

T.C.
ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SARMAL ETRİYE OLARAK ÇELİK, CFRP VE GEOGRİD KULLANILAN
KARE KESİTLİ BETONARME KOLONLARIN
YAPISAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Mesut KÜÇÜK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet ÖZKAL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN

2018

Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet ÖZKAL danışmanlığında, Mesut KÜÇÜK tarafından hazırlanan bu çalışma 10/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet ÖZKAL

İmza:



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Nazif ORHAN

İmza:



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

İmza:



Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 01 / 06 / 2018 tarih ve 20./7..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Paşa YALÇIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Sarmal Etriye Olarak elik, CFRP ve Geogrid Kullanılan Kare Kesitli Betonarme Kolonların Yapısal Davranışlarının İncelenmesi” isimli “Yüksek Lisans” tezimin tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim.

08/05/2018



Mesut KÜÇÜK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SARMAL ETRİYE OLARAK ÇELİK, CFRP VE GEOGRİD KULLANILAN KARE KESİTLİ BETONARME KOLONLARIN YAPISAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Mesut KÜÇÜK

Erzincan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet ÖZKAL

Taşıyıcı sistemin bir elemanı olan kolonlar, özellikle deprem ve rüzgâr sebebiyle yapı sisteminde ortaya çıkan yanal etkilere karşı yapının düşey düzlemdeki dengesini sağlarken; aksel kuvvet, eğilme momenti, burulma momenti ve kesme kuvveti gibi etkilere eş zamanlı olarak maruz kalmaktadır. Dolayısıyla kolonların hesap, tasarım ve üretiminde gereken özen gösterilmelidir.

Bu çalışmada, betonarme kolonların aksel ve yanal yüklemeler altındaki davranışı incelenmiştir. Söz konusu etkiler altında kolonlardan beklenen, yüksek seviyede dayanımın yanı sıra sünek bir davranış sergilemesidir. Bu davranış için de enine donatıların katkısı büyük önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında, betonarme kolonlarda enine donatı olarak, çelikten farklı biçimde daha kolay uygulanabilen CFRP dokuma ve geogrid malzemelerinin, geleneksel kapalı etriye ve sarmal etriye şeklinde kullanılmasının eleman davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu bağlamda, tasarım standartlarına uygun şekilde hesaplanan ve üretilen gerçek ölçekli betonarme kolonların tersinir yanal yük ve sabit aksel yük altındaki yapısal davranışları karşılaştırılmıştır. Enine donatı tasarımından beklendiği üzere, sarmal etriye kullanılan deney numunelerinde yanal yüklemelere karşı taşıma kapasitelerinin arttığı görülmüştür. Geogrid malzemesinin düşük seviyedeki mekanik özelliklerine bağlı olarak; kapalı etriye olarak kullanılması halinde çelik etriyeli kolonlara nazaran daha düşük başarımla elde edilmiş, ancak geogrid sarmal etriye olarak uygulandığında başarımla seviyesi yükselmiştir. CFRP dokumaların kullanılması halinde ise, gerek kapalı etriye ve gerekse sarmal etriye uygulamaları, çelik etriyeli kolonlara kıyasla daha yüksek moment taşıma kapasitesi sağlamıştır.

2018, 94 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Betonarme Kolonlar, CFRP, Geogrid, Sarmal etriye

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION ON THE STRUCTURAL BEHAVIOUR OF RC RECTANGULAR COLUMNS USING STEEL, CFRP AND GEOGRID AS CONTINUOUS SPIRAL REINFORCEMENT

Mesut KÜÇÜK

Erzincan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Fatih Mehmet ÖZKAL

The columns, which are members of the structural system, provide vertical stability of the structure against lateral effects in the whole system, especially due to earthquake and wind. In addition, those members are subjected to simultaneous effects such as axial force, bending moment, torsional moment, and shear force. Therefore, required attention should be provided in the design and production of the columns.

In this study, behavior of reinforced concrete (RC) columns under axial and lateral loads was investigated. It is expected to have a ductile behavior as well as a high level of strength from the columns under those loadings. Accordingly, contribution of transverse reinforcements is of great importance.

CFRP sheets and geogrid material can be applied as transverse reinforcement in RC columns in a more feasible manner than steel bars. The effects of using these materials as stirrups in traditional closed-form and spiral-form were experimentally investigated within the research. In this context, structural behaviors of full-scaled RC columns under cyclic lateral loading and constant axial loading, designed and produced in accordance with design codes, were compared. As expected from the usage of transverse reinforcements, load-bearing capacities against lateral loads of the test specimens with spiral reinforcements, were increased. Depending on the disadvantages of mechanical properties of geogrid material, when it is used as closed-stirrup, structural performance of the columns decreased with respect to usage of steel. Application of CFRP sheets as transverse reinforcement in both closed-form and spiral-form, provided higher moment capacity compared to usage of steel.

2018, 94 Pages

Keywords: RC Columns, CFRP, Geogrid, Spiral Reinforcement

TEŐEKKÖR

“Sarmal Etriye Olarak elik, CFRP ve Geogrid Kullanılan Kare Kesitli Betonarme Kolonların Yapısal Davranışlarının İncelenmesi” adlı bu alışma, Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinasyon Birimince desteklenmiştir (Proje numarası: FEN-A-240215-0131).

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet ÖZKAL’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar alışmaları süresince destek olan abim Murat KÜÇÜK ile kuzenlerim Bülent KÜÇÜK ve Muhammed KÜÇÜK’e teşekkür ederim.

Bu süreçte yanımda olan ve hiçbir desteğini esirgemeyen sevgili eşim Zehra KÜÇÜK’e teşekkürü borç bilirim.

Mesut KÜÇÜK

Mayıs, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	12
2.1. Sargılı Beton Davranışı.....	12
2.1.1. Sargılı betonun Saatçioğlu ve Ravzi tarafından irdelenmesi	13
2.1.1.1. Dairesel kesitler	14
2.1.1.2. Kare kesitler.....	15
2.1.2. Betonarme elemanda sargı özelliğini etkileyen değişkenler.....	16
2.2. Betonarme Elemanlarda Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Etkisi	19
2.2.1. Eğilme momenti etkisi	19
2.2.2. Kesme kuvveti etkisi	20
2.3. Eksenel Yık Etkisi.....	22
2.4. Betonarme Kolon Tasarımı için Standartlardaki Hükümler	22
2.4.1. TS-500(2000) hükümleri.....	23
2.4.1.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri	23
2.4.1.2. Kesit özellikleri ve kabulleri.....	23
2.4.1.3. Eleman özellikleri ve kabulleri	24
2.4.2. ACI-318M-2014 hükümleri	25
2.4.2.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri	25
2.4.2.2. Kesit özellikleri ve kabulleri.....	26
2.4.2.3. Eleman özellikleri ve kabulleri	26

2.4.3. Eurocode 2 hükümleri	27
2.4.3.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri	27
2.4.3.2. Kesit özellikleri ve kabulleri.....	27
2.4.3.3. Eleman özellikleri ve kabulleri	28
2.4.4. CSA A.233(2014) hükümleri	30
2.4.4.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri	30
2.4.4.2. Kesit özellikleri ve kabulleri.....	30
2.4.4.3. Eleman özellikleri ve kabulleri	30
2.5. Kolon tasarım ilkeleri	32
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1. Malzeme Özellikleri.....	36
3.1.1. Beton	36
3.1.2. Çelik Donatı	37
3.1.3. CFRP ve Geogrid malzemeler için yapılan deneyler.....	39
3.1.3.1. CFRP.....	39
3.1.3.2. Geogrid	42
3.2. Deney Numunelerinin Tasarımı.....	45
3.2.1. Kolonlarda kapalı ve sarmal etriye uygulaması	49
3.2.1.1. Çelik.....	49
3.2.1.2. CFRP.....	51
3.2.1.3. Geogrid	52
3.3. Deney Düzenegi.....	53
3.3.1. Yükleme programı	54
3.3.2. Ölçüm ve veri toplama sistemi.....	56
3.3.2.1. Yer değiştirme ölçerler	56
3.3.2.2. Gerinim pulları.....	58
3.4. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	59
3.4.1. Eğrilik hesabının yapılması.....	59

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	62
4.1. Çelik-Kapalı Etriye Kullanılan Kolon (Ç1).....	62
4.2. Çelik-Sarmal Etriye Kullanılan Kolon (Ç2)	65
4.3. Geogrid-Kapalı Etriye Kullanılan Kolon (G1)	69
4.4. Geogrid-Sarmal Etriye Kullanılan Kolon (G2).....	71
4.5. CFRP-Kapalı Etriye Kullanılan Kolon (F1)	75
4.6. CFRP- Sarmal Etriye Kullanılan Kolon (F2).....	78
4.7. Deney Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi	81
4.7.1. Yük-yer değiştirme zarf eğrileri.....	81
4.7.2. Moment-eğrilik ilişkileri	83
4.7.3. Enerji tüketme kapasiteleri ve kalıcı yer değiştirmeler	84
5. SONUÇLAR.....	87
KAYNAKLAR	90
EKLER.....	93
EK-1. Tez çalışması süresince yapılan akademik çalışmalar	94
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Enine donatı tasarımı yönünden kolon türleri.....	2
Şekil 1.2. Tek yönlü ve çift yönlü sarmal etriye uygulaması.....	3
Şekil 1.3. Preslenmiş ve serbest bırakılmış sarmal etriye uygulaması.....	4
Şekil 1.4. Normal formasyon ve ileri formasyon sarım şekilleri ve açıları	6
Şekil 1.5. Geogridin kesme donatısı olarak kullanım detayları	8
Şekil 2.1. Betonun üç eksenli gerilme altındaki davranışı	12
Şekil 2.2. Cowan-Zia kırılma kriteri	13
Şekil 2.3. k_1 için önerilen eğri	14
Şekil 2.4. Dairesel kolonlarda yanıl kuşatma basıncı.....	14
Şekil 2.5. Kare kolonlarda yanıl kuşatma basıncı dağılımları.....	15
Şekil 2.6. Yanıl kuşatma basıncının dağılımı ile ortalama ve eşdeğer kuşatma basınç ifadeleri	15
Şekil 2.7. Enine donatı türleri	16
Şekil 2.8. Genel sargı tipleri.....	17
Şekil 2.9. Enine donatı düzeninin sargı etkisindeki önemi	18
Şekil 2.10. Eğrilik ve malzeme modelleri	19
Şekil 2.11. Eksenel yük düzeyine bağılı moment eğrilik ilişkisi	20
Şekil 2.12. Basit kesme altında asal gerilmeler.....	20
Şekil 2.13. Asal gerilme yönlerine göre elemanda oluşabilecek çekme gerilmesi düzlemleri	21
Şekil 2.14. Çekme gerilmesi düzlemlerinde beton ve donatıda etki diyagramı.....	21
Şekil 2.15. Eksenel yük taşıyan etriyeli bir kolonun kırılması	22
Şekil 2.16. Değişik mesnetlenme türleri	25
Şekil 2.17. Kafes modeli ve elemanları	29
Şekil 2.18. Farklı geometri kesitlerde kullanılacak b_w değeri	29
Şekil 2.19. Kolon kesitinde oluşacak kuvvet ve şekil değiştirme diyagramları	32
Şekil 2.20. Karşılıklı etki diyagramı büyüklükleri ve kullanılabilir bölge sınırları	34
Şekil 3.1. Beton dökümü için hazırlanan kalıplar	36
Şekil 3.2. Beton dayanım tespiti	37
Şekil 3.3. Çelik donatı mekanik özelliklerinin belirlenmesi	38
Şekil 3.4. Çelik donatı gerilme-birim uzama grafiğı	38

Şekil 3.5. Geliştirilen bir geogrid ve CFRP çekme aparatı	39
Şekil 3.6. Test için hazırlanan CFRP numuneler	41
Şekil 3.7. ASTM D3039/D3039M-08'e göre gerçekleştirilen CFRP çekme deneyi ve kopma anı	41
Şekil 3.8 ASTM 4595-11'e göre gerçekleştirilen CFRP çekme deneyi ve kopma anı...41	
Şekil 3.9. CFRP kuvvet-birim uzama grafiği.....	42
Şekil 3.10. Kesilen geogrid numunesi	44
Şekil 3.11. ASTM D4595-11'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı	44
Şekil 3.12. ASTM D6637/D6637M-15'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı	44
Şekil 3.13. Geogrid kuvvet-birim uzama grafiği	45
Şekil 3.14. Çelik, geogrid ve CFRP için kuvvet-birim uzama grafiği	46
Şekil 3.15. Geleneksel ve sarmal etriye detayı	46
Şekil 3.16. TS 500'e göre tasarlanmış kolon boyutları ve donatı detayı	48
Şekil 3.17. Sarmal geometrisi detayları	49
Şekil 3.18. Sarmal ve kapalı etriye sargısının karşılıklı görünümü	50
Şekil 3.19. Çelik donatının sarmal şekilde uygulanması	50
Şekil 3.20. CFRP'nin geleneksel kapalı etriye olarak kullanılması	51
Şekil 3.21. CFRP'nin sarmal şekilde uygulanması	51
Şekil 3.22. Geogrid malzemenin geleneksel kapalı etriye olarak kullanımı için hazırlanması	52
Şekil 3.23. Geogrid malzemenin kapalı etriye şeklinde sarım yapılması	52
Şekil 3.24 Sarmal etriye uygulaması.....	53
Şekil 3.25. Eksenel ve yanal yükleme için deney düzeneği.....	54
Şekil 3.26. FEMA 461 yük çevrimi taslağı.....	55
Şekil 3.27. Yer değiştirme kontrollü yük çevrimi grafiği	55
Şekil 3.28. Kolon tepe yer değiştirme ölçüm düzeni	57
Şekil 3.29. Kolon eğrilik ve kayma açısı için yer değiştirme ölçerler	57
Şekil 3.30. Gerinim pullarının kullanıldığı boyuna donatı yerleri	58
Şekil 3.31. Sürekli kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi.....	60
Şekil 3.32. Eğrilik ölçümü için yer değiştirme ölçer ve gerinim pullarının yerleşimi	60
Şekil 4.1. Ç1 numunesi donatı düzeni.....	62
Şekil 4.2. Yükleme ve ölçüm sistemi.....	63
Şekil 4.3. Ç1 numunesi çatlak gelişimi.....	64

Şekil 4.4. Ç1 numunesi yük yer değiştirme grafiği.....	65
Şekil 4.5. Ç2 numunesi donatı düzeni.....	66
Şekil 4.6. Ç2 numunesi çatlak gelişimi.....	67
Şekil 4.7. Ç2 numunesi yük-yer değiştirme grafiği	68
Şekil 4.8. G1 numunesi donatı düzeni	69
Şekil 4.9. G1 numunesi çatlak gelişimi.....	70
Şekil 4.10. G1 numunesi yük-yer değiştirme grafiği.....	71
Şekil 4.11. G2 numunesi donatı düzeni	72
Şekil 4.12. G2 numunesi çatlak gelişimi.....	73
Şekil 4.13. G2 numunesi yük-yer değiştirme grafiği.....	74
Şekil 4.14. F1 numunesi donatı düzeni	75
Şekil 4.15. F1 numunesi çatlak gelişimim	76
Şekil 4.16. F1 numunesi yük-yer değiştirme grafiği.....	77
Şekil 4.17. F2 numunesi donatı düzeni	78
Şekil 4.18. F2 numunesi çatlak gelişimi	79
Şekil 4.19. F2 numunesi yük-yer değiştirme grafiği.....	80
Şekil 4.20. Numunelerin yük-yer değiştirme zarf eğrileri	81
Şekil 4.21. Numunelerin moment-eğrilik ilişkileri	83
Şekil 4.22. Her bir çevrimde oluşan enerji tüketimi	84
Şekil 4.23. Numunelerin enerji tüketme kapasiteleri.....	85
Şekil 4.24. Numunelerde her bir çevrimde meydana gelen kalıcı yer değiştirmeler	86

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Sargılı beton davranışını etkileyen faktörler.....	18
Tablo 2.2. Beton sınıflarına göre kullanılacak k_1 değerleri	23
Tablo 2.3. Beton basınç dayanımına bağlı olarak β_1 değerinin saptanması	26
Tablo 3.1. Beton karışım oranları ve ortalama basınç dayanımı.....	37
Tablo 3.2. Çelik donatı mekanik özellikleri.....	38
Tablo 3.3. FRP donatı türlerine göre mekanik özellikler.....	40
Tablo 3.4. Lifli polimer türleri	40
Tablo 3.5. CFRP mekanik özellikleri.....	42
Tablo 3.6. Geogrid mekanik özellikleri	45
Tablo 3.7. Çelik, geogrid ve CFRP mekanik özellikleri	46
Tablo 3.8. Yükleme sisteminde kullanılan alet listesi	53
Tablo 3.9. Ölçüm ve veri toplama cihazları listesi.....	56
Tablo 4.1. Ç1 numunesi için boyuna donatı durum tablosu	65
Tablo 4.2. Ç2 numunesi için boyuna donatı durumu	68
Tablo 4.3. G2 numunesi için boyuna donatı durumu.....	74
Tablo 4.4. F1 numunesi için donatı durumu	77
Tablo 4.5. F2 numunesi boyuna donatı durumu	81
Tablo 4.6. Numunelerin maksimum ulaşabildikleri yük değerleri	82
Tablo 4.7. Numunelerdeki boyuna donatılarının aktığı çevrim numaraları.....	82

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

a	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinliği (TS-500-2000)
a	Elemanın kesme kuvvetine dik eksenine kesme donatısının yaptığı açı (EC-2-2014)
a_{cw}	Kasınç çubuğunun gerilme halinde dikkate alınan bir katsayı (EC-2-2014)
a_g	Maksimum agrega boyutu (CSA A.23.3-14)
a_1	Betonda basınç bloğunda ortalama basınç gerilmesi katsayısı
A	Basınç çubuğu (EC-2-2014)
A_c	Kesme gerilmesini belirlemek için kullanılan beton alanı (EC-2-2014)
A_{cc}	Eşdeğer basınç bloğu alanı
A_{ct}	Eğilmede çekme tarafındaki beton alanı (CSA A.23.3-14)
A_g	Brüt beton alanı (ACI-318-14)
$A_{s,min}$	Minimum donatı kesit alanı (EC-2-2014)
A_s	Çekme donatısı kesit alanı (ACI-318-14)
A_s	Kolon kesitinde toplam boyuna donatı alanı (CSA A.23.3-14)
A_{sp}	Fret donatının çapı
A_{st}	Kolon boyuna donatısı toplam kesit alanı (TS-500-2000)
A_{sw}	Kesme donatısı toplam kesit alanı (TS-500-2000)
$A_{v,min}$	Minimum kesme donatısı alanı (ACI-318-14)
A_v	Kesme donatısı alanı (CSA A.23.3-14)
b	Kolonun eğilme doğrultusuna dik boyutu
b_w	Kiriş gövde genişliği (TS-500-2000)
b_w	Eleman kesitinde basınç ve çekme arasındaki en küçük genişlik (EC-2-2014)
B	Bağlantı kirişleri (EC-2-2014)
c	En dış donatı ağırlık merkezinden ölçülen beton örtüsü Tarafsız eksen derinliği (TS-500-2000)
C	Çekme çubuğu (EC-2-2014)
d	Eğilme elemanlarında , faydalı yükseklik (TS-500-2000)
d_s	Çekirdek çapı
d_v	Etkili kesme derinliği (CSA A.23.3-14)
D	Kesme donatısı (EC-2-2014)
E_c	Betonun elastisite modülü (CSA A.23.3-14)
E_s	Donatı elastisite modülü (TS-500-2000)
f_c	Betondaki basınç gerilmesi
f'_c	Tek yönlü basınç dayanımı
f'_c	Karakteristik beton basınç dayanımı (ACI-318-14)

f'_c	Beton basınç dayanımı (CSA A.23.3-14)
f_{c1}	Eksenel basınç dayanımı
f_{cc}	Çok eksenli taşıma gücü
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı (TS-500-2000)
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{ck}	Betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı (EC-2-2014)
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı (TS-500-2000)
f_y	Eğilme donatısının karakteristik akma dayanımı (ACI-318-14)
f_y	Eğilme donatısının akma dayanımı (CSA A.23.3-14)
f_{yh}	Fret donatısının akma dayanımı
f_{yh}	Kesme donatısının akma dayanımı (CSA A.23.3-14)
f_{yd}	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı (TS-500-2000)
f_{yt}	Kesme donatısının karakteristik akma dayanımı (ACI-318-14)
f_{ywd}	Enine donatı tasarım akma dayanımı (TS-500-2000)
f_{ywd}	Tasarım akma dayanımı (EC-2-2014)
h	Kolonun eğilme doğrultusundaki boyutu
F_{cd}	Boyuna çekme donatısı için tasarım yükü (EC-2-2014)
F_{sw}	Eğik çatlağın kestiği etriyelerdeki kesme kuvveti
F_{td}	Eleman kesitinde basınç bloğundaki tasarım yükü (EC-2-2014)
k	Katsayı (EC-2-2014)
k_1	Yanal basıncı eksenel basınç dayanımına katkısına dönüştüren katsayı
k_1	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinlik katsayısı (TS-500-2000)
k_3	Standart silindir deneyinden elde edilen beton dayanımı ile Elemanda ortaya çıkan beton dayanımı arasındaki fark katsayısı
L_n	Net açıklık (CSA A.23.3-14)
ℓ_0	Potansiyel plastik bölgenin uzunluğu (CSA A.23.3-14)
ℓ_p	Plastik mafsal boyu
M_d	Tasarım momenti
M_f	Yük etkilerinde eleman kesitinde oluşan moment değeri (CSA A.23.3-14)
M_r	Kolon ve kirişlerin taşıma gücü momentleri
N_{Ed}	Tasarımda kullanılan eksenel yük miktarı (EC-2-2014)
N	Eksenel eksenel kuvveti
N_d	Tasarımda kullanılacak eksenel yük değeridir (TS-500-2000)
N_f	Yük etkilerinde eleman kesitinde oluşan eksenel çekme kuvveti değeri (CSA A.23.3-14)
N_r	Kolon ve kirişlerin yük kapasitesi

N_u	Yük etkisi altında eleman kesitinde ortaya çıkan eksenel kuvvet (ACI-318-14)
P_f	Yük etkilerinde eleman kesitinde oluşan eksenel basınç kuvveti değeri (CSA A.23.3-14)
$P_{nt,max}$	Elemanın maksimum nominal çekme dayanımı (ACI-318-14)
P_{nt}	Elemanın çekme dayanımı (ACI-318-14)
P_o	Sıfır eksantrisitede eksenel yük kapasitesi (ACI-318-14)
$P_{r,max}$	İzin verilen maksimum eksenel yük değeri (CSA A.23.3-14)
P_{ro}	Eksantrisite olmadığında taşınabilecek maksimum eksenel yük
s	Etriye aralığı (ACI-318-14)
s_{ze}	Çatlak genişliği parametresi (CSA A.23.3-14)
v	Kesme kırılması gerçekleşen beton için dayanım azaltma katsayısı (EC-2-2014)
v_{cc}	Çatlamamış basınç bölgesinde taşınan kesme kuvveti
v_{cd}	Çekme donatısı tarafından taşınan kesme kuvveti
v_{ci}	Çatlak içi kesme gerilmeleri tarafından karşılanan kesme kuvveti
v_w	Kesme donatısı tarafından karşılanan kesme kuvveti
V	Kesme dayanımı
V_{Ed}	Uygulanan kesme kuvvetinin tasarım değeri (EC-2-2014)
$V_{Rd,c}$	Elemanın kesme donatısı olmadan kesme dayanımı (EC-2-2014)
$V_{Rd,max}$	Maksimum tasarım kesme kuvveti değeri (EC-2-2014)
V_c	Betonun kesme dayanımına katkısı (ACI-318-14)
V_{cr}	Kesitin kesmede çatlama dayanımı (TS-500-2000)
V_d	Tasarım kesme kuvveti (TS-500-2000)
V_f	Yük etkilerinde eleman kesitinde oluşan kesme kuvveti değeri
V_n	Nominal kesme dayanımı (ACI-318-14)
$V_{r,max}$	Mümkün olan maksimum kesme kuvveti (CSA A.23.3-14)
V_r	Kesme dayanımı (TS-500-2000)
V_s	Kesme donatısının kesme dayanımına katkısı (ACI-318-14)
V_u	Yük etkisi altında eleman kesitinde ortaya çıkan kesme kuvveti (ACI-318-14)
V_w	Kesme dayanımına kesme donatısı katkısı (TS-500-2000)
y	Beton en dış basınç lifinin tarafsız eksene olan uzaklığı
z	Moment etkisindeki eleman kesitinde etkili derinlik (EC-2-2014)
x	Basınç bölgesinde tarafsız eksene kadar olan uzaklık (EC-2-2014)
x_1	Birinci sıradaki donatının ağırlık merkezine olan uzaklığı
x_c	Kuvvet uygulanan taraftaki kolon yüzünden basınç bloğu bileşkesinin uzaklık
x_i	Donatı ağırlık merkezinden kesit ağırlık merkezine olan

	mesafe
x_p	Ağırlık merkezi uzaklığı
β_1	Beton basınç bloğu derinliğini belirleme katsayısı (ACI-318-14)
γ_c	Beton için kısmi malzeme katsayısı (EC-2-2014)
ε_{ci}	Beton en dış basınç lifindeki birim kısalma
ε_{cu}	Beton ezilme birim kısalması (TS-500-2000)
ε_{cu2}	Basınç lifindeki maksimum birim kısalma (EC-2-2014)
ε_{s1}	Birinci sıradaki donatıda uzama
ε_{su}	Donatı kopma uzaması (TS-500-2000)
ε_{su}	Çeliğin maksimum izin verilen birim uzaması (ACI-318-14)
ε_x	Eleman kesitinin ortasındaki boyuna şekil değiştirme (CSA A.23.3-14)
ρ_1	Boyuna donatı oranı (EC-2-2014)
ρ_t	Kolonlarda boyuna donatı oranı
ρ_t	Kolonlarda toplam boyuna donatı oranı (TS-500-2000)
ρ_w	Hacimsel sargı donatısı oranı
σ_2	2 doğrultusundaki yanal basınç gerilmesi
σ_3	3 doğrultusundaki yanal basınç gerilmesi
σ_{cp}	Eksenel yük durumunda betondaki basınç gerilmesi (EC-2-2014)
σ_s	Donatı gerilmesi (TS-500-2000)
σ_{si}	Donatıdaki gerilme
ϕ_c	Beton için dayanım azaltma katsayısı (CSA A.23.3-14)
ϕ_s	Çelik için dayanım azaltma katsayısı (CSA A.23.3-14)
Ψ	Mekanik donatı oranı
β	Çatlamış betonun kesme dayanımı hesabında kullanılan bir katsayı (CSA A.23.3-14)
γ	Çatlama dayanımına aksenal kuvvet etkisini yansıtan katsayı (TS-500-2000)
γ	Betonun yoğunluğuna bağlı bir katsayı (CSA A.23.3-14)
η	Beton basınç bloğu gerilmesini belirlemede kullanılan katsayı (EC-2-2014)
θ	Elemanın kesme kuvvetine dik eksenyle kafes basınç çubuğu arasındaki açı (EC-2-2014)
θ	Diyagonal basınç çubuğunun kesme kuvvetine dik eksen ile yapmış olduğu açıdır (CSA A.23.3-14)
κ	Eğrilik değeri
λ	Beton basınç bloğu derinliğini belirlemede kullanılan katsayı (EC-2-2014)
ϕ	Boyuna donatı çapı (TS-500-2000)

Kısaltmalar

ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
CEB-FIB	The Comité européen du beton (European Committee for concrete) (Avrupa Beton Komitesi)- The Fédération internationale de la précontrainte (International Federation for Prestressing) (Uluslararası Öngerme Federasyonu)
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer)
CSA	Canadian Standards Association (Kanada Standartları Birliği)
FRP	Fiber Reinforced Polymer (Fiber Takviyeli Polimer)
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer (Cam Fiber Takviyeli Polimer)
LP	Lifli Polimer
SFRC	Steel Fiber Reinforced Concrete (Çelik Lifli Beton)
TS	Türk Standardı

1. GİRİŞ

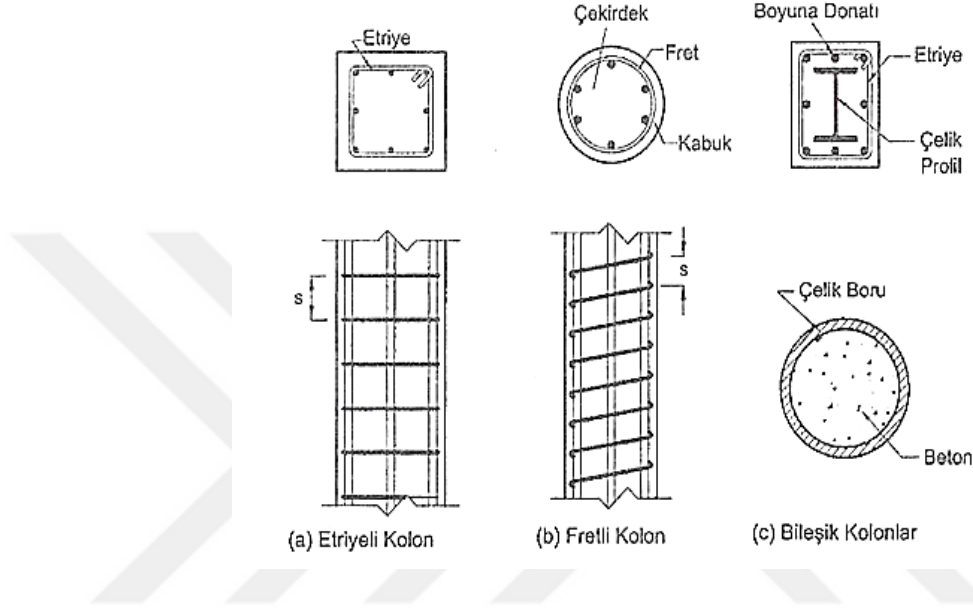
Mühendislik alanında yapılan çalışmalar, ortaya çıkan ürünler, kullanılan yöntemler, elde edilen sonuç ve deneyimler, birbirine ışık tutmakta; yapılan çalışmalar çok farklı branşlara ait olsa bile birbirlerinden ilham almakta ve geliştirilip kullanılması açısından oldukça elverişli hale gelmektedir. Bu da mühendisliğin hızlı, güvenilir ve öngörülebilir bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamaktadır. İnşaat mühendisliği de içinde bulundurduğu bilim dallarıyla geniş bir etki alanına sahip olmakta ve bu alan içerisinde ilk insanlıktan günümüze kadar hayatımıza yön vermektedir.

Kentlerde nüfusun artması ve beraberinde getirmiş olduğu yüksek orandaki yapılaşma ile birlikte, yapı güvenliğinin yanında yapı sistemlerinin inşası ve kullanım aşamalarında da durumu daha ekonomik ve işlevsel hale getirebilmek adına yeni çözümler ihtiyaçlarını ön plana çıkarmaktadır. Bu sebeple inşaat mühendisleri çeşitli kullanım amaçları ve mimari yaklaşımlarla tasarlanan yapıları inşa etmek için en doğru malzeme seçimi, boyutlandırma ve üretim aşamalarında azami verimi elde etmek için çeşitli çabalar sarf etmektedirler. Gelişen hesap yöntemleri ve teknolojik programların katkısıyla yapısal çözümler ve değerlendirmeler en basite indirgenebilmiş fakat üretim aşamalarında hala bazı geleneksel yöntemlere bağlı kalmıştır.

Yapı sistemlerinde aksel yük, eğilme, burulma ve kesme etkisinde kalabilen düşey taşıyıcı eleman olan kolonlar, yapının yerçekimi yönündeki dengesi için önemli bir rol üstlenmektedir. Kolonlar deprem, rüzgâr gibi yanal etkilerle, birleşik eğilme ve aksel yük durumunda da kalırlar. Bu sebeple yapı elemanı boyunca oluşan kesme kuvveti ve moment beraberinde, eleman boyutunda çekme, basınç ve kayma gerilmeleri meydana getirmekte ve bu da yapı elemanını karakterize ederken göz önünde bulundurmanız gereken mekanik durumları oluşturmaktadır. Betonarme hesaplarının, hem yapısal davranış tahminleri ve hem de yönetmeliklere göre detaylandırılıp imal edilmesi yönünden karmaşık hale geldiği gayet iyi bilinmektedir. Bu da betonarme elemanların deneysel olarak davranışlarının incelemesini olmazsa olmaz kılmaktadır.

Donatısız betonda, tek aksel basınç ve eğilme etkisinde, çekme dayanımı düşük olduğundan gevrek bir kırılma meydana gelmektedir. Betonun çelik donatılarla sargılanması ile şekil değiştirme kapasitesi ve dolayısıyla sünekliği artmaktadır.

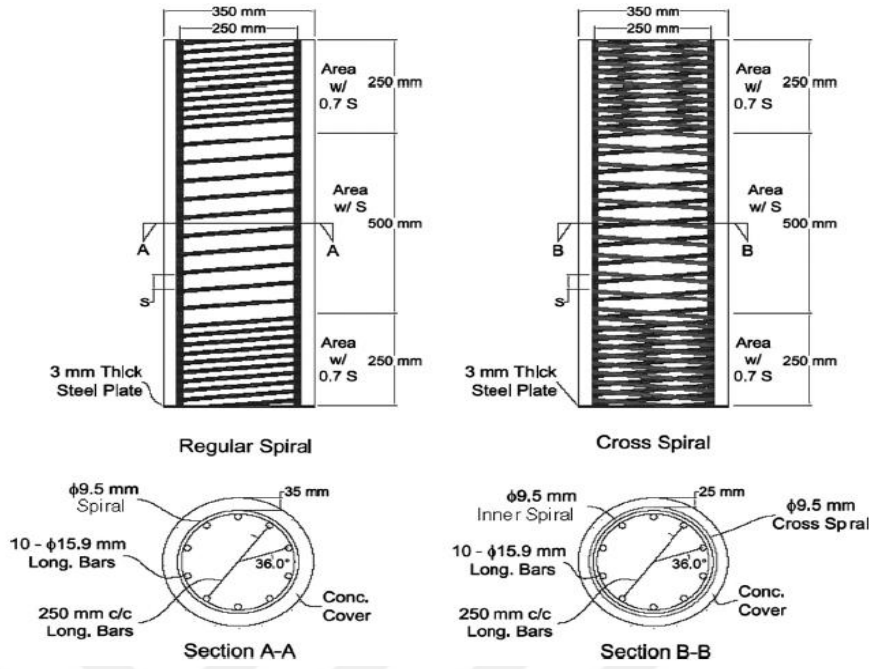
Betonarme kolonlarda etriyeler hem sargı donatısı hem de kesme donatısı olarak işlev görmektedir ve elemanter boyutta oluşacak çekme gerilmelerini beton-donatı aderansı aracılığı ile karşılamaktadır. Enine donatı olarak dairesel etriye, dörtgen etriye, kanca ve dairesel fret kullanılabilir. Bu donatılma şekillerine göre **Şekil 1.1**'de gösterildiği gibi kolonlar etriyeli, fretli ve bileşik kolonlar olarak adlandırılmaktadırlar.



Şekil 1.1. Enine donatı tasarımı yönünden kolon türleri (Sümer, 2009)

Betonarme dairesel kolon ve kiriş elemanlarda enine donatının sarmal biçimde yerleştirilmesinin, geleneksel tasarıma göre elemanların dayanımını, sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini arttırdığı bilinmektedir. Bu uygulamaların kuramsal ve deneysel çalışmalarının başlangıcı 1900'lere kadar uzanmaktadır (Baran, 2011). Yine benzeri uygulamalar günümüze kadar devam etmiş ve bunu geliştirmeye yönelik başka çalışmalar da yapılmıştır. Bunlara örnek olarak aşağıdaki bahsedilen iki çalışma önem taşımaktadır.

Marvel vd. (2014) yaptıkları çalışmada hazırlamış oldukları dairesel kesitli kolonlarda, birbirine zıt yönde ilerleyen sarmal etriye uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada **Şekil 1.2**'de gösterildiği gibi tek yönlü ilerleyen sarmal sarım ile çalışmayı özgün kılan zıt yönlü sarım arasında mukayese yoluna gidilmiştir. Aynı hacimsel oranlarda olan tek yönlü ve çift yönlü sarım karşılıklı değerlendirildiğinde, yakın değerler de taşıma gücü elde edildiği fakat yer değiştirme kapasitesinin %20 arttığı gözlenmiştir.



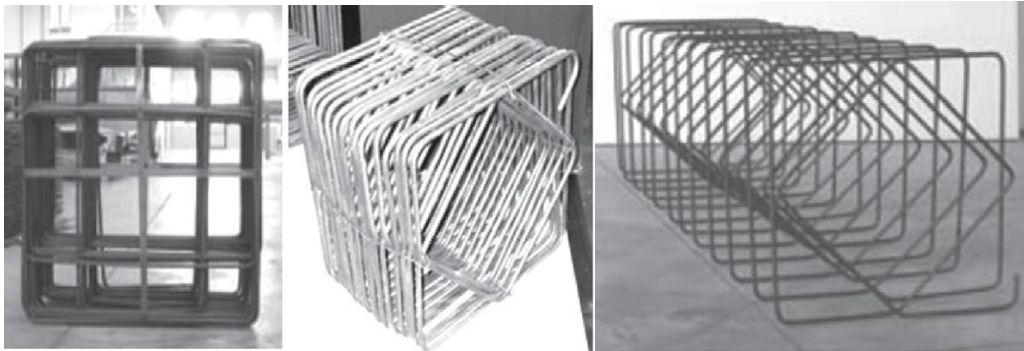
Şekil 1.2. Tek yönlü ve çift yönlü sarmal etriye uygulaması (Marvel vd., 2014)

Hindi ve Turecek (2008) dairesel kolonlarda yine birbirlerine zıt yönde ilerleyen sarmal etriye kullanarak kolonların dayanımını ve sünekliğini arttırmak istemişlerdir. Bu teknikle sarmal etriye adımları arasını da açarak beton dökümünün kolaylaşacağını da düşünmüşlerdir. Bu amaçla 12 adet kolonu 2 farklı boy ve birkaç farklı spiral adım aralığı ile üretmişlerdir. Kolonlar sabit aksenal ve tersinir yanal yüke maruz bırakılmıştır. 1000 mm boyunda ve 200 mm çapında 6 adet kolon eğilme davranışı için, 500 mm boyunda ve 200 mm çapında 6 adet kolon ise kesme davranışı için tasarlanmıştır. Zıt yönlü ilerleyen sarmal etriyeli kolonlarda etriye donatısının kopmasından kaynaklı göçme gerçekleşmemiştir. Tek yönlü sarmal etriye uygulanan kolonların dörtte üçünde etriyelerin kopmasından kaynaklı göçme, zıt yönlü sarmal etriye kullanılan kolonlarda ise boyuna donatıda kırılma ve burkulmadan kaynaklı göçme gerçekleşmiştir. Zıt yönlü sarmal etriye ile sargılanan kolonlarda önemli derecede süneklik ve dayanım artışı görülmüştür.

Betonarme elemanlarda dörtgen kesit kullanımı oldukça yaygındır. Bundan dolayı bu tip elemanların enine donatılarının sarmal şeklinde yapılması fikri, bu konudaki yapısal performans ve uygulanabilirlik araştırmalarının önemini arttırmıştır. Geçmiş çalışmalar, araştırmacıların bu konu üzerinde düşüncelerini ve bu çalışmada olduğu gibi yeni fikirler üretmelerini sağlamıştır.

TS 500 ve ACI 318 yönergeleri dörtgen kesitli betonarme kolonlarda, kirişlerde ve kolon kiriş birleşim yerlerinde enine donatıları depreme göre detaylandırırken, yapısal performansı göz önünde bulundurarak, iş yükünü arttıran çeşitli sınırlamalar ve zorunluluklar getirmektedir. Kapalı etriye, çiroz ve 135° kancalama bu detaylandırmalara örnek gösterilebilir. Bu yüzden, enine sargılamada donatı geometrisini oluşturmada, iş yükünü hafifletmek dolayısıyla zamandan da kazanç sağlamak büyük önem teşkil etmektedir.

Bu durumu göz önünde bulunduran Eom vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ön üretimli spiral enine donatıların hazırlanmasıyla daha kolay bir işçilik ve zamandan kazanç sağlanacağı düşünülmüş ve ele alınmıştır (Şekil 1.3). Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli kolonlarda spiral şeklinde ilerleyen enine donatıların aralıkları, çapları ve şekilleri arasında bir değerlendirme yapılmıştır. Bu kolonlar geleneksel yöntemle sargılanan kolonlar ile karşılaştırılmıştır. Taşıma gücü kapasitesi, şekil değiştirme kapasitesi ve göçme mekanizması üzerinden sonuçlar irdelenmiştir. Enine donatılar arasındaki mesafe, plastik mafsallarda burkulma boyunu kısaltma için de göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak tersinir yanal yük ve eksenel yük etkisinde bulunduran kolonların, performans bakımından düşünüldüğünde, sargılama etkisinin ve kesme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda geleneksel yöntemle hazırlanan kolon elemana nazaran %25 daha az sargı donatısının kullanılabileceğini göstermiştir. Bu durumun da dikkate değer seviyede maliyet kazancı sağladığı açıktır.



Şekil 1.3. Preslenmiş ve serbest bırakılmış sarmal etriye uygulaması (Eom vd., 2014)

Karayannis ve Sirkelis (2005) betonarme kolonlarda enine donatı olarak kapalı etriyeler yerine sürekli dörtgen sarmal etriye kullanmıştır. Bu amaçla iki adet deney numunesi hazırlamışlardır. Numuneler 1,80 m boyunda kolon ve ortasından yatay olarak konsol

şeklinde 1,10 m boyunda kirişten meydana gelmektedir. Numunelerden birinde sürekli dörtgen sarmal etriye diğerinde ise geleneksel kapalı etriye kullanmışlardır. Her iki numunede tekrarlı yük uygulaması yapılmıştır. Deneysel sonuçlara göre sarmal etriye uygulanan numunenin maksimum ulaşabildiği yük ve enerji tüketim kapasiteleri geleneksel kapalı etriye uygulanan numuneye göre daha fazla çıkmıştır.

Lee vd. (2016) ise yaptıkları çalışmada dörtgen kesitli beton elemanda kare sarmal etriye etkisi üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada prizma şeklindeki numuneler, boyuna donatı kullanılmadan sarmal etriye kullanılarak güçlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar üzerinde yapılan değerlendirilmede dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinde artış görülmüştür.

Donatı kafesi hazırlamada kolaylık sağlanacağı düşünülen bir başka yöntem de donatı bitim noktalarının başlıklanmasıdır. Bu yöntemi ele alan aşağıdaki iki çalışma örnek olarak gösterilebilir.

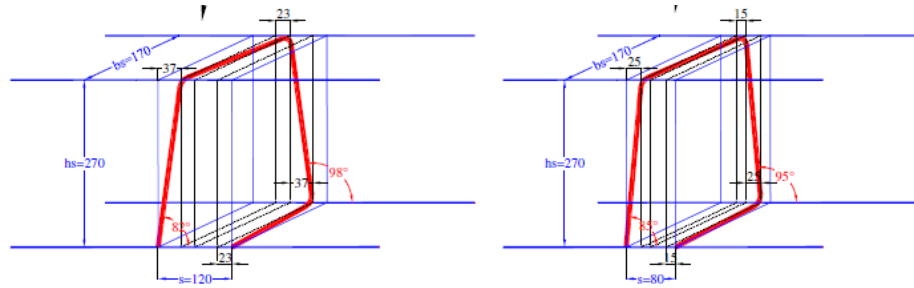
Mitchell vd. (2014) yapmış oldukları deneysel çalışmada kanca yerine başlıklanmış olan sargı donatıları üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada, kanca yerine başlıklama yaparak enine donatının çekme dayanımına ulaşabilmesi ve donatı kafesinin daha kolay oluşturulabilmesi avantajları göz önünde bulundurulmuştur. Kolon numunelere sadece aksenal yükleme yapılarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. İki seri numune hazırlanmıştır. Bu seriler içerisinde 135°, 90° ve başlıklı etriyeler ile 135°, 90° ve başlıklı çiroz elemanlar kullanılıp mukayese edilmiştir. Sonuç olarak başlıklanmış şekilde olan çirozların, 135° ve 90° kancalı çirozlar yerine kullanılmasının uygun olacağını ve benzer bir performans elde edilebileceği görülmüştür. Sadece aksenal yük durumu için başlıklı enine donatı elemanı kullanmak, geleneksel kancalı çiroz ve etriyeler için performans yönünden bir alternatif olacağı düşünülmüştür.

Ha vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada, aksenal yük ve tekrarlı yanal yük etkisindeki betonarme kolonlarda, tek tarafı başlıklanmış veya iki tarafı başlıklanmış enine donatıların kullanılması konusunu ele almıştır. Dört adet eğilme davranışı gösterecek, üç adet ise kesme davranışı gösterecek kolon numuneler hazırlamıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre çift veya tek tarafı başlıklanmış etriyeli kolonların geleneksel etriyelere göre benzer veya bazı numunelerde daha üstün bir davranış sergilediği gözlenmiştir. Beton örtüsünün dağılmasından sonra 90° kancalı etriyelerin açılmaya ve boyuna

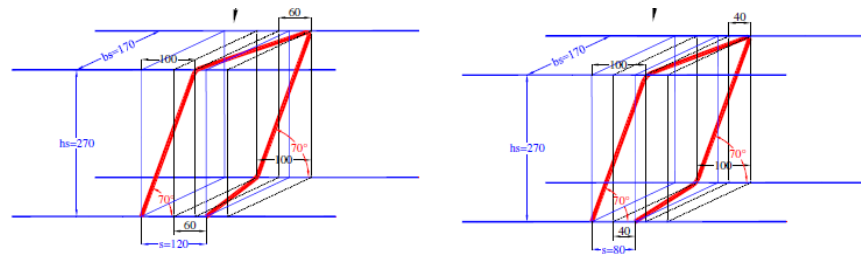
donatılarda burkulmaya sebep olmuştur. Başlıklanmış etriyeli kolonlarda ise %8 ötelenme oranına kadar kolon donatıları ve kolon genelinin kapasitesinde bir düşüş görülmediği tespit edilmiştir. Kesme kırılmasına göre tasarlanan kolonlarda, başlıklanmış etriyeli olanlarının daha etkili bir sargı kapasitesine sahip olmaları sebebiyle çatlak genişliklerinin kancalı etriyelere göre daha az olduğu gözlenmiştir.

Dörtgen kesitli kirişler üzerinde yapılan bazı çalışmalarda da, çelik kesme donatıları sarmal etriye şeklinde kullanılıp deneysel olarak incelenmiştir.

Karayannis ve Chalioris (2013) kesme davranışı gösterecek şekilde tasarlamış oldukları kiriş ve yük düzeneği ile 8 kiriş üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada üç grup numune oluşturulmuştur. Bunlardan birincisinde kontrol numuneleri bulunup etriyesiz imal edilmiştir. İkinci grup enine donatılar arasındaki mesafe 120 mm, üçüncü grup ise enine donatılar arası mesafesi 80 mm olacak şekilde imal edilmiştir. İkinci ve üçüncü grup içerisinde üç adet numune bulundurulmuş, bunlardan birincisinde geleneksel kapalı etriye, ikincisinde normal formasyonda bir spiral sarım, üçüncüsünde ise elemanda kesmeye karşı en başarılı davranış sergileyebileceği düşünülen ileri formasyonda sarmal etriye şekli kullanılmıştır (**Şekil 1.4.**).



(a) Normal formasyon spiral sarım şekli



(b) İleri formasyon sarım şekli

Şekil 1.4. Normal formasyon ve ileri formasyon sarım şekilleri ve açıları (Karayannis ve Chalioris, 2013)

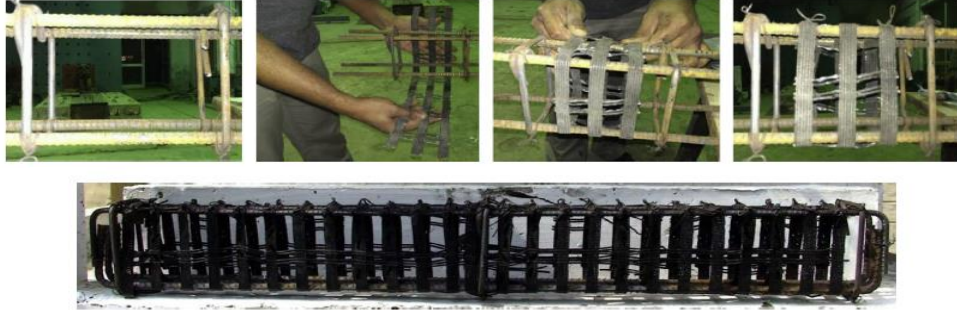
Test sonuçlarına bakıldığı zaman sarmal etriye kullanılan numunelerde kesme dayanımının arttığı açık bir şekilde gözlenmiştir. Kapalı normal etriyelere göre normal formasyondaki sarmal etriye kesme dayanımında 120 mm ve 80 mm etriye aralıkları için sırasıyla %14,9 ve %14,7 oranında arttığı görülmüştür. Kapalı normal etriyelere göre ileri formasyondaki sarmal etriye kullanımında ise kesme dayanımında 120 mm ve 80 mm etriye aralıkları için sırasıyla %17,9 ve %21,7 oranında arttığı görülmüştür. Karayannis ve Chalioris (2013), çalışmalarında da belirttiği gibi ileri formasyonda sarım kullanılması iyi sonuç vermiştir fakat elemanda tersinir yüklerin olmasına karşın sargı donatısının tek yönde etkili çalışacağından diğer yönü zayıf kalmaktadır. Bu çalışmada normal formasyon olarak belirtilen sarımda, karşılıklı kiriş yüzeylerindeki sargı donatısı zıt yöneldiği için tersinir yük durumunda da kesme davranışına katkı sağlamaktadır.

Shatarat vd. (2016) dörtgen etriyeleri yine dörtgen kesitli kirişte sarmal şekilde sargılayarak kullanmıştır. Bu çalışmada numuneler sargı donatısı 125, 150 ve 200 mm aralıklarla ve 62°, 70°, 75°, 80° ve 85° açılarda olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına sarmal etriye geleneksel kapalı etriyeye göre daha fazla kesme dayanımına sağladığı ve sarmal etriye için en uygun açının 80° olduğu saptanmıştır. Deneysel olarak elde edilen kiriş kesme kapasiteleri, ACI 318-14'e göre hesaplanan analitik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve analitik sonuçlar güvenli tarafta kalmıştır. Böyle bir uygulamada, elemanda kesme dayanımı ve sünekliğin artacağı, kapalı etriyelerdeki gibi kanca uygulaması olmadığından ve kullanılan malzeme miktarındaki azalmadan dolayı toplam maliyetin düşeceği sonucuna varılmıştır.

Bazı çalışmalarda ise betonarme elemanlarda kesme donatısı olarak başka alternatif malzemelerin de kullanılabileceği üzerine çalışılmıştır.

Chidambaram ve Agarwal (2015a), yapmış oldukları deneysel çalışmada geogrid malzemesinin betonarme kiriş elemanlarda ilave kesme donatısı olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir (**Şekil 1.5**). Bu çalışmada geogridin kesme donatısı olarak kullanılmasıyla geleneksel kapalı etriyelere nazaran daha kolay kurulabildiği ve daha düşük bir kurulum maliyeti sağladığı belirtilmiştir. 12 adet deney numunesi, boyuna ve enine donatı oranına, geogridin dayanımına ve çelik fiber oranına göre üç gruba ayrılmış; geogrid bulunan kirişler, tek noktali yüklemeye tabi tutulmuş ve yük-yer değiştirme durumuna göre karşılaştırılmıştır. Deneylerde, kullanılan çelik fiber yüzdesine ve bazı kısımlarda geogridin kullanılmasına bağlı olarak elemanda dayanımın

ve sünekliğin artabileceği görülmüştür. Deney sonuçlarına göre geogrid ve çelik fiberlerin uygun bir şekilde kullanılmasıyla elemanda sadece süneklik artışı değil aynı zamanda gevrek kırılma şeklinde iyileşme tespit edilmiştir.



Şekil 1.5. Geogridin kesme donatısı olarak kullanım detayları (Chidambaram ve Agarwal, 2015a)

Chidambaram ve Agrawal (2015b) yaptıkları çalışmada kolon kiriş birleşim yerlerinde kesme dayanımının ve sünekliğin artması için geogridin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Hazırlanan deney numunelerinin kolon kiriş birleşim yerleri geleneksel kapalı etriye ve geogrid ile sıklaştırılmış; bir numunede ise hem geogrid ile sıklaştırma yapıp hem de çelik fiber katkılı beton (SFRC) kullanılmıştır. Numuneler, çevrimli yükleme davranışı, yük-yer değiştirme eğrisi, enerji tüketim kapasitesi, dayanım ve rijitlik azalması, moment-dönme ilişkisi ve göçme mekanizması bilgilerine göre karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmede, geogridin kolon kiriş birleşim bölgesinde ilave sargı donatısı olarak kullanılmasının performansı kayda değer miktarda arttırdığı ve aynı zamanda çelik fiber katkılı beton kullanımının birleşim noktalarında kesme kapasitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Aynı şekil değiştirme seviyesi için geogrid kullanılan numunenin, geleneksel kapalı etriye kullanılan numuneye göre bir seviye daha düşük hasar düzeyine sahip olduğu görülmüştür.

Sivakamasundari vd. (2017) yaptıkları çalışmada, betonarme kirişlerde, tek eksenli geogridin ve çelik fiberin kesme donatısı olarak alternatif bir malzeme olup olmayacağını tespit etmek amacıyla tek eksenli geogridin, çelik fiberle ve çelik fiber olmadan kullanımı durumunda kirişlerin eğilme davranışını incelemiştir. Bu çalışmada iki tip kiriş numune değişik kesme donatısı şekillerinde ele alınmıştır. Geogrid ve geleneksel kapalı etriyeli numunelere üç noktalı yükleme yapılmış ve yük-yer değiştirme davranışları belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre çelik fiber ile

geogridin kullanıldığı numunelerin sünek yer değiştirme ve enerji yutma kapasitesinin arttığı görülmüş ancak sadece geogrid kullanılan numunelerde aynı durum gözlenmemiştir. Geleneksel kapalı etriye kullanılan numunelerde etriye aralığının artmasıyla rijitlik kaybı yavaş yavaş azalırken, geogrid ve çelik fiber ile geogrid kullanılan numunelerde etriye aralığı çok fazla olsa bile kademeli ve dengeli bir rijitlik kaybı meydana gelmiştir.

Betonarme elemanlarda yaygın olarak onarım ve güçlendirme amacıyla kullanılan FRP malzemeler literatürde birçok kullanım şekliyle denenmiştir. Bu malzemelerin, çeliğin korozyona uğraması sorunundan kaçınmanın yanı sıra betonarme kolon ve kiriş elemanlarda eksenel yük ve kesme kuvveti kapasitelerini arttırmak amacıyla kullanımı hedeflenmiştir. Bazı kullanım amaçları aşağıdaki çalışmalarla özetlenmiştir.

Tobbi vd. (2012) çeliğin korozyona uğrama probleminden ötürü lif katkılı polimer çubukları (FRP), 350 x 350 mm kesitli betonarme kolonlarda kullanmışlardır. Cam lif katkılı polimer çubukları (GFRP), diğer lif katkılı polimer çubuklarından (FRP) daha az maliyete sahip olduğu için seçmişlerdir. Enine donatıların şekli, aralarındaki mesafe ve beton örtüsünün ayrılması değişkenleri değerlendirilmiştir. Kolonun GFRP ile donatılması, kolon eksenel yük taşıma kapasitesine %10 katkıda bulunmuş olup, %12 katkıda bulunan çeliğe yeterince yaklaştığı görülmüştür.

Mohamed vd. (2014) köprü ayaklarında kullanılan dairesel betonarme kolonlarda boyuna ve enine donatılar olarak FRP çubuklar kullanmışlardır. Bu amaçla 14 adet tam ölçekli kolon üretmişler ve eksenel yüke maruz bırakmışlardır. Kolonlarda boyuna donatı için FRP çubuklar; enine donatı olarak ise FRP dairesel etriye ve sarmal donatı kullanmışlardır. Deney değişkenleri, sargı donatısının kullanım şekli, dairesel etriyelerin bindirme boyu, hacimsel oran, cam veya karbon lif katkılı FRP türünün kullanılması olarak sıralanmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığı zaman GFRP ve CFRP ile donatılan kolonların çelik ile donatılmış olanlar ile benzer bir davranış gösterdiği görülmüştür. Bu çalışmanın GFRP ve CFRP'nin spiral veya dairesel etriye olarak doğrudan köprü ayaklarında kullanılabilmesinde oluşturulacak tasarım standardı için bir ilk adım niteliğinde olduğu belirtilmiştir.

Eid ve Paultre (2017) geçmişte imal edilen ve günümüz deprem yönetmeliği hesaplarına göre kesme donatısı eksik kalan betonarme elemanların sünekliğini artırma konusu

üzerinde durmuşlardır. Bu amaçla mevcut elemanların güçlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlar ve güçlendirme malzemesi olarak fiber katkılı polimer (FRP) kompozitleri sargı donatısı olarak kullanmışlardır. Yapmış oldukları deneysel çalışmada kolonlarda beton içerisinde çelik etriye, beton dışında ise FRP malzeme kullanmışlardır. Beton üzerine örtülen FRP katman sayısının ve kullanılan çelik etriyenin hacimsel oranının artmasıyla kolon elemanın eksenel yük taşıma kapasitesinin ve sünekliğin arttığı görülmüştür. Çalışma kapsamında sunulan analitik model ile bulunan eleman gerilme-şekil değiştirme eğrisinin deneysel sonuçların iyi derecede örtüştüğü tespit edilmiştir.

Maadawy vd. (2010) yaptıkları çalışmada farklı yükleme durumlarındaki CFRP ile sargılanmış betonarme elemanların kesit şekillerinin, yapısal performans üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bunun için 32 adet numune üzerinde deney gerçekleştirilmiştir. Değişkenler, dairesel kesit, kare kesit, 2 farklı en boy oranına sahip dikdörtgen kesit ve yükleme şekli olarak belirlenmiştir. Yükleme şekilleri merkezi, eksantrik ve dört noktalı yükleme olarak yapılmıştır. Deney sonuçları, merkezi eksenel yükleme durumunda CFRP sargılamanın yük taşıma kapasitesini ve sünekliği arttırdığını göstermiştir. Merkezi yükleme durumunda dikdörtgen ve dairesel kesitli elemanlarda eksenel yük taşıma kapasiteleri sırasıyla, %23 ve %44 oranlarına kadar artarken, eksenel şekil değiştirmelerde ise %250 ve %350 oranlarına kadar artış olmuştur. CFRP sargının eksantrik yükleme etkisindeki yük taşıma kapasitesinde %18 ile %28 oranlarında, yanal ötelenme ölçümünde sağlanan süneklikte ise %43 ile %120 oranlarında artış sağladığı görülmüştür. CFRP sargılı kare ve dairesel kesitli elemanların eğilme kapasitesinde bir artış sağlamakla beraber eleman sünekliğini dikdörtgen ve kare kesit olma durumuna göre sırasıyla %340 ile %460 oranlarına kadar arttırdığı tespit edilmiştir.

Betonarme elemanlarda kesme donatısı olarak kullanılan etriyeler, yapısal taşıyıcılık ve eleman davranışı yönünden hayati önem taşımaktadırlar. Bu bağlamda etriyeler hem hazırlanışları hem de kullanımları esnasında, iş yükünü ve süresini arttırdıkları için bu esnada yapılabilecek hatalar tasarımcıları endişelendirmektedir. Bu sebeple, geçmiş çalışmalardan da anlaşıldığı üzere, etriyelerde, gerek hazırlanışları gerekse kullanımları esnasında yapısal taşıyıcılık ve davranışı olumsuz etkilemeyecek düzeyde değişiklikler yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Geçmiş çalışmaların yönlendirmeleri doğrultusunda, betonarme elemanlarda enine donatının sürekliliği, yaygın kullanılan

kesit geometrisi ve enine donatı olarak kullanılan malzemelerin sağlamış olduğu katkılar bir araya getirilmiştir. Bu bilgiler ışığında betonarme kolonlarda çelik etriye geometrisinde yapılacak literatür destekli değişimle, bu geometriye özdeş olarak kurulumu çelikten daha kolay sağlanabilecek CFRP ve geogrid malzemelerinin hem geleneksel kapalı etriye olarak kullanımı hem de sarmal şekilde kullanımının imalat aşamasında kolaylık sağlayacağı düşünölmüş ve betonarme kolon davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla çelik, CFRP ve geogrid malzemelerinin hem geleneksel kapalı etriye olarak hem de sarmal enine donatı olarak kullanılması halinde betonarme kolonların yapısal davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Toplam 6 adet deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlarla, bir taraftan yapısal davranış iyileştirilirken bir taraftan da kurulumunda karşılaşılan iş yükü, zaman kayıpları ve muhtemel üretim hatalarının, yeni tür malzemelerin kullanımıyla indirgenebileceği değerlendirilmektedir.

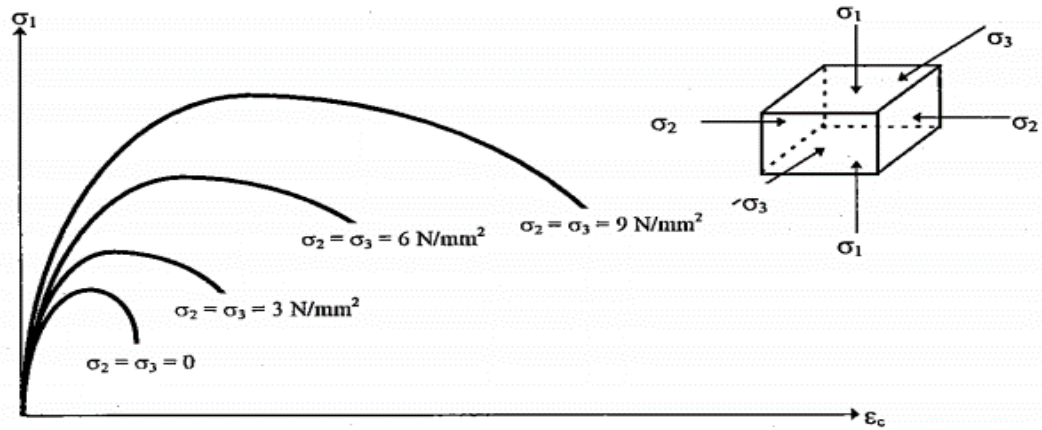
2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde betonarme kolonların maruz kaldığı aksel yük eğilme momenti ve kesme kuvveti etkilerini nasıl karşıladığında dair bilgiler verilmiştir. Sonrasında ulusal ve bazı uluslararası standartlarda söz konusu etkiler altındaki elemanların hesap ve tasarımında kullanılması gereken malzeme özellikleri, kesit özellikleri ve eleman özelliklerinden bahsedilmiştir. Bölümün sonunda ise TS-500 standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak betonarme kolon tasarımında kullanılacak hesap adımları anlatılmıştır.

2.1. Sargılı Beton Davranışı

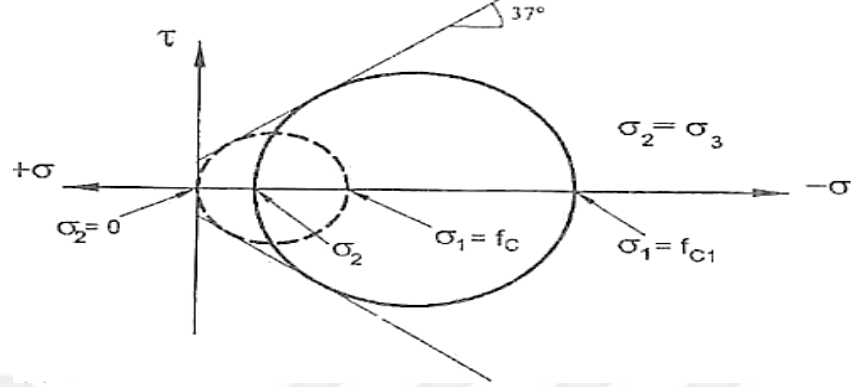
Beton, aksel basınç durumunda Poisson oranıyla ilişkili olarak, aksel yük doğrultusuna dik olarak şekil değiştirmek istemektedir. Bu da beton elemanın aksel yük etkisindeki dayanımına etki etmektedir. Sargılı beton durumunda donatılar, betonun aksel yük doğrultusuna dik şekil değiştirmesine karşı koyacağından üç yönlü gerilme durumu oluşturup beton dayanım ve sünekliğini arttırmaktadır.

Betonarme elemanlarda beton çoğunlukla üç yönlü gerilme durumundadır. Üç yönlü gerilme durumu için güvenilir ve kapsamlı ilk deney, 1928'de Richart, Brandzaeg ve Brown tarafından yapılmıştır. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi σ_2 ve σ_3 arttıkça betonun hem dayanımı hem de sünekliği artmaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2017).



Şekil 2.1. Betonun üç eksenli gerilme altındaki davranışı (Doğan, 1997)

Üç yönlü gerilme altındaki betonun dayanımı ile ilgili kriterlerden biri olarak Cowan ve Zia tarafından önerilen zarf eğrisi **Şekil 2.2**'de gösterilmiştir. Bu kriter gere beton basınç dayanımı **Denk. 2.1**'deki gibi yazılır (Ersoy ve Özcebe, 2012).



Şekil 2.2. Cowan-Zia kırılma kriteri (Ersoy ve Özcebe, 2017)

$$f_{cc} = f_{c1} = f_c + 4\sigma_2 \quad (2.1)$$

Burada; f_{cc} , eksenel basınç dayanımını; σ_2 , yanal basınç gerilmesini ifade etmektedir.

2.1.1. Sargılı betonun Saatçioğlu ve Ravzi tarafından irdelenmesi

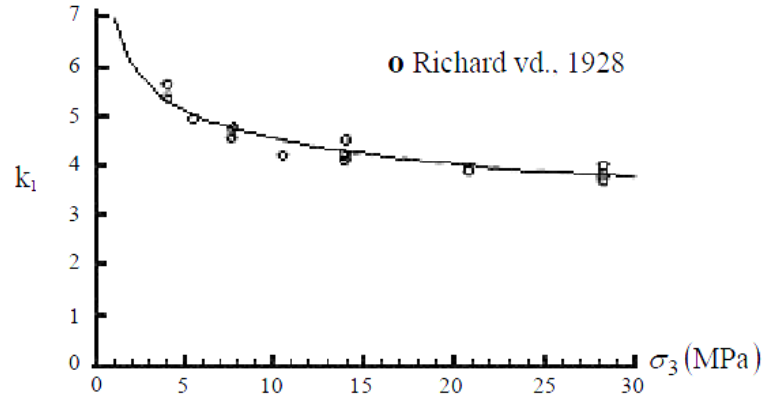
Saatçioğlu ve Ravzi (1992) sargılı beton dayanımı hesabında **Denk. 2.2**'yi kullanmışlardır.

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_2 \quad (2.2)$$

Burada, k_3 standart silindir deneyinden elde edilen beton dayanımı ile elemanda ortaya çıkan beton dayanımı arasındaki farkı ifade eden bir katsayıdır. 0,85 ile 1,0 arasında değişir. Saatçioğlu ve Ravzi, Richart deneylerini bir daha gözden geçirmiş ve $k_1 = 4,0$ katsayısının yanal basıncın 15 MPa'dan büyük olduğu durumlar için geçerli olabileceğini gözlemişlerdir. Deney sonuçları k_1 değerinin, yanal basıncın daha küçük olduğu durumlarda 4,0'dan büyük olabileceğini göstermiştir. Bu durumda k_1 için aşağıdaki **Denk. 2.3** yazılmış ve **Şekil 2.3**'de gösterilmiştir.

$$k_1 = \frac{6.7}{\sigma_2^{0.17}} \quad (2.3)$$

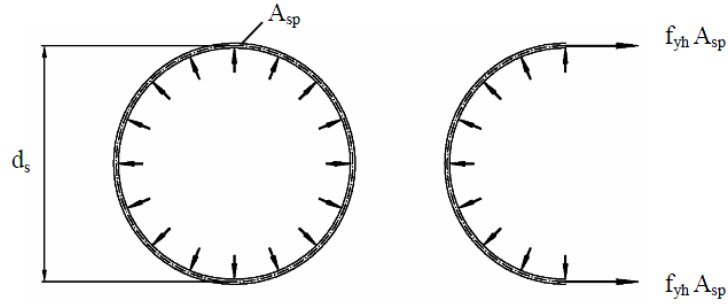
σ_2 , Mpa cinsinden yazılmalıdır.



Şekil 2.3. k_1 için önerilen eğri (Saatçioğlu ve Ravzi, 1992)

2.1.1.1. Dairesel kesitler

Sık adımlarla yerleştirilen spiral kuşatma donatısı oluşacak yanal basınç düzgün yayılı olduğu kabul edilir. Bu durumda Şekil 2.4'deki kuvvet diyagramı oluşturularak Denk. 2.4'deki ifade elde edilir.



Şekil 2.4. Dairesel kolonlarda yanal kuşatma basıncı (Saatçioğlu ve Ravzi, 1992)

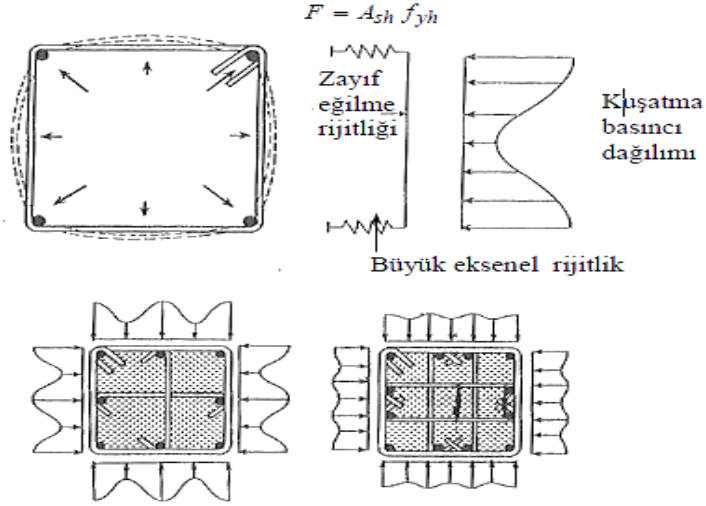
$$\sigma_2 = \frac{2A_{sp}f_{yh}}{d_s s} \quad (2.4)$$

Yanal kuşatma basıncı σ_2 , kuşatma donatısı akma dayanımı sınır değerine bağlı olarak hesaplanması ve k_1 'de Denk 2.3 ile elde edilmesi durumunda, spiral kuşatma donatılı dairesel kesitler için kuşatılmış beton dayanımı Denk 2.5'deki gibi hesaplanabilir.

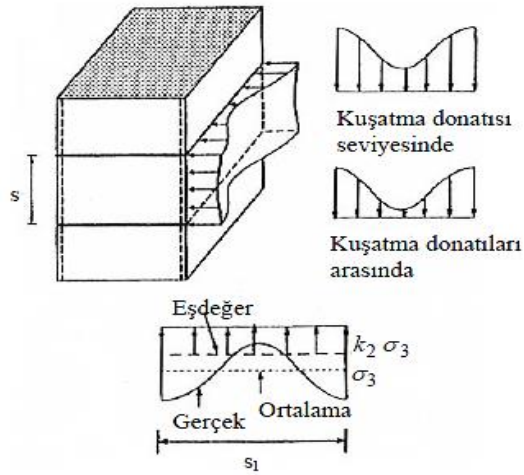
$$f_{cc} = f_c' + \frac{6.7}{\sigma_2^{0.17}} \sigma_2 \quad (2.5)$$

2.1.1.2. Kare kesitler

Şekil 2.5’de çeşitli kuşatma donatı düzenleri için yanal kuşatma basınç dağılımları gösterilmiştir. Yanal olarak kuşatılan beton üç boyutlu bir etki oluşturmaktadır (Saatçioğlu ve Razvi, 1992). Bu nedenle yanal kuşatma basıncının eleman boyunca dikkate alınması doğru olmaktadır. Bu durum Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kare kolonlarda yanal kuşatma basıncı dağılımları (Saatçioğlu ve Razvi, 1992)



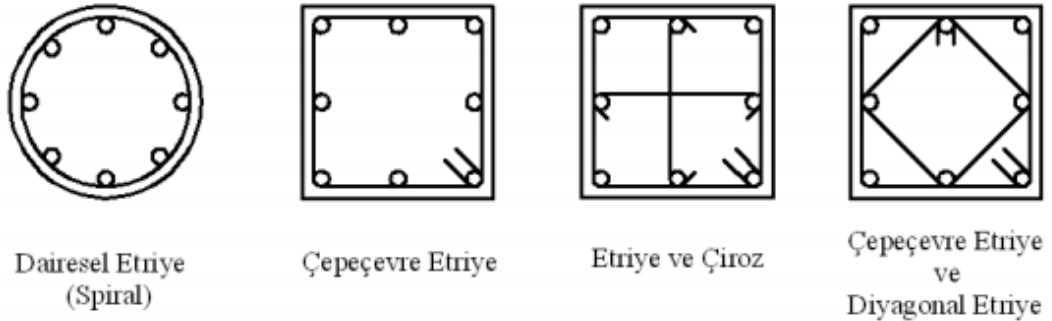
Şekil 2.6. Yanal kuşatma basıncının dağılımı ile ortalama ve eşdeğer kuşatma basınç ifadeleri (Saatçioğlu ve Razvi, 1992)

Kuşatma donatısıyla sarılan boyuna donatılar ve kuşatma donatısının sık yerleştirilmesiyle, boyuna donatıların burkulmasına kadar bu mesafedeki kuşatma basıncı düzgün doğrusal kabul edilebilir (Saatçioğlu ve Razvi, 1992).

2.1.2. Betonarme elemanda sargı özelliğini etkileyen değişkenler

Betonarme elemanlarda boyuna donatılar etrafında sarılı enine donatılar bulunur. Enine donatılar, sürekli sarmal şeklinde fretlerden veya kapalı etriyeler şeklinde kullanılabilir. Enine donatılar beton çekirdeğine sargı etkisi oluşturmaktadır; kullanım miktarı ve şekilleri ile bu etki değişmektedir. **Şekil 2.7**'de enine donatı türleri gösterilmektedir.

Dairesel fretle sarılmış dairesel kesitli bir betonarme elemanda aksel basınç durumunda tüm kesit basınç etkisine karşı koyacaktır. Beton maksimum birim kısılmaya ulaştığında kabuk kısmı dökülecektir. Fret ile çevrilmiş çekirdek alan ise Poisson etkisiyle yana doğru açılmaya çalışacak fakat fret buna karşı koyacaktır. Dairesel olmasından dolayı enine donatıda aksel rijitlik etkin olacaktır. Bu da enine donatının sargılama etkisini arttıracaktır.

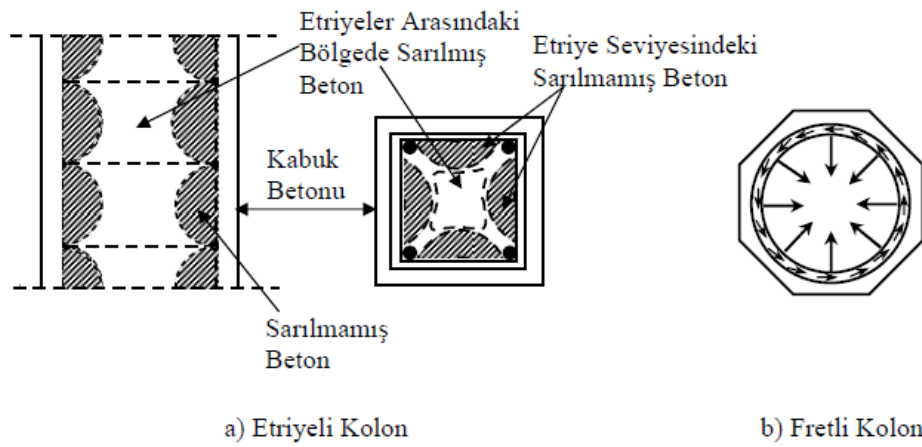


Şekil 2.7. Enine donatı türleri (Işıltan, 2010)

Dörtgen kesitli elemanlarda kapalı dörtgen etriye kullanılmaktadır. Poisson etkisiyle genişleyen betonda dörtgen etriyeler için dairesel etriyelerden farklı olarak eğilme rijitliği etkin olacaktır. Bu da sargı etkisini dairesel etriyelere nazaran düşürecektir. Eğilme rijitliğinde eğilme açıklığı arttıkça enine donatı yer değiştirmesi artacağından dezavantaj sağlamaktadır. Bu nedenle böyle bir durumda belirli açıklıklarda çift donatı veya çiroz denilen donatı elemanı kullanılabilir.

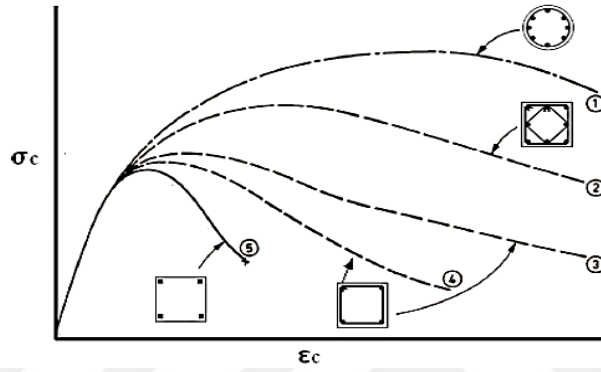
Sargı donatısını etkileyen parametreler şu şekilde sıralanabilir (Özkul, 2009):

1. *Yatay (Enine) Donatı Oranı*; Hacimsel sargı donatısı oranını ρ_w ile ifade edecek olursak, bu oranın artmasıyla elemanda eksenel yük etkisinde hem dayanım hem de süneklik artacaktır. ρ_w , etriye hacminin sarılmış çekirdek hacmine oranıyla elde edilir.
2. *Yatay (Enine) Donatının Tasarım Akma Dayanımı (f_{ywd})*; Donatının dayanımı arttıkça, önceden de ifade edildiği gibi üç yönlü gerilme durumu için σ_2 değeri artacak, dolayısıyla eleman dayanımı ve sünekliği artacaktır.
3. *Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı (f_{ck})*; Beton basınç dayanımı arttıkça sünekliği azalmaktadır. Ayrıca eksenel yüklemenin aynı miktarı için yatay genişleme (Poisson etkisi) düşük basınç dayanımı durumunda daha fazladır. Bu yüzden beklendiği gibi bu durumda (pasif) sargı, yüksek dayanımlı beton elemanda göstereceği gerilme artışına göre daha fazla gerilmeye maruz kalacağından daha etkili olacaktır.
4. *Etriye Aralıkları (s)*; Etriye aralığının azalması hacimsel etriye oranını arttırmakta dolayısıyla sargı etkisini arttırmaktadır. Artan sargı etkisiyle eleman sünekliği ve dayanımı artmaktadır. Azalan etriye aralığı ile ayrıca boyuna donatılardaki burkulma boyu azalmaktadır.
5. *Etriye Şekli*; Bir elemanda çeşitli etriye şekilleri kullanılır. Sarılmamış betonun etkili bölgesi küçüldükçe dayanım ve süneklik artar (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Genel sargı tipleri (Özkul, 2009)

6. *Enine Donatı Düzeni*; Şekil 2.9'daki deneysel bir çalışmada sargılama düzenine göre gerilme birim şekil değiştirme eğrileri karşılaştırılmıştır. 1 numaralı eğride dairesel kolon ve dairesel etriye kullanılmış ve en yüksek düzeyde dayanım ve süneklik elde edilmiştir. 2 numaralı eğride dörtgen ve çapraz etriye kullanılmış ve 1 numaralı etriye düzenine göre daha düşük dayanım ve süneklik elde edilmiştir. 3 ve 4 numaralı eğride dörtgen etriye kullanılmış fakat 3 numaralı eğride donatı aralıkları daha azdır. 5 numaralı eğride de etriye kullanılmamıştır.



Şekil 2.9. Enine donatı düzeninin sargı etkisindeki önemi (Ersoy ve Özcebe, 2017)

7. *Boyuna Donatı Düzeni*; Boyuna donatı düzeninin sargılama üzerinde etkisi çok büyük olmamakla beraber boyuna donatı düzeninin simetrik olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Beton çekirdeğini sarması ve daha etkili enine donatı düzeni oluşturabilmek açısından büyük çaplı az sayıda boyuna donatı yerine küçük çaplı fazla sayıda boyuna donatı kullanılması tercih edilmelidir.

Sargılı beton davranışını etkileyen faktörler **Tablo 2.1**'de karşılaştırmalı olarak belirtilmiştir.

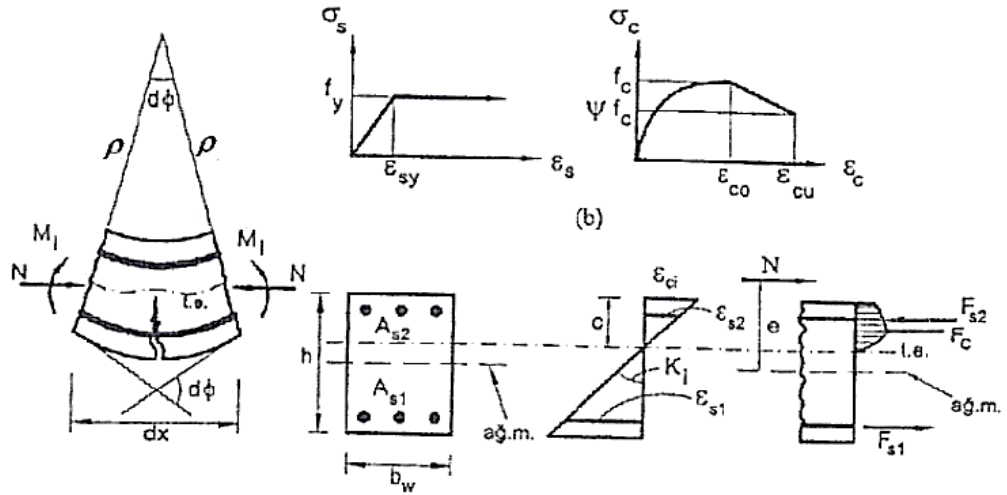
Tablo 2.1. Sargılı beton davranışını etkileyen faktörler (Işıltan, 2010)

Faktörler	Faktörlerin değişimi	Sargı etkisi değişimi
Enine donatı miktarı	↑	↑
Enine donatı aralığı	↓	↑
Enine donatı çapı	↑	↑
Enine donatı dayanımı	↑	↑
Enine donatı düzeni	Dairesel etriye > sık etriye > etriye	
Boyuna donatı düzeni	Küçük çaplı çok sayıda donatı > büyük çaplı az sayıda donatı	
Beton dayanımı	↑	↓
Eksenel yük düzeyi	↑	↓

2.2. Betonarme Elemanlarda Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Etkisi

2.2.1. Eğilme momenti etkisi

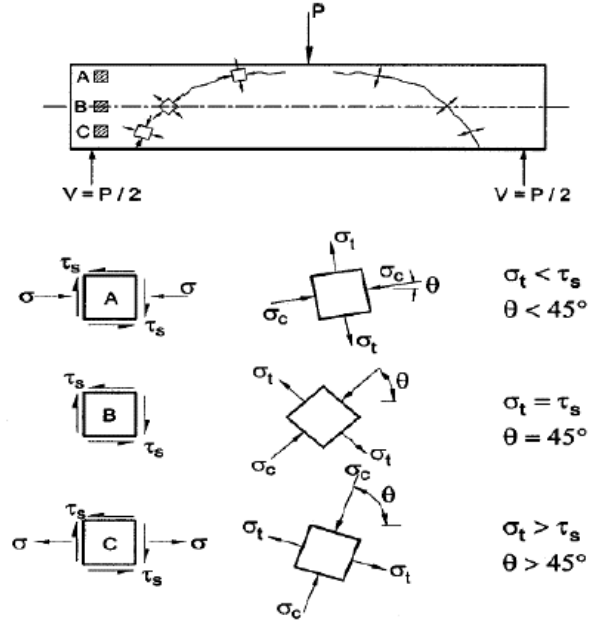
Betonarme bir elemanın eğilme momentine maruz kalmasıyla eleman kesitlerinde çekme ve basınç bölgesi adında normal gerilme alanları oluşmaktadır. Çekme bölgesindeki gerilmeler çelik donatı tarafından, basınç bölgesindeki gerilmeler ise beton ve bu bölgeye de yerleştirilmiş çelik donatılar ile karşılanmaktadır. Düzlem kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kalacağı varsayımıyla, beton ve donatının karakteristik olarak gerilme-şekil değiştirme davranışına bağlı bir şekilde kesit düzleminde gerilme dağılımı olacaktır. Betonarme elemanların eğilme rijitliği, moment eğrilik eğrisinin eğimi olarak tanımlanabilir. Eğilmeye ek olarak aksel basınç taşıyan betonarme bir kesitin moment-eğrilik ilişkisi aksel yük düzeyine göre değişmektedir. Betonarme bir elemanda eğrilik Şekil 2.10'daki model ve bu model üzerinden Denk 2.6 ve Denk 2.7 ile hesaplanır. Görüleceği gibi aksel yük düzeyine ve malzeme davranışlarına göre moment-eğrilik ilişkisi Şekil 2.11'deki gibi değişmektedir.



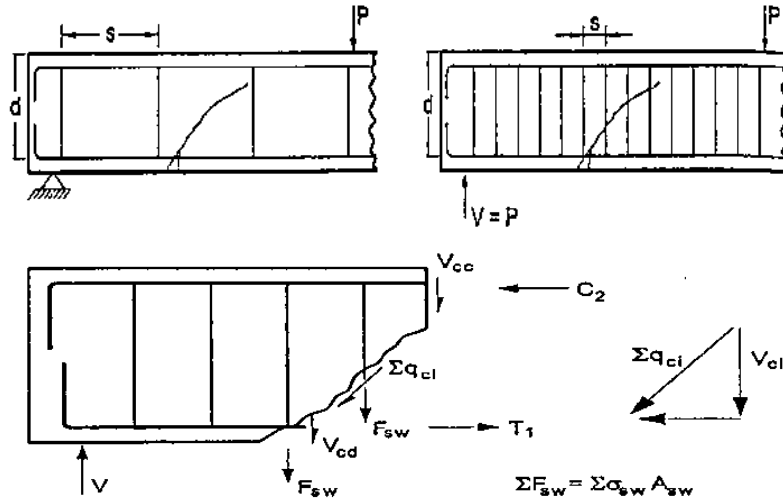
Şekil 2.10. Eğrilik ve malzeme modelleri (Ersoy ve Özcebe, 2017)

$$K = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} \quad (2.6)$$

$$K = \frac{\epsilon_x}{y} = \frac{\epsilon_{ci}}{c} \quad (2.7)$$



Şekil 2.13. Asal gerilme yönlerine göre elemanda oluşabilecek çekme gerilmesi düzlemleri (Ersoy ve Özcebe, 2017)



Şekil 2.14. Çekme gerilmesi düzlemlerinde beton ve donatıda etki diyagramı (Ersoy ve Özcebe, 2017)

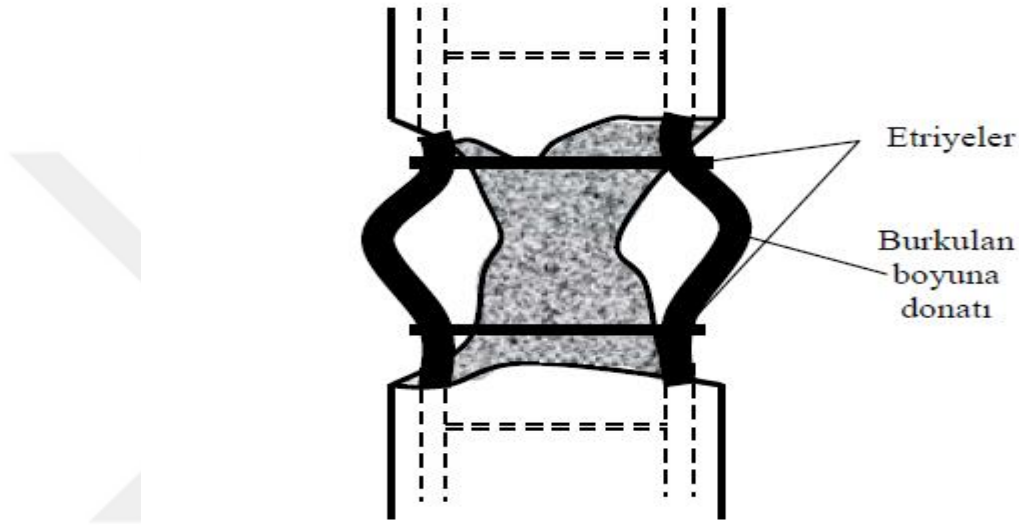
Şekil 2.14'de gösterilen serbest cisim diyagramında eleman üzerinde kuvvetler belirtilmiştir. Elamanın kesme dayanımı Denk. 2.8 ile elde edilmektedir. Kesme donatısının karşılamış olduğu yük, v_w , Denk. 2.9 ile hesaplanır.

$$V = v_{cc} + v_{cd} + v_{ci} + v_w \quad (2.8)$$

$$v_w = \frac{\sum F_{sw} x(jd)}{s} = \frac{\sum F_{sw} x(d)}{s} \quad (2.9)$$

2.3. Eksenel Yük Etkisi

Betonun sünme ve büzülme özelliğinden dolayı, eksenel yüklü betonarme kolondaki çelik ve beton gerilmeleri değişkenlik gösterebilmektedir. Etriyeli bir kolon, betonun kırılması ve etriyeler arasındaki donatının burkulması ile **Şekil 2.15**'teki gibi göçmüş olarak kabul edilir. Kolonun nihai yük kapasitesi; kolonun kesit alanı, betonun basınç dayanımı, boyuna donatının kesit alanı ve dayanımı ile ilgilidir (Özkul, 2009).



Şekil 2.15. Eksenel yük taşıyan etriyeli bir kolonun kırılması (Özkul, 2009)

2.4. Betonarme Kolon Tasarımı için Standartlardaki Hükümler

Betonarme kolonların hesap ve tasarımında ulusal ve bazı uluslararası yönetmeliklerde çeşitli hükümler bulunmaktadır. Bu standartlar, TS-500(2000) “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” (Türk Standartları Estitüsü), ACI 318M-14 “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary” (American Concrete Institute), CSA A23.3-14 “Design of Concrete Structures” (Canadian Standards Association) ve Eurocode 2 “Design of Concrete Structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings” (European Committee for Standardisation) şeklinde sıralanabilir.

2.4.1. TS-500(2000) hükümleri

2.4.1.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri

- Donatı çeliğinin elasto-plastik davrandığı kabul edilir.
- Taşıma gücüne erişildiğinde, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma $\varepsilon_{cu} = 0,003$ alınır.
- Tüm donatı çelikleri için ; $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$, $\varepsilon_{su} = 0,1$ alınır.

2.4.1.2. Kesit özellikleri ve kabulleri

- Kesit boyutlarında; dikdörtgen kesitli kolonlarda minimum 250 mm, I,T ve L kesitli kolonlarda en küçük kalınlık 200 mm, kutu kesitli kolonlarda minimum et kalınlığı 120 mm, dairesel kolonlarda minimum daire çapı 300 mm olmalıdır.
- Donatı çubuğu beton arasında tam aderans bulunduğu düşünülerek, donatı birim şekil değiştirmesi, aynı düzeydeki beton lifi birim şekil değiştirmesine eşit alınır.
- Düzlem kesitler, şekil değiştirmeden sonra düzlem kalır.
- $\sigma_s = E_s \varepsilon_s \leq f_{yd}$ (donatı elastik bölge denklemi)
- $0,85 f_{cd}$ (dikdörtgen basınç bloğu gerilme değeri)
- $a = k_1 c$ (a : basınç bloğu derinliği, c : tarafsız eksen derinliği)

Tablo 2.2. Beton sınıflarına göre kullanılacak k_1 değerleri

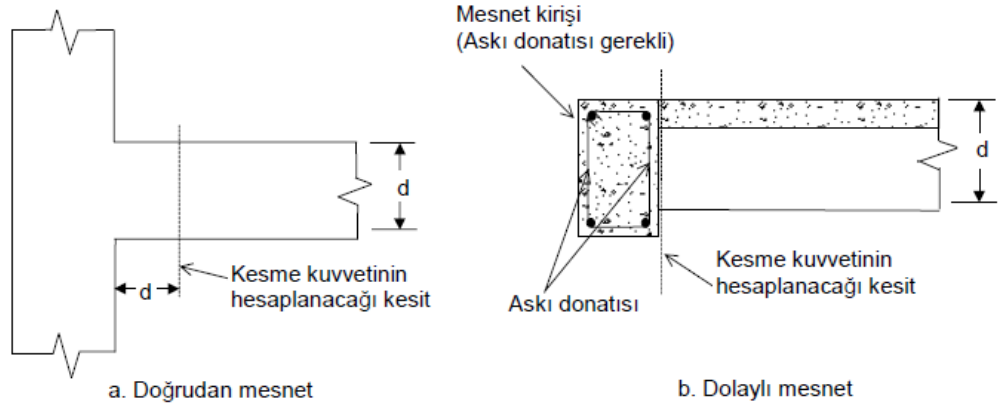
Beton sınıfı	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
k_1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70

- $N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c$ (N_d : tasarımda kullanılacak aksenal yük değeridir)
- $\rho_t = A_{st}/A_c \geq 0,01$ (boyuna donatı oranı belirtilen hesap ve koşulu sağlar, hesaplanan donatının 1,3 katının sağlanması koşuluyla bu oran 0,005'e azaltılabilir)
- Etriyeli kolonlarda her dış köşede en az 1 adet boyuna donatı bulundurulmalıdır.
- Fretli kolon en kesitinde ise en az 6 boyuna çubuk bulunmalıdır. Bu elemanlarda boyuna donatı $\phi 14$ den küçük olamaz.

- Bindirme bölgelerinde $\rho_t \leq 0,04$ koşulu, bindirme olmayan bölgelerde $\rho_t \leq 0,06$ koşulunun sağlanması gerekir.
- Eleman kesitinin tamamının çekmeye çalıştığı durumda betonun katkısı ihmal edilir ve çekme dayanımı $N_d = A_{st}f_{yd}$ ile ifade edilir.
- Eğilme ve eksenel yük etkisi altındaki elemanlarda boyuna donatı simetrik bir şekilde yerleştirilmesi uygundur. Bütün kesitin çekme etkisinde bulunduğu durumda bulundurulması gereken donatı oranı $\rho_t = 1,5 \frac{f_{cta}}{f_{yd}}$ ile belirlenir.

2.4.1.3. Eleman özellikleri ve kabulleri

- Betonarme yapı elemanlarında eğilme momenti ile birlikte etkiyen kesme kuvvetlerinin oluşturduğu asal çekme gerilmeleri, beton ve uygun kesme donatısı ile karşılanacak, asal basınç gerilmelerinin de gövdede ezilme oluşturmayacak bir düzeyde tutulması sağlanacaktır.
- Tasarım kesme kuvveti V_d , mesnet yüzünden “ d ” uzaklığında hesaplanmalıdır (doğrudan mesnet) (**Şekil 2.14a**). Ancak, mesnet olarak başka bir eğilme elemanına oturan kirişlerde mesnet yüzündeki kesme kuvveti esas alınmalıdır (dolaylı mesnet) (**Şekil 2.14b**). Tekil bir yükün mesnet yüzünden “ d ” veya daha az uzaklıkta etkime olasılığı bulunan durumlarda da, mesnet yüzünde hesaplanan kesme kuvveti temel alınmalıdır.
- Betonarme bir kesitin kesmede çatlama dayanımı, daha kesin bir hesap gerekmediği sürece $V_{cr} = 0,65f_{cta}b_wd(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c})$ ile hesaplanır. Denklemden, eksenel basınç durumunda $\gamma = 0,07$, eksenel çekme durumunda ise $\gamma = -0,3$ alınacaktır. Güvenilir bir yöntem kullanılarak ve gövde beton kesit alanı temel alınarak hesaplanan eksenel çekme gerilmesi, 0,5 MPa dan küçükse, $\gamma = 0$ alınabilir.
- Kesme güvenliği için $V_r > V_d$ koşulu sağlanmalıdır. V_r , kesitin kesme dayanımıdır ve $V_r = V_c + V_w$ olarak ifade edilir. V_c , betonun, V_w ise etriyelerin kesme dayanımına katkısıdır. V_c genel olarak $V_c = 0,8 V_{cr}$ olarak hesaplanır.
- Sarılma bölgelerinde sadece deprem yükünden oluşan kesme kuvvetinin, deprem yükü dahil toplam yükten oluşan kesme kuvvetin yarısından büyük olması ve aynı zamanda $N_d < 0,05A_c f_{ck}$ koşulunun sağlanması durumunda $V_c = 0$ alınır (DBYBHY 2007).



Şekil 2.16. Değişik mesnetlenme türleri (TS 500, 2000)

- Enine donatılarda;
 - Etriye katkısı $V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d$ denklemiyle hesaplanır.
 - $V_d < V_{cr}$ olduğu durumda kesme donatısı hesabına gerek yoktur ancak minimum etriye bulundurulmalıdır.
 - Minimum kesme donatısı için $\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w$ koşulu sağlanmalıdır.
 - Kesme kuvveti üst sınırı için $V_d \leq 0,22 f_{cd} b_w d$ koşulu sağlanmalıdır.
 - Kolon boyuna donatısı kolon boyunca enine donatı tarafından sarılır.
 - Enine donatı çubuk çapı boyuna donatı çapının üçte birinden az olamaz.
 - Enine donatı aralığı da en küçük boyuna çubuk çapının 12 katından ve 200 mm den fazla olamaz.
 - Deprem bölgelerinde yapılan yapılarda süneklik düzeyi normal kolonlarda etriye aralığı sarılma bölgesinde $b/3$, $8\phi_{min}$ ve 150 mm'yi orta bölgede $b/2$, 200 mm ve $12\phi_{min}$ değerini aşmamalıdır. Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda sarılma bölgesinde $b/3$ ve 100 mm'yi, kolon orta bölgesinde $b/2$, 200 mm ve $12\phi_{min}$ değerini aşmamalıdır (DBYBHY, 2007).

2.4.2. ACI-318M-2014 hükümleri

2.4.2.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri

- Donatı çeliğinin elasto-plastik davrandığı kabul edilir.
- Taşıma gücüne erişildiğinde, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma $\epsilon_{cu} = 0,003$ alınır.
- Tüm donatı çelikleri için; $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ alınır.

2.4.2.2. Kesit özellikleri ve kabulleri

- Boyuna donatı alanı yani A_s , brüt beton alanına yani A_g 'ye göre; $0,01A_g \leq A_s \leq 0,08A_g$ koşulunu sağlamalıdır.
- Bindirme bölgelerinde donatı oranı 0,04 ü geçmemelidir.
- Dörtgen veya dairesel kolonlarda minimum 4 adet boyuna donatı bulundurulmalıdır. Diğer kolon şekillerinde ise etriyelerin her bir kıvrım yada köşesinde bir boyuna donatı geçmesi gerekmektedir.
- Kesitte beton basınç gerilmesi ve şekil değiştirme arasındaki eğilim dikdörtgen, trapez, parabolik veya basınç deneyi sonuçlarına göre en uygun geometrik şekilde alınabilir. Basınç bloğunun dikdörtgen olması durumunda gerilme dağılımı $0,85f'_c$ ile ifade edilir. Basınç bloğu derinliği $a = \beta_1 c$ ile bulunur. c , tarafsız eksenin en dış beton lifine olan uzaklığıdır. β_1 **Tablo 2.3**'ten alınır.

Tablo 2.3. Beton basınç dayanımına bağlı olarak β_1 değerinin saptanması

f'_c, MPa	β_1
$17 \leq f'_c \leq 28$	55
$28 < f'_c < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$
$f'_c \geq 55$	0,65

- Kolon maksimum aksenal yük dayanımı kapalı etriyelerde $0,80P_o$ spiral sarımlarda ise $0,85P_o$ değerinde olmalıdır. $P_o = 0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$ denklemi ile belirlenir. A_{st} kesitteki toplam boyuna donatı alanıdır.
- Elemanın çekme dayanımı P_{nt} , $P_{nt,max}$ değerinden büyük olmamalıdır ($P_{nt,max} = f_y A_{st}$).

2.4.2.3. Eleman özellikleri ve kabulleri

- Kesme kuvveti $V_u > 0,5\phi V_c$ olduğu durumda minimum kesme donatısı sağlanmalıdır.
- Minimum kesme donatısı, $A_{v,min}$, $0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$ ve $0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}}$ ifadelerinden büyük olmalıdır.
- Kesme dayanımı $V_n = V_c + V_s$ ifadesiyle hesaplanır.

- Betonun kesme dayanımına katkısı eksenel yük olmadığı durumda $V_c = 0,17\gamma\sqrt{f'_c}b_wd$, eksenel yük olduğunda ise $V_c = 0,17\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\gamma\sqrt{f'_c}b_wd$ olarak hesaplanır.
- Kesme donatısının kesme dayanımına katkısı $V_s = \frac{A_s f_{yt} d}{s}$ ifadesi ile bulunur.

2.4.3. Eurocode 2 hükümleri

2.4.3.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri

- Donatı çeliğinin elasto-plastik davrandığı kabul edilir.
- Taşıma gücüne erişildiğinde, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma, ε_{cu2} , $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$ olduğunda 0,0035, $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$ olduğunda ise $\varepsilon_{cu2} = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$ eşitliğiyle hesaplanır.
- Tüm donatı çelikleri için; $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ alınır

2.4.3.2. Kesit özellikleri ve kabulleri

- Dikdörtgen kesitlerde büyük boyut küçük olanının 4 katından fazla olamaz.
- Eğilme etkisinde düzlem kesitler, şekil değiştirmeden sonra düzlem kalır.
- Basınç bloğu derinliği λx ile bulunur. x tarafsız eksen derinliğidir.
- λ , $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ olduğunda 0,8 alınır; $50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$ olduğunda ise $0,8 - (f_{ck} - 50)/400$ alınır.
- Basınç bloğunda dikdörtgen dağılımlı gerilme değeri ηf_{cd} olarak bulunur.
- η , $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ olduğu durumda 1,0 alınır; $50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$ olduğu durumda ise $1,0 - (f_{ck} - 50)/200$ alınır.
- Dikdörtgen kesitlerde her köşede bir adet boyuna donatı bulundurulmalıdır. Dairesel kesitlerde boyuna donatı adedi 4'ten az olamaz.
- Boyuna donatı miktarı $A_{s,min}$ 'den az olamaz. $A_{s,min}$, $\frac{0,10N_{Ed}}{f_{yd}}$ ya da $0,002A_{cd}$ olarak bulunur. f_{yd} , tasarımda kullanılan akma dayanımını; N_{Ed} ise, tasarımda kullanılan eksenel yük miktarını göstermektedir.
- Maksimum boyuna donatı miktarı bindirme bölgelerinde $0,08A_c$ bindirme olmayan bölgelerde ise $0,04A_c$ değerini aşmamalıdır.

2.4.3.3. Eleman özellikleri ve kabulleri

- Enine donatı çapı 6 mm ve boyuna donatı çapının dörtte birinden az olamaz.
- Enine donatı aralıkları minimum boyuna donatının 20 katından, kolonun minimum ebadından ve 400 mm'den fazla olamaz.
- Kolonun oturduğu kiriş veya döşeme yüzeyinden kolon kesit boyutlarının büyük olanının miktarı kadar kolon boyunca enine donatı aralığının maksimum değeri 0,6 katsayısı ile küçültülür. Boyuna donatıların bindirme bölgelerinde eğer maksimum donatı çapı 14 mm'den büyük ise ve minimum 3 adet donatı bindiriliyorsa, buralarda da maksimum enine donatı aralığı 0,6 katsayısı ile azaltılır.
- $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ olduğu durumda kesme donatısı hesabı gerekmemektedir. V_{Ed} , eleman üzerine dış etkilerden oluşan kesme kuvvetidir. $V_{Rd,c}$, elemanın kesme donatısı olmadan kesme dayanımıdır.
- $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c}k(100\rho_1f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp}]b_wd$ olarak hesaplanır. $V_{Rd,c} = [v_{min} + k_1\sigma_{cp}]b_wd$ olarak da ifade edilebilir. f_{ck} Mpa olarak alınır. k , ρ_1 , ve σ_{cp} aşağıdaki gibi belirlenirler;

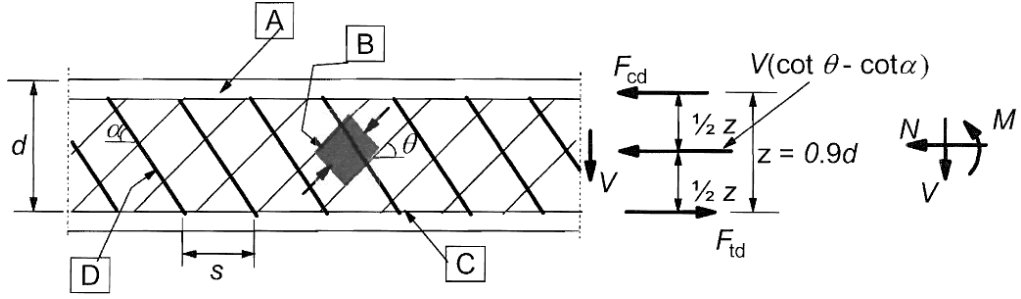
$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \text{ (d mm olarak girilir)}$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_wd} \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ed}}{A_c} < 0,2f_{cd}$$

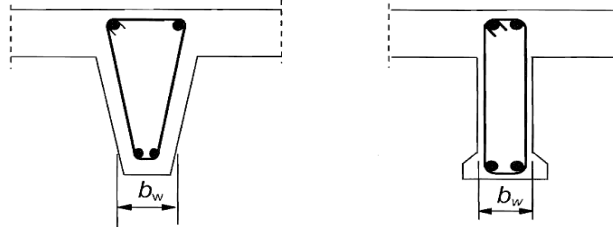
$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c, k_1 = 0,15, v_{min} = 0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}$$

- Kesme donatısı, gerektiğinde kafes modeli yaklaşımından faydalanılarak da hesaplanabilmektedir. Söz konusu kafes model **Şekil 2.17**'deki gibidir.



Şekil 2.17. Kafes modeli ve elemanları (Eurocode 2, 2004)

- Bu model üzerindeki elemanlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır; A; basınç çubuğu, B; bağlantı kirişleri, C; çekme çubuğu, D; kesme donatısı durumundadır. α , elemanın kesme kuvvetine dik eksenine kesme donatısının yaptığı açıdır. θ , elemanın kesme kuvvetine dik eksenine kafes basınç çubuğu arasındaki açıdır. Bu açı $1 \leq \cot\theta \leq 2,5$ sınırlarında değer almaktadır. F_{cd} , boyuna çekme donatısı için tasarım yüküdür. F_{td} , eleman kesitinde basınç bloğundaki tasarım yüküdür. z , moment etkisindeki eleman kesitinde etkili derinliktir. Kesme analizinde eğer aksel yük sıfır ise $z = 0,9d$ kullanılmalıdır. b_w , eleman kesitinde basınç ve çekme arasındaki en küçük genişliktir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Farklı geometri kesitlerde kullanılacak b_w değeri

- Kafes kiriş düzeninde basınç çubuklarında kırılma olmaması için tasarım kesme kuvveti $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ koşulunu sağlamalıdır. $V_{Rd,max} = a_{cw}b_wz v_1 f_{cd} (\cot\theta + \tan\theta)$ 'dir. $v_1 = v = 0,6[1 - f_{ck}/250]$ ile hesaplanır ve $a_{cw} = 1$ olarak alınır.
- Kesme donatılarının dikey yerleştirilmesi durumunda gerekli kesme donatısı alanı; $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot\theta}$ bağıntısıyla bulunur. A_{sw} ; kesme donatısı alanı, s ; kesme donatısı aralığı, f_{ywd} ; tasarım akma momentidir.

2.4.4. CSA A.233(2014) hükümleri

2.4.4.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri

- Taşıma gücüne erişildiğinde, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma $\varepsilon_{cu} = 0,0035$ alınır.
- Betonarme elemanların eğilme kapasitesi hesaplanırken betonun çekme dayanımı ihmal edilir.

2.4.4.2. Kesit özellikleri ve kabulleri

- Eğilme etkisinde düzlem kesitler, şekil değiştirmeden sonra düzlem kalır.
- Basınç bloğu gerilme dağılımı eşit dikdörtgensel olarak kullanılması uygundur. Basınç bloğundaki gerilme değeri $a_1\phi_c f'_c$ olarak hesaplanır. Basınç bloğu derinliği $a = \beta_1 c$ bağıntısıyla hesaplanır. c , tarafsız eksenden en dış beton basınç lifine olan uzaklığıdır. a_1 ve β_1 katsayıları sırasıyla $a_1 = 0,85 - 0,0015f'_c$ ve $\beta_1 = 0,97 - 0,0025f'_c$ bağıntılarıyla elde edilir ve 0,67'den küçük olmamaları gerekir.
- Boyuna donatı alanı $0,01A_g$ 'den küçük olmamalıdır. Bu oran bindirme bölgelerinde 0,08 diğer bölgelerde de 0,04'ü aşmamalıdır.
- Maksimum aksenal yük $P_{r,max}$ olarak ifade edilir. Maksimum aksenal yük spiral donatılı kolonlarda $0,9P_{r,o}$, etriyeli kolonlarda ise $(0,2 \pm 0,002h)P_{r,o} \leq 0,8P_{r,o}$ olarak belirlenir. h kolon kesit boyutlarından küçük olanıdır. $P_{r,o} = a_1\phi_c f'_c(A_g - A_{st}) + \phi_s f_y A_{st}$ bağıntısıyla $P_{r,o}$ hesaplanır. ϕ_c beton için 0,65, ϕ_s çelik için 0,85 alınır.

2.4.4.3. Eleman özellikleri ve kabulleri

- Beton tarafından sağlanan kesme kuvveti $V_c = \phi_c \gamma \beta \sqrt{f'_c} b_w d_v$ ile hesaplanır. γ , betonun yoğunluğuna bağlı bir katsayıdır. Normal yoğunlukta beton için 1,0, bütün ince agregaların doğal taş olduğu az yoğunlukta beton için 0,85 ve bütün ince agregaların doğal taş olmadığı az yoğunlukta betonda 0,75 olarak alınır. $\sqrt{f'_c}$ ifadesi 8 MPa'dan büyük olamaz. β , çatlama betonun kesme dayanımı hesabında kullanılan bir katsayıdır. Aksenal basınç durumunda basınç donatısı akma dayanımı 400 MPa'yı ve beton

basınç dayanımı 60 MPa 'yı geçmediğinde, basit metotla bu değer minimum kesme donatısı kullanılmışsa $0,18$ olarak alınır. Kesme donatısı kullanılmamış ve a_g (maksimum agrega boyutu) 20 mm veya 20 mm 'den büyük ise $\frac{230}{100+d_v}$, a_g 20 mm 'den küçük ise $\frac{230}{100+s_{ze}}$ bağıntılarıyla bulunur.

Eksenel çekme durumunda, boyuna donatının akma dayanımı 400 MPa 'dan fazla olduğu ve beton basınç dayanımının 60 MPa 'dan fazla olduğu durumlarda genel metot kullanılır. Bu metoda göre $\beta = \frac{0,40}{1+1500\varepsilon_x} \times \frac{1300}{1000+s_{ze}}$ bağıntısı kullanılır. d_v (etkili kesme derinliği) $0,9d$ ve $0,72h$ ile hesaplanarak aralarından büyük olana eşitlenir. Çatlak genişliği parametresi olan s_{ze} , minimum kesme donatısı kullanılmışsa 300 , diğer şekilde $\frac{35}{15+a_g} s_z \geq 0,85s_z$ ile bulunur. ε_x eleman kesitinin ortasındaki boyuna şekil değiştirmedir. Bu değer $\varepsilon_x = \frac{M_f/d_v+V_f+0,5N_f}{2(E_sA_s)}$ bağıntısıyla hesaplanır. M_f ve V_f değerleri pozitif alınır. A_s kolon kesitinde toplam boyuna donatı alanıdır.

Eğer ε_x yukarıda verilen bağıntıda negatif çıkarsa $\varepsilon_x = \frac{M_f/d_v+V_f+0,5N_f}{2(E_sA_s+E_cA_{ct})} \geq -0,0002$ olarak hesaplanabilir. Eğer normal gerilme kesitte eğilmede basınç kırılması meydana getiriyorsa ε_x değeri 2 katına çıkarılır. ε_x değeri $0,003$ 'ten büyük olamaz. Çekme durumunda ε_x ve N_f pozitiftir.

- Sünek davranan çerçeve sistemler oluşturmak için plastik mafsallarda $\beta \leq 0,1$ ve $\theta \geq 45^\circ$ koşullarının sağlanması beklenir. ℓ_0 (potansiyel plastik bölgenin uzunluğu) $P_f \leq 0,5\phi_c f'_c A_g$ durumunda $1,5b_{max}$ ve $L_n/6$ 'dan küçük olamazken $P_f > 0,5\phi_c f'_c A_g$ durumunda $2,0b_{max}$ ve $L_n/6$ ifadelerinden küçük olamaz.
- Elemanın kesme dayanımı $V_r = V_c + V_s$ 'dir. $V_{r,max} = 0,25\phi_c f'_c b_w d_v$ olarak hesaplanır.

Eğer $V_f \leq V_c$ ise $\frac{A_v}{s} = 0$ 'a eşit olur,

Eğer $V_c < V_f \leq V_{r,max}$ ise $\frac{A_v}{s} = \frac{(V_f-V_c) \tan \theta}{\phi_s f_y h d_v}$ olarak hesaplanır,

Eğer $V_f > V_{r,max}$ ise kırılma durumu kesindir.

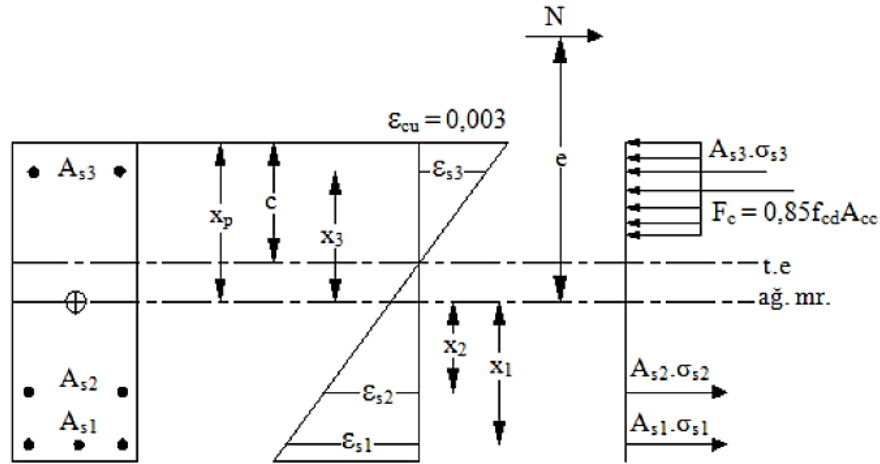
Minimum kesme donatısı gerektiğinde $\frac{A_v}{s} = 0,06 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w$ bağıntısı kullanılır.

θ , diagonal basınç çubuğunun kesme kuvvetine dik eksen ile yapmış olduğu açıdır. Eksenel basınç durumunda basınç donatısı akma dayanımı 400 MPa'yı ve beton basınç dayanımı 60 MPa'yı geçmediğinde, $\theta = 35^\circ$ alınır. Eksenel çekme halinde, boyuna donatın akma dayanımı 400 MPa'dan fazla olduğu ve beton basınç dayanımının 60 MPa'dan fazla olduğu durumlarda $\theta = 29 + 7000\varepsilon_x$ bağıntısı kullanılır.

2.5. Kolon tasarım ilkeleri

Bu bölümde TS-500 standardında belirtilen katsayılar ve koşullar dikkate alınarak kolon tasarım ilkelerinden bahsedilmiştir. Bu ilkeler aşağıda belirtildiği gibi ilerlemektedir.

Kolon tasarımında eleman kesitinde denge ve uygunluk denklemleri Şekil 2.19'daki gösterilen kuvvet ve şekil değiştirme diyagramlarıyla elde edilir.



Şekil 2.19. Kolon kesitinde oluşacak kuvvet ve şekil değiştirme diyagramları (TAŞ, 2013)

Kuvvet denge denklemleri aşağıda Denk. 2.10 ile Denk. 2.11'de verilmiştir.

$$N_r = 0,85f_{cd}A_{cc} + \sum A_{si}\sigma_{si} \quad (2.10)$$

$$M_r = N.e = 0,85f_{cd}A_{cc}(x_p - x_c) + \sum_{i=1}^n A_{si}\sigma_{si}x_i \quad (2.11)$$

Kesitteki şekil değiştirmelerden elde edilen uygunluk denklemleri aşağıdaki **Denk. 2.12** ve **Denk. 2.13**'deki gibidir.

$$-\varepsilon_{s1} = 0,003 \frac{x_1 - (c - x_p)}{c} \quad (2.12)$$

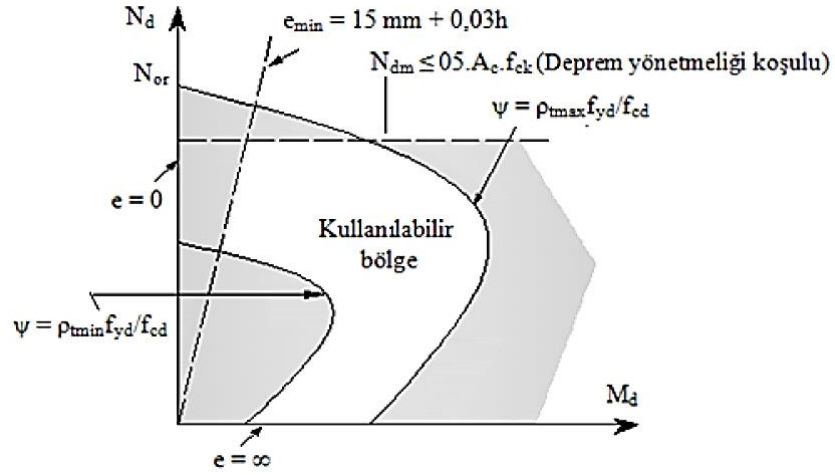
$$\sigma_{si} = 0,003E_s \left(1 + \frac{x_i - x_p}{c}\right) \leq f_{yd} \quad (2.13)$$

A_{cc} , basınç bloğu alanını; i , donatı sırası numarasını; σ_{si} , donatıdaki gerilmeyi; x_i , donatı ağırlık merkezinden kesit ağırlık merkezine olan mesafeyi; x_c , kuvvet uygulanan taraftaki kolon yüzünden basınç bloğu bileşkesinin uzaklığını; x_p ise ağırlık merkezi uzaklığını göstermektedir.

Denge denklemlerinde basınç kuvvetleri (+), çekme kuvvetleri ise (-) alınmalıdır. Uygunluk denkleminde elde edilen (-) değerler, birim kısalma olarak dikkate alınmalıdır. x_i değerleri ağırlık merkezinin üstünde olduğu zaman (+), altında olduğu zaman da (-) alınmalıdır. Kesit geometrisi, malzeme özellikleri ve donatı alanları bilindiğinde, yukarıdaki denklemler kullanılarak M için N_r veya verilen N için M_r kolayca hesaplanabilir (Ersoy ve Özcebe, 2017)

Kolonların tasarımı; yapısal çözümlerden elde edilen kesit etkileri ve yük birleşimleri dikkate alınarak belirlenen tasarım aksenal kuvveti (N_d) ve tasarım momentine (M_d) göre yapılmaktadır. Kolonlarda yük birleşimleri ve elverişsiz yüklemeler dikkate alındığında çok sayıda N_d ve M_d çiftiyle karşılaşılmaktadır. Bu durumda doğrudan en büyük momenti ya da en büyük aksenal kuvveti tasarımda kullanmak doğru olmaz. N_d ve M_d çiftlerinden bazıları elenebilse de çoğu için ayrı ayrı donatı belirlenmekte ve bunlardan en elverişsiz olan (büyük donatı alanı) kesite yerleştirilmelidir.

Tasarımcıya kolonların davranışları için karşılıklı etki diyagramı olarak adlandırılan **Şekil 2.20**'deki belirtilen kısımlardan oluşan moment-aksenal kuvvet etkileşim diyagramları yol gösterici olmaktadır.



Şekil 2.20. Karşılıklı etki diyagramı büyüklükleri ve kullanılabilir bölge sınırları (Doğangün, 2013)

Bu diyagramlar, donatı sınıfı, kesitin ara donatılı olup olmaması ve kesit boyutları oranına bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Karşılıklı etki diyagramları için her bir eğri, taşıma gücü bağıntılarından elde edildiğinden dayanım zarfı olarak da nitelendirilebilir. Dolayısıyla moment ve eksenel kuvvete göre belirlenen kesişim noktası, eğrinin içerisinde kalıyorsa taşıma gücü açısından bir sorun yok demektir (Doğangün, 2013) .

Yatay ve düşey eksenlerde boyutsuz olarak sırasıyla $\frac{M_d}{bh^2f_{cd}}$, $\frac{N_d}{bhf_{cd}}$ değerleri bulunmaktadır. Bu iki eksenin kesiştirilmesiyle mekanik donatı oranı bulunur. Bu oran Ψ simgesiyle ifade edilir. Mekanik donatı oranına bağlı olarak boyuna donatı oranı **Denk. 2.14** ile bulunur.

$$\rho_t = \Psi \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (2.14)$$

Kolonlarda kesme donatısı hesabı aşağıdaki hesap adımlarıyla ilerler:

V_d tasarım kesme kuvvetini ifade etmektedir. V_{cr} ise kesitin çatlama dayanımını ifade etmekte ve **Denk. 2.15** ile hesaplanır.

$$V_{cr} = 0,65f_{ctd}bd \left(1 + 0,07 \frac{N_d}{A_c} \right) \quad (2.15)$$

$V_d \leq V_{cr}$ koşulu sağlandığı durumda kesme donatısı hesabı gerekir ve yönetmelikte belirtilen minimum koşullar uygulanır. Bu denklemin sağlanmaması durumunda betonun kesme dayanımına katkısı, V_c **Denk. 2.16** ile hesaplanır ve etriyelerin karşılaması gereken kesme kuvveti **Denk 2.17** ile bulunur.

$$V_c = 0,8V_{cr} \quad (2.16)$$

$$V_w = V_d - V_c \quad (2.17)$$

Etriyelerin karşılaması gereken kesme kuvveti, V_w bulunduktan sonra etriye aralığı **Denk. 2.18** ile hesaplanır.

$$s = \frac{A_{sw}f_{ywd}d}{V_w} \quad (2.18)$$

Burada s etriye aralığını, A_{sw} etriye donatı alanını, f_{ywd} enine donatı tasarım akma dayanımını göstermektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde TS 500 standardındaki hükümler esas alınarak kare kesitli betonarme bir kolonun tasarım detayları verilmiştir. Kesme donatısı olarak kullanılacak çelik, geogrid ve CFRP malzemelerinin mekanik özelliklerinin nasıl belirlendiği ve bu malzemelerin kapalı etriye ve sarmal etriye olarak kullanım şekilleri anlatılmıştır. Sonrasında deneysel çalışma aşamasına hazırlık, kullanılan malzeme, alet ve düzenekler ile deney verilerinin değerlendirilmesi gibi hususlarda detaylı açıklamalar yapılmıştır.

3.1. Malzeme Özellikleri

Bu bölümde deney numunelerinde kullanılan beton, çelik donatı, geogrid ve CFRP malzemelerinin mekanik özelliklerinden bahsedilmiştir.

3.1.1. Beton

Deney numunelerinin beton dökümü aynı gün ve saat içerisinde yapılmıştır. Uygun hava sıcaklığı ve durumu denk getirilerek beton dökümü hazırlıkları yapılmıştır. Kullanılacak olan hazır beton santralinden bir transmikser tarafından döküm sahasına getirilmiştir. Beton sınıfı C30/35 MPa olacak şekilde sipariş verilmiştir. Beton basınç dayanımını tespit etmek amacıyla, kolon deneyleriyle aynı günde test edilmek üzere 9 adet 15x15x15 cm ebatlarında küp numuneler alınmıştır. Beton dökümü, kolonlar yatay konumlandırılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. **Şekil 3.1**'deki gibi hazırlanan donatı kafesleri kalıpların içerisine yerleştirilerek döküm için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. Beton dökümü için hazırlanan kalıplar

Kolon deneylerinin gerçekleştirileceği esnada alınan küp numunelerin basınç dayanımları Şekil 3.2'deki gibi ELE marka evrensel yükleme cihazında tespit edilmiştir. Elde edilen ortalama beton basınç dayanımı ve beton karışım oranları Tablo 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Beton dayanım tespiti

Tablo 3.1. Beton karışım oranları ve ortalama basınç dayanımı

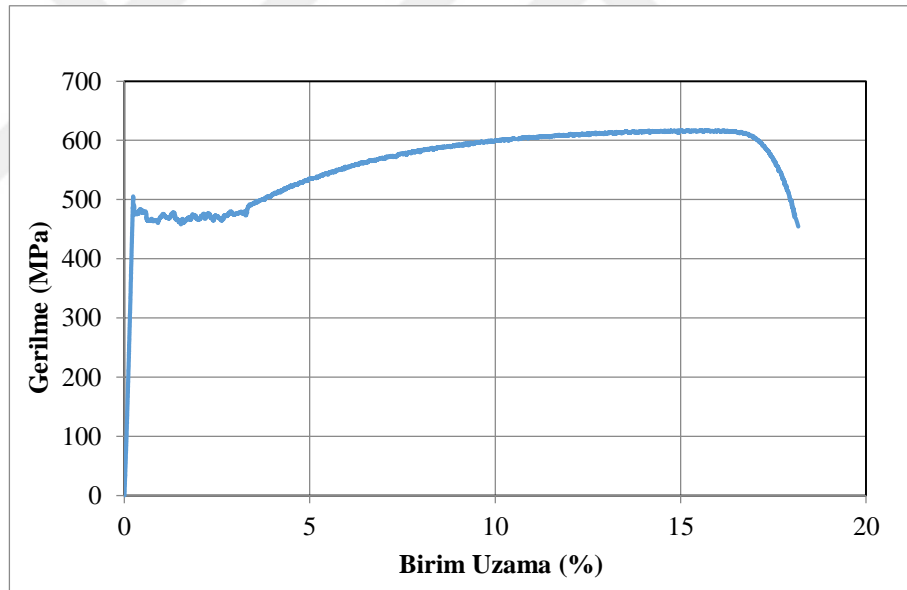
w/c(%)	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	İnce agrega (kg/m ³)	İri agrega (kg/m ³)			Ortalama beton basınç dayanımı (Mpa)
				10 (mm)	20 (mm)	40 (mm)	
0,58	314	182	690	-	980	-	35

3.1.2. Çelik Donatı

Betonarme deney numunelerinde kullanılan tüm donatılar için asgari S420 sınıfında olacak şekilde sipariş verilmiş, tek seferde ve bir üretimden alınmıştır. Donatı çeliğinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 8 ve 16 mm çapındaki nervürlü donatılardan üçer adet numune alınıp 50 cm boyunda kesilip çekme aletinin 10 cm çene boyları göz önünde bulundurularak çekme mesafesinin 30 cm olması sağlanmıştır (Şekil 3.3). Elde edilen deney sonuçlarına göre gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 3.4'teki gibidir. Akma ve kopma anındaki gerilme ve uzama değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çelik donatı mekanik özelliklerinin belirlenmesi



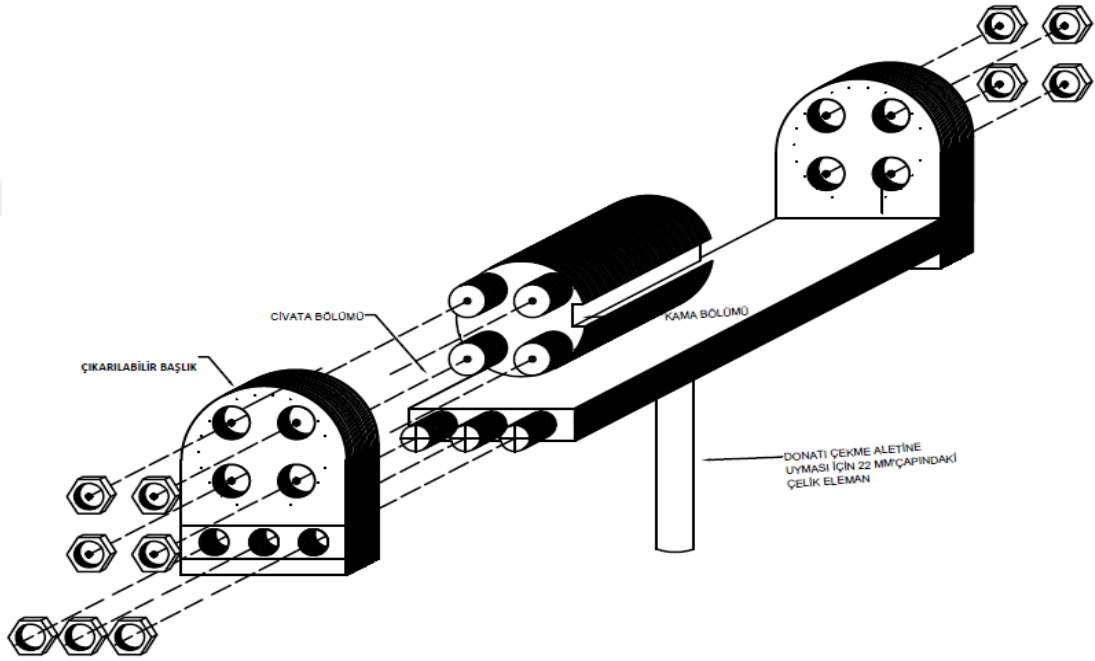
Şekil 3.4. Çelik donatı gerilme-birim uzama grafiği

Tablo 3.2. Çelik donatı mekanik özellikleri

Malzeme	Akma dayanımı (Mpa)	Kopma dayanımı (Mpa)	Akmadaki uzama (mm/mm)	Kopmadaki uzama (mm/mm)	Elastisite Modülü (MPa)
Çelik çubuk	505,38	617,34	0,00235	0,18	$2,15 \times 10^5$

3.1.3. CFRP ve Geogrid malzemeler için yapılan deneyler

Bu malzemelere dair laboratuvar ortamında belirlenen dayanım ve şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak kullanım miktarlarına karar verilmiştir. Bunun için donatı çekme aletinde kullanılabilcek bir ara aparat geliştirilmiştir. Bu aparat 2 adet silindir ve bu silindirlerin takıldığı levhalardan oluşmaktadır. Aparatın detayları **şekil 3.5**'de verilmiştir.



şekil 3.5. Geliştirilen bir geogrid ve CFRP çekme aparatı

Geogrid ve CFRP malzemelerin uç kısımlarının çekme deneyi esnasında hasar görmemesi için, silindirler üzerinde açılan kama yuvası içerisine yerleştirilir ve 2 tur silindire sardırılır. Silindirler kendilerine sarılı olan numunelerle beraber tutturulduğu levhalara sabitlenir. Levhaya kaynatılmış 22 mm çapındaki demir ile de donatı çekme aletine yerleştirilip deneyler gerçekleştirilir.

3.1.3.1. CFRP

FRP (Fiber Reinforced Polimer) – LP (Lifli Polimer) reğine içerisinde yerleşik olan ve yüksek mukavemetli sentetik lif içeren kompozit malzemelerdir. Günümüzde LP mekanizmasında en sık kullanılan lifler karbon (C), cam (G), aramid (A) ve bazalt (B) olarak sıralanır. Lifli polimerin mekanik özellikleri genel olarak: lifin hacmine, lifin yönüne, bileşenlerinin özelliklerine ve üretiminde kullanılan yöntemlere bağlıdır. Lifin

özelliğine bakıldığında **Tablo 3.3**'de liflere bağlı olarak LP mekanizmasının ulaşabileceği mekanik özellikler belirtilmiştir. Liflerin yönü dağılımı ve durumuna bağlı olarak ta **Tablo 3.4**'teki gibi bir sınıflandırma yapılmıştır.

Tablo 3.3. FRP donatı türlerine göre mekanik özellikler (CEB-FIB, 2012)

	CFRP	GFRP	AFRP
Çekme dayanımı (Mpa)	600-3000	400-1600	600-2500
Elastisite modülü (Gpa)	80-500	30-60	30-125
Maksimum birim uzama (%)	0,5-1,8	1,2-3,7	1,8-4,0

Tablo 3.4. Lifli polimer türleri (Irwin ve Rahman, 2002)

Kompozit şekli	Lif yönü	Lif düzeni	Uygulanma amacı
Karbon lifli kumaş	Tek yönlü	Düzensiz	Eğilme ve kesme kapasitelerini artırma; sargılama
Aramid lifli kumaş	Tek yönlü	Düzensiz	Özel uygulamalarda
Cam lifli kumaş	Çift yönlü	Örülmüş	Sargılama ve sünekliği artırma
Karbon lifli levha	Tek yönlü	Düzensiz (kısmen ön gerilmeli)	Eğilme kapasitesini artırma

Bu çalışma dahilinde karbon lif katkılı LP türü CFRP seçilmiştir. Tek yönlü CFRP kumaş seçilirken yüksek elastisite modülü, düşük yoğunluk, kolay uygulanabilirlik, betonarme elemanlarda uygulandığında elemanın eğilme ve kesme kapasitesiyle beraber sargı etkisini de artırması gibi avantajları göz önünde bulundurulmuştur.

Fabrikadan hazır olarak temin edilen CFRP kumaşı, 5 ve 10 cm genişliğinde 3'er adet numune olarak kesilmiştir (**Şekil 3.6**). 5 cm'lik numuneler, **Şekil 3.7**'deki gibi ASTM D3039/D3039M-08 polimer matrisli kompozit malzemeler için hazırlanan standarda uygun şekilde hazırlanıp mekanik özellikleri belirlenmiştir.

10 cm'lik numuneler ASTM D4595-11 geotekstil malzemeler için hazırlanan standarda uygun şekilde hazırlanıp mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yine geliştirilen çekme aparatı ile çekme deneyinin yapılması sağlanmıştır.

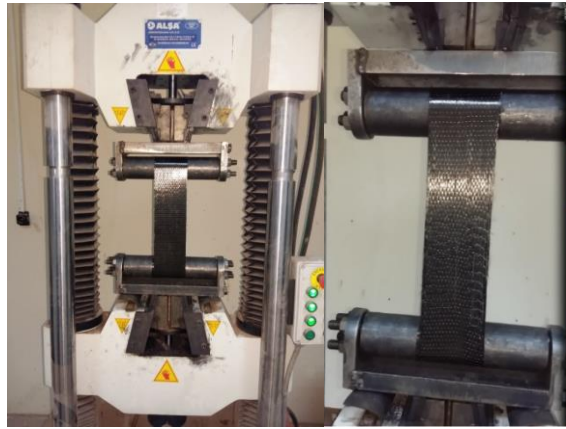
Deney hızı 6 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Test başlamadan önce test sırasında ve testten sonra aparatlar arasındaki mesafe elle ölçülüp not edilmiştir. Bilgisayar ortamında elde edilen verilerin doğruluğu alınan bu notlarla sağlanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.6. Test için hazırlanan CFRP numuneler

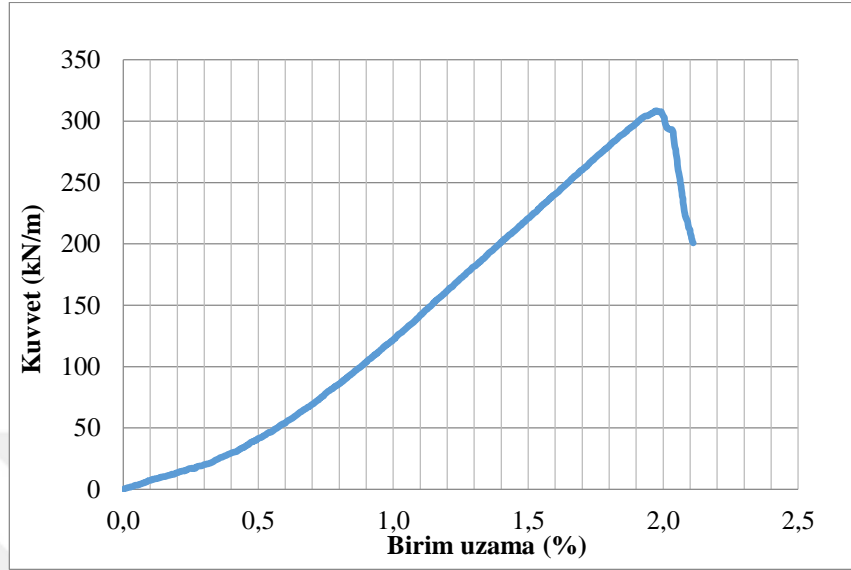


Şekil 3.7. ASTM D3039/D3039M-08'e göre gerçekleştirilen CFRP çekme deneyi ve kopma anı



Şekil 3.8 ASTM 4595-11'e göre gerçekleştirilen CFRP çekme deneyi ve kopma anı

Elde edilen sonuçlara göre CFRP'nin kuvvet-yüzde uzama grafiği **Şekil 3.9**'deki gibidir. CFRP'nin mekanik özellikleri **Tablo 3.5**'de belirtilmiştir.



Şekil 3.9. CFRP kuvvet-birim uzama grafiği

Tablo 3.5. CFRP mekanik özellikleri

Malzeme	Kopma dayanımı (kN/m)	Kopmadaki uzama (mm/mm)
CFRP	308,435	0,0197

3.1.3.2. Geogrid

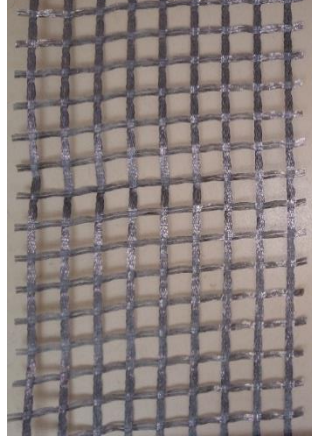
Geogrid geosentetik çatısı altında yer alan en önemli ürünlerden biridir. Geosentetiklerin esas işlevleri olarak; ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, sızdırmazlık, koruma, erozyon gibi faktörler sayılabilmektedir. Güçlendirme amaçlı olarak kullanılan geogridler, yüksek çekme modülünden dolayı zeminin çekme mukavemetini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Geogridler üretim metoduna göre; örgü yöntemiyle genelde polyester elyaf kullanılarak imal edilen, Örgülü Geogridler; polipropilen, polietilen gibi polimerinin ısı ortamında gerilerek ekstrude olarak imal edilen, Ekstrude Geogridler; ekstrude olarak imal edilmiş polyester veya polipropilen çubukların ek yerlerinden ısı işlem ile birleştirilmesiyle imal edilen, Şerit Geogridler; olarak üç farklı çeşitte bulunurlar. Yine geogridler tek yönlü ve çift yönlü olarak ta üretilmektedirler. Tek yönlü geogridler, bir yöndeki çekme gerilmesi aksi yöndeki

çekme gerilmesine göre önemli derecede yüksek olan örgülü tip geogridlerdir. Çift yönlü geogridler ise mukavemetin her iki yönde gerekli olduğu stabilizasyon amaçlı kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiş, yüksek mukavemetli geogridlerdir. Geogridlerde bu yönler makine yönü (MD) ve makineye dik yön (CMD) olarak adlandırılır.

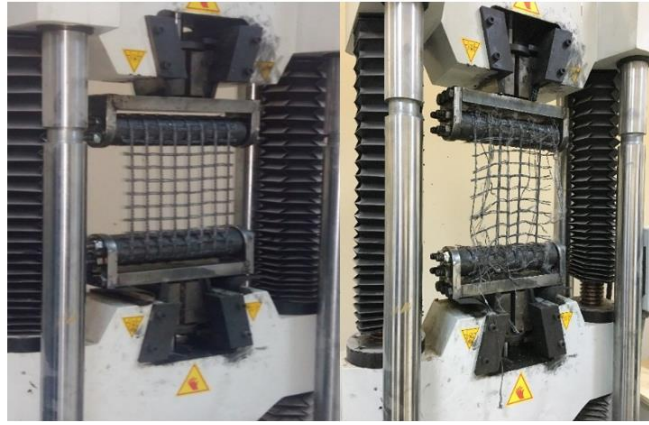
Bu çalışmada kullanılmak üzere tek yönlü polyester örgülü geogrid fabrikadan hazır olarak temin edilmiştir. Geogridin mekanik özellikleri ASTM D6637/D6637M-15 ve ASTM D4595-11 standartlarına uygun bir şekilde belirlenmiştir. Bu yönetmeliklerde belirtilen iki yöntem de denenmiştir. ASTM D4595-11 standardına göre 200 mm genişliğinde 3 adet geogrid numune kesilmiştir (**Şekil 3.10**). Kesilen bu numuneler geliştirilen aparata sabitlenerek **Şekil 3.11**'deki gibi çekme işlemi yapılmıştır. Her iki standarda göre gerçekleştirilen deneylerde, geogrid malzemesinin sadece makine yönündeki (MY) mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Geogrid, deney esnasında tüm kesitte eşit gerilme alabilmesi için düzeneğe olabildiğince hassas bir şekilde yerleştirilmiştir. Nizami bir deney olabilmesi için deney hızı 6 mm/dk ayarlanmıştır. Test başlamadan önce test sırasında ve testten sonra aparatlar arası mesafe elle kontrol edilip bilgisayar ortamından alınan verilerin doğruluğu onaylanmıştır.

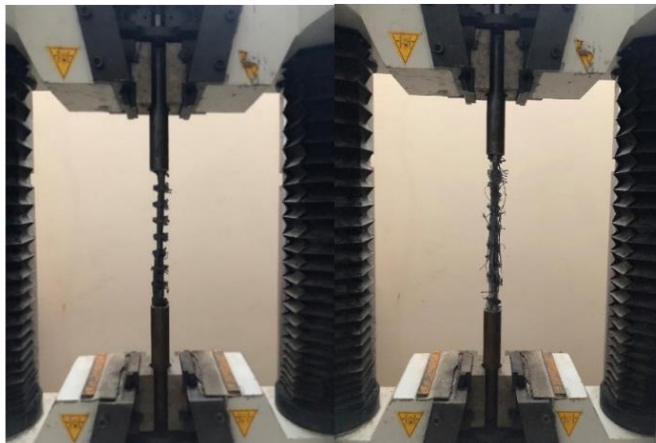
ASTM D6637/D6637M-15 standardı dikkate alınarak ise 7 diş geogrid parçası katlanmış ve uçları çelik borulara yerleştirilerek epoksi ile sabitlenmiştir. Borular, donatı çekme aletine yerleştirilerek çekme işlemi gerçekleştirilmiştir (**Şekil 3.12**). Deneylerden elde edilen sonuçlar birbirlerine yakın bulunmuştur fakat ASTM D4595-11 yöntemi ile edilen verilerin hatalı olabileceği değerlendirildiğinden ASTM D6637/D6637M-15 standardının belirtmiş olduğu yöntemden elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu standarda göre elde edilen sonuçlarla çizilen kuvvet-birim uzama grafiği **Şekil 3.13**'teki gibi oluşturulmuş ve numunelerin kopma yükleri kN/m cinsinden **Tablo 3.6**'te belirtilmiştir.



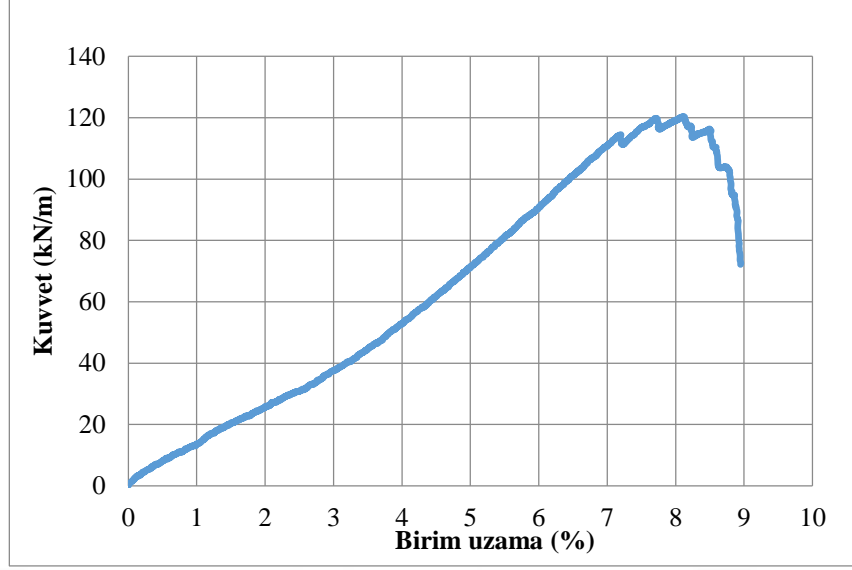
Şekil 3.10. Kesilen geogrid numunesi



Şekil 3.11. ASTM D4595-11'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı



Şekil 3.12. ASTM D6637/D6637M-15'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı



Şekil 3.13. Geogrid kuvvet-birim uzama grafiği

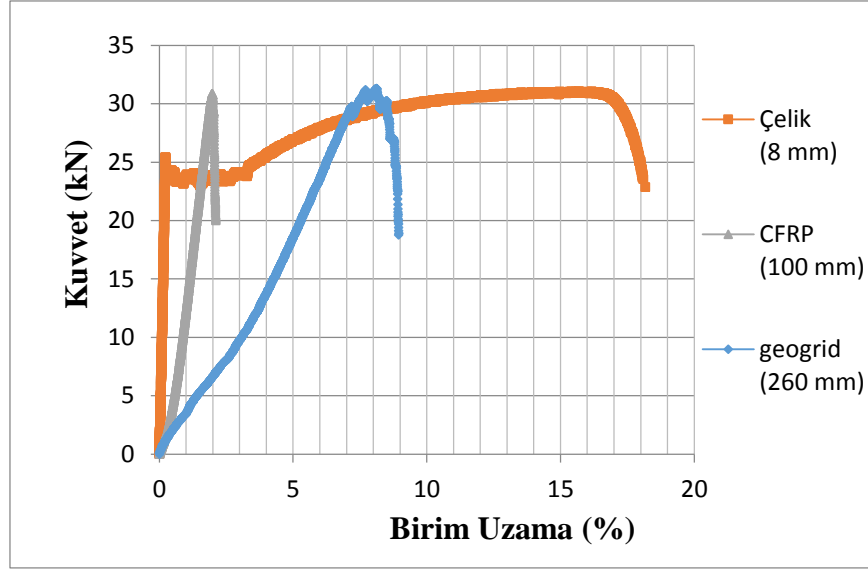
Tablo 3.6. Geogrid mekanik özellikleri

Malzeme	Kopma dayanımı (kN/m)	Kopmadaki uzama (mm/mm)
Geogrid	120,304	0,0812

3.2. Deney Numunelerinin Tasarımı

Yapılan malzeme deneylerine göre çelik donatı, geogrid ve CFRP'nin mekanik özellikleri belirlenmiş ve deney numunelerinin tasarımında bu özellikler dikkate alınmıştır. Her üç malzemenin de kullanılacağı boyutların kuvvet- birim uzama eğrileri **Şekil 3.14**'teki grafikte, mekanik özellikleri de **Tablo 3.7**'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

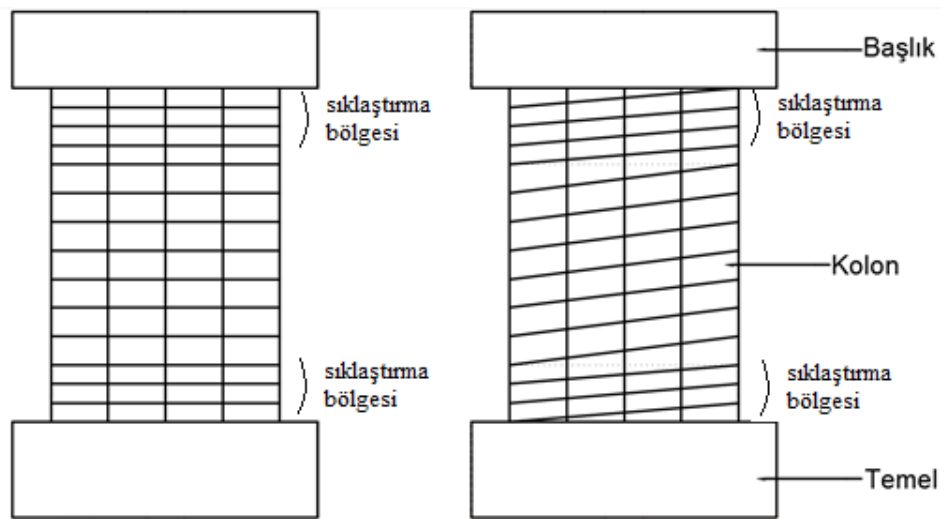
Deney numuneleri 6 adet olarak belirlenmiştir. Bunlardan birincisi TS 500'e göre geleneksel kancalı kapalı çelik etriye formuna göre tasarlanmış ve detaylandırılmıştır. İkinci numune yine çelik malzemedan etriye aralığı TS-500'e göre tasarlanan kolon ile aynı olacak şekilde sarmal etriye şeklinde düşünülmüştür. Geriye kalan 4 adet numunenin 2 adedi geogrid malzemesi, 2 adedi ise CFRP kullanılarak ilk iki numuneye benzer şekilde hazırlanmıştır. Deney numunelerinin sarmal sarım şekli belirlenirken kolon yüzeyleri çizim programı yardımıyla dört yüzü bir düzlemde açılarak düzlemler arası sarmal geçişleri ve açılanmaları **Şekil 3.15**'teki gibi basitleştirilmiştir.



Şekil 3.14. Çelik, geogrid ve CFRP için kuvvet-birim uzama grafiği

Tablo 3.7. Çelik, geogrid ve CFRP mekanik özellikleri

Malzeme	Akma dayanımı	Kopma dayanımı	Akma uzaması %	Kopma uzaması %
Çelik	505,38 MPa	617,34 MPa	0,235	18,17
Geogrid	-	120,304 kN/m	-	8,12
CFRP	-	308,435 kN/m	-	1,97



Şekil 3.15. Geleneksel ve sarmal etriye detayı

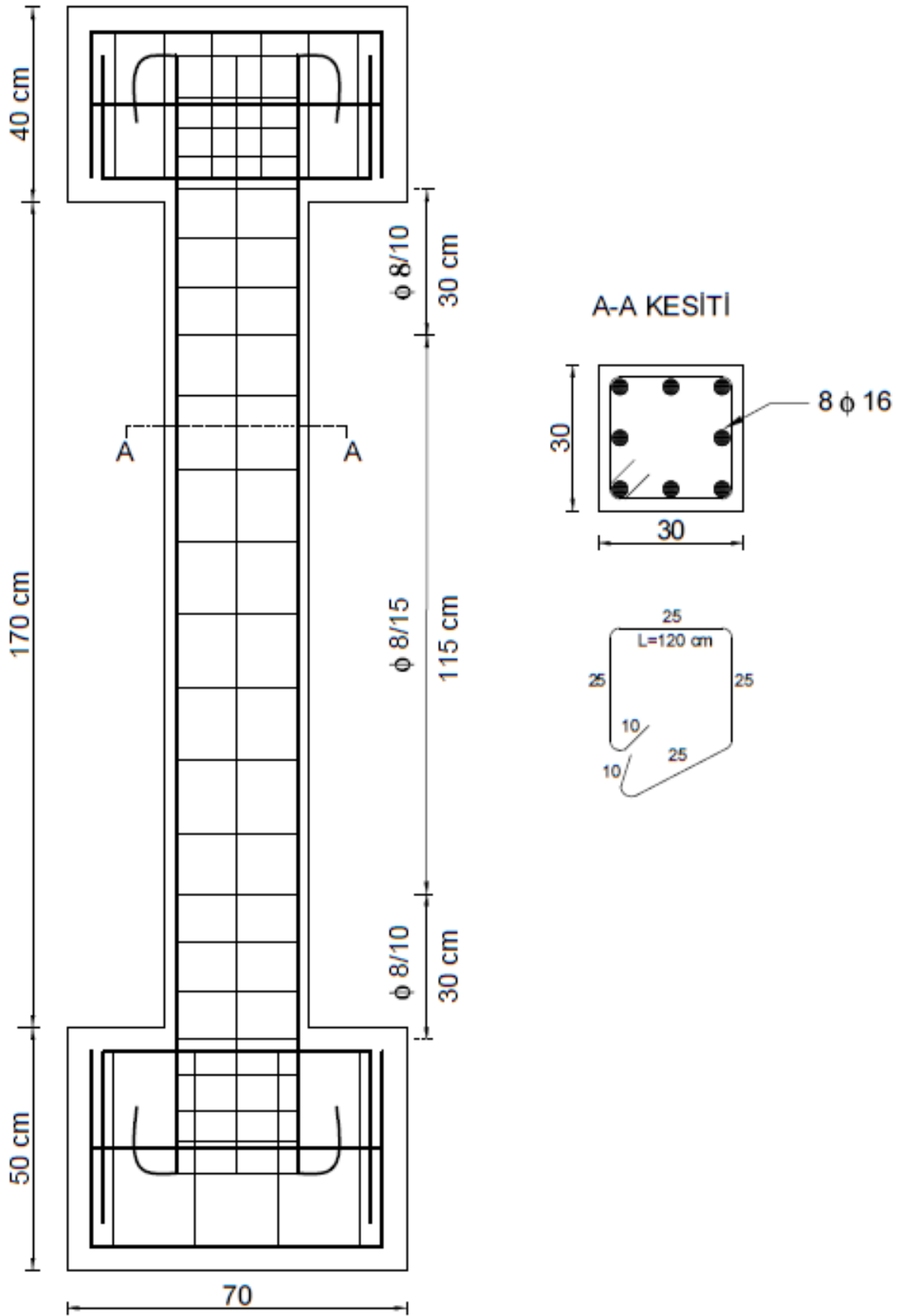
Kesitin kare seçilmesi geleneksel yöntemle göre tasarlanan kolonun sıklaştırma ve orta bölgelerinde etriye aralıklarının sarmal sarımda da aynı açıklık ve her yüzeyde eşit bir açılanma yapmasını sağlamıştır.

TS 500 standardına göre tasarlanan kolon 300x300 mm en kesitlidir. 8 adet $\phi 16$ boyuna donatı ve 21 adet $\phi 8$ enine donatıdan oluşmaktadır. Enine donatılar için sıklaştırma bölgelerinde 100 mm, kolon orta bölgesinde ise 150 mm mesafe belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kolon elemana, 30x40x70 boyutunda başlık, 50x70x70 boyutlarında ise temel kısımlar eklenmiştir. Temel sayesinde kolon, rijit döşemeye sabitlenerek oluşabilecek dönme ve ötelenmeler engellenmiş ve ankastre bir mesnet durumu oluşturulmuştur. Başlık kısmı, yanal yüklemenin ve eksenel yükün kolon elemana aktırılacağı kısımdır. **Şekil 3.16**'da geleneksel kapalı etriye tasarımının da sunulduğu betonarme kolonun kesit ve donatı detayları görülmektedir.

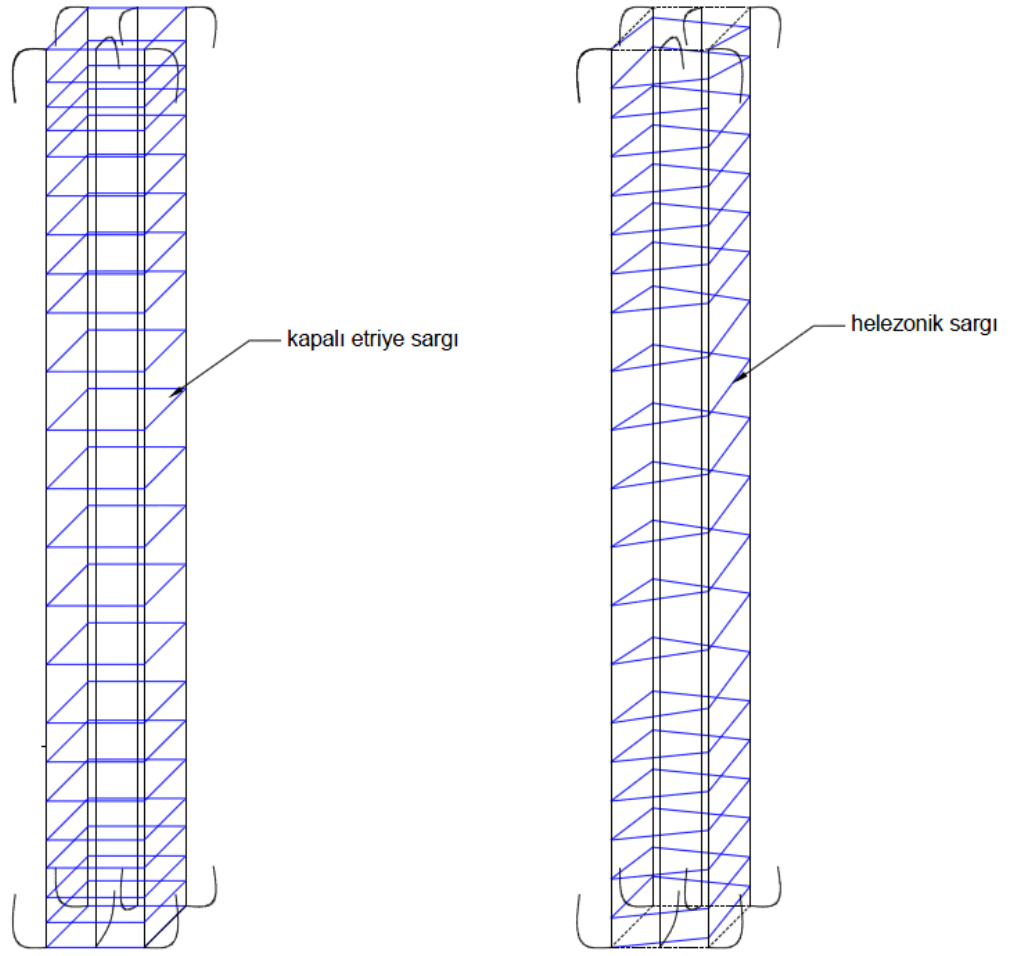
Bu detaydaki kolonun elemanın moment taşıma kapasitesi, TS 500'e göre Ersoy ve Özcebe (2017) tarafından önerilen excel tablosuyla hesaplanmış ve ortalama 132 kN.m elde edilmiştir. Elemanın kesme kuvveti taşıma kapasitesi ise aşağıdaki işlem adımlarıyla hesaplanmıştır:

- $V_r = V_c + V_w$,
- $V_c = 0,8V_{cr}$,
- $V_{cr} = 0,65 \times f_{ctd} \times 300 \times (300 - 25) \times (1 + 0,07 \frac{270}{300 \times 300})$,
- $f_{ctd} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} \Rightarrow f_{ctd} = 1,92 \text{ Mpa}$,
- $V_{cr} = 102,981 \text{ kN} \Rightarrow V_c = 82,38 \text{ kN}$,
- $V_w = \frac{A_{sw}}{s} \times f_{yw} = \frac{2 \times \pi \times 8^2 / 4}{100} \times 504 \times (300 - 25 - 8) \Rightarrow V_w = 135,28 \text{ kN}$,
- $V_r = 82,38 + 135,28 = 217,66 \text{ kN}$ (eleman kesme dayanımı).

Elde edilen teorik moment ve kesme kuvveti taşıma kapasitelerine göre eleman eğilerek taşıma gücünü yitirmesi beklenmektedir. Buda elemanda boyuna donatıların akmasıyla gerçekleşir.



Şekil 3.16. TS 500'e göre tasarlanmış kolon boyutları ve donatı detayı



Şekil 3.18. Sarmal ve kapalı etriye sargısının karşılıklı görünümü



Şekil 3.19. Çelik donatının sarmal şekilde uygulanması

3.2.1.2. CFRP

CFRP malzeme 10 cm genişliğinde ve 120 cm boyunda parçalar halinde kesilip ikiye katlanmıştır. Genişliği 5 cm olan CFRP sargıları, kolon boyuna donatılarına geleneksel kapalı çelik etriye hesabına da uyularak; sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm, orta bölgede 15 cm aralıkla **Şekil 3.20**'deki gibi uygulanmıştır.



Şekil 3.20. CFRP'nin geleneksel kapalı etriye olarak kullanılması

CFRP sarmal şekilde uygulanırken yine 10 cm genişliğinde alınıp ikiye katlanarak kullanılmıştır. Temel içindeki boyuna donatılardan başlanarak başlık içine kadar sarım yapılmıştır. Bu uygulama **Şekil 3.21**'deki gibi görülmektedir.



Şekil 3.21. CFRP'nin sarmal şekilde uygulanması

3.2.1.3. Geogrid

Geogrid sargılar diş sırası iki olacak şekilde üst üste katlanıp 120 cm boyunda kesilerek geleneksel kapalı etriyeli, hiç kesilmeden sarılarak sarmal etriyeli numuneler oluşturulmuştur. Kapalı etriye mantığıyla kullanılan geogrid sargılarda, malzemenin başı ve sonu birbirine geçirilip birbirlerine plastik kelepçelerle sabitlenmiştir. Sarım yapılırken her bir boyuna donatıyla keşiştiği noktalarda da plastik kelepçe ile birbirlerine tutturulmuştur (Şekil 3.23).



Şekil 3.22. Geogrid malzemenin geleneksel kapalı etriye olarak kullanımını için hazırlanması



Şekil 3.23. Geogrid malzemenin kapalı etriye şeklinde sarım yapılması

Sarmal etriye uygulanırken katlanmış geogrid bir bütün halinde boyuna donatılara sarılmıştır. Yine geogrid, her bir boyuna donatıyla kesiştiği yerlere plastik kelepçelerle sabitlenmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 Sarmal etriye uygulaması

3.3. Deney Düzenegi

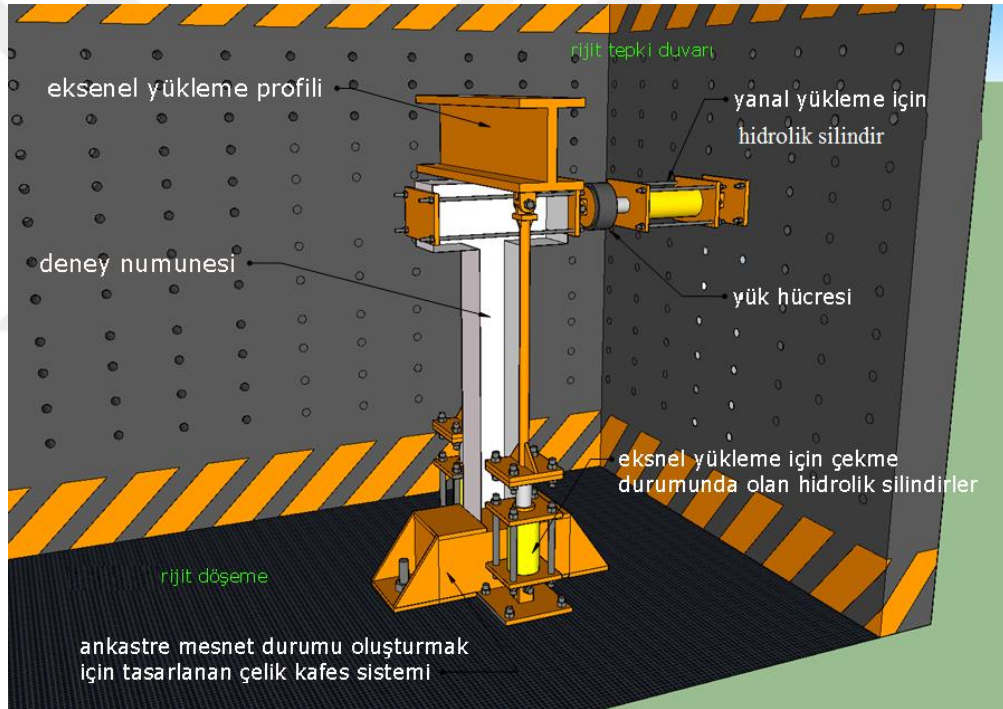
Deneyler, Erzincan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 13 Mart Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yükleme sistemi için kullanılan aletler **Tablo 3.8**'de listelenmiştir.

Tablo 3.8 Yükleme sisteminde kullanılan alet listesi

Adı	Kullanım Amacı	Marka	Kapasite/ özellik
Hidrolik silindir	Yanal yükleme	ENERPAC	60 ton/ itme ve çekme
Hidrolik silindir	Eksenel yükleme	ENERPAC	100 ton/ itme ve çekme
Yük hücresi	Yük ölçümü	CAS	60 ton/ itme ve çekme

Yanal ve eksenel yükleme, laboratuvarda kurulan L geometrili tepki duvarı ve rijit döşeme sayesinde gerçekleştirilmiştir. Eksenel yükleme, kolon taşıma kapasitesinin

%10'u kadar uygulanmış; bu da yaklaşık 270 kN'a tekabül etmiştir. Bu yükleme 2 adet 100 ton itme-45 ton çekme kapasiteli hidrolik silindirin mafsallı çelik borular aracılığı ile kolon tepesindeki çelik profili aşağıya doğru çekmesiyle sağlanmıştır. Yanal yükleme ise temel üst yüzeyinden itibaren kolonun yaklaşık 190 cm yüksekliğinde uygulanmıştır. Bu yükleme, 60 ton itme-30 ton çekme kapasiteli hidrolik silindirin yük hücresi ve kurulan mafsallı sistemin kolon başlığına bağlanması ile sağlanmıştır. Bu bağlantı sayesinde kolonda hem itme hem de çekme etkisi oluşturularak tersinir yükleme durumu elde edilmiştir. Deney düzeneği, Şekil 3.25'te deney elemanları ayrı ayrı belirtilerek gösterilmiştir.

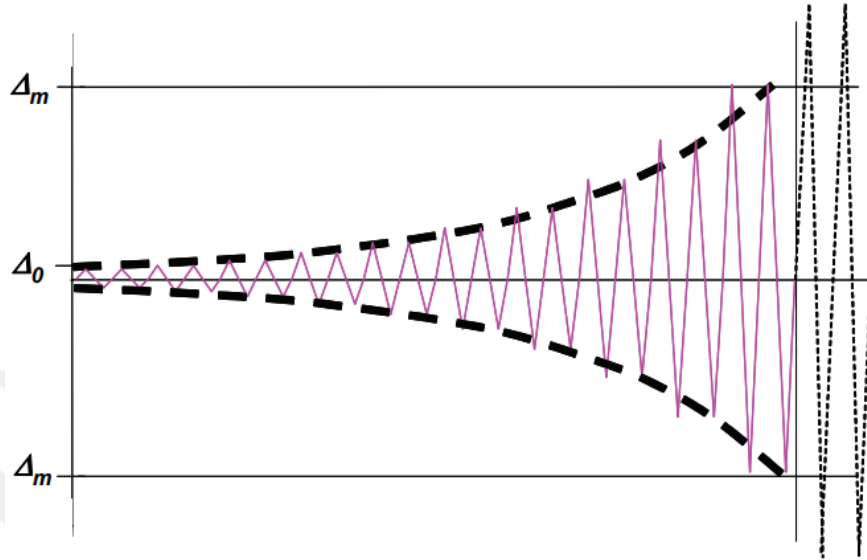


Şekil 3.25. Eksenel ve yanal yükleme için deney düzeneği

3.3.1. Yükleme programı

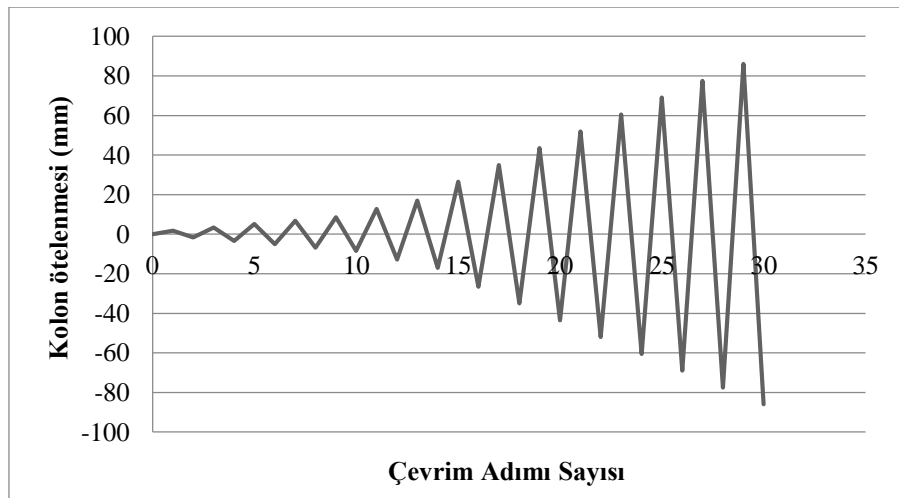
Tersinir yanal yükleme için, yer değiştirme kontrollü olarak artırımlı itme ve çekme etkisi uygulanmıştır. Uygulanacak itme ve çekme çevrimleri FEMA 461' de belirtilen yük çevrimi önerisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu durumda elamanın en düşük hasara uğrayabileceği ve yük kaybına uğramadan maksimum ulaşabileceği yer değiştirmeler göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 3.26'da FEMA 461 yük çevrimi

grafiği görülmektedir. Δ_0 , elamanın en düşük hasar durumundan önceki ve bu hasar düzeyine en yakın yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Δ_m , elemanın en fazla hasar düzeyine ilk ulaştığı yer değiştirme miktarını ifade etmektedir.



Şekil 3.26. FEMA 461 yük çevrimi taslağı

FEMA 461’de belirtilen prosedür dikkate alınmış ve bir miktar değiştirilerek **Şekil 3.27**’deki yer değiştirme kontrollü yükleme çevrimi belirlenmiştir. Toplam çevrim sayısı 15, adım sayısı ise 30 olarak belirlenmiştir. İtme ve çekme adımlarında uygulanacak yer değiştirmeler mm cinsinden; $(\pm 1,7)$, $(\pm 3,4)$, $(\pm 5,1)$, $(\pm 6,8)$, $(\pm 8,5)$, $(\pm 12,75)$, (± 17) , $(\pm 26,5)$, (± 35) , $(\pm 43,5)$, (± 52) , $(\pm 60,5)$, (± 69) , $(\pm 77,5)$, (± 86) değerlerinde sıralanmaktadır.



Şekil 3.27. Yer değiştirme kontrollü yük çevrimi grafiği

3.3.2. Ölçüm ve veri toplama sistemi

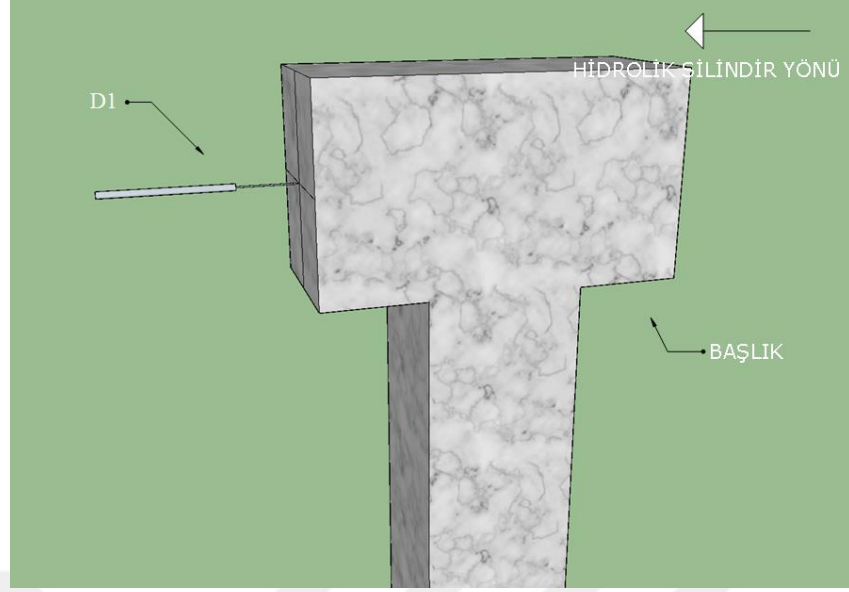
Ölçüm düzeneği hazırlanırken kolon tepesindeki yer değiştirme, kolonun plastik mafsallık bölgesinde oluşacak moment-eğrilik ve yine bu bölge içerisinde kesitler arasındaki kayma açısı ölçümü hedeflenmiştir. Bu ölçümler eş zamanlı olarak 2 adet veri aktarma cihazı aracılığı ile bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Yer Değiştirme Ölçerlerden (D) biri kolon tepe yer değiştirmesi ölçümü için, iki tanesi eğrilik ölçümü için, iki tanesi ise kayma açısı ölçümü için kolonun belirlenen bölgelerine sabitlenmiştir. Yük ölçümlerinde tersinir yanal yük değerinin belirlenebilmesi için hidrolik silindirin mil başına yük hücresi montajı yapılmıştır. Eksenel yük düzeyinin ayarlanması için de hidrolik pompalara bağlı manometrelerden basınç seviyesi okunmuştur. Kolonun boyuna ve enine donatılarındaki birim şekil değiştirmeleri ölçmek için gerinim pulları (GP) beton dökümünden önce belirlenen bölgelere yapıştırılmış ve bunlardan da eş zamanlı donatılardaki gerinim değerlerinin alınması hedeflenmiştir. Kullanılacak ölçüm ve veri aktarma cihazlarının özellikleri **Tablo 3.9**'da listelenmiştir.

Tablo 3.9. Ölçüm ve veri toplama cihazları listesi

Adı	Kullanım Amacı	Marka	Kapasite/ özellik
Yer Değiştirme Ölçer (D1)	Yanal ötelenme ölçümü	OPKON	200 mm
Yer Değiştirme Ölçer (D2, D3)	Eğrilik hesabı	OPKON	100 mm
Yer Değiştirme Ölçer (D4, D5)	Kayma açısı hesabı	OPKON	100 mm
Veri aktarma cihazı	Sinyallerin dijital veriye dönüştürülüp bilgisayar ortamına atılması	Test Box	16 kanal girişi

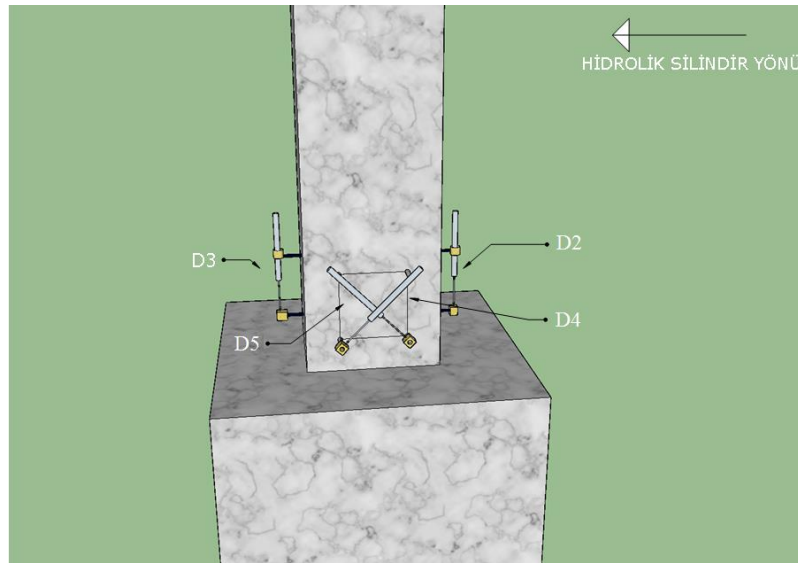
3.3.2.1. Yer değiştirme ölçerler

Yer değiştirme ölçerler eğrilik, kayma açısı ve kolon tepe yer değiştirmesinin ölçülmesinde kullanılmıştır. Tepe yer değiştirmesi için D1 ölçeri kolonun tepesindeki başlık yüzeyinin ortasında kullanılmıştır (**Şekil 3.28**).



Şekil 3.28. Kolon tepe yer değiştirme ölçüm düzeni

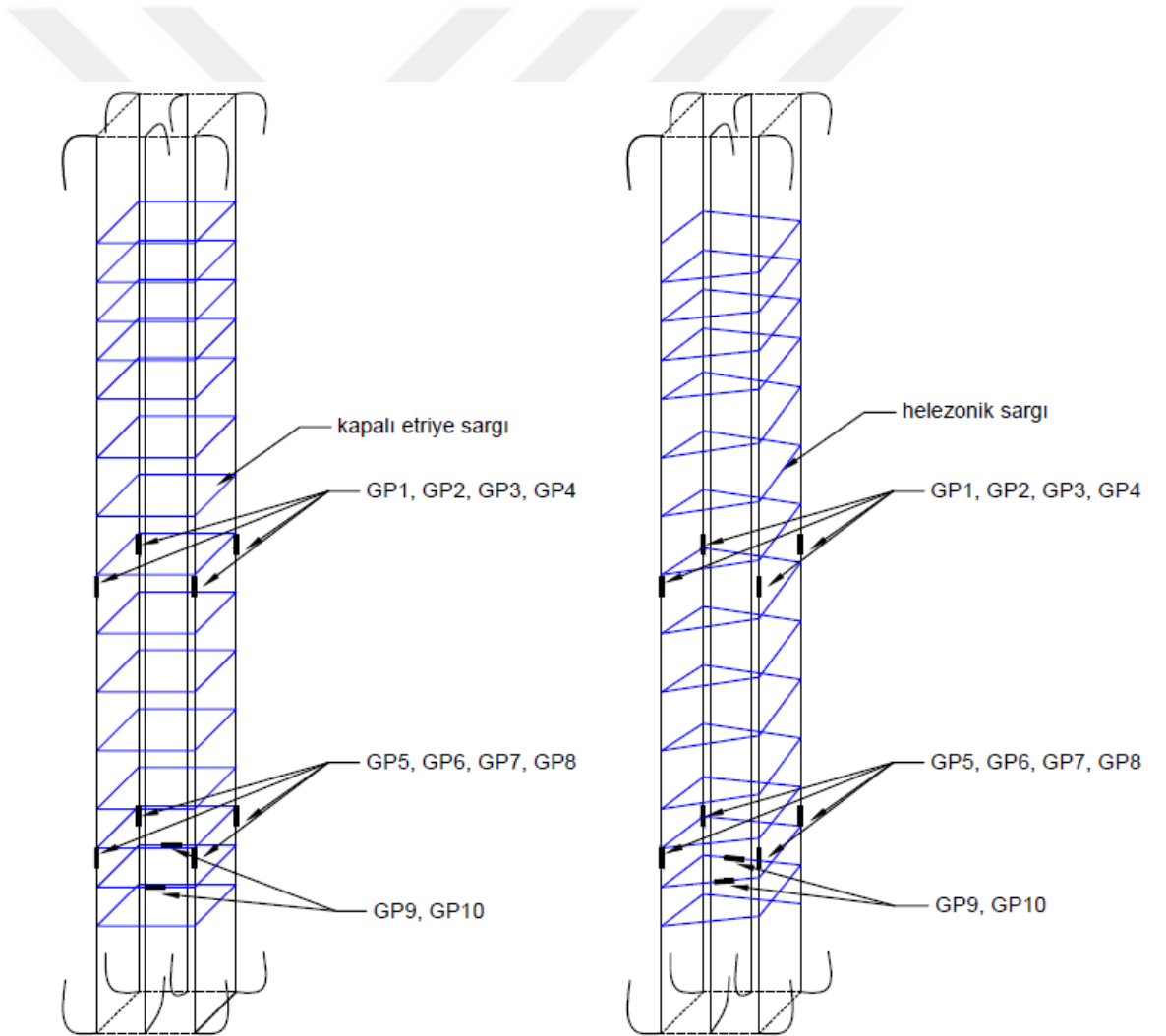
Eğrilik için kolonun yükün uygulandığı yüzey ve karşı yüzeyine D2 ve D3 ölçerleri yerleştirilmiştir. Eğrilik için yer değiştirme ölçerler temel üst yüzeyinden 7,5 ve 22,5 cm aralığındaki bölgede kısılmayı ve uzamayı ölçmek için ayarlanmıştır. D2 ve D3 arasındaki yatay mesafe 40 cm olarak belirlenmiştir. Kayma açısı hesabı için D4 ve D5 ölçerleri kullanılmıştır. Bu yer değiştirme ölçerler, kolonun yan yüzeyindeki 15x15 cm'lik bir kare alanın çapraz köşelerinin birbirlerine yaklaşıp uzaklaşmasını ölçmüştür. D2, D3, D4 ve D5 ölçerlerinin konumları Şekil 3.29'da görülmektedir.



Şekil 3.29. Kolon eğrilik ve kayma açısı için yer değiştirme ölçerler

3.3.2.2. Gerinim pulları

Gerinim pulları (GP), kullanılan donatılardaki kritik bölgelerin birim şekil değiştirmelerini tespit amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada TML marka gerinim pulları, boyuna donatıların plastik mafsalsal bölgesi ve kolon ortasına konumlandırılırken, ayrıca kolon temel yüzeyinden itibaren ikinci etriyede kullanılmıştır. 10 mm uzunluğundaki gerinim pulları, bu bölgelerde donatıların yüzeylerindeki nervürlerin düzleştirilmesi, düzleşen yüzeydeki toz ve kirlerin alınması sonrası yapıştırılmıştır. Gerinim pullarının yapıştırıldığı donatılar ve kullanıldıkları yerler Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Gerinim pullarının kullanıldığı boyuna donatı yerleri

3.4. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

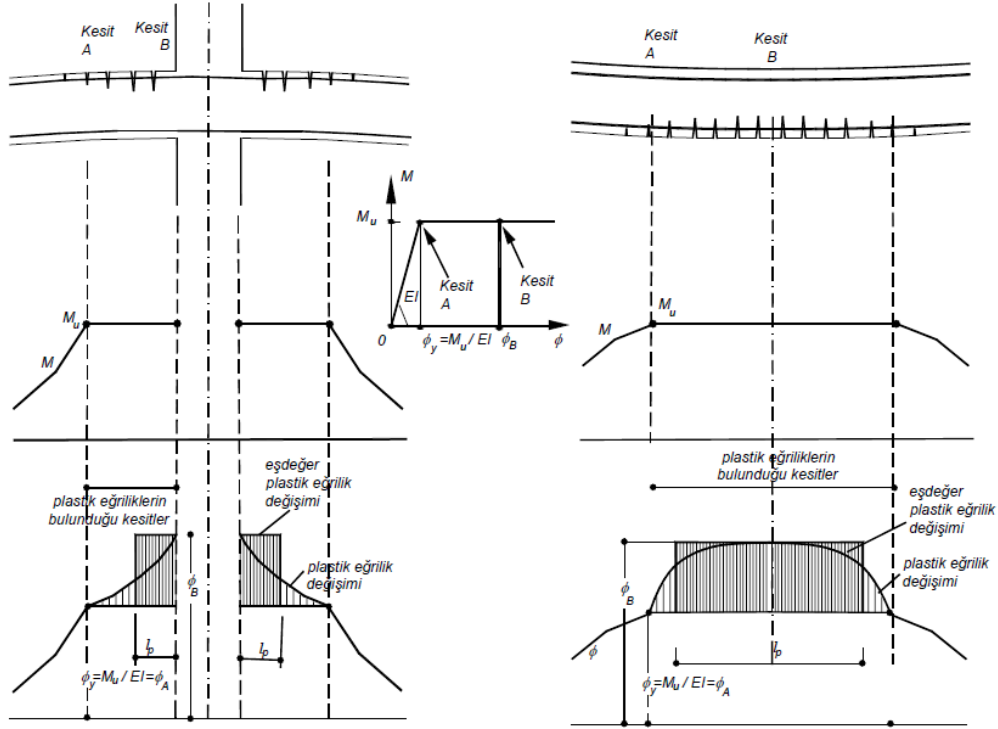
Yapılan ölçümler ile elde edilen eş zamanlı verilere göre değerlendirmeler aşağıda sıralanan yöntemler ile yapılmıştır:

- Kolonlardaki tepe noktası yer değiştirmesi ile uygulanan yük çevrim grafikleri ve bu grafiklerden elde edilen zarf eğrileri,
- Kolonlarda plastik mafsalsal bölgesi için belirlenen moment-eğrilik ilişkileri,
- Donatılardaki akma birim uzaması ile bu esnada kolona etkiyen yanal yük ve çevrim numarası tabloları,
- Numunelerde her bir çevrimde oluşan enerji tüketim kapasiteleri,
- Numunelerde her bir çevrimde oluşan kalıcı yer değiştirme miktarları.

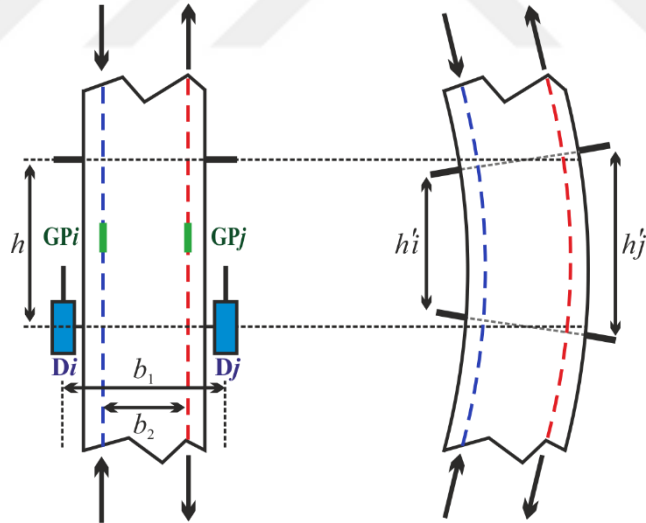
3.4.1. Eğrilik hesabının yapılması

Plastik mafsalsal meydana gelebilmesi, plastik mafsalsal bölgesindeki kesitlerin plastik şekil değiştirme kapasitelerine ulaşmasıyla meydana gelir. Basit eğilme etkisi altındaki elemanlarda plastik şekil değiştirmeler eleman eksenini boyunca değişken olarak meydana gelir. **Şekil 3.31**'deki kirişte mesnet civarında eğilme momenti ve eğrilik değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi, A kesitinde moment M_u değerine erişmiş ve akma eğriliği ϕ_u meydana gelmiştir. A ile B kesiti arasındaki eğriliklerin toplamı iki kesitin birbirlerine göre göreceli dönmesini oluşturur ve eğrilik değişimindeki taralı alana karşı gelir. Bu dönme elastik ve plastik bölümlerden meydana gelir. B kesitindeki plastik eğrilik esas alınarak taralı alana eşdeğer olarak oluşturulan dikdörtgen alanın boyu ℓ_p plastik mafsalsal boyu olarak kabul edilir. DBYBHY'de basitçe $\ell_p = 0,5h$ eşitliği kabul edilmektedir. Burada h eleman kesitinin yüklemeye doğrultusundaki boyutunu ifade etmektedir (Celep, 2007).

Bu çalışmada eğrilik ölçümünde mesnet bölgesinde plastik mafsalsal boyunca ölçüm alınmıştır. Bundan dolayı $\ell_p = 15 \text{ cm}$ olarak tespit edilmiştir. Eğrilik ölçümü için D2 ve D3 kodlu yer değiştirme ölçerler kullanılmıştır. **Şekil 3.32**'daki çizimde, hesapta kullanılacak yer değiştirme ölçerler ve diğer büyüklükler gösterilmiştir. h ifadesi, her bir yüzeydeki yer değiştirme ölçer yüksekliğini; b ise yer değiştirme ölçerler arasındaki yatay mesafeyi göstermektedir.



Şekil 3.31. Sürekli kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi (Celep, 2007)



Şekil 3.32. Eğrilik ölçümü için yer değiştirme ölçer ve gerinim pullarının yerleşimi (Özkal, 2012)

Yer değiştirme ölçerler ile uzama durumunda eksi, kısalma durumunda ise artı değerde veri alındığından, değerlerin işareti dikkate alınarak işlemler gerçekleştirilmelidir. Bu durumda yer değiştirme ölçerler ile eğrilik değerinin hesaplanması için izlenecek adımlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

$$\theta = \frac{D2 - D3}{b_1} \quad (3.1)$$

$$\kappa = \frac{\theta}{h} \Rightarrow \kappa = \frac{D2 - D3}{b_1 \cdot h} \quad (3.2)$$

Burada κ , eğriliği, θ ise birim dönme açısını temsil etmektedir.

Gerinim pullarıyla eleman kesitinin çekme basınç bölgelerindeki donatılardan elde edilen uzama miktarlarına bağlı olarak da eğrilik hesabı yapılabilmektedir. Bunun için eğrilik hesabı aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilmektedir.

$$\kappa = \frac{GP_i - GP_j}{b_2} \quad (3.3)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. elik-Kapalı Etriye Kullanılan Kolon (Ç1)

Bu kolon eleman TS 500 standardına göre imal edilmiş ve donatı kafesinde geleneksel kapalı etriye formuna sahip kesme donatısı kullanılmıştır. Kolon donatı kafesi düzeni Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Ç1 numunesi donatı düzeni

Kalıbına yerleştirilen ve beton dökümü gerçekleştirilen kolon 28 günlük beton basınç dayanımını kazandıktan sonra tersinir yanal yük ve aksenal yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 4.2’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



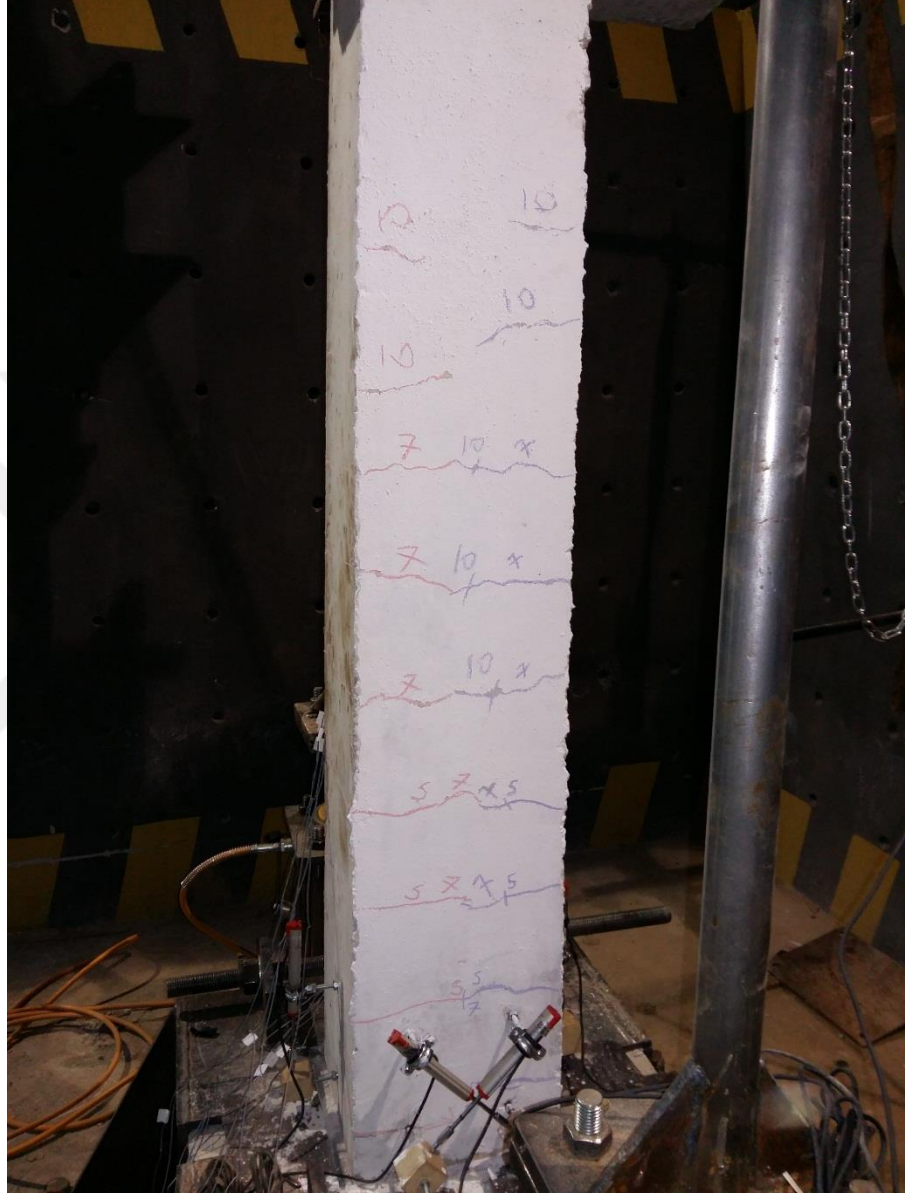
Şekil 4.2. Yükleme ve ölçüm sistemi

Yük çevriminde, kolon tepe yer değıştirmesi $\pm 6,8$ mm olana kadar kolonda herhangi bir eğilme çatlakına rastlanmamıştır. İlk çatlak, yük çevriminde tepe yer değıştirmesi $\pm 6,8$ mm'den $\pm 8,5$ mm aşamasına geçilirken görülmüştür. Sonraki oluşan çatlak adımları, yük çevriminin 17 mm (%1) ve 43 mm (%2,5) yer değıştirme değeri esnasında gözlenmiştir. Çatlaklar, oluştuğu yük çevriminin rakamı belirtilerek işaret kalemiyle çizilmiştir. Sonlanan deneyde çatlak gelişimi **Şekil 4.3'**de görülmektedir.

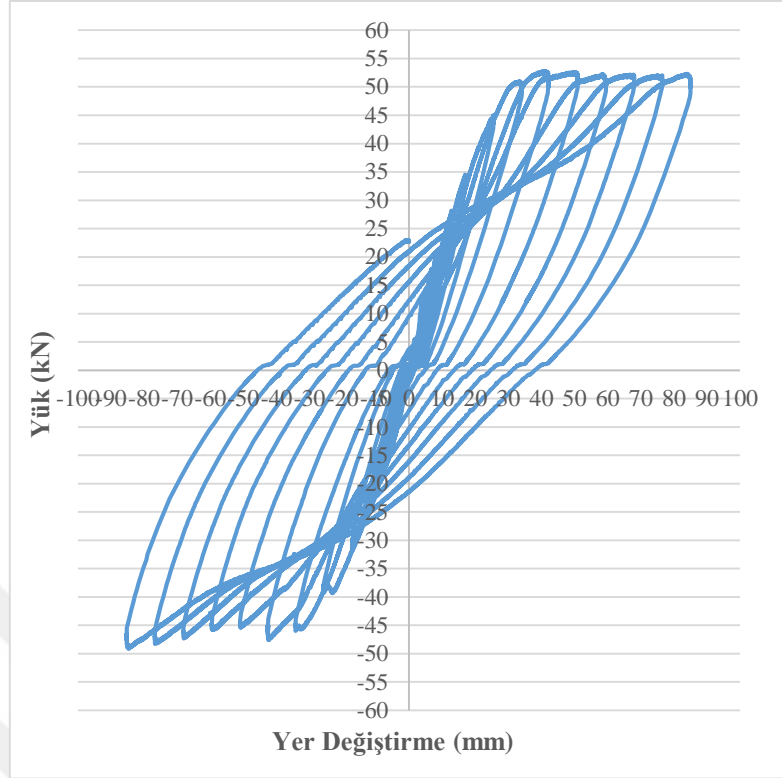
Numunenin aynı çevrim içerisindeki itme ve çekme aşamalarında oluşan eğilme çatlakları yatay doğrultuda ve nispeten aynı hizada gelişmiştir. İleriki çevrim düzeylerinde aynı doğrultuda oluşan bu çatlaklar birbirleriyle birleşmiştir.

Şekil 4.4, numunenin yük-yer değıştirme grafiğini göstermektedir. Numune, hidrolik silindirin mil uzama kapasitesine bağlı olarak en fazla 86 mm itilip çekilebilmiştir. Numunede 9. çevrim +50,61 kN ve 10. çevrim -47,46 kN'dan sonra yük seviyesinde önemli derecede bir artış olmamıştır. Numunenin yükleme sonunda itme ve çekme durumunda ulaştığı maksimum yükler sırasıyla +52,40 kN ve -48,77 kN'dur. Gerinim pulu takılan boyuna donatılar akma birim uzamasına 8. çevrimde ulaşmıştır.

Tablo 4.1'de donatıların akma birim uzamasına ulaştığı yük değeri ve çevrim numarası verilmiştir. Kolon orta bölgesinde boyuna donatı henüz akmadığı için tabloda elastik birim uzama değeri belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Ç1 numunesi çatlak gelişimi



Şekil 4.4. Ç1 numunesi yük yer değiştirme grafiği

Tablo 4.1. Ç1 numunesi için boyuna donatı durum tablosu

	Gerinim pulları	Akmaya başladığı çevrim numarası ve birim uzama	Akmaya başladığı yük	En son çevrimde ulaştığı birim uzama
Kolon itme yüzü	GP5, GP6 (%) (kolon tabanı)	8 - %0,23 (akmıştır)	44,89	%2,78 (akmıştır)
	GP1, GP2 (kolon ortası)	8 - %0,12 (akmamıştır)		%0,17 (akmamıştır)
Kolon çekme yüzü	GP7, GP8 (kolon tabanı)	9 - %0,25 (akmıştır)	-45,83	%3,13 (akmıştır)
	GP3, GP4 (kolon ortası)	9 - %0,12 (akmamıştır)		%0,15 (akmamıştır)

4.2. Çelik-Sarmal Etriye Kullanılan Kolon (Ç2)

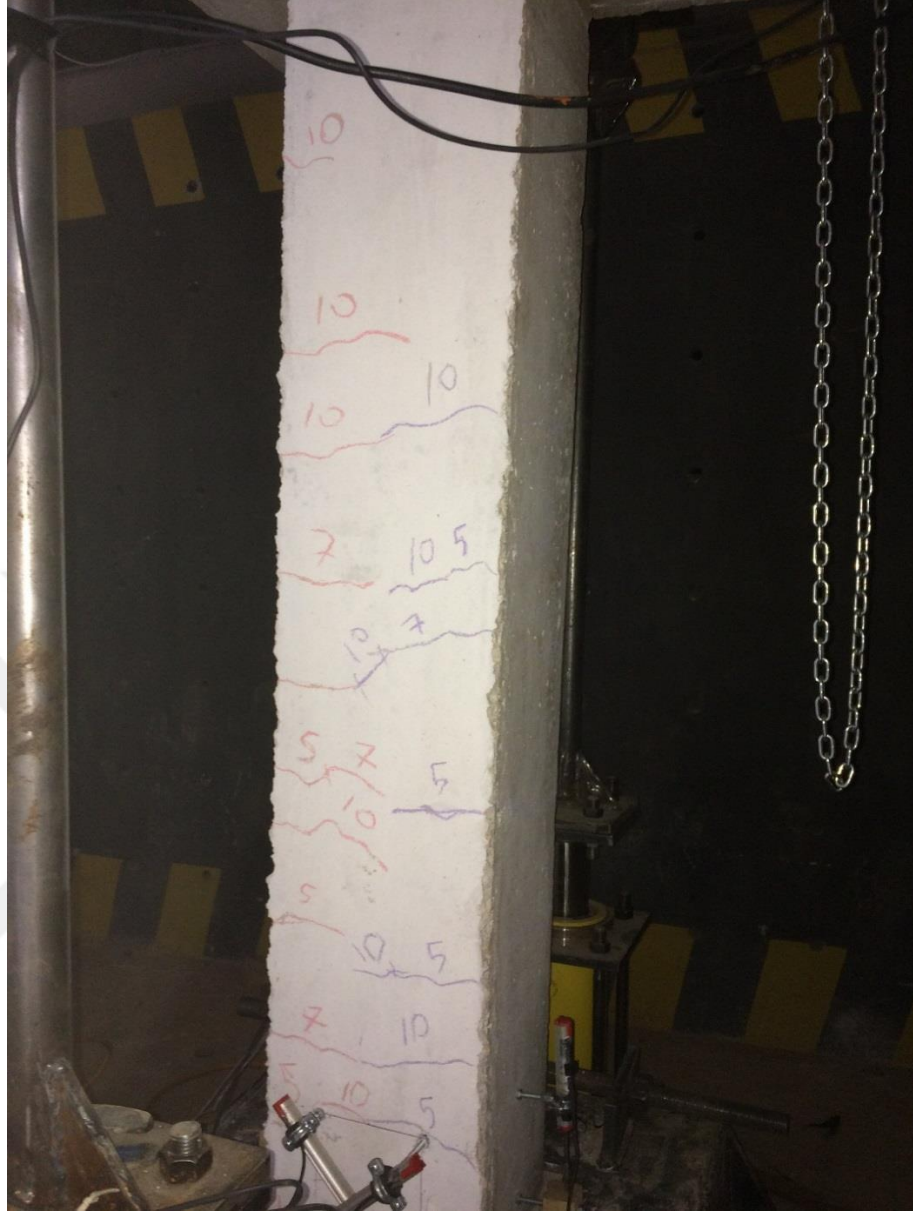
Bu kolon eleman da, çelik kesme donatısı TS 500 standardına göre imal edilmiş kolondaki kapalı etriye aralığıyla aynı adım aralığına sahip olacak şekilde, kolon boyunca sürekli olarak sarılmıştır. Kolon donatı kafesi düzeni **Şekil 4.5**'te görülmektedir.



Şekil 4.5. Ç2 numunesi donatı düzeni

Kalıbına yerleştirilen ve beton dökümü gerçekleştirilen kolon, 28 günlük beton basınç dayanımını kazandıktan sonra tersinir yanal yük ve aksenal yük uygulanabilecek düzeneğe yerleştirilmiştir.

Yük çevriminde kolon tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$ mm olana kadar kolonda herhangi bir eğilme çatlakına rastlanmamıştır. İlk çatlak, yük çevriminde tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$ mm'den $\pm 8,5$ mm aşamasına geçilirken görülmüştür. Sonraki oluşan çatlak adımları, yük çevriminin 17 mm (%1) ve 43 mm (%2,5) yer değiştirme değerleri esnasında gözlenmiştir. Çatlaklar, oluştuğu yük çevrimi rakamı belirtilerek işaret kalemiyle çizilmiştir. Sonlanan deneyde çatlak gelişimi **Şekil 4.6'**da görülmektedir.

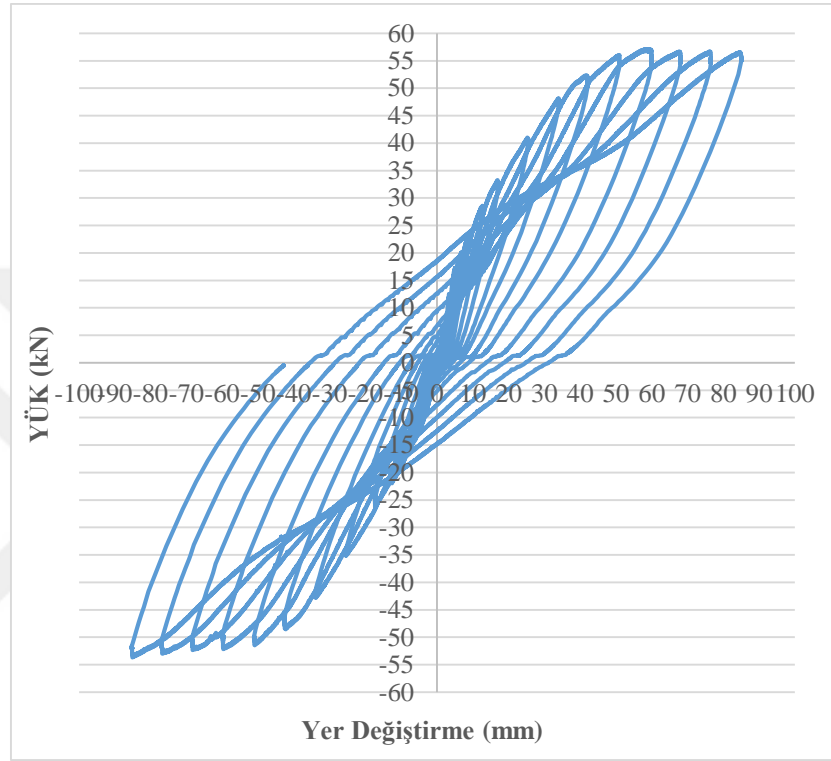


Şekil 4.6. Ç2 numunesi çatlak gelişimi

Numunenin aynı çevrim içerisinde ki itme ve çekme aşamalarında oluşan eğilme çatlakları geleneksel çelik kapalı etriye formuna göre tasarlanan kolondan farklı olarak genel olarak aynı hizada oluşmamıştır. Bu durumda kolonda ileriki çevrim seviyelerinde birçok kesitte çatlak oluşumu meydana gelmiştir.

Şekil 4.7, numunenin yük-yer değiştirme grafiğini göstermektedir. Numune, hidrolik silindirin mil uzama kapasitesine bağlı olarak en fazla 86 mm itilip çekilebilmiştir. Numunede 10. çevrim +52 kN ve -48,40 kN'dan sonra yük seviyesinde önemli derecede bir artış olmamıştır. Numunenin yükleme sonunda itme ve çekme durumunda ulaştığı

maksimum yükler sırasıyla +55,91 kN ve -53,67 kN'dur. Gerinim pulu takılan boyuna donatılar akma birim uzamasına 9. çevrimde ulaşmıştır. **Tablo 4.2'**de donatıların akma birim uzamasına ulaştığı yük değeri ve çevrim numarası verilmiştir. Kolon orta bölgesinde boyuna donatı henüz akmadığı için tabloda elastik birim uzama değeri belirtilmiştir.



Şekil 4.7. Ç2 numunesi yük-yer değiştirme grafiği

Tablo 4.2. Ç2 numunesi için boyuna donatı durumu

	Gerinim pulları	Akmaya başladığı çevrim numarası ve birim uzama	Akmaya başladığı yük	En son çevrimde ulaştığı birim uzama
Kolon itme yüzü	GP5, GP6 (%) (kolon tabanı)	10 - %0,23 (akmıştır)	52,09	%1,33 (akmıştır)
	GP1, GP2 (kolon ortası)	10 - %0,18 (akmamıştır)		%0,20 (akmamıştır)
Kolon çekme yüzü	GP7, GP8 (kolon tabanı)	9 - %0,23 (akmıştır)	-42,76	%0,79 (akmıştır)
	GP3, GP4 (kolon ortası)	9 - %0,13 (akmamıştır)		%0,17 (akmamıştır)

4.3. Geogrid-Kapalı Etriye Kullanılan Kolon (G1)

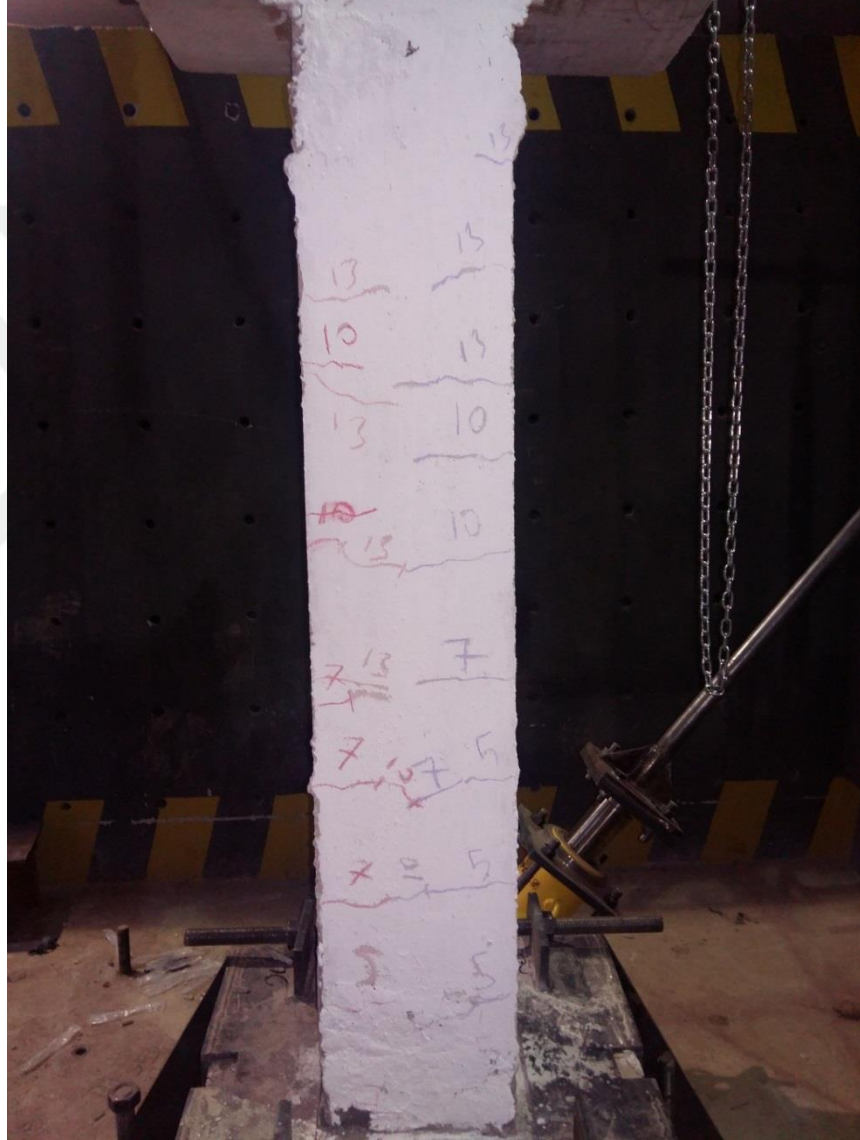
Bu kolon eleman da, kesme donatısı aralığı TS 500 standardına göre imal edilmiş kolondaki kapalı etriye aralığıyla aynı olacak şekilde; geogrid malzeme, kapalı etriye mantığıyla kesme donatısı olarak kullanılmıştır. Kolon donatı kafesi düzeni **Şekil 4.8**'de görülmektedir.



Şekil 4.8. G1 numunesi donatı düzeni

Kalıbına yerleştirilen ve beton dökümü gerçekleştirilen kolon, 28 günlük beton basınç dayanımını kazandıktan sonra tersinir yanal yük ve aksenal yük uygulanabilecek düzeneğe yerleştirilmiştir.

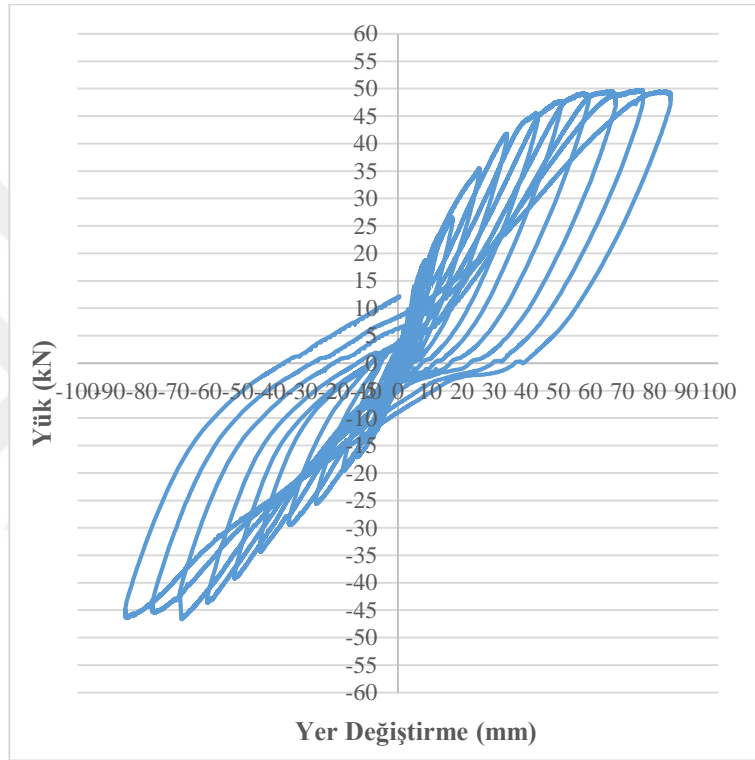
Yük çevriminde kolon tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$ mm olana kadar kolonda herhangi bir eğilme çatlakına rastlanmamıştır. İlk çatlak yük çevriminde tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$ mm'den $\pm 8,5$ mm aşamasına geçilirken görölmüştür. Sonraki oluşan çatlak adımları, yük çevriminin 17 mm (%1) ve 43 mm (%2,5) yer değiştirme değerleri esnasında gözlenmiştir. Çatlaklar, oluştuğu yük çevrimi rakamı belirtilerek işaret kalemiyle çizilmiştir. Sonlanan deneyde çatlak gelişimi **şekil 4.9**'da görölmektedir.



şekil 4.9. G1 numunesi çatlak gelişimi

Numunenin aynı çevrim içerisindeki itme ve çekme aşamalarında oluşan eğilme çatlakları, çelik kapalı etriyeli kolonda (Ç1) olduğu gibi yatay doğrultuda nispeten aynı hizada gelişmiştir. İleriki çevrim düzeylerinde, aynı doğrultuda oluşan bu çatlaklar birbirleriyle birleşmiştir.

Şekil 4.10, numunenin yük-yer değiştirme grafiğini göstermektedir. Numune, hidrolik silindirin mil uzama kapasitesine bağlı olarak en fazla 86 mm itilip çekilebilmiştir. Numunede 10. çevrim +45,24 kN ve 12. çevrim -43,58 kN'dan sonra yük seviyesinde önemli derecede bir artış olmamıştır. Numunenin yükleme sonunda itme ve çekme durumunda ulaştığı maksimum yükler sırasıyla +49,64 kN ve -46,3 kN'dur. Muhtemelen beton dökümü esnasında gerinim pullarının hasar görmesiyle, G1 numunesi donatılardaki birim uzama değerleri alınamamıştır.



Şekil 4.10. G1 numunesi yük-yer değiştirme grafiği

4.4. Geogrid-Sarmal Etriye Kullanılan Kolon (G2)

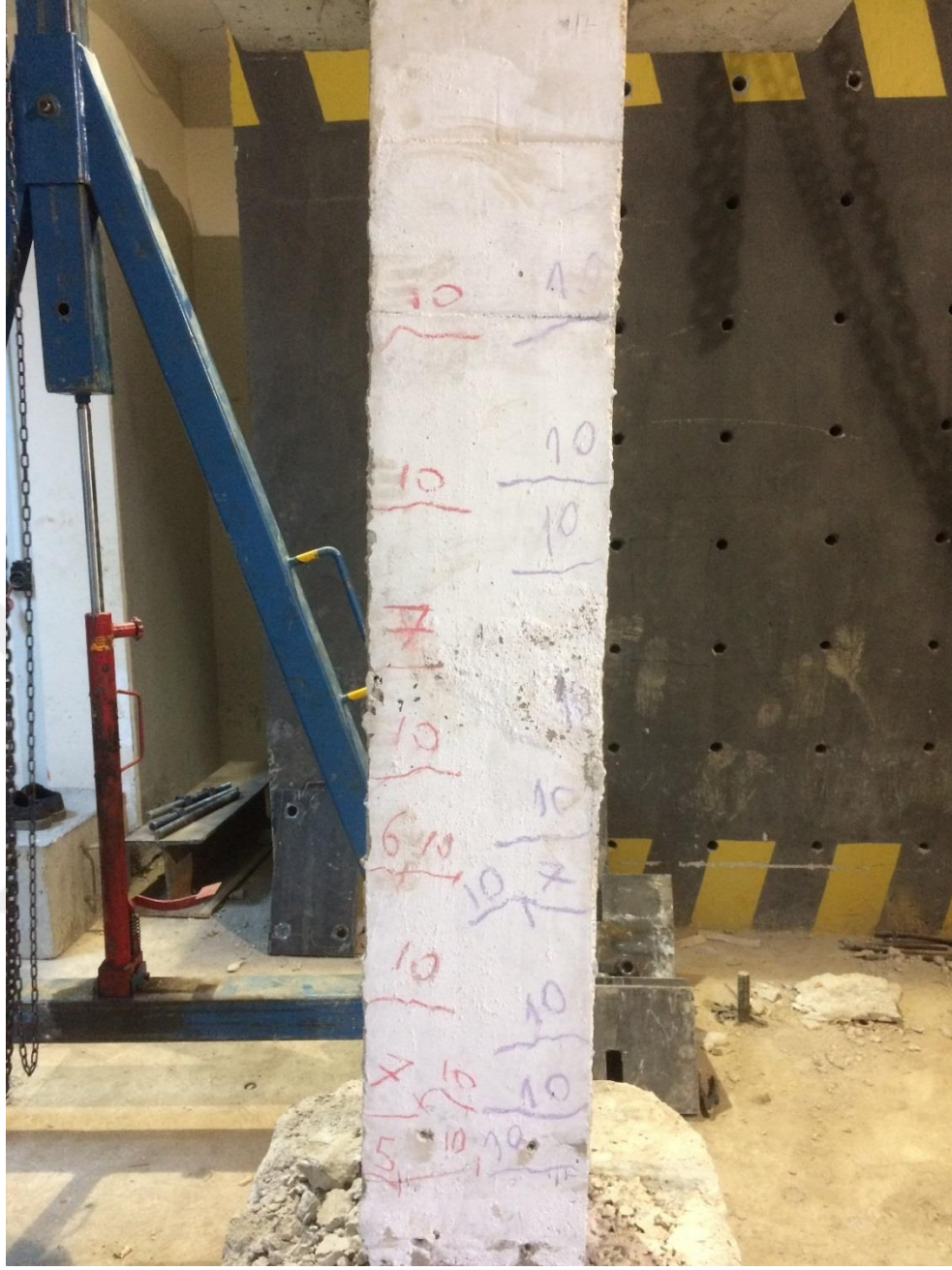
Bu kolon eleman da, kesme donatısı aralığı TS 500 standardına göre imal edilmiş kolondaki kapalı etriye aralığıyla aynı olacak şekilde; geogrid malzeme, sarmal çelik numuneye (Ç2) benzer şekilde sarılmıştır. Kolon donatı kafesi düzeni **Şekil 4.11**'de görülmektedir.



Şekil 4.11. G2 numunesi donatı düzeni

Kalıbına yerleştirilen ve beton dökümü gerçekleştirilen kolon, 28 günlük beton basınç dayanımını kazandıktan sonra tersinir yanal yük ve eksenel yük uygulanabilecek düzeneğe yerleştirilmiştir.

Yük çevriminde kolon tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$ mm olana kadar kolonda herhangi bir eğilme çatlakına rastlanmamıştır. İlk çatlak, yük çevriminde tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$ mm'den $\pm 8,5$ mm aşamasına geçilirken görülmüştür. Sonraki oluşan çatlak adımları, yük çevriminin 17 mm (%1) ve 43 mm (%2,5) yer değiştirme değerleri esnasında gözlenmiştir. Çatlaklar, oluştuğu yük çevrimi rakamı belirtilerek işaret kalemiyle çizilmiştir. Sonlanan deneyde çatlak gelişimi **Şekil 4.12**'de görülmektedir.

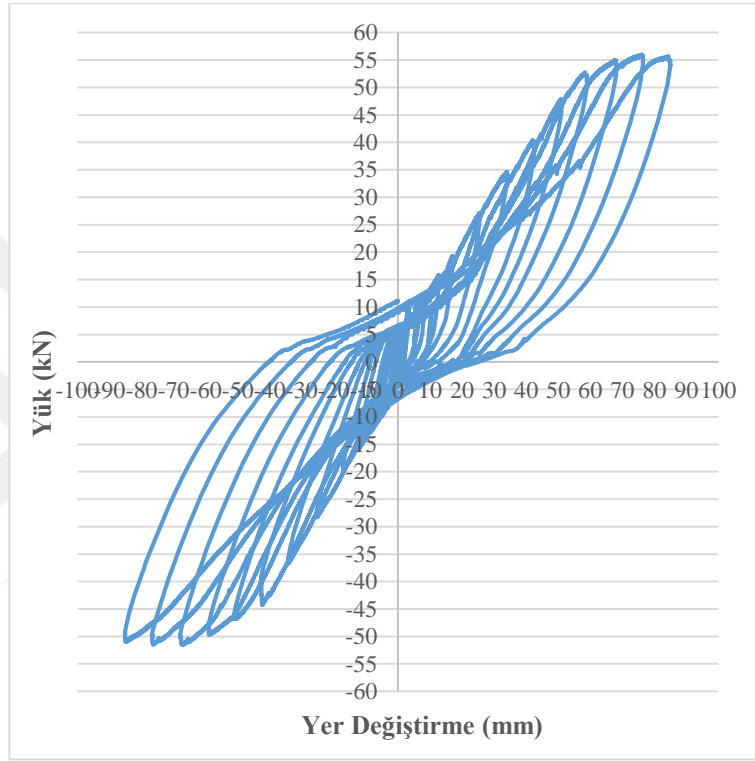


Şekil 4.12. G2 numunesi çatlak gelişimi

Numunenin 5. çevrimden sonra oluşan eğilme çatlakları, normal (Ç1) çelik ve geogrid (G1) kesme donatısı bulunan numunelere kıyasla kolon boyunca daha düzensiz dağılmaktadır. İleriki çevrim düzeylerinde bazı çatlaklar kesişirken, bazıları kesişmemektedir.

Şekil 4.13 numunenin yük-yer değiştirme grafiğini göstermektedir. Numune hidrolik silindirin mil uzama kapasitesine bağlı olarak en fazla 86 mm itilip çekilebilmiştir. Numunede 12. çevrim +51 kN ve 11. çevrim -46,76 kN'dan sonra yük seviyesinde

önemli derecede bir artış olmamıştır. Numunenin yükleme sonunda itme ve çekme durumunda ulaştığı maksimum yükler sırasıyla +55,31 kN ve -51,39 kN'dur. Gerinim pulu takılan boyuna donatılar akma birim uzamasına 10 ve 12. çevrimde ulaşmıştır. **Tablo 4.3'** de donatıların akma birim uzamasına ulaştığı yük değeri ve çevrim numarası verilmiştir. Kolon orta bölgesinde boyuna donatı henüz akmadığı için tabloda elastik birim uzama değeri belirtilmiştir.



Şekil 4.13. G2 numunesi yük-yer değiştirme grafiği

Tablo 4.3. G2 numunesi için boyuna donatı durumu

	Gerinim pulları	Akmaya başladığı çevrim numarası ve birim uzama	Akmaya başladığı yük	En son çevrimde ulaştığı birim uzama
Kolon itme yüzü	GP5, GP6 (%) (kolon tabanı)	11 - %0,15 (akmıştır)	51,98	%0,32 (akmıştır)
	GP1, GP2 (kolon ortası)	12 - %0,3 (akmamıştır)		%0,162 (akmamıştır)
Kolon çekme yüzü	GP7, GP8 (kolon tabanı)	10 - %0,24 (akmıştır)	-42,9	%0,71 (akmıştır)
	GP3, GP4 (kolon ortası)	10 - %0,12 (akmamıştır)		%0,162 (akmamıştır)

4.5. CFRP-Kapalı Etriye Kullanılan Kolon (F1)

Bu kolon eleman da, kesme donatısı aralığı TS 500 standardına göre imal edilmiş kolondaki kapalı etriye aralığıyla aynı olacak şekilde; CFRP malzeme kapalı etriye mantığıyla kesme donatısı olarak kullanılmıştır. Kolon donatı kafesi düzeni **Şekil 4.14**'te görülmektedir.



Şekil 4.14. F1 numunesi donatı düzeni

Kalıbına yerleştirilen ve beton dökümü gerçekleştirilen kolon, 28 günlük beton basınç dayanımını kazandıktan sonra tersinir yanal yük ve aksenal yük uygulanabilecek düzeneğe yerleştirilmiştir.

Yük çevriminde kolon tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$ mm olana kadar kolonda herhangi bir eğilme çatlakına rastlanmamıştır. İlk çatlak yük çevriminde tepe yer değiştirmesi $\pm 6,8$

mm'den $\pm 8,5$ mm aşamasına geçilirken görülmüştür. Sonraki oluşan çatlak adımları, yük çevriminin 17 mm (%1) ve 43 mm (%2,5) yer değiştirme değerleri esnasında gözlenmiştir. Çatlaklar, oluştuğu yük çevrimi rakamı belirtilerek işaret kalemiyle çizilmiştir. Sonlanan deneyde çatlak gelişimi **Şekil 4.15**'te görülmektedir.



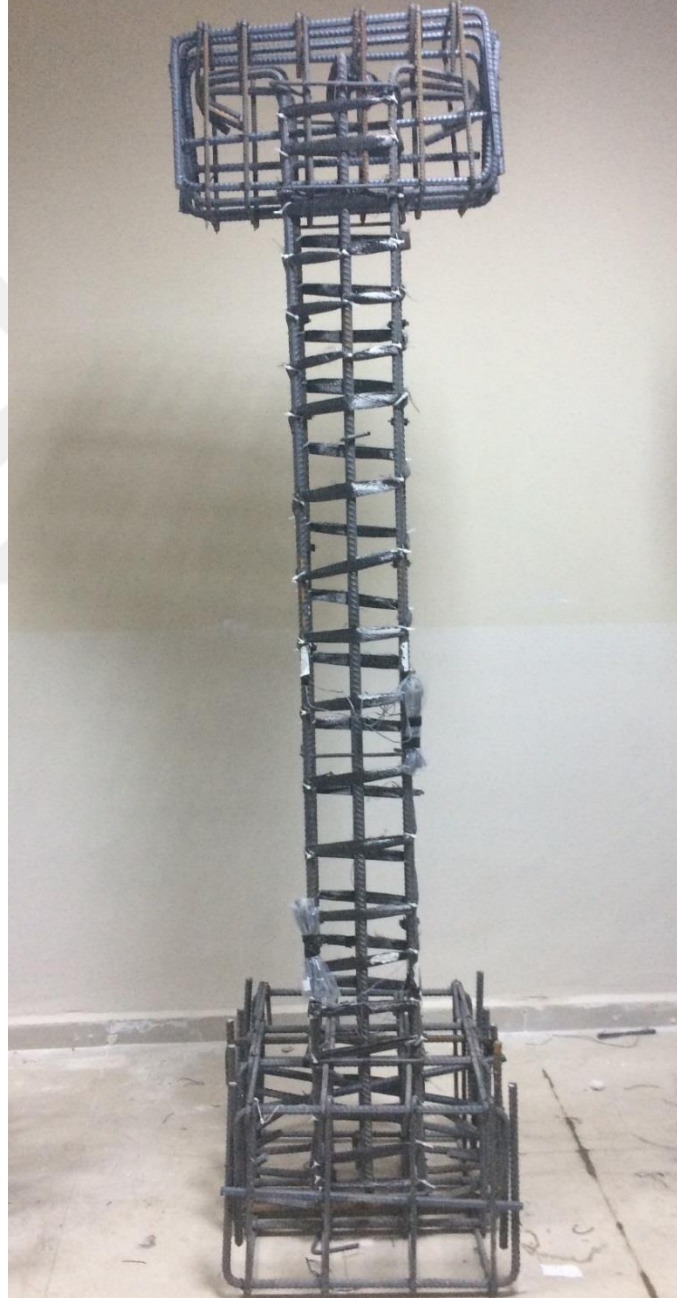
Şekil 4.15. F1 numunesi çatlak gelişimim

Numunenin aynı çevrim içerisinde ki itme ve çekme aşamalarında oluşan eğilme çatlakları çelik kapalı etriyeli kolonda (Ç1) olduğu gibi yatay doğrultuda nispeten aynı hizada gelişmiştir. İleriki çevrim düzeylerinde aynı doğrultuda oluşan bu çatlaklar birbirleriyle birleşmiştir. Diğer deney numuneleriyle karşılaştırıldığında, F1 numunesinde ortaya çıkan çatlak sayısının daha az olduğu göze çarpmaktadır.

Şekil 4.16 numunenin yük-yer değiştirme grafiğini göstermektedir. Numune, hidrolik silindirin mil uzama kapasitesine bağlı olarak en fazla 86 mm itilip çekilebilmiştir.

4.6. CFRP- Sarmal Etriye Kullanılan Kolon (F2)

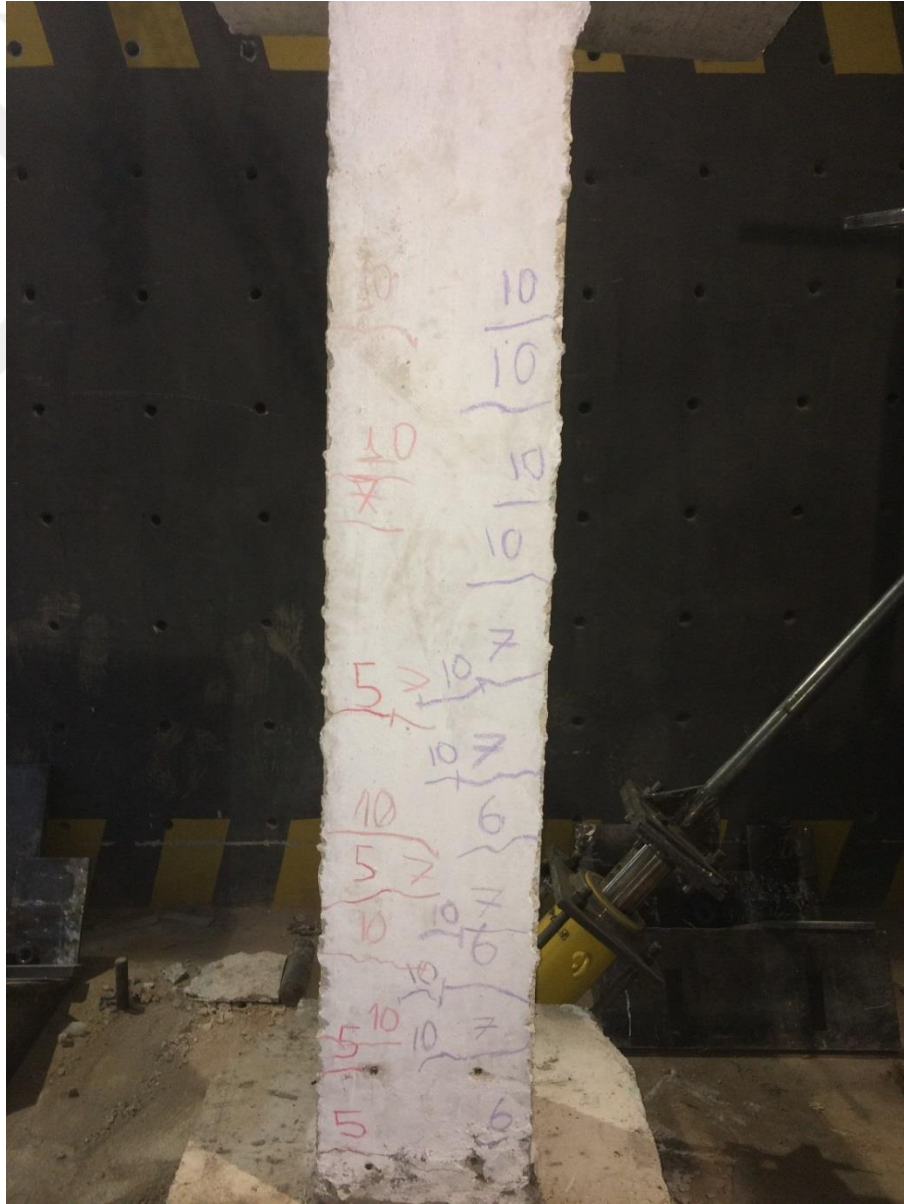
Bu kolon eleman da, kesme donatısı TS 500 standardına göre imal edilmiş kolondaki kapalı etriye aralığıyla aynı adım aralığına sahip olacak şekilde, CFRP malzeme, sarmal şekilde sürekli olarak sarmal çelik ve sarmal geogrid numuneye benzer şekilde sarılmıştır. Kolon donatı kafesi düzeni **Şekil 4.17**'de görülmektedir.



Şekil 4.17. F2 numunesi donatı düzeni

Kalıbına yerleştirilen ve beton dökümü gerçekleştirilen kolon 28 günlük beton basınç dayanımını kazandıktan sonra tersinir yanal yük ve aksel yük uygulanabilecek düzeneğe yerleştirilmiştir.

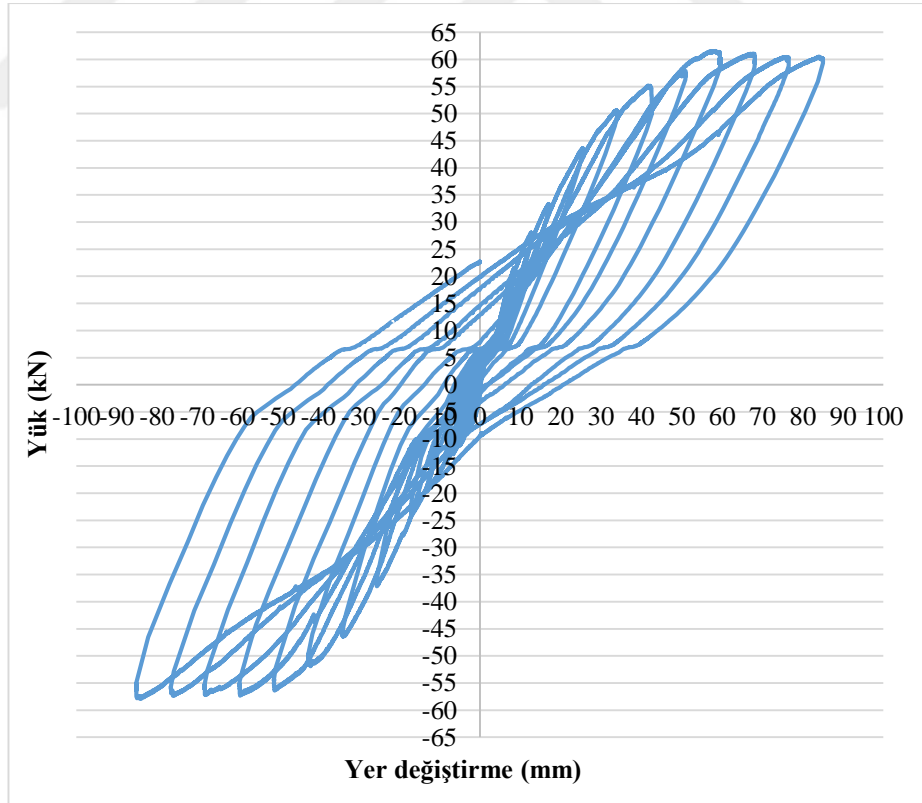
Yük çevriminde kolon tepe yer değıştirmesi $\pm 6,8$ mm olana kadar kolonda herhangi bir eğilme çatlağına rastlanmamıştır. İlk çatlak, yük çevriminde tepe yer değıştirmesi $\pm 6,8$ mm'den $\pm 8,5$ mm aşamasına geçilirken görülmüştür. Sonraki oluşan çatlak adımları, yük çevriminin 17 mm (%1) ve 43 mm (%2,5) yer değıştirme değeri esnasında gözlemlenmiştir. Çatlaklar, oluştuğı yük çevrimi rakamı belirtilerek işaret kalemiyle çizilmiştir. Sonlanan deneyde çatlak gelişimi **Şekil 4.18**'de görülmektedir.



Şekil 4.18. F2 numunesi çatlak gelişimi

Numunede itme sırasında 5. çevrimde çatlak meydana gelmemiş, çatlaklar 6. çevrimde oluşmaya başlamıştır. Çekme sırasında çatlaklar 5. çevrimde görülmeye başlamıştır. Çatlak oluşumu normal çelik, geogrid ve CFRP numunelerine kıyasla kolon boyunca daha düzensiz dağılmaktadır. İleriki çevrim düzeylerinde, bazı çatlaklar kesişirken bazıları kesişmemektedir.

Şekil 4.19 numunenin yük-yer değiştirme grafiğini göstermektedir. Numune, hidrolik silindirin mil uzama kapasitesine bağlı olarak en fazla 86 mm itilip çekilebilmiştir. Numunede 11. çevrim +57,85 kN ve 11. çevrim -55,56 kN'dan sonra yük seviyelerinde önemli bir artış olmamıştır. Numunenin yükleme sonunda itme ve çekme durumunda ulaştığı maksimum yükler sırasıyla +61 kN ve -57,60 kN'dur. Gerinim pulu takılan boyuna donatılar akma birim uzamasına 10. çevrimde ulaşmıştır. **Tablo 4.5**'te donatıların akma birim uzamasına ve ulaştığı yük değeri ve çevrim numarası verilmiştir. Kolon orta bölgesinde boyuna donatı henüz akmadığı için tabloda elastik birim uzama değeri belirtilmiştir.



Şekil 4.19. F2 numunesi yük-yer değiştirme grafiği

Tablo 4.5. F2 numunesi boyuna donatı durumu

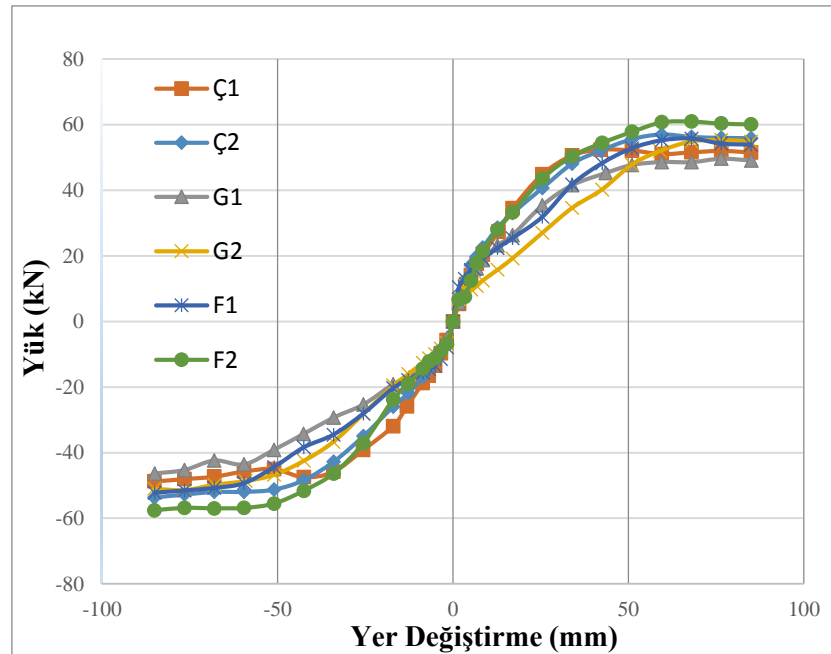
	Gerinim pulları	Akmaya başladığı çevrim numarası ve birim uzama	Akmaya başladığı yük	En son çevrimde ulaştığı birim uzama
Kolon itme yüzü	GP5, GP6 (%) (kolon tabanı)	10 - %0,24 (akmıştır)	54,49	%1,9 (akmıştır)
	GP1, GP2 (kolon ortası)	10 - %0,15 (akmamıştır)		%0,18 (akmamıştır)
Kolon çekme yüzü	GP7, GP8 (kolon tabanı)	10 - %0,25 (akmıştır)	-51,63	%2,4 (akmıştır)
	GP3, GP4 (kolon ortası)	10 - %0,13 (akmamıştır)		%0,16 (akmamıştır)

4.7. Deney Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

Bu başlık altında numunelerin yük-yer değiştirme döngülerinden elde edilen zarf eğrileri, moment-eğrilik ilişkileri, her bir döngüde meydana gelen enerji tüketme kapasiteleri ve her bir döngüden sonra elemanda oluşan kalıcı yer değiştirme eğrileri sunulmuştur.

4.7.1. Yük-yer değiştirme zarf eğrileri

Numunelerin yük-yer değiştirme zarf eğrileri **Şekil 4.20**'de gösterilmektedir.



Şekil 4.20. Numunelerin yük-yer değiştirme zarf eğrileri

Geleneksel çelik kapalı etriye kullanılarak üretilen Ç1 numunesi referans alınarak diğer numunelerin davranışları hakkında fikir yürütülmüştür. Bu durumda kolon taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığı zaman, F2 numunesi en fazla taşıma kapasitesine sahiptir. En düşük taşıma kapasitesine sahip numune G1 numunesi olmuştur. **Tablo 4.6'** da bütün numunelerin ulaştıkları maksimum yük değerleri ve bu yüklerin geleneksel çelik-kapalı etriyeli numuneye (Ç1) kıyasla yüzdelik cinsten farkları belirtilmiştir.

Tablo 4.6. Numunelerin maksimum ulaşabildikleri yük değerleri

Numune	Maksimum yük (kN)		Ç1 numunesine göre % değişimi		Ötelenme rijitliği $0,75x F_{max}/u$
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	
Ç1	52,40	-48,77	0	0	1,87
Ç2	57,04	-53,67	+8,85	+10,04	1,53
G1	49,64	-46,36	-5,26	-4,94	1,32
G2	55,31	-51,39	+5,55	+5,37	0,94
F1	55,76	-52,24	+6,41	+7,11	1,23
F2	61,00	-57,60	+16,4	+18,10	1,62

Tablo 4.6'ya göre; Ç2, G2, F1 ve F2 numunelerinin Ç1 numunesine kıyasla maksimum taşıyabildiği yükler sırasıyla %8,85, %5,55, %6,41 ve %16,4 oranlarında artmıştır. G1 numunesi, geogridin mekanik özelliklerindeki zayıflıktan ötürü daha düşük performans gösterirken; sarmal uygulamanın üstünlüğü sayesinde G2 numunesi, Ç1 numunesinden daha iyi sonuç sağlamıştır. CFRP dokumaların malzeme özellikleri de yine çeliğe nazaran zayıf olmasına karşın, beton ve sargı arasındaki aderans ve CFRP dokumalarının boyuna donatılarla daha üstün bir seviyede birlikte çalışabilmeleri sayesinde F1 ve F2, çelik etriyeli numunelerden daha iyi sonuç vermiştir.

Donatılardaki akma çevrimleri her bir numune için **Tablo 4.7'**de belirtilmiştir.

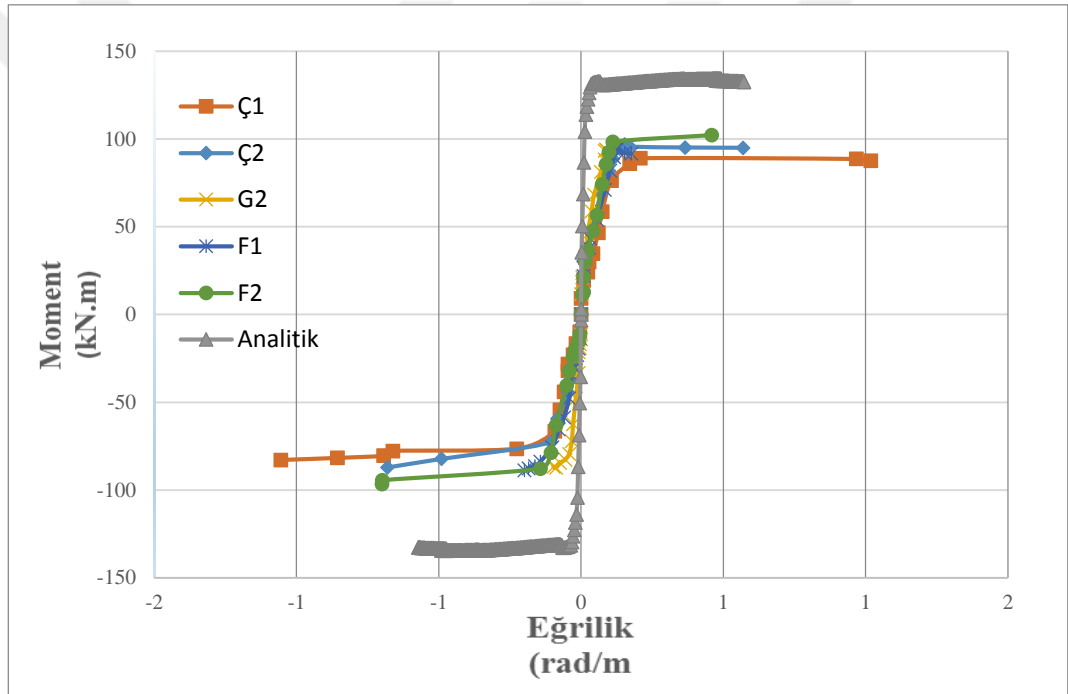
Tablo 4.7. Numunelerdeki boyuna donatılarının aktığı çevrim numaraları

Numune		Ç1	Ç2	G1	G2	F1	F2
Aktığı çevrim numarası	İtme yüzü	8	10	-	12	11	10
	Çekme yüzü	9	9	-	10	11	10
Aktığı ötelenme oranı %	İtme yüzü	1,45	2,25	-	3,18	2,97	1,99
	Çekme yüzü	1,57	1,88	-	2,3	2,75	1,90

Not: G1 numunesinde donatılardan birim şekil değiştirme değeri okunamamıştır

4.7.2. Moment-eğrilik ilişkileri

Moment eğrilik hesabında, yeterli hassasiyet sağlanmadığından yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler kullanılmamıştır. Numunelerin plastik mafsallardaki çekme ve basınç donatılarında kullanılan gerinim pulları sayesinde her bir numuneden elde edilen moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.21'deki grafikte sunulmuştur. Ersoy ve Özcebe (2017) tarafından önerilen hesaplama yöntemiyle Ç1 numunesinin moment-eğrilik ilişkisi analitik olarak belirlenmiş olup grafikte gösterilmektedir. Deney numunelerinin tersinir olarak yüklenmesinden dolayı analitik hesaba göre eğilme rijitliği ve moment taşıma kapasitesi daha düşük seviyede kalmıştır.



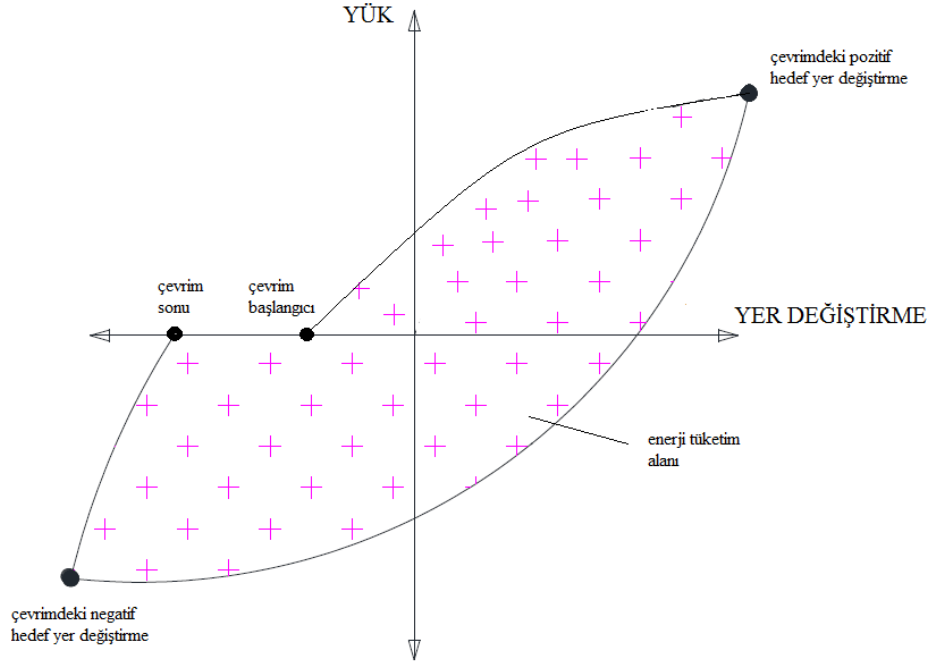
Şekil 4.21. Numunelerin moment-eğrilik ilişkileri

Şekil 4.21'den de anlaşılacağı gibi G2 ve F1 numuneleri, kesit eğrilik kapasitesine ulaşmadan moment taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Donatı akma tablolarında boyuna donatılar ileriki çevrim seviyelerinde akma sınırına ulaşması da bu durumu desteklemektedir. F2 numunesi, Ç1 ve Ç2 numunelerinde olduğu gibi eleman kesitinin eğrilik kapasitesine daha fazla yaklaşabilmiştir. CFRP malzemesinin kapalı etriye gibi değil de sarmal etriye şeklinde kullanılması önemli derecede fark oluşturmuştur. Geogridin mekanik özelliklerine bakıldığında; aksel şekil değiştirme rijitliğinin düşük olmasına bağlı olarak sarmal etriye şeklinde kullanılması numune taşıma kapasitesinde

artış sağlamıştır fakat etkili bir sargı oluşturmamıştır. Etkili bir sargının sağlanamaması, boyuna donatıların beton ile arasındaki aderansın azalmasına ve özellikle yüklemenin tersinir olmasıyla bu aderansın daha da azalmasına sebep olmuştur.

4.7.3. Enerji tüketme kapasiteleri ve kalıcı yer değiştirmeler

Numunelerin enerji tüketme miktarları tüm çevrimler için Şekil 4.22’de belirtilen alanın hesaplanmasıyla elde edilir. Bu alan her bir çevrim içinde kalan alan olarak tanımlanır.

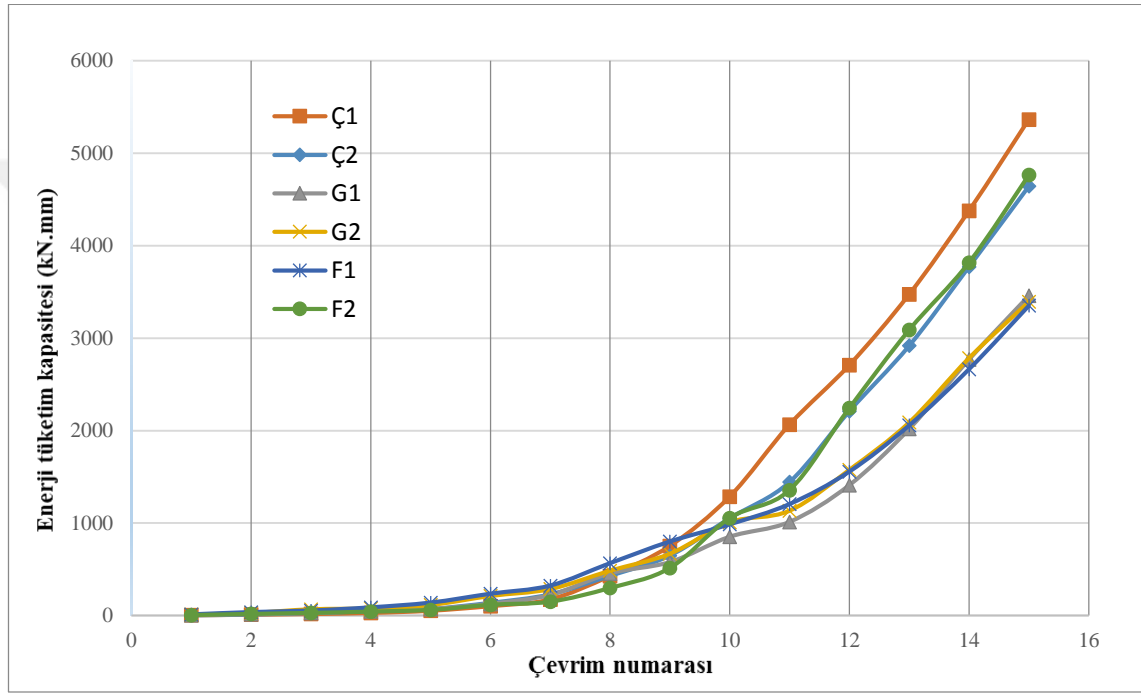


Şekil 4.22. Her bir çevrimde oluşan enerji tüketimi

Yapılan hesaplamalarla tüm numunelerin her bir çevrim adımında meydana gelen enerji tüketme kapasiteleri Şekil 4.23’deki grafikte bir arada sunulmuştur.

5. çevrime kadar numunelerde oluşan enerji tüketme kapasiteleri birbirlerine çok yakındır. 5. çevrimden sonra, enine donatının etkinliğini göstermesiyle Ç1 numunesindeki enerji tüketme kapasitesi diğer numunelere göre fazlalaşmıştır. Ç1 numunesinden sonra en fazla enerji tüketimi F2 ve Ç2 numunelerinde gerçekleşmiş ve tüm çevrimlerde birbirlerine yakın değerler almışlardır. G1, F1 ve G2 numuneleri ise en

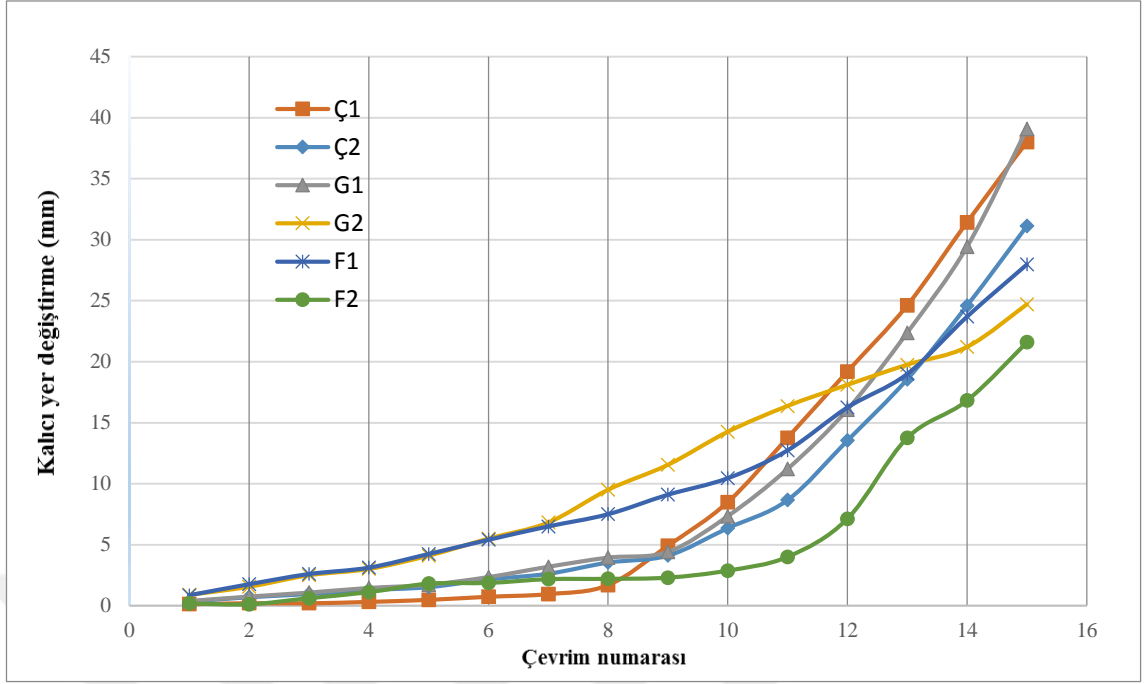
düşük enerji tüketiminin olduğu numuneler olmuş ve her bir çevrimde birbirlerine yakın değerlere ulaşmışlardır. Bu durum öteleme rijitliğinin en fazla Ç1 numunesinde olduğunu ve enerji tüketiminin azalmasına bağlı olarak öteleme rijitliğinin diğer numunelerde azaldığını ortaya çıkarmıştır. Tüm numunelerin kesit özelliklerinin aynı olması sebebiyle, benzer bir yapısal davranış ve dolayısıyla benzer bir enerji tüketimi meydana getirmesi beklenebilir. Fakat deney numunelerinin sargı donatılarında oluşturulan farklılıklar, bu durumu değiştirmiştir.



Şekil 4.23. Numunelerin enerji tüketme kapasiteleri

Numunelerde artırımlı yanal yükleme esnasında yükün sıfır olduğu durumlarda elemanda oluşan kalıcı yer değiştirmeler **Şekil 4.24**'teki grafik görülmektedir.

G2 ve F1 numunelerindeki kalıcı yer değiştirme miktarları ilk çevrimlerde diğer numunelere göre daha yüksek değerde iken son çevrimlerde düşüş göstermiştir. Ç1, Ç2 ve G1 numunelerinde kalıcı yer değiştirmeler, ilk çevrimlerde diğer numunelere göre daha düşük değerde iken son çevrimlerde artış göstermiştir.



Şekil 4.24. Numunelerde her bir çevrimde meydana gelen kalıcı yer değiştirmeler

5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında betonarme kolonlarda kesme donatısı olarak çelikten farklı malzemelerin sarmal etriye şeklinde kullanılmasının eleman davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada, tasarım standartlarına uygun şekilde tasarlanan betonarme kolonları temsil edecek donatı detayı ve kesit özelliklerine sahip bir eleman üzerinde durulmuştur. Kesme donatısı olarak kullanılan çelik donatı ve geçmiş çalışmalarda kullanım örnekleri bulunan geogrid ve CFRP malzemeleri kapalı etriye ve sarmal etriye şeklinde uygulanmış ve kolon davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla bu numunelerden çelik, geogrid, CFRP malzemeleri kapalı etriye şeklinde kullanılarak 3 adet; sarmal etriye şeklinde kullanılarak 3 adet deney numunesi oluşturulmuştur. Bu numunelerin tersinir yanal yük ve sabit aksenal yük etkisi altındaki davranışları karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalara göre numunelerin davranışları üzerinde varılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

CFRP dokumalar esasen onarım ve güçlendirme uygulamalarında kullanılırken; geogrid ise tamamen farklı bir alanda, zemin iyileştirme uygulamaları için üretilen bir mühendislik malzemesidir. Ancak elastik yapıları sayesinde betonarme elemanlarda enine donatı olarak kullanılabilirliği daha kolaydır. Mevcut çalışma göstermektedir ki, dörtgen kesitli kolonlarda bu malzemelerin sarmal etriye olarak tercih edilmesi, bahsedilen uygulama kolaylığının yanı sıra yüksek yapısal başarımlarına ulaşmayı mümkün kılmıştır.

Kolonlarda enine donatının sarmal olarak uygulanması, kolon taşıma kapasitesinde %5,55'ten %16,4'e kadar artış sağlamıştır. Geogridin geleneksel kapalı etriye mantığıyla kullanılması kolon taşıma kapasitesini %5,26 düşürmüştür. Bu da sargılama tekniğinin, yapısal davranışı iyileştirdiğini ön plana çıkarmıştır. Sarmal etriyeli olarak imal edilen kolonlar, geleneksel kapalı etriye kullanılarak imal edilen kolonlara göre önemli derecede fark oluşturmuştur. Ötelenme rijitliği bakımından en üstün başarımları çelik kapalı etriye (Ç1) numunesi gösterirken, bu bakımdan numuneyi; F2, Ç2, G1, F1 ve G2 numuneleri takip etmiştir.

Kesit özellikleri aynı olan numuneler, eğrilik kapasitelerini kullanma bakımından farklılık göstermişlerdir. Çelik kapalı etriye olarak üretilen numune (Ç1), tüm numuneler için eşit uygulanan çevrim sonunda diğer numunelere göre eğrilik kapasitesinin daha fazlasını kullanmıştır.

CFRP kumaş geogride göre şekil değiştirme rijitliği yüksek, çelik donatıya göre düşük bir malzemedir. Bu çalışmada kullanılan CFRP ve geogrid uzunluğu belirlenirken, yapılan malzeme deneyleri sonucunda elde edilen kopma dayanım değerleri dikkate alınmıştır. Numunelerin davranışlarına bakıldığında çelik ve CFRP'nin yüksek şekil değiştirme rijitliğine bağlı olarak sargı etkisini arttırdığı görülmüştür. Geogridin düşük şekil değiştirme rijitliği değerinden dolayı sargılama etkisi az olmuştur. CFRP kumaş ve geogrid malzemeler geniş bir yüzey alanına sahip oldukları için yüzey alanı düşük olan çelik donatıya göre betonla daha fazla aderans oluşturmaktadır.

Çelik donatı kapalı etriye ve spiral etriye olarak kullanılırken belli derecelerde büküldükleri için bu bükülme bölgelerinde gerilme yığılmaları meydana getirmekte dolayısıyla bu noktalarda dayanım bakımından zayıflık oluşmaktadır. CFRP ve geogrid malzemelerde, hasarsız bükülebilmeleri sayesinde en azından uygulandığı esnada bahsedilen türden bir zayıflık meydana gelmemektedir.

CFRP kumaş, genel olarak betonarme elemanların kesme kapasitelerini arttırması amacıyla kullanılırken eleman yüzeyine yapıştırıcı malzemelerle tutturulmaktadır. Kolon kesitinin dörtgen geometride olması, elemanın yük almasıyla kolon köşelerinde gerilme yığılması oluşturmaya ve malzemenin bu bölgelerde zarar görmesine sebep olmaktadır. CFRP'nin genel uygulamasında dörtgen kesitli elemanların köşelerinin yuvarlatılması bu durumu iyileştirmektedir. CFRP kumaşının dairesel olan boyuna donatılara sarılması, bu uygulamada avantaj sağlamaktadır. Ancak CFRP kumaş malzeme, beton dökümü esnasında karşılaşılabileceği keskin agrega yüzeylerine ve donatıdaki nervürlere karşı zayıf kalmaktadır. Bu malzemenin kullanımı amaçlandığında, koruyucu bir kaplama yapılmasının malzemeyi bahsedilen etkilerden koruyabileceği düşünülmektedir.

Geogrid malzeme, beton dökümü esnasında karşılaşılabileceği keskin agrega yüzeylerine karşı CFRP'ye nazaran daha dayanıklıdır. Geogrid malzeme mevcut uygulamasında zemin güçlendirme amaçlı kullanıldığı için uygun koruyucu malzemeyle kaplanması

sayesinde, karşılaşılabileceği keskin yüzeyli nesnelere karşı dayanıklıdır. Bu malzemenin yapısal davranışı iyileştirmesi düşünülerek kullanılması amaçlandığında, ya malzemenin düşük elastisite modülünün üretim aşamasında yükseltilmesi ya da bu çalışmada kullanıldığı haliyle kullanım miktarının artırılması gerekmektedir. Malzemenin kullanım miktarının artırılması halinde ise yoğun bir malzeme miktarı ortaya çıkacak; bu durum da uygulanabilir bir nitelik taşımayacaktır.

Geçmiş çalışmalar göstermektedir ki; betonarme elemanlarda sargı donatısının sürekliliği ve uygun geometrinin oluşturulmasıyla elemanın yapısal davranışı iyileştirilebilmektedir. Farklı bir bakış açısıyla ortaya konulan bu çalışmada da amaçlandığı üzere; betonarme kolonların, üretimleri esnasında istenilen kolaylıklar sağlanmış bunun yanı sıra aksenal yük ve eğilme momenti etkisi altındaki yapısal davranışlarında kayda değer düzeyde iyileşme meydana gelmiştir. Gelecek çalışmacıları aydınlatması bakımından, çalışma kapsamında kullanılan CFRP ve geogrid malzemeleri için yapılan deneyler ve malzemelerin uygulanırken ki karşılaşılan durumlar değerlendirilmiş, elde edilen avantaj ve dezavantajlar ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- ACI Committee 318, (2014) “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary”, *American Concrete Institute*, Michigan, ABD, PA.
- ASTM Standard D3039/D 3039M-08 (2008) “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- ASTM Standard D6637/D6637M-15 (2015) “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- ASTM Standard D4595-11 (2011) “Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- Baran M. (2011) “Fret Özelliklerinin Fretli Kolon Davranışına Etkileri”, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.3, No.2.
- CEB-FIB (2012) “FRP reinforcement for concrete structures”, *FIB Bulletin 65: Model Code 2010, Final draft – Volume 1*, Switzyerland, 228-229.
- Celep Z. (2007) “Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 167-180.
- Chidambaram R. S., Agarwal P. (2015a) “Flexural and shear behavior of geo-grid confined RC beams with steel fiber reinforced concrete”, *Construction and Building Materials*, 78, 271–280.
- Chidambaram R. S. ve Agarwal P. (2015b) “Performance Evaluation of Geogrid-Confined Beam-Column Joints With Steel Fiber Reinforced Concrete Under Cyclic Loading”, *Journal of Testing and Evaluation*, doi:10.1520/JTE20150037. ISSN 0090-3973.
- CSA Technical Committee A23.3 (2014) “Design of Concrete Structures (CSA A23.3-14)”, *Canadian Standards Association*, Ontario, Kanada, PA.
- DBYBHY (2007) “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, *T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi*, Ankara.
- Doğan, M. (1997) “Depreme Dayanıklı Yapı tasarımında Kolonlarda Sürekli Etriye Sargı Donatısının Etkisi”, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi*, Ankara, 891-904.
- Doğangün, A. (2013) “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı 10.Baskı”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, ISBN:978-975-511-310-X, 433-516.

- Eid R., Paultre P. (2017) “Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns”, *Engineering Structures*, 132, 518-530.
- Eom T.S, Su-Min Kang S.M., Park H.G., Choi T.W., Jin J.M. (2014) “Cyclic loading test for reinforced concrete columns with continuous rectangular and polygonal hoops”, *Engineering Structures*, 67, 39-49.
- Ersoy, U., Özcebe G. (2017) “Betonarme: Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap”, 6. baskı, *Evrım Yayınevi*, İstanbul, ISBN:978-975-503-233-7, 90-91, 31-37, 58-73, 459-477.
- Eurocode 2 (2004) “Design of Concrete Structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1)”, *European Committee for Standardization*, Brussels, Belgium, PA.
- FEMA 461 (2007) “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components”, *Applied Technology Council*, California, 13-27.
- Ha T., Lee S. ve Chun S.C. (2016) “Cyclic testing of reinforced concrete columns with double or one-side headed shear reinforcement”, *JVE Journal of Vibroengineering*, ISSN 1392-8716, 4563-4573.
- Hindi R., Turechek W. (2008) “Experimental behavior of circular concrete columns under reversed cyclic loading”, *Construction and Building Materials*, 22, 684–693.
- Irwin R., Rahman A. (2002) “FRP Strengthening Of Concrete Structures.Design Constraints and Practical Effects on Construction Detailing” *NZ Concrete Society Conference*, Wairakei.
- Işıltan Ö. (2010) “Betonarme Kolonlar İçin Dbybhy 2007, Eurocode 8 ve Fema 356 İle Yapılan Performans Değerlendirmelerinin Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması” Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-13.
- Karayannis C. G., Sirkelis G. M. (2005) “Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Columns With Rectangular Spiral Shear Reinforcement”, *Third International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-III) “Advancing Engineering, Management and Technology”*, Athens, 15-17.
- Karayannis C. G., Chalioris C. E. (2013) “ Shear tests of reinforced concrete beams with continuous rectangular spiral reinforcement”, *Construction and Building Materials*, 46, 86–97.
- Lee J.M., Kim Y.S., Kim S.W., Park J.H., Kim K.H. (2016) “Structural performance of rectangular section confined by squared spirals with no longitudinal bars influencing the confinement”, *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, 16, 795–804.

- Maaddawy T.E., Sayed M.E., Abdel-Magid B. (2010) “The effects of cross-sectional shape and loading condition on performance of reinforced concrete members confined with Carbon Fiber-Reinforced Polymers”, *Materials and Design*, 31, 2330–2341.
- Marvel L. , Doty N., Lindquist W., Hindi R. (2014) “Axial behavior of high-strength concrete confined with multiple spirals”, *Engineering Structures*, 60, 68–80.
- Mitchell D., Cook W. D., Deng Y. ve Liu J. (2014) “Confinement of Columns and Wall Boundary Elements Using Headed Bars”, *J. Struct. Eng.*, 140, 04013080, 1-9.
- Mohamed H. M., Afifi M. Z., ve Benmokrane B. (2014) “Performance Evaluation of Concrete Columns Reinforced Longitudinally with FRP Bars and Confined with FRP Hoops and Spirals under Axial Load”, *Journal of Bridge Engineering*, ISSN 1084-0702, 04014020, 1-12.
- Özkal F.M. (2012) “Topoloji Eniyilemesi Ve Çubuk Benzeşimi Yöntemleri Kullanılarak Betonarme Yapı Elemanlarında En Uygun Donatı Düzeninin Belirlenmesi Ve Deneysel Gerçekleşmesi”, *Yayımlanmış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 113.
- Özkul B. (2009) “Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altındaki Davranışı ve Elastisite Modülü Önerisi”, Yayımlanmış Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 26-32.
- Richart, F.E., Brandzaeg, A., Brown, R.L. (1928) “A study of the Failure of Concrete Under Combined Compressive Stresses”, *University of Illinois, Engineering Experiment Station*, Bulletin No.185.
- Saatçioğlu M., Razvi S. R. (1992) “Strength and ductility of confined concrete”, *J. Struct. Eng.*, 118, 1590-1607.
- Shatarat N., Katkhuda H., Abdel-Jaber M., Alqam M. (2016) “Experimental investigation of reinforced concrete beams with spiral reinforcement in shear”, *Construction and Building Materials*, 125, 585–594.
- Sivakamasundari S., Daniel A. J., Kumar A. (2017) “Study on Flexural Behavior of Steel Fiber RC Beams Confined With Biaxial Geo-Grid”, *Procedia Engineering*, 173, 1431–1438.
- Sümer G., (2009) “Betonarme Elemanlarda Donatı Düzenleme İlkeleri”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 83-85.
- Taş N.C. (2013) “Betonarme Binaların Tasarımına İlişkin Temel İlkeler ve Betonarme Bir Konutun Yürürlükte Bulunan Yönetmeliklere Göre Tasarımı” Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 103-109.
- TS 500 (2000) “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (ICS 91.080.40)”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, TS.
- Tobbi H., Farghaly A. S. ve Benmokrane B. (2012) “Concrete Columns Reinforced Longitudinally and Transversally with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars”, *Aci Structural Journal*, 551-558.



EKLER

EK-1. Tez çalışması süresince yapılan akademik çalışmalar

Özkal F.M., Küçük M. (2017) "Güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistem tasarımı için yapısal eniyileme yaklaşımı", *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Gaziantep, Türkiye, 26-28 Ekim, 270-280.



ÖZGEÇMİŞ

Mesut KÜÇÜK, 1992 yılında Tunceli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzincan’da tamamladı. 2009 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında mezun oldu. 2018 yılında Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimini tamamladı.



Erzincan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı’nda 2016 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.