon
ϵ	0,1	0,1	Eksantirisite
f_{b0}/f_{c0}	1,16	1,16	Eş iki eksenli başlangıç basınç akma gerilmesinin tek eksenli başlangıç basınç akma gerilmesine oranı

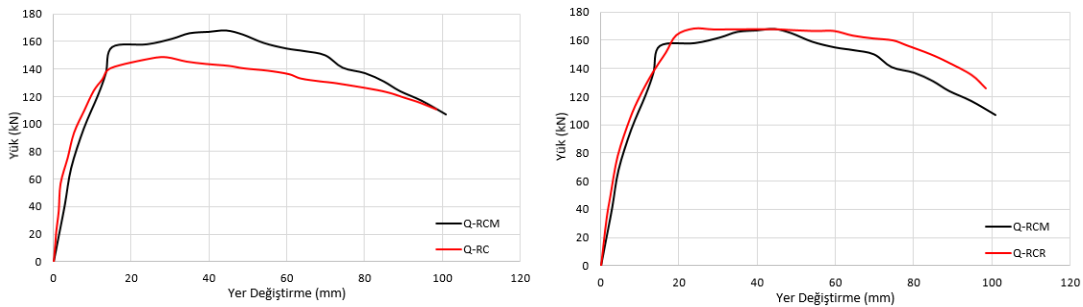
Tablo 4.2. (Devamı)

Parametreler	Demir ve değerleri	V. Birtel ve P. Mark	Acıklama
Kc	0,6667	0,6667	Çekme fonksiyonu üzerindeki ikincil sabit gerilme oranı
μ	0,0001	-	Viskosite parametresi
bc/bt	-	0,7/0,1	Hasar parametreler, ($0 < bc, bt \leq 1$) (Krätzig & Pölling, 2004)

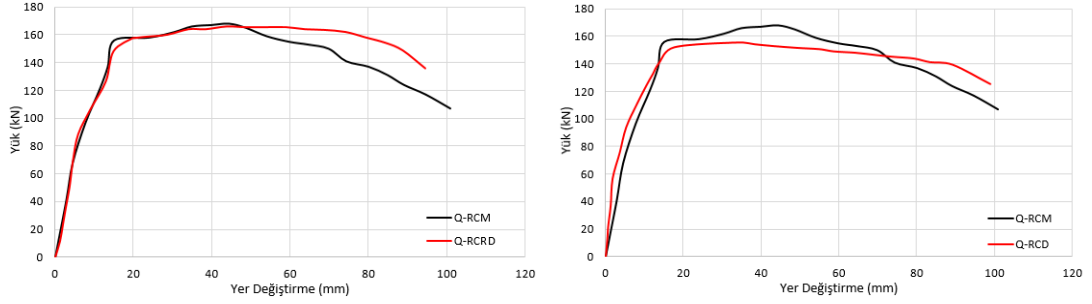
Tablo 4.2.'den de görüldüğü gibi Demir ve değerlerinin ve V. Birtel ve P. Mark'ın yaptığı çalışmalar da beton hasar plastisite parametrelerini hemen hemen aynı seçilmiştir. Bu çalışmada da benzer şekilde beton hasar plastisite parametrelerini aynı seçilecek ve betonarme dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (ψ) değiştirilerek sonlu eleman modelinin doğrulanması yapılacaktır.

4.3. Sonlu Eleman Modelinin Doğrulanması

Sonlu elemanlar modelinin doğrulanması, Bousias ve diğerleri [7] yaptığı deneysel çalışmalar ile yapılmıştır. Güçlendirilmiş betonarme kolonların mevcut kolon ve betonarme manto beton dayanımları farklı olduğundan SE modelinin doğrulanmasında sadece Q-RCM numunesinin kullanılması uygun değildir. Çünkü betonu monolitik olarak dökülmüş olan Q-RCM numunesinin beton dayanımı mevcut kolon ile betonarme manto için aynıdır. Q-RCM deney numunesi ile birlikte güçlendirilmiş monolitik kolon davranışına en yakın davranışını gösteren Q-RCRD deney numunesi kullanılarak betonarme SE modelinin dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (ψ) belirlenecektir (Şekil 4.3.).



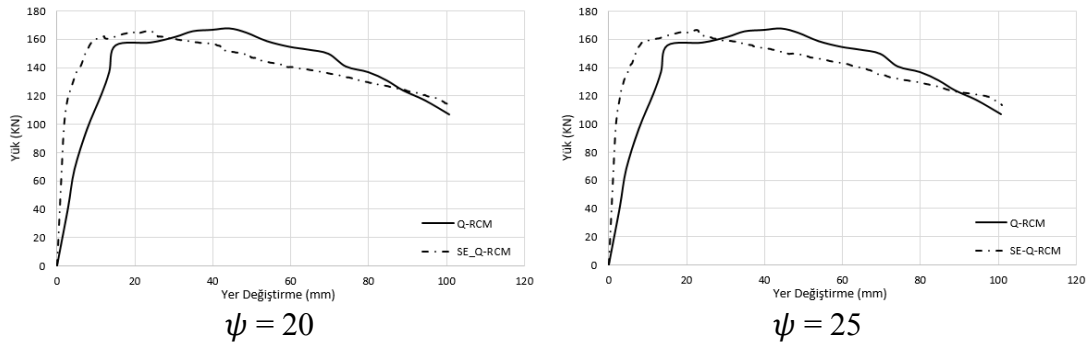
Şekil 4.3. Bousias ve diğerleri [7] 'nin yaptığı deneysel çalışma sonuçları



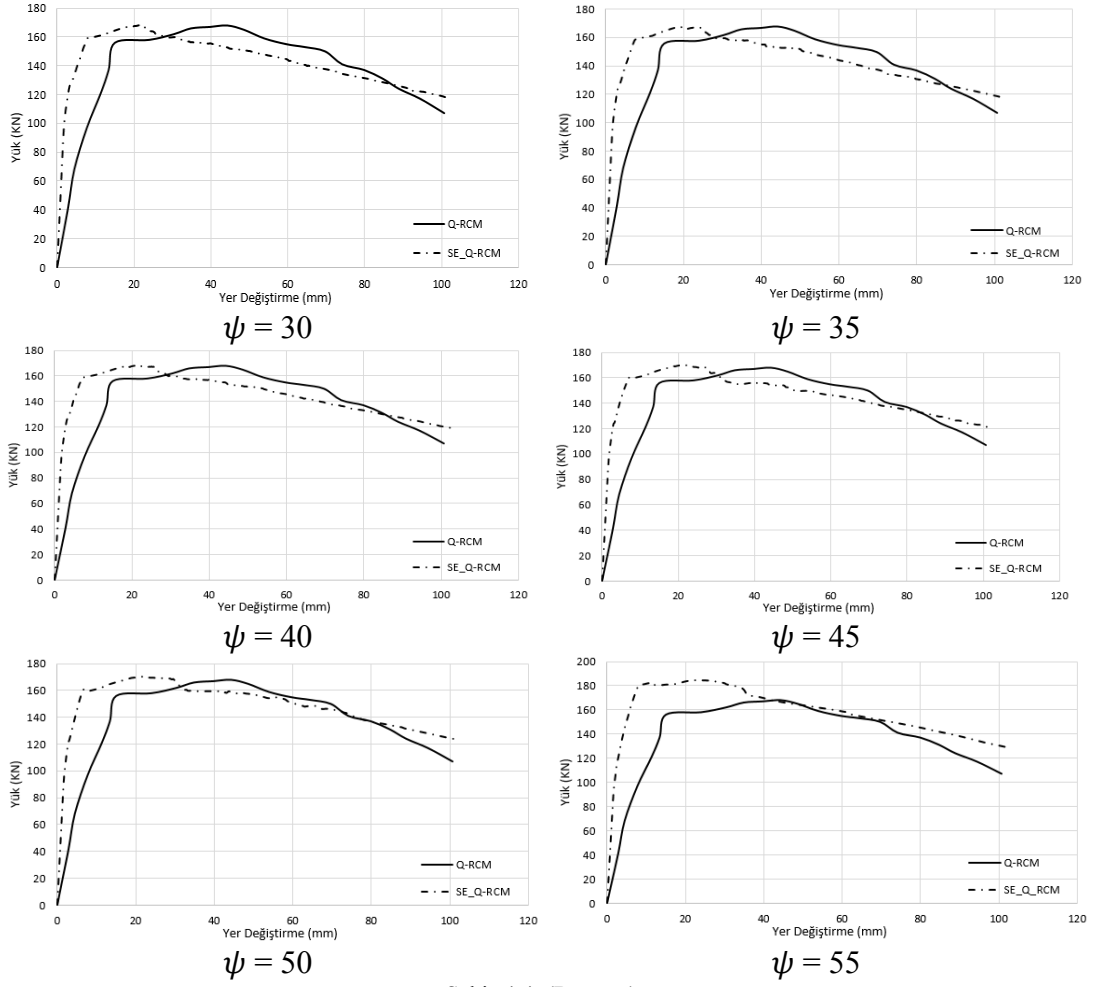
Şekil 4.3. (Devamı)

SE modelinin dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (ψ) hem mevcut kolon hem de betonarme manto için ayrı ayrı belirlenecektir. Bousias ve diğerleri'nin [7] yaptığı deneysel çalışmadaki güçlendirilmiş betonarme kolonların mevcut kolon kısmının beton dayanımı 27MPa ve betonarme mantonun beton dayanımı ise 55MPa civarlarındadır. Dolayısıyla, güçlendirilmiş betonarme kolonun mevcut kolonu ve betonarme manto için ayrı ayrı dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (ψ) değerleri belirlenecektir. Q-RCM deney numunesi monolitik olarak döküldüğü ve beton dayanımı 30MPa civarında olduğundan güçlendirilmiş kolonun mevcut betonuna ait dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (ψ) değeri bu numune kullanılarak belirlenecektir. Monolitik davranışa en yakın davranışı (Şekil 4.3) Q-RCRD deney numunesi verdiği için de güçlendirilmiş kolonun betonarme manto betonu için dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (ψ) değeri bu numune kullanılarak belirlenecektir.

Dilasyon (Genişleme) açısı parametresi 20–55 [19] arasında değiştirilerek SE_Q-RCM modelleri oluşturulmuş ve numerik analiz sonuçları Q-RCM deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.4.).



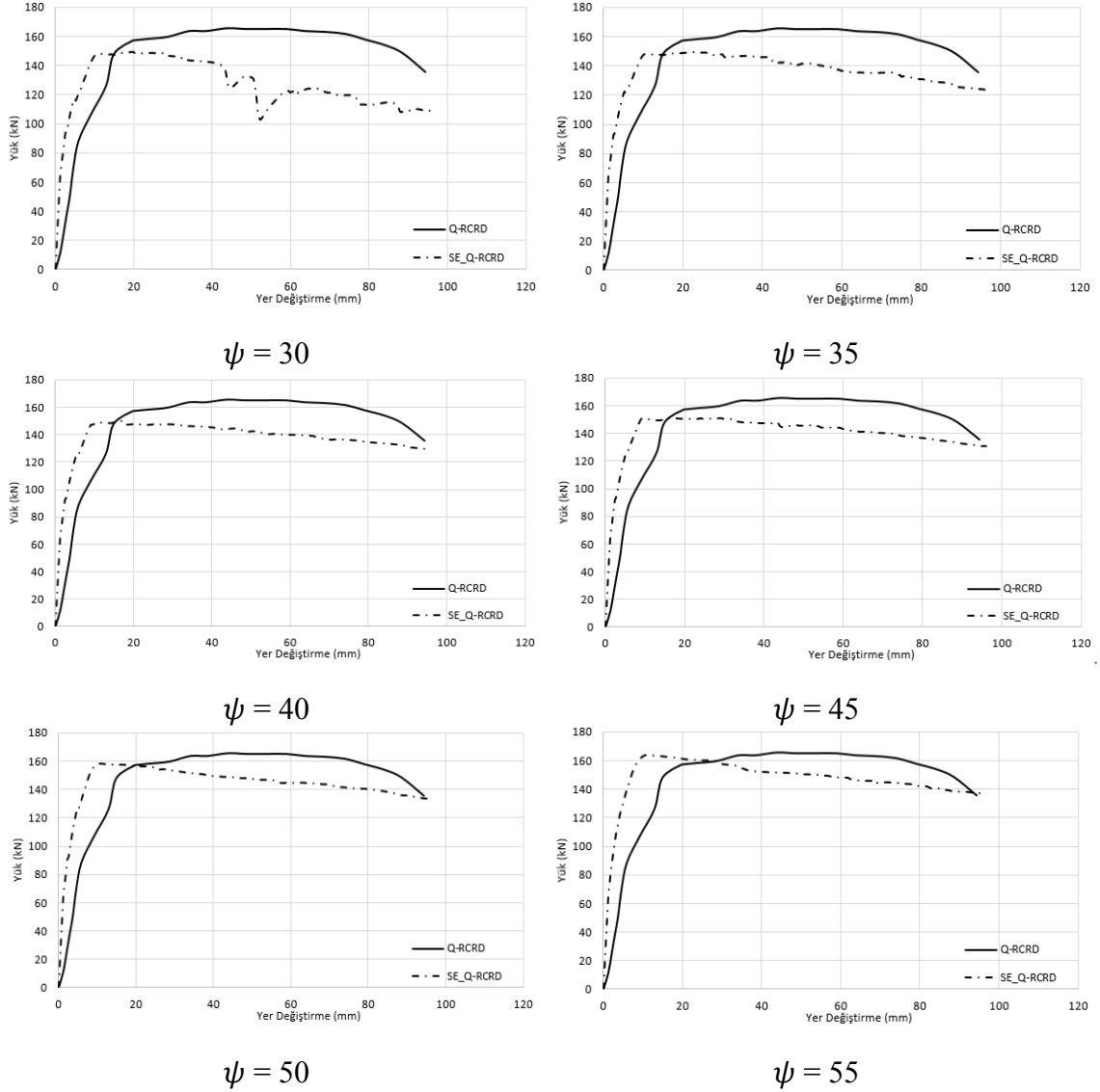
Şekil 4.4. farklı dilasyon (Genişleme) açısı



Şekil 4.4. (Devamı)

Şekil 4.4.'te verilen sonuçlardan da açıkça görüldüğü gibi Q-RCM deney sonucuna en yakın davranışa gösteren SE_Q-RCM modeli dilasyon (Genişleme) açısı parametresi ($\Psi=30$) olan modeldir. Dolayısıyla güçlendirilmiş betonarme kolonların mevcut betonu için $\Psi=30$ olarak seçilmiştir.

Aynı şekilde de, güçlendirilmiş olan numunenin manto kısmı dilasyon (Genişleme) açısı parametresi 30-55 arasında değiştirilerek SE_Q-RCRD modelleri oluşturulmuş ve numerik analiz sonuçları Q-RCRD deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.5.).



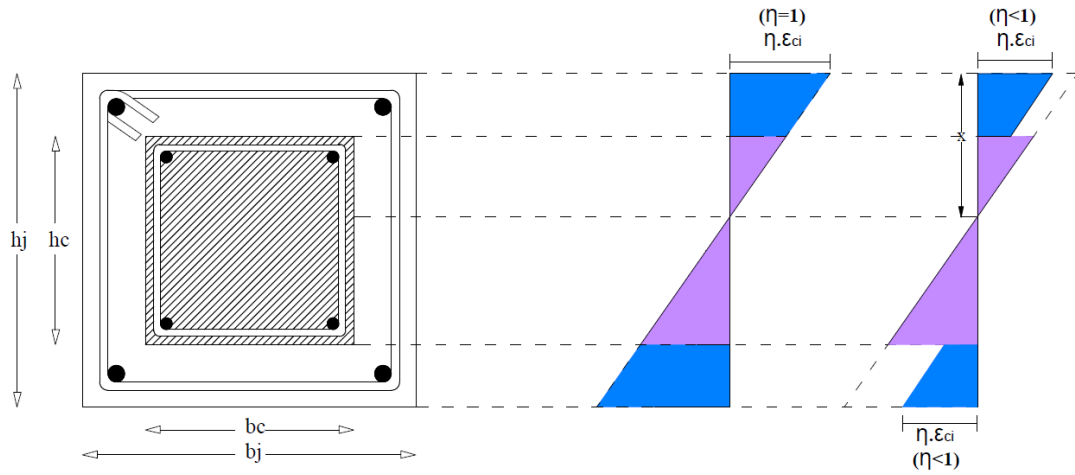
Şekil 4.5. Farklı dilasyon (Genişleme) açısı

Şekil 4.5.'te verilen sonuçlardan da açıkça görüldüğü gibi Q-RCRD deney sonucuna en yakın davranışa gösteren SE_Q-RCRD modeli dilasyon (Genişleme) açısı parametresi ($\Psi=55$) olan modeldir. Dolayısıyla güçlendirilmiş betonarme kolonların mevcut betonu için $\Psi=30$ ve manto betonu için $\Psi=55$ olarak seçilmiştir.

4.4. Ara yüz Kayma (Slip Interface) Katsayısı

Betonarme manto ile güçlendirilen betonarme kolonlarda mevcut kolonun betonu ile manto betonu yüzeyleri arasında “ara yüz kayması” oluşur. Bu ara yüz kayması nedeniyle mevcut beton ve manto betondaki birim şekil değiştirmeleri şekil 4.6.’de

görüldüğü gibi farklılaşır. Manto kısmındaki birim şekil değiştirmede $\Delta\varepsilon$ kadarlık bir azalma oluşur. Dolayısıyla manto kendinden beklenen güçlendirme işlevini tam olarak sağlayamaz. Ara yüzdeki kaymadan kaynaklanan bu azalmayı minimuma düşürmek için bazı yöntemler uygulanmakta ve mümkün olduğu kadar mevcut kolon ile mantonun birlikte hareket etmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemler; mevcut kolonun yüzeylerini pürüzlendirmek ve mevcut kolon ve mantoyu ankranj çubukları ile birbirine bağlamaktır.



Şekil 4.6. Manto ile güçlendirilmiş kesitin birim şekil değiştirme profili

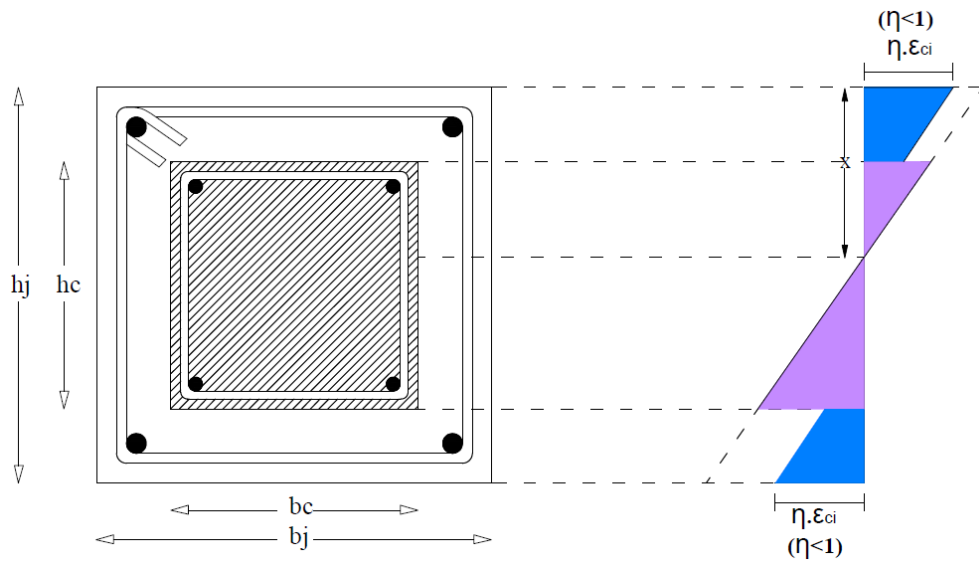
Literatürde ara yüz kaymasını minimize etmek için uygulanan yöntemlerle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bousias ve diğerleri [7] yaptıkları deneysel çalışmada betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolon davranışlarını incelemiştir. Bu çalışmada a) yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankranj çubuğu uygulanmamış (No treatment) bir numune; Q-RC, b) yüzeyi pürüzlendirilmiş bir numune; Q-RCR ve c) sadece ankranj çubuğu uygulanmış bir numune Q-RCD üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada bu deneysel sonuçlar dikkate alınarak SE modeller için bir ara yüz sürtünme katsayısı önerilmesi hedeflenmektedir. Ara yüz sürtünme katsayısının önerilmesi aşamasında SE modeli olarak yukarıda yapılan doğrulama çalışmaları sonucunda seçilen SE modellerinin parametreleri kullanılacaktır.

4.4.1. Q-RC modeli (Pürüzsüz ve ankrajsız)

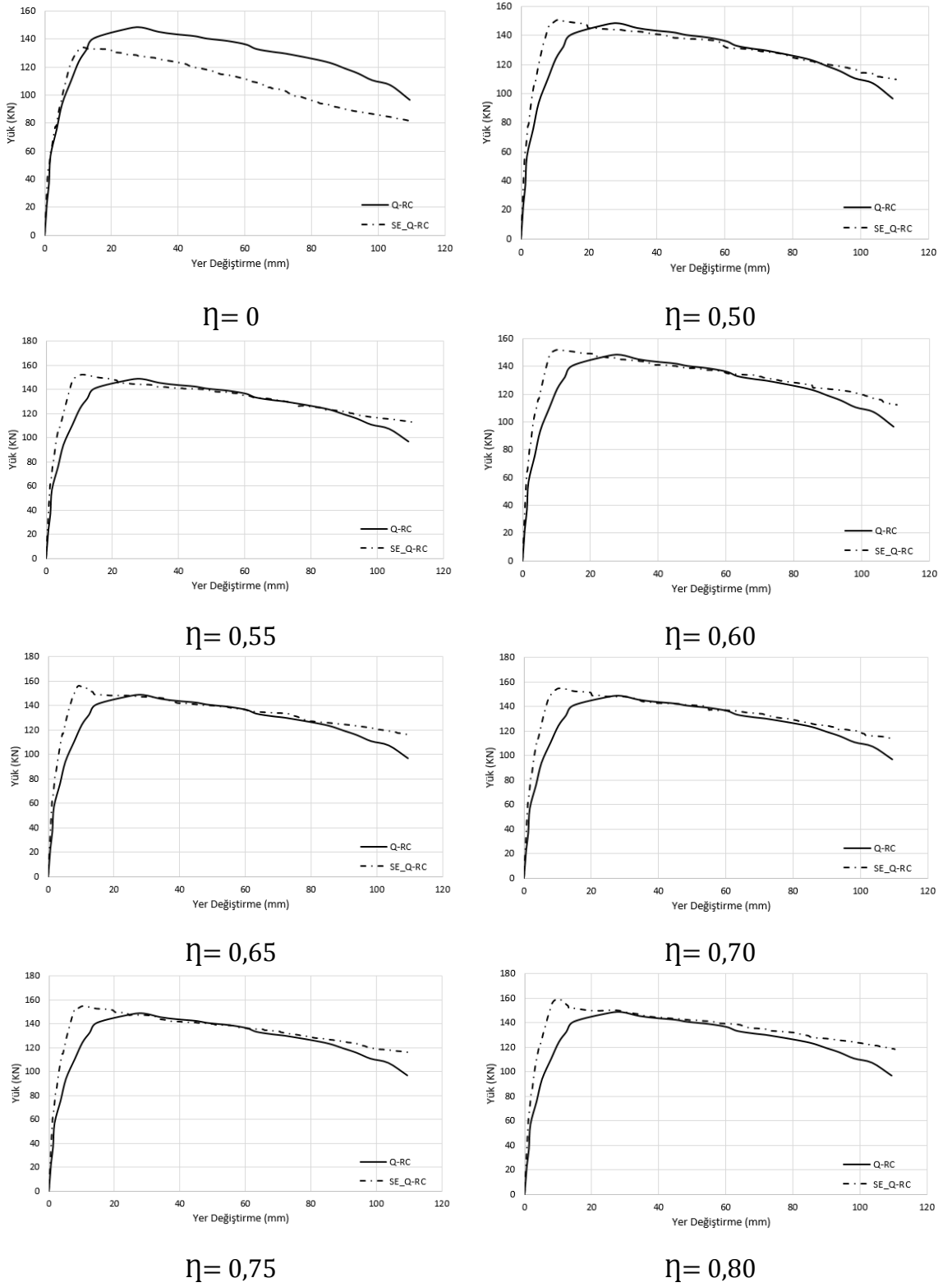
Q-RC modeli, mevcut betonarme kolon ile betonarme mantonun birlikte hareket etmesi ve ara yüzlerde oluşabilecek ara yüz kaymasını engellemek için herhangi bir işlem yapılmamış numuneye karşılık gelmektedir [7]. Bu deney numunesinde mevcut betonarme kolon yüzeyinde herhangi bir pürüzlendirme işlemi uygulanmamış ve mevcut betonarme kolon ile betonarme manto arasında ankraj çubukları kullanılmamıştır. Mevcut kolon 250x250 mm manto kalınlığı ise 75 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7.). Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri Tablo 4.3. de verilmiş ve eksenel düşey yük değeri 705 kN olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri

Numune	Mevcut Kolon					Betonarme Manto				
	$f_{c,c}$ MPa	boyuna donatı	$f_{y,c}$ MPa	Etriye	$f_{yw,c}$ MPa	$f_{c,j}$ MPa	boyuna donatı	$f_{y,j}$ MPa	Etriye	$f_{yw,j}$ MPa
Q-RC	26,3	4 Φ 14	313	Φ 8/200	425	55,3	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599



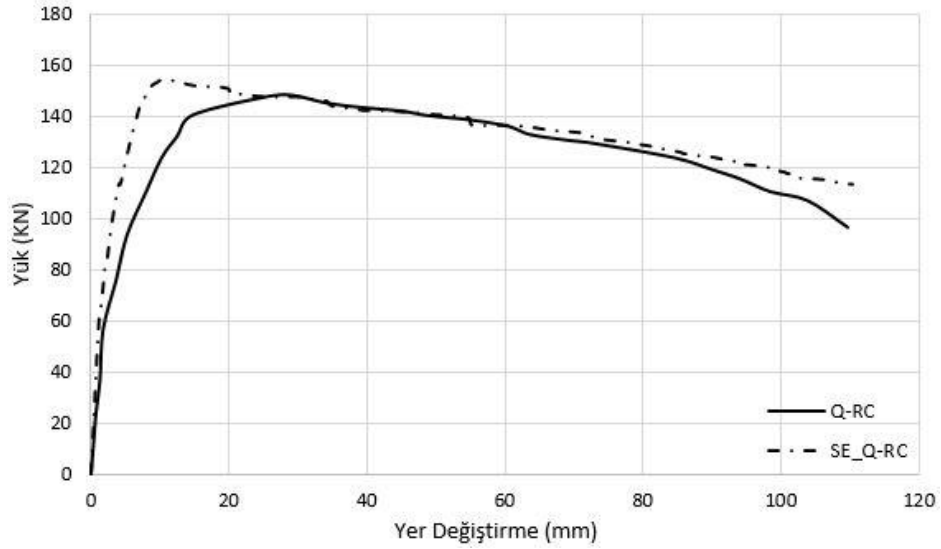
Şekil 4.7. Q-RC kesitinin gerilme profili



Şekil 4.8. Farklı ara yüz sürtünme katsayısı

Yukarıdaki sonuçlardan da görüldüğü gibi Q-RC modelinin davranışını en iyi yakalayan SE modeli ara yüz sürtünme katsayısı $\eta=0.75$ olan modeldir. Dolayısıyla bu

çalışmada, yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankraj çubuğu bulunmayan güçlendirilmiş betonarme kolonların nümerik çözümleri için ara yüz sürtünme katsayısı $\eta=0.75$ olarak önerilmektedir (Şekil 4.9.).



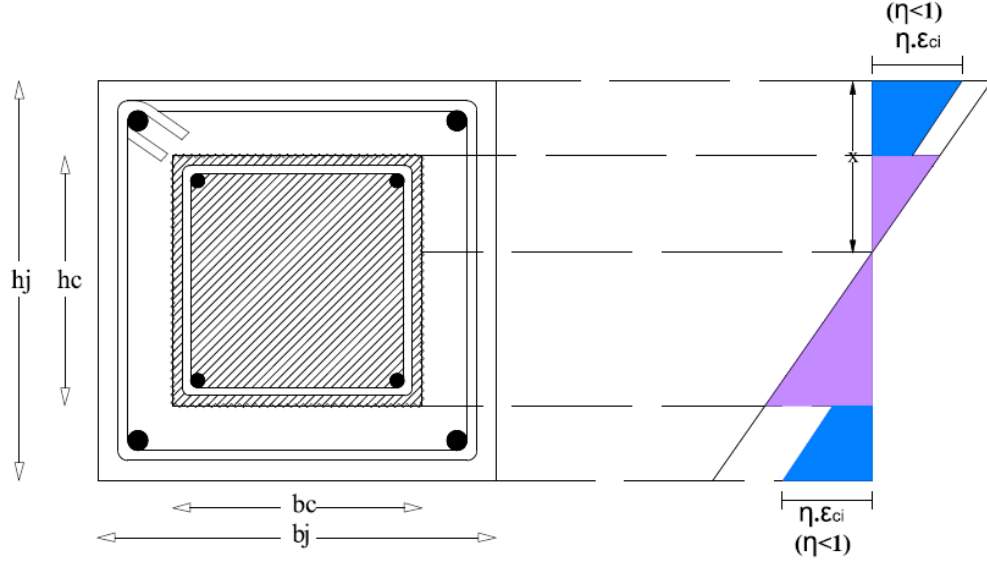
Şekil 4.9. Ara yüz sürtünme katsayısı ($\eta=0.75$) olan seçilen SE modeli

4.4.2. Q-RCR (Pürüzlü ve ankrajsız)

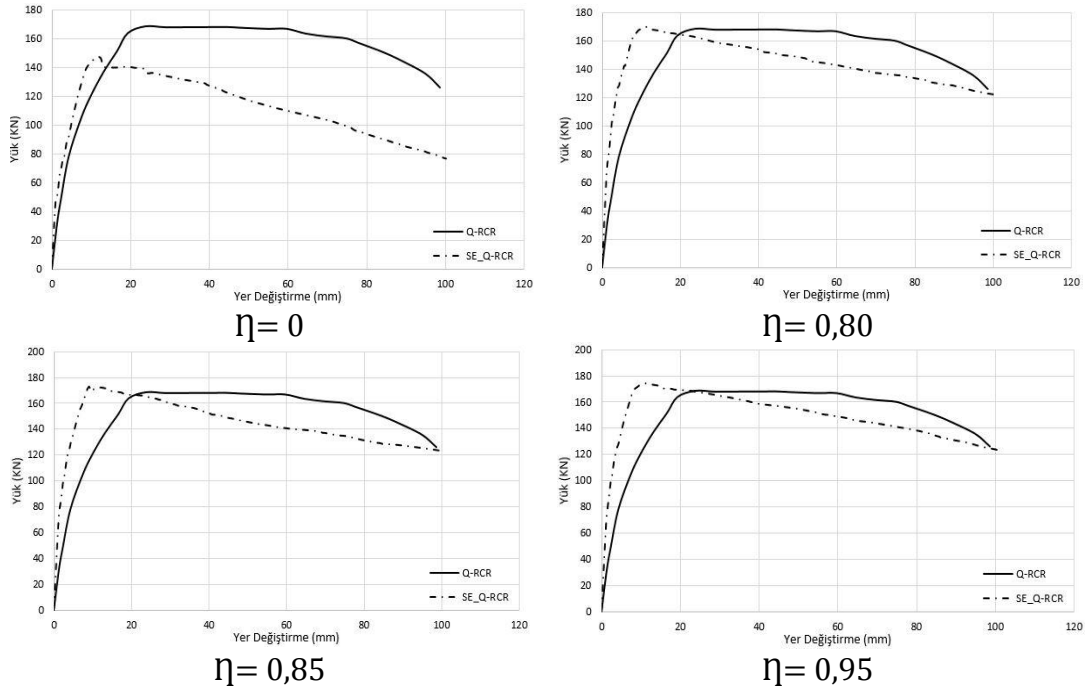
Q-RCR modeli, mevcut betonarme kolon ile betonarme mantonun birlikte hareket etmesi ve ara yüzlerde oluşabilecek ara yüz kaymasını engellemek için mevcut betonarme kolon yüzeyinde pürüzlendirme işlemi uygulanmıştır, ancak mevcut betonarme kolon ile betonarme manto arasında ankraj çubukları kullanılmamıştır [7]. Mevcut kolon 250x250 mm manto kalınlığı ise 75 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10.). Ayrıca, Q-RCR deneyinin düşey yükü 795 kN olarak SE modellemesinde kullanılmıştır.

Tablo 4.4. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri

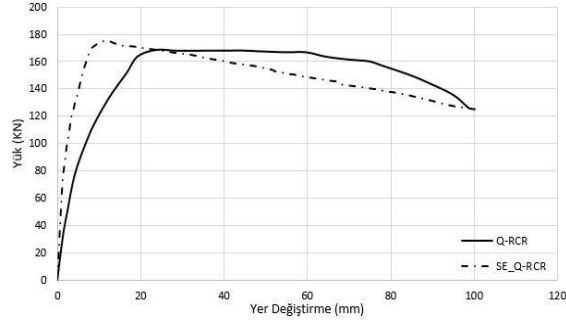
Numune	Mevcut Kolon					Betonarme Manto				
	$f_{c,c}$ MPa	boyuna donatı	$f_{y,c}$ MPa	Etriye	$f_{y,w,c}$ MPa	$f_{c,j}$ MPa	boyuna donatı	$f_{y,j}$ MPa	Etriye	$f_{y,w,j}$ MPa
Q-RCR	27,7	4 Φ 14	313	Φ 8/200	425	55,3	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599



Şekil 4.10. Q-RCR kesitinin gerilme profili



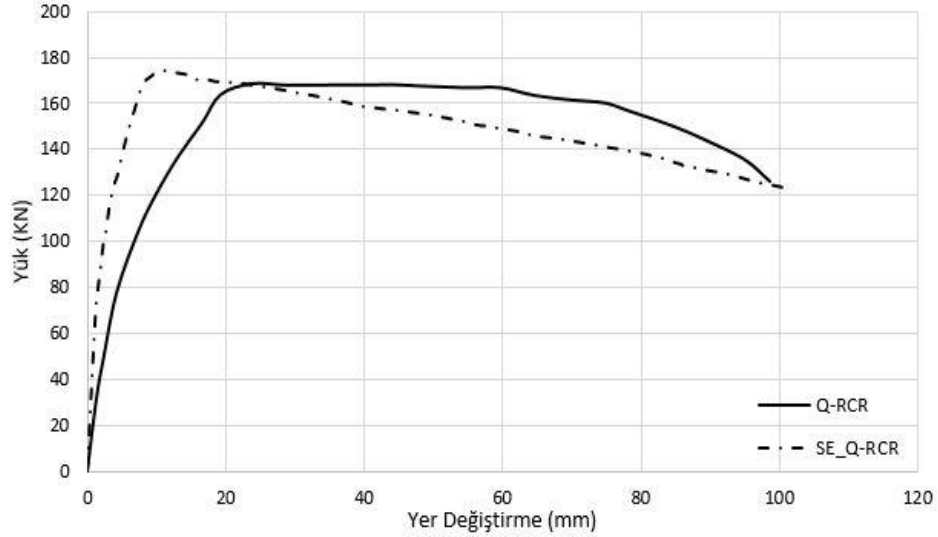
Şekil 4.11. Farklı ara yüz sürtünme katsayısı



$$\eta = 1$$

Şekil 4.11. (Devamı)

Yukarıdaki sonuçlardan da görüldüğü gibi Q-RCR modelinin davranışını en iyi yakalayan SE modeli ara yüz sürtünme katsayısı $\eta=0.95$ olan modeldir. Dolayısıyla bu çalışmada, yüzeyi pürüzlendirilmiş ve ankraj çubuğu bulunmayan güçlendirilmiş betonarme kolonların nümerik çözümleri için ara yüz sürtünme katsayısı $\eta=0.95$ olarak önerilmektedir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Ara yüz sürtünme katsayısı ($\eta=0.95$) olan seçilen SE modeli

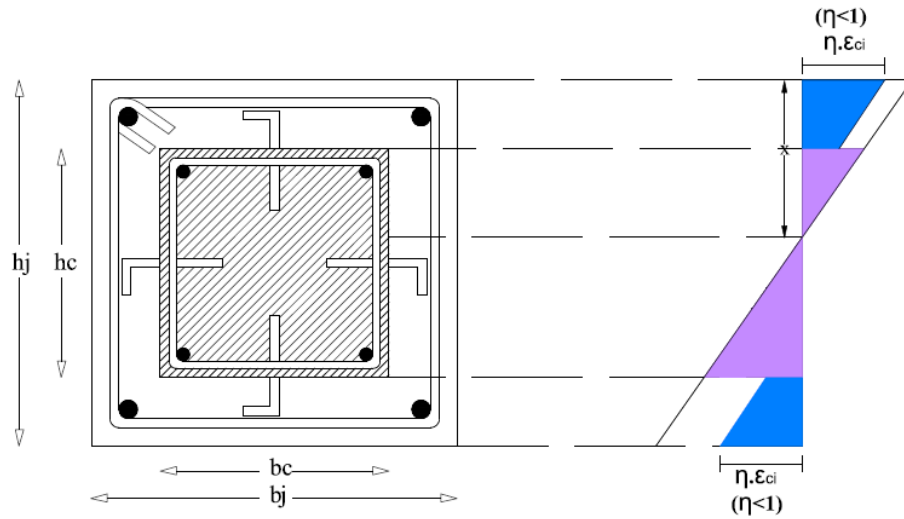
4.4.3. Q-RCD (Pürüzsüz ve ankrajlı)

Bousias ve diğerleri [7] çalışmasında, bu numune (Q-RCD) olarak adlandırılmıştır. Mevcut kolon 250x250 mm manto kalınlığı ise 75 mm olarak belirlenmiştir (şekil

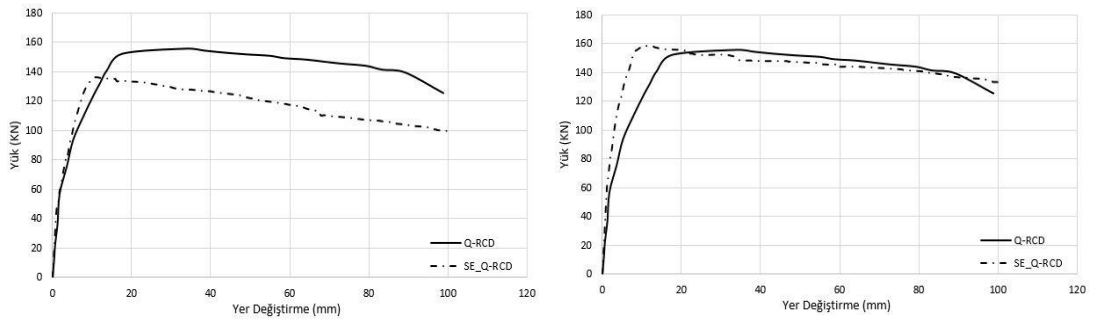
4.1.). Bousias yaptıkları deneysel çalışmada mevcut kolon ile betonarme manto arasında kolon tabandan 200, 650 ve 1100 mm'lik aralıklarla 16 mm'lik ankaraj çubukları uygulamışlardır. Ankaraj çubuğu 100 mm'lik miktarı eski kolon içine yerleştirilmiş ve 50 mm'de 90° deregede de (L şeklinde) manto kısmında yerleştirilmiştir (Şekil 4.13). Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri Tablo 4.20. de verilmiştir. Ayrıca, Q-RCD deneyinin düşey yükü 750 kN olarak SE modellemesinde kullanılmıştır.

Tablo 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan beton ve donatı özellikleri

Numune	Mevcut Kolon					Betonarme Manto				
	$f_{c,c}$ MPa	boyuna donatı	$f_{y,c}$ MPa	Etriye	$f_{yw,c}$ MPa	$f_{c,j}$ MPa	boyuna donatı	$f_{y,j}$ MPa	Etriye	$f_{yw,j}$ MPa
Q-RCD	27,4	4 Φ 14	313	Φ 8/200	425	55,3	4 Φ 20	487	Φ 10/100	599



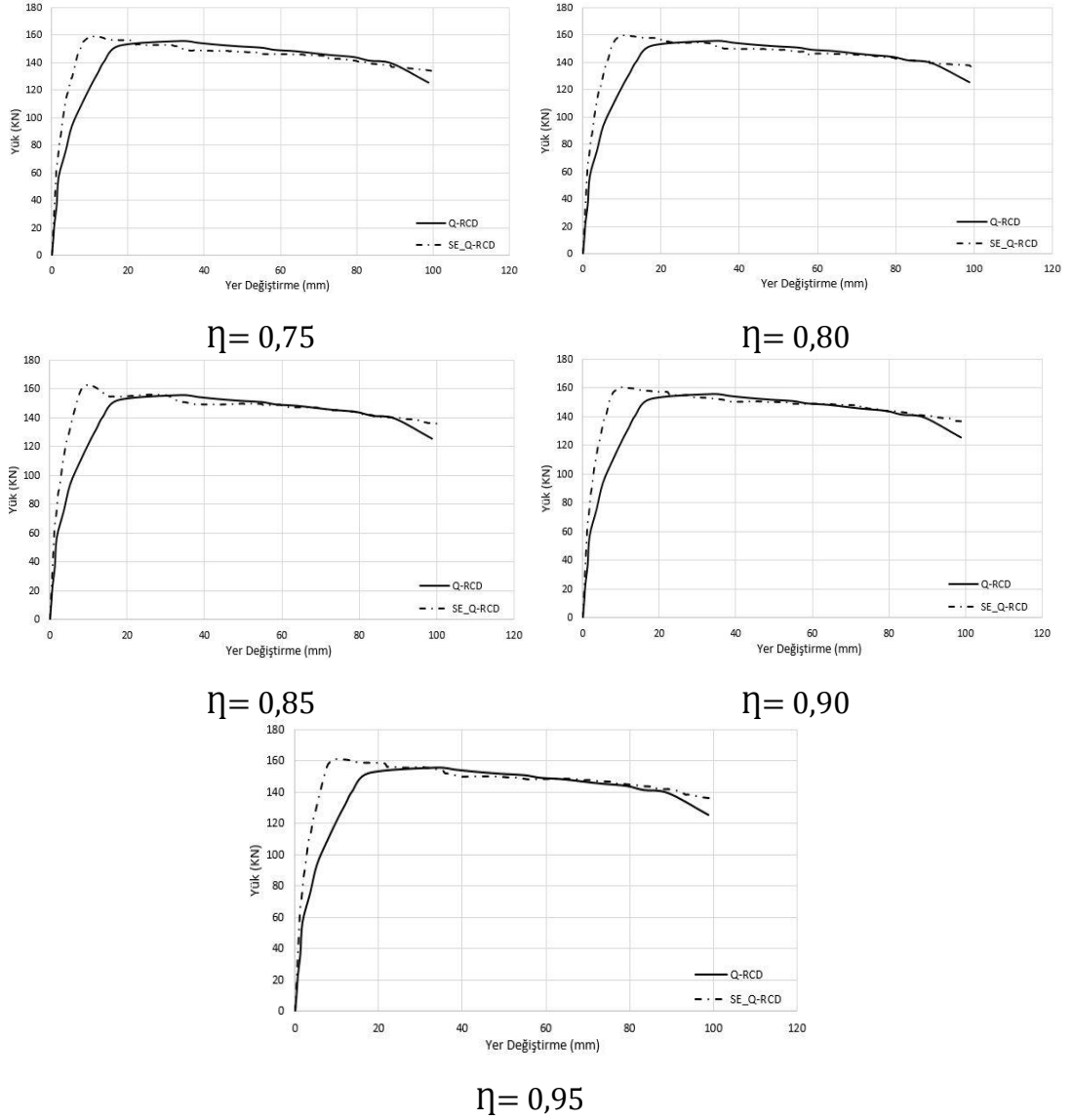
Şekil 4.13. Q-RCD kesitinin gerilme profili



$\eta = 0$

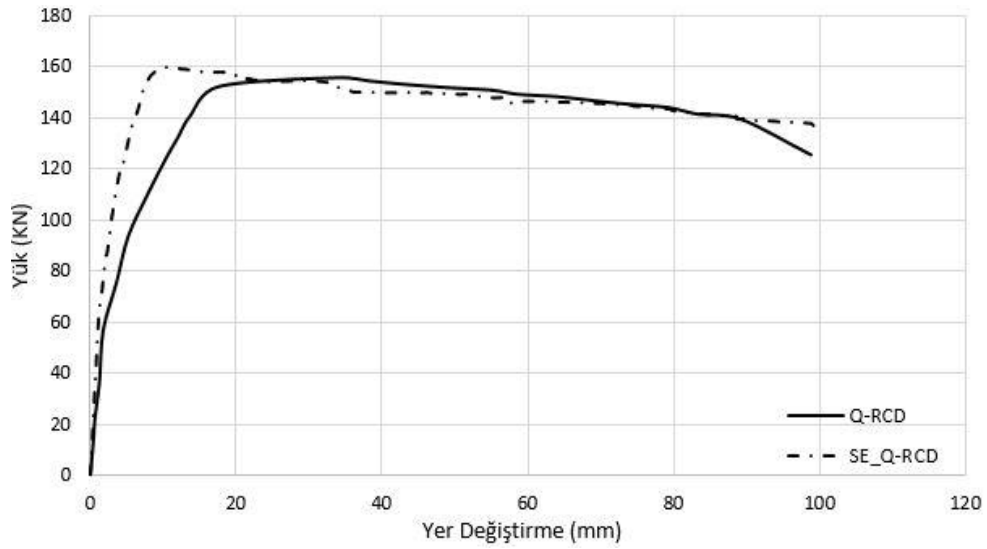
$\eta = 0,70$

Şekil 4.14. Farklı ara yüz sürtünme katsayısı



Şekil 4.14. (Devamı)

Yukarıdaki sonuçlardan da görüldüğü gibi Q-RCD modelinin davranışını en iyi yakalayan SE modeli ara yüz sürtünme katsayısı $\eta = 0.80$ olan modeldir. Dolayısıyla bu çalışmada, yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankraj çubuğu bulunan güçlendirilmiş betonarme kolonların nümerik çözümleri için ara yüz sürtünme katsayısı $\eta = 0.80$ olarak önerilmektedir (Şekil 4.15.).



Şekil 4.15. Ara yüz sürtünme katsayısı ($\eta=0.80$) olan seçilen SE modeli

Tablo 4.6. Önerilen ara yüz sürtünme katsayısı (η) değerleri

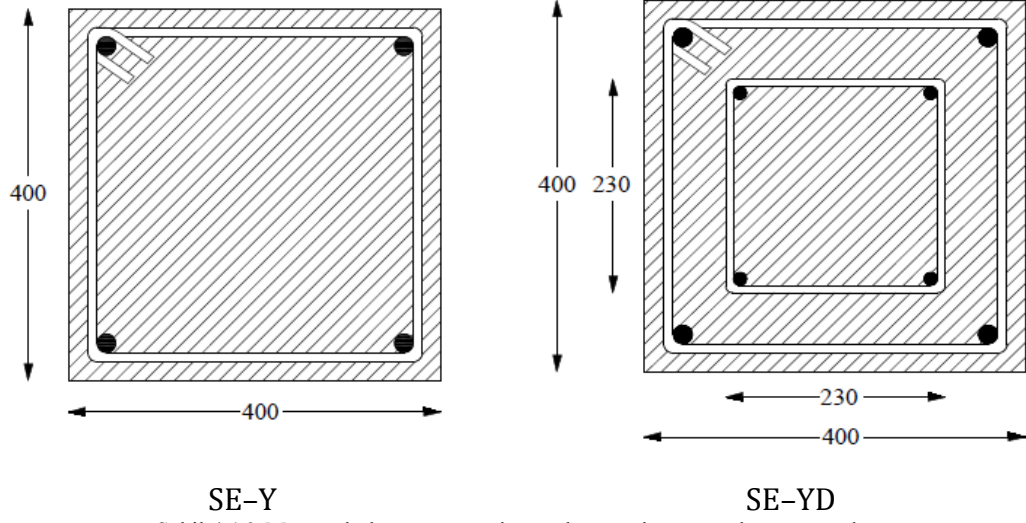
	Önerilen ara yüz sürtünme katsayısı (η)
Yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankrajsız	0.75
Yüzeyi pürüzlendirilmiş ve ankrajsız	0.95
Yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankrajlı	0.80

4.5. Parametrik Çalışma

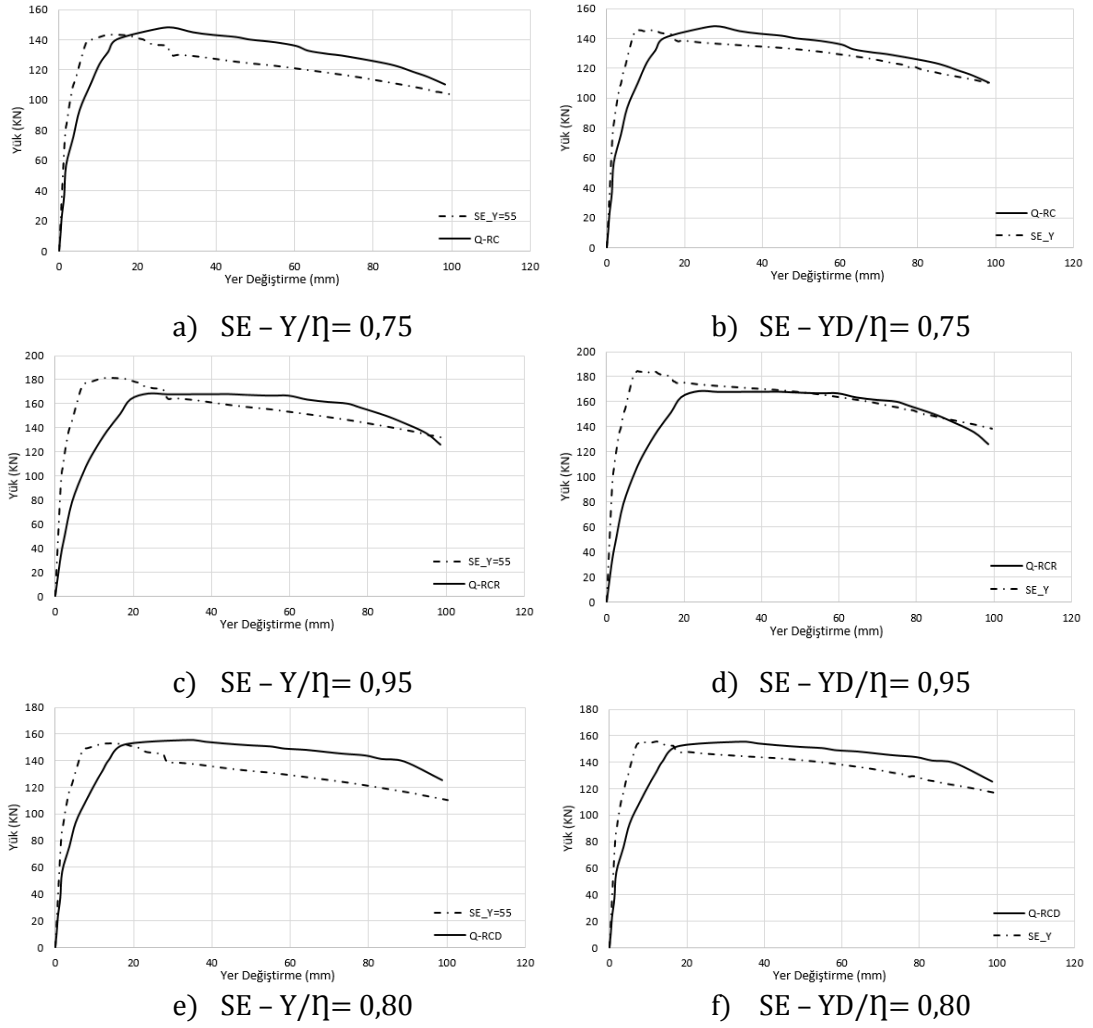
TDY 2016 (Taslak) [35] taslak metninde, betonarme manto ile güçlendirilmiş betonarme kolonların dayanımı hesaplanırken sarılmış brüt kesit boyutları ile manto betonunun dayanımı kullanılarak hesaplanabileceği fakat elde edilen dayanımın 0,90 ile çarpılarak azaltılması gerektiği belirtilmektedir.

Bu çalışma kapsamında önerilen “ara yüzey sürtünme katsayısı” ile TDY 2016 (Taslak) [35] da önerilen azaltma katsayısını karşılaştırmak amacıyla aşağıdaki sayısal analizler yapılmıştır. Bu sayısal analizlerde Bousias tarafından test edilen deney numunelerin beton dayanımlarının hem mevcut kolon hem de manto için aynı olduğu varsayılmıştır.

Yapılan bu sayısal analizlerde mevcut kolonun donatıları SE–Y modellerinde dikkate alınmamış olmakla birlikte SE–YD modellerinde dikkate alınmıştır (Şekil 4.16.).



Şekil 4.16. Mevcut kolon ve manto beton dayanımları aynı olan numuneler



Şekil 4.17. Her iki nümerik numunelerin karşılaştırılması

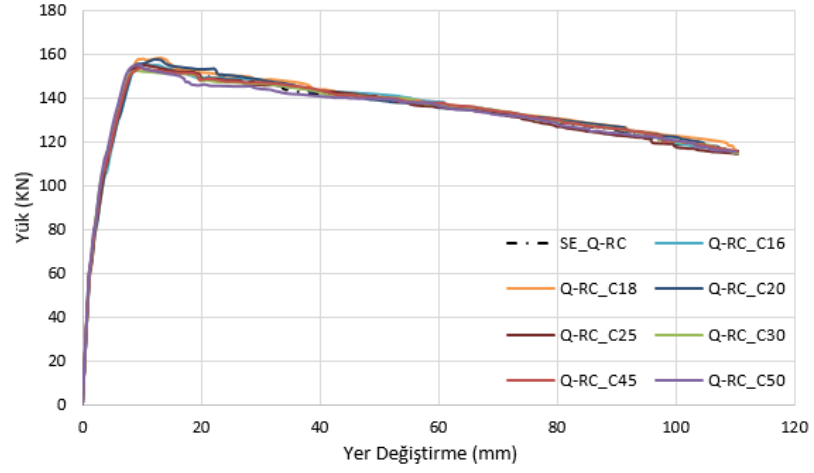
TDY 2016 (Taslak) [35] da, betonarme manto ile güçlendirilmiş olan betonarme kolonların dayanımının 0.90 ile çarpılarak azaltılması gerektiği belirtilmektedir. Şekil 4.17_c ve d’de verilen grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi TDY 2016 [35] da önerilen bu değer güçlendirilmiş betonarme kolon davranışı açısından uygundur. Fakat TDY 2016 (Taslak) [35] da verilen bu değer yüzeyin pürüzlendirilmiş ve ankraj çubuğu kullanılması durumunda kullanılabileceği unutulmamalıdır. Bununla birlikte beton yüzeylerinin pürüzlendirilmemesi ve ankraj çubuğu kullanılmaması durumunda kolonların dayanımının 0.75 ile (Şekil 4.17_a ve b’de) ve sadece ankraj çubuğu kullanılması durumunda ise 0.80 ile (Şekil 4.17_e ve f’de) çarpılarak azaltılması gerektiği gösterilmiştir. Şekil 4.17.’deki karşılaştırmalar deneysel sonuçlar ile yapıldığından mevcut kolon donatılarının dikkate alındığı SE–YD numuneleri daha iyi performans göstermiştir. Dolayısıyla yüzeyin pürüzlendirilmemesi ve ankraj uygulanmaması durumunda bu değer 0,75’lere kadar düşmektedir.

Betonarme manto ile güçlendirme işleminde güçlendirilen mevcut kolonun beton basınç dayanımının etkisini araştırmak üzere parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmada, Bousias ve diğerleri [7] çalışmasındaki güçlendirilen numuneler (Q-RC, Q-RCR ve Q-RCD) için her bir numunenin mevcut kolon için farklı beton basınç dayanımı verilmiştir ve tek basınç değeri mantoya seçilmiştir (Tablo 4.7).

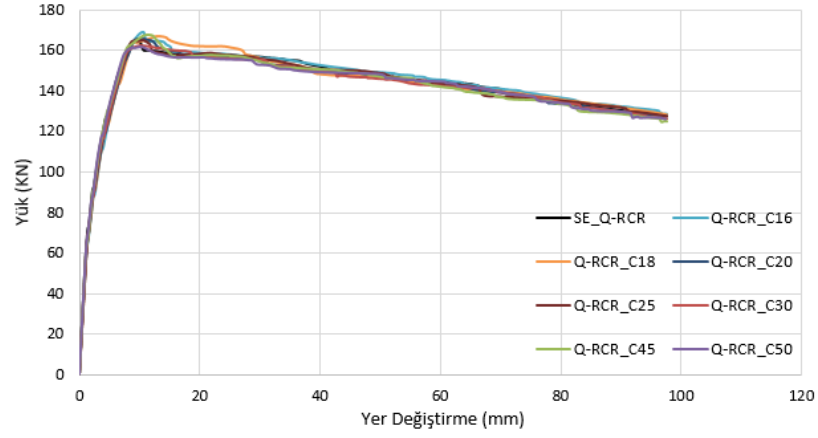
Tablo 4.7. Parametrik çalışmada kullanılan mevcut ve manto kolonun beton dayanımı

Numune	Mevcut Kolon basınç dayanımı ($f_{c,c}$ / MPa)	Manto basınç dayanımı ($f_{c,c}$ / MPa)
Q-RC	16	50
	18	
	20	
Q-RCR	25	
	30	
Q-RCD	45	
	50	

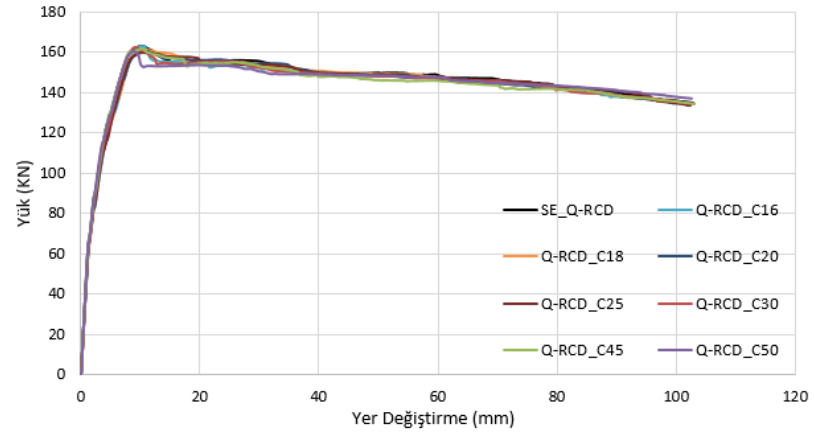
Bu parametrik çalışmada ilk olarak Bousias ve diğerleri [7] çalışmasındaki güçlendirilen numuneler (Q-RC, Q-RCR ve Q-RCD) doğrulanmış SE modellerini kullanılarak ve mevcut kolonun beton basınç dayanımı değiştirilerek ABAQUS/Standard [19] yazılımı SE modelleri oluşturulup çözülmüştür. Nümerik çözümleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 4.18.).



Seçilen SE_Q-RC vs parametrik çalışmada farklı Q-RC basınç dayanımı



Seçilen SE_Q-RCR vs parametrik çalışmada farklı Q-RCR basınç dayanımı



Seçilen SE_Q-RCD vs parametrik çalışmada farklı Q-RCD basınç dayanımı

Şekil 4.18. Parametrik çalışmadaki sonuçları

Sonuç olarak güçlendirilen betonarme kolonun davranışının mevcut kolonun beton basınç dayanımından bağımsız olduğu ve betonarme mantonun beton basınç dayanımının ve yüzeyin pürüzlendirilme işlemleri ile uygulanan ankraj çubuklarının belirlediği gösterilmiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, öncelikle betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonların davranışı göstermek amacıyla nümerik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılan önemli özelliklerinden biri literatürde [7] bulunan betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonların mevcut kolon ve mantonun arasındaki ara yüz sürtünme katsayısı önerilmesidir. Önerilen bu ara yüz sürtünme katsayısı, Bousias ve diğerleri [7] çalışmada, a) yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankraj çubuğu uygulanmamış (no treatment) bir numune; Q-RC, b) sadece yüzeyi pürüzlendirilmiş bir numune; Q-RCR, c) sadece ankraj çubuğu uygulanmış bir numune; Q-RCD d) yüzeyi pürüzlendirilmiş ve ankraj çubuğu uygulanmış numune; Q-RCRD üzerinde nümerik bir çalışma uygulanmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan SE modelleme çalışmalarının ilk aşamasında elde edilen bulgular aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- a. Literatürde bulunan betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonların referans olarak Bousias ve diğerleri [7] çalışması seçilmiştir.
- b. Bu tez çalışmasında, Bousias ve diğerleri [7] çalışmasında yer alan numuneler (Q-RC, Q-RCR, Q-RCD, Q-RCRD ve Q-RCM) alınmış ve üzerlerinde sonlu eleman (SE) bir çalışma yapılmıştır.
- c. Bousias ve diğerleri [7] çalışmada seçilen deney numuneleri referans olarak Q-RCRD numunesi seçilmesi karar verilmiş. Seçilme kararı Q-RCM deney numunesi ile birlikte güçlendirilmiş kolonlar monolitik kolon davranışına en yakın davranışını gösteren Q-RCRD deney numunesidir.

- d. Q-RCM deney numunesi monolitik olarak döküldüğü ve beton dayanımı 30MPa civarında olduğundan güçlendirilmiş kolonun mevcut betonuna ait dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (Ψ) değeri bu numune kullanılarak belirlenmiştir. Q-RCM deney sonucuna en yakın davranışa gösteren sonlu eleman SE modeli dilasyon (Genişleme) açısı parametresi ($\Psi=30$)'dür.
- e. Q-RCRD deney numunesi verdiği için de güçlendirilmiş kolonun betonarme manto betonu için dilasyon (Genişleme) açısı parametresi (Ψ) değeri bu numune kullanılarak belirlenmiştir. Q-RCRD deney sonucuna en yakın davranışa gösteren sonlu eleman SE modeli dilasyon (Genişleme) açısı parametresi ($\Psi=55$)'dir.
- f. Doğrulanmış sonlu eleman parametreler kullanılarak Bousias ve diğerleri [7] diğer kalan numuneler (Q-RC, Q-RCR ve Q,RCD) için mevcut betonarme ile mantoların arasındaki yüzeylerin ara yüz sürtünme katsayıları parametrik bir çalışma sonunda her bir numune için uygun bir değer önerilmiştir.
- g. Yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankrajsız (Q-RC) olarak adlandırılan numune için 0,75 bir değer alınarak deneysel sonuçlara uyuması gözlenmiştir. Yüzeyi pürüzlendirilmiş ve ankrajsız numune için ara yüz sürtünme katsayısı 0,95 uygun olduğu önerilmiştir. Yüzeyi pürüzlendirilmemiş ve ankrajlı olan numune için 0,80 bir ara yüz sürtünme katsayısı kabul edilmiş (Tablo 4.6.).
- h. Bu çalışma kapsamında da önerilen “ara yüzey sürtünme katsayısı” ile TDY–2016 [34] da önerilen azaltma katsayısını karşılaştırmak amacıyla sayısal analizler yapılmıştır. Yapılan sayısal çalışmada iki farklı sonlu eleman numune oluşturuldu (Şekil 4.16.) ve üzerinde analizler yapılmış. Sonuç olarak önerilen bu değer güçlendirilmiş betonarme kolon davranışı açısından uygun olduğu gözlenmiştir.

- i. Son çalışma olarak betonarme manto ile güçlendirme işleminde güçlendirilen mevcut kolonun beton basınç dayanımının etkisini araştırmak üzere parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmada, Bousias ve diğerleri [7] çalışmasındaki güçlendirilen numuneler (Q-RC, Q-RCR ve Q-RCD) için her bir numunenin mevcut kolon için farklı beton basınç dayanımı verilmiştir ve tek basınç değeri mantoya seçilmiştir (Tablo 4.7.). Sonuç olarak güçlendirilen betonarme kolonun davranışının mevcut kolonun beton basınç dayanımından bağımsız olduğu gösterilmiştir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada yapılan nümerik sonuçları dikkate alındığında gelecekte yapılabilecek çalışmalar için bir takım öneriler verilmektedir.

Bu çalışmada önerilen ve kullanılan beton hasar plastisite değerleri alınarak literatürde bulunan betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonlar için kullanılabilir.

Numune zorunluluk nedeniyle iki taraftan yada üç taraftan mantolanması durumundaki davranış hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılabilir.

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] Setzler Eric John “Modeling The Behavior Of Ligth Reinforced Concrete Column Subjected To Lateral Loads”. Master of Science Thesis 2005.
- [3] 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.
- [4] Öztürk Hakan “Betonarme Kısa Kirişlerde Kesme Dayanımının Çapraz Kesme Donatıları İle İyileştirilmesi” Doktora Tezi 2016.
- [5] Demir Aydın, Çağlar Naci, Öztürk Hakan, Sümer Yusuf “Nonlinear finite element study on the improvement of shear capacity in reinforced concrete T-Section beams by an alternative diagonal shear reinforcement” Engineering Structural, ELSEVER.
- [6] Mohr S, Bairan J, and Mari A. “A frame element model for the analysis of reinforced concrete structures under shear and bending”. Eng Struct 2010; 32:3936–54.
- [7] 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.
- [8] Ersoy U, A. Tugrul Tankut and Ramadan Suleiman “BEHAVIOR OF JACKETED COLUMNS” ACI Structural Journal.
- [9] Georgia E. Thermou, Vassilis K. Papanikolaou, Andreas J. Kappos “Flexural Behaviour Of Reinforced Concrete Jacketed Columns Uder Reversed Cyclic Loading” JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE / OCTOBER 2007 / 1373.

- [10] Vandoros G, Stephanos E. Dritsos “Concrete Jacket Construction Detail Effectiveness When Strengthening RC Columns” *Construction and Building Materials* 22 (2008) 264–276.
- [11] Keskin Elbruz “Betonarme Yapıların Onarımı, Güçlendirilmesi Ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler” Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2005.
- [12] Çalışkan Hasan “Betonarme Yapıların Güçlendirme Teknikleri” Yüksek Lisans Tezi, TEMMUZ 2003.
- [13] Celebi, E; Aktas, M; Caglar, N; Ozocak, A; Kutanis, M; Mert, N; Ozcan, Z. "October 23, 2011 Turkey/Van-Ercis earthquake: structural damages in the residential buildings" *Natural Hazards*, 2013, 65:2287-2310.
- [14] M.H. Arslan, H.H. Korkmaz “What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey?” *Engineering Failure Analysis*, 2007, 14 (1): 1-22.
- [15] Yakut A, Gulkan P, Bakır BS, Yılmaz MT. Re-examination of damage distribution in Adapazari: Structural considerations. *Engineering Structures* 2005; 27(7):990–1001.
- [16] Dogangun A. “Performance of reinforced concrete buildings during the May 1 2003 Bingol earthquake in Turkey”, *Engineering Structures* 2004; 26(6):841–56.
- [17] Hasan Kaplan, Salih Yılmaz, Hanifi Binici, Erhan Yazar, Nihat Çetinkaya, “May 1, 2003 Turkey–Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures” *Engineering Failure Analysis*, 2004, 11 (3): 279-291.
- [18] Özdemir Anıl “Hasarlı Betonarme Kolonların Mantolama Yöntemiyle Güçlendirilmesi Ve Akustik Emisyon Yöntemiyle Deneysel Analizi” Aralık 2015.
- [19] ABAQUS/Standard, Student edition V.6.14, Dassault Systèmes Simulia Corp..
- [20] Ellobody, E., *Finite element analysis and design of steel and steel-concrete composite bridges*, Waltham: Butterworth-Heinemann, 2015.
- [21] Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S., Onate, E., A plastic-damage model for concrete, *Solids and Structures*, 25(3), 299-326, 1989.
- [22] Lee J., Fenves, L., Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures, *Journal of Engineering Mechanics*, 124(8), 892-900, 1998.

- [23] Hibbitt, Karlsson, Sorensen, 2011, ABAQUS User's Manual, Pawtucket, 6th Edition
- [24] Sinha BP, Gerstle KH, Tulin LG, 1964. Stress-strain relations for concrete under cyclic loading, ACI Journal, 61:195, 211.
- [25] V. Birtel, P. Mark "PARAMETERIZED FINITE ELEMENT MODELING OF RC BEAM SHEAR FAILURE" 2006 ABAQUS Users' Conference.
- [26] Hawileh, R., Rasheed, H., Abdalla, J., Al-Tamimi, A., Behavior of reinforced concrete beams strengthened with externally bonded hybrid fiber reinforced polymer systems, Materials and Design, 53, 972-982, 2014.
- [27] CEB-FIB, The fib Model Code for Concrete Structures 2010., Case Postale 88, CH-1015 , Lausanne, Switzerland, 2010.
- [28] Hillerborg, A., Modeer, M., Petersson, P., Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements, Cement and Concrete Research, 6, 773-782, 1976.
- [29] Crisfield, M., Snap-through and snap-back response in concrete structures and the dangers of under-integration, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 22, 751-767, 1986.
- [30] Coronado, A., Lopez, M., Sensitivity analysis of reinforced concrete beams strengthened with FRP laminates, Cement and Concrete Composites, 28(1), 102-114, 2006.
- [31] CEB-FIP90, Model code 90 for concrete structures, Thomas Telford, London, 1993.
- [32] Hordijk, D., Tensile and tensile fatigue behaviour of concrete - experiments, modelling and analyses, Heron, 37(1), 3-79, 1992.
- [33] Sümer, Y., FRP elemanlarla güçlendirilmiş hasarlı betonarme kirişlerin doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle analizi, Sakarya: Sakarya Üniversitesi FBE, 2010.
- [34] TDY2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [35] TDY2016 (Taslak) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmed Farhan Farah, 10.10.1988'de Birleşik Arab Emirlikleri'nde doğdu. İlk ve orta eğitimini BAE'de tamamladı. 2008 yılında Ubaya Bin Ka'ab Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Eelo Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2013 yılında Türkiye Burusluğuna kazanmış ve yüksek lisans eğitimine 2014 başladı. 2017 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.