

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FRETLİ KOLONLARIN BASİT BURULMA ETKİSİ ALTINDA
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Ömer SOLEY

**OCAK 2010
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FRETLİ KOLONLARIN BASİT BURULMA ETKİSİ ALTINDA
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Ömer SOLEY

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.12.2009
Tezin Savunma Tarih : 28.01.2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin HÜSEM
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Fretli Kolonların Basit Burulma Etkisi Altında Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi” isimli bu çalışmayı bana öneren, deney numuneleri üretiminde beraber çalıştığım , çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım şu an Amerika'da araştırmalarını sürdüren ilk danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selim PUL ' a ve danışman hocamın yurduşına çıkmasından sonra danışmanlığımı üstlenen, yoğun işlerine rağmen zamanını bana ayıran, önerilerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM'e şükran ve saygılarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Deneysel çalışmalar ve tez yazımı aşamasında büyük yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Mehmet Emin ARSLAN 'a çok teşekkür ederim. Laboratuarda emeklerini esirgemeyen şuan vatani görevlerini yerine getiren Arş. Gör. S. Emre GÖRKEM ve Arş. Gör. Ercan YOZGAT'a da burdan teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez sırasında bir an olsun yanımdan ayrılmayan, elinden gelen yardımı yapan arkadaşım İnş. Müh. Alper OKAN 'a ve Bilal Bora BEKTAŞ' a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim sırasında maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen ailemin tüm bireyelerine şükranlarımı sunarım.

Ömer SOLEY
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Beton	2
1.3. Betonarme	2
1.3.1. Betonarme Yapıların Yığma, Ahşap ve Çelik Yapılara Göre Üstün ve Zayıf Tarafları	7
1.4. Kolon Çeşitleri	12
1.4.1. Fretli Kolonlar	13
1.4.2. Etriyeli Kolonlar	17
1.4.3. Bileşik (kompozit) Kolonlar	18
1.4.4. Boru Kolonlar	19
1.4.5. Kolon Boyutları ve Donatılarına İlişkin Yönetmelik Koşulları.....	19
1.4.5.1. Kolonlarda Boyuna Donatı	21
1.4.5.2. Kolonlarda Enine Donatı	25
1.5. Burulma	28
1.5.1. Donatısız Bir Betonarme Elemanın Burulma Altında Davranışı	31
1.5.2. Donatılı Bir Betonarme Elemanın Burulma Altında Davranışı.....	32
1.6. Fretli Kolonlarda Sargı Etkisi	37
1.7. Literatürde Burulma ile İlgili Yapılmış Olan Bazı Çalışmalar.....	41
1.8. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	42
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR BULGULAR VE İRDELEMELER.....	43

2.1.	Deneylerde Kullanılan Malzeme Özellikleri	43
2.1.1.	Agrega Özellikleri	43
2.1.2	Çimento Özellikleri	44
2.1.3.	Kullanılan Karma Suyu Özellikleri	46
2.1.4	Kullanılan Kimyasal Katkı Maddesi	46
2.1.5	Donatı Özellikleri	46
2.2.	Çalışma Kapsamında Üretilecek Betonların Bileşimi	47
2.3.	Deneylerde Kullanılan Betonun Üretimi ve Kürü	48
2.4.	Deney Numuneleri Üretimi ve Kürü	51
2.5.	Deney Düzeneği ve Burulma Deneyleri	58
2.6.	Bulgular ve İrdemeler	67
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
4.	KAYNAKLAR.....	83
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Beton ve betonarme teknolojisi üzerine yapılan çok sayıdaki araştırmalara rağmen, burulma etkisi henüz yeterince aydınlatılmamıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde bu etkinin göz ardı edilmemesi gerektiği anlaşılmış ve betonarme elemana ek burulma donatıları ekleyerek elemanın emniyete alınması sağlanmıştır.

Bilindiği üzere depremlerde, fretli kolonlar, etriyeli kolonlara göre daha iyi bir performans göstermektedir. Ülkemizde son zamanlara kadar çok nadir olarak kullanılmış olmasına rağmen geçirdiğimiz büyük depremlerden sonrasında daha fazla fretli kolon tasarımı yapılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, basit burulma etkisindeki fretli kolonların çevrimsel yük altındaki davranışlarının incelenmesidir. Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm genel bilgiler bölümü olup, betonun özellikleri, betonarmenin üstünlük ve sakıncaları, fretli kolonların burulma performanslarından bahsedilmiştir. İkinci bölüm yapılan çalışmalara ayrılmış olup, yapılan çalışmalar ve deneyler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, çalışmanın bütününden çıkartılabilecek başlıca sonuç ve öneriler özetlenmektedir. Son bölümde kaynaklar dizini verilmiştir.

Yapılan çalışma göstermiştir ki fretli kolonların burulmaya karşı etkili olması ancak burulmanın fret sargı donatısı yönünde gelmesi durumunda, etriyeli kolonlara göre daha etkili olduğu; sargı donatısının ters yönde burulma uygulanması durumunda, etriyeli kolon davranışlarına benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Basit Burulma, Fretli Kolon, Tekrarlı Yükleme.

SUMMARY

Experimental Investigation of Cylindrical Columns under Pure Torsion

Although many investigations have been carried out on concrete and reinforced concrete construction technology, torsion effect has not been enlightened enough yet. After detailed studies, it has realized that this effect should be taken into account for computation and design. Thus, structural members are reinforced by confining with torsion reinforcement.

It is well known that cylindrical columns show better performance those of rectangular columns. Recently, although this member has been used rarely in our country, after the earthquakes which we have been subjected to, using of cylindrical columns should be increased.

The main purpose of this study is to investigate the circular concrete columns under the effect of torsion with cyclic loading. The study consists of four chapters. In the first chapter, section, properties of concrete, advantages and disadvantages of reinforced concrete, torsion performance of cylindrical columns is mentioned. Second section is allocated for experimental studies which have been carried out and findings of the experiments are given. In the third section conclusions and recommendations from entire study are summarized. Finally in the last section a reference list is given.

The study shows that cylindrical columns have better torsion performance than rectangular columns, when direction of the stirrups is on torsion direction. Otherwise, they show similar performance like rectangular columns.

Key Words: Pure Torsion, Cylindrical Column, Cyclic Loading.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Bazı yapı elemanlarında dış yüklerden oluşacak çekme gerilmelerini karşılamak üzere çelik donatı konulması.....	11
Şekil 1.2.	İki mesnetli basit kirişte donatı ve oluşan asal gerilme yörüngeleri.....	12
Şekil 1.3.	Etriyeli bir kolonun davranışı	14
Şekil 1.4.	Etriye kancalarının kolon davranışına etkileri	14
Şekil 1.5.	Fretli kolonların deprem davranışları	15
Şekil 1.6.	Enine donatının fretli kolonlarda sargı etkisi yapması.....	16
Şekil 1.7.	Etriyeli ve fretli kolonların merkezi yük altında davranışı.....	17
Şekil 1.8.	Etriyeli kolon enkesit çeşitlerinden bazıları	18
Şekil 1.9.	Kare ve dikdörtgen kesitli kolonların enkesit boyutlarına ilişkin koşullar.....	20
Şekil 1.10.	Çokgen ve dairesel geometrik kesitli kolonların enkesit boyutlarına ilişkin koşullar	20
Şekil 1.11.	Etriye kolları ve çirozlar arasındaki en büyük mesafe.....	23
Şekil 1.12.	Kolonlarda bindirmeli ek bölgelerin uzunlukları	24
Şekil 1.13.	Kolonlarda kesit değişimi durumunda boyuna donatı düzenlemesi	25
Şekil 1.14.	Dikkate alınacak toplam enine donatı alanı	27
Şekil 1.15.	Kolonlarda enine donatılara ilişkin koşullar.....	28
Şekil 1.16.	Burulma momentinin doğrudan etken olması.....	29
Şekil 1.17.	Denge burulması	30
Şekil 1.18.	Uygunluk Burulması.....	31
Şekil 1.19.	Elemanda meydana gelen burulma çatlakları ve donatı	33
Şekil 1.20.	Donatılı ve donatısız elemanlarda burulma – eksenel dönme ilişkisi.....	34

Şekil 1.21.	Burulma etkisi altında göçme düzlemi	35
Şekil 1.22.	Fret ve beton çekirdeğinin serbest cisim diyagramı	38
Şekil 1.23.	Eksenel yük altında fretli kolon davranışı	40
Şekil 2.1.	Beton karışımında kullanılan agregaların granülometrisi	44
Şekil 2.2.	Mettler marka PM 30 tipi tartı aleti	50
Şekil 2.3.	80 litre kapasiteli eğik eksenli betoniyer	50
Şekil 2.4.	Beton basınç dayanımı test cihazı.....	51
Şekil 2.5.	Numune boyutları	52
Şekil 2.6.	Kolon enkesiti	52
Şekil 2.7.	Kolon sargı donatısı üretimi	53
Şekil 2.8.	Üretilen kolon sargı donatısı.....	54
Şekil 2.9.	Kolon boyuna donatısı ve sargı donatısının birbirine monte edilmesi	54
Şekil 2.10.	Üretilen kolon donatısı	55
Şekil 2.11.	Üretilen kolon donatısı	55
Şekil 2.12.	Temel donatı detayı	56
Şekil 2.13.	Temel ve kolon birleşimi	57
Şekil 2.14.	Kiriş detayı ve kolon kiriş birleşimi	57
Şekil 2.15.	Deney numunelerinin kürü	58
Şekil 2.16.	Deney düzeneği	59
Şekil 2.17.	Numune temelinin dayanma yapısına sabitlenmesi.....	60
Şekil 2.18.	Numunenin ekseninde dönme yapmasını sağlayan mesnet	61
Şekil 2.19.	Numune ile ankastre mesnet birleşimi ve rulman	62
Şekil 2.20.	Aktüatör	63
Şekil 2.21.	Aktüatör ve kirişin rijit hale getirilmesi.....	63
Şekil 2.22.	Potansiyometrik cetveller (LPDT).....	64

Şekil 2.23.	Deney numunesi üzerine monte edilen LPDT 'ler	64
Şekil 2.24.	Şekildeğiştirme ölçerler	65
Şekil 2.25.	Numune üzerindeki şekildeğiştirme ölçerler	65
Şekil 2.26.	Veri kayıt sistemi	66
Şekil 2.27.	Yükleme düzeneği	67
Şekil 2.28.	Kolonun deneye hazırlanması ve ölçüm sistemi	68
Şekil 2.29.	Uygulanan çevrimsel yükün zamana bağlı değişimi	69
Şekil 2.30.	Deney boyunca oluşan çatlakların işaretlenmesi	70
Şekil 2.31.	Burulma etkisindeki fret adımı 50 mm olan kolonlarda çevrimsel yüklerden oluşan kırılma şekli	71
Şekil 2.32.	Fret adımı 50 mm olan kolonlar için çevrimsel yük-dönme eğrileri	72
Şekil 2.33.	Fret adımı 100 mm olan kolonlarda yüklemeye oluşan çatlaklar	73
Şekil 2.34.	Fret adımı 100 mm olan kolonda çevrimsel yükten oluşan kırılma şekli	74
Şekil 2.35.	Fret adımı 100 mm olan kolonlar için çevrimsel yük-dönme eğrileri	75
Şekil 2.36.	Fret adımı 200 mm olan kolonlarda yüklemeye oluşan çatlaklar	76
Şekil 2.37.	Fret adımı 200 mm olan kolonda çevrimsel yükten oluşan kırılma şekli	77
Şekil 2.38.	Fret adımı 200 mm olan kolonlar için çevrimsel yük-dönme eğrileri	78
Şekil 2.39.	Fret adımı 50 mm olan kolonlarda çevrimsel yük-dönme ilişkisi	80
Şekil 2.40.	Fret adımı 100 mm olan kolonlardaki çevrimsel yük-dönme ilişkisi	80
Şekil 2.41.	Fret adımları 200 mm olan kolonlardaki çevrimsel yük-dönme ilişkisi	81

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Beton ve donatının çeşitli etkilere karşı performansı.....	4
Tablo 2.1.	Agrega fiziksel özellikleri	14
Tablo 2.2.	Beton üretiminde kullanılan çimentonun bazı özellikleri	45
Tablo 2.3.	Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri	45
Tablo 2.4.	Kullanılan suyun kimyasal özellikleri.....	46
Tablo 2.5.	Deneyler kullanılan nervürlü donatıların bazı mekanik özellikleri	47
Tablo 2.6.	Beton bileşimi	48
Tablo 2.7.	Deneylerde kullanılan betonun 28 günlük numune dayanımları	49
Tablo 2.8.	Kolon detayları.....	53
Tablo 2.9.	Fretli kolonlarda elde edilen maksimum yük ve dönme	79

SEMBOLLER DİZİNİ

f_{ck}	: Beton numunenin karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Beton numunelerin ortalama basınç dayanımı
f_{cd}	: Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton tasarım çekme dayanımı
f_{yd}	: Donatı hesap akma dayanımı
f_{ywk}	: Donatının karakteristik akma dayanımını
d_0	: Kolon çapı
h	: Eğilme doğrultusundaki kolon boyutu (TS 500)
A_c	: Kolon enkesit alanı
A_{ck}	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanını
A_{st}	: Toplam boyuna donatı alanı
A_t	: Enine donatı alanı
a	: İki donatı arasındaki mesafe
N_d	: Tasarım eksenel kuvveti
ℓ_b	: Kenetlenme boyu
ρ_t	: Kolonlarda boyuna donatı oranı
ϕ	: Donatı çapı
ϕ_w	: Enine donatı çapı
ε	: Elemanın şekildeğiştirilmesi
S_h	: Donatılarda basınç bölgesine paralel oluşan çekme kuvveti
S_v	: Donatılarda çekme bölgesine paralel oluşan çekme kuvveti
T_{cr}	: Burulma altında ilk çatlağın meydana geldiği değer
T_0	: Burulma altında çatlak meydana geldikten sonra beton tarafından taşınan burulma momenti
T_s	: Burulma altında donatının taşıdığı burulma momenti
T_n	: Elemanın taşıyabileceği toplam burulma momenti
σ_s	: Burulma altında donatıda meydana gelen gerilme değeri
W_c	: Betondaki çimento kütleini
W_a	: Betondaki agrega kütleini

V_w : Betonda hapsedilmiş hava hacmi

V_h : Betonda hapsedilmiş su hacmi

Not : Bu dizinde yer almayan bazı semboller, metin içinde ilgili yerlerinde açıklanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bilindiği gibi betonarme yapılar ülkemizde olduğu gibi Dünya'da da en çok uygulanan yapı sistemidir. Bunun başlıca nedeni ekonomikliği ve üretimdeki kolaylığıdır. Bu özellikler, betonarme yapıların araştırmalarda fazla irdelenmesine sebep olmuştur.

Araştırmalarda elde edilen sonuçlar, betonarme yapılara etkiyen yüklerin bulunması ve ayrıntılı olarak incelenmesine imkan tanımıştır. Böylelikle betonarme yapı elemanlarında kullanılan farklı malzemeler ortaya çıkmış ve bu malzemelerin kalitesi sürekli olarak iyileştirilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı farklı sargı aralıklarına sahip dairesel fretli kolonların basit burulma etkisi altındaki davranışlarının incelenmesidir. Yapılan çalışmada beton ve betonarme hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca burulmanın tanımı yapılmış ve basit burulmanın, betonarme yapı elemanları üzerindeki etkisi anlatılmıştır. Çalışmanın son bölümünde deney sonuçları üzerine irdemeler yapılmış ve elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

1.2. Beton

Genel anlamda "Beton", agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir.

Betonu oluşturan temel malzemelerden biri agregadır. Agregalar minerallerden oluşmuş taneli malzemelerdir. Kum, çakıl ve kırma taş, normal ağırlıklı beton yapımında en çok kullanılan agrega cinsleridir. Agregalar ağırlıklarına göre hafif, normal ve ağır olmak üzere 3'e ayrılmakla birlikte boyutlarına göre de ayrılırlar. Türk standartlarının tanımlamasına göre, elendiğinde 4 mm açıklıklı kare delikli elekten geçebilen boyutlardaki agregaya "ince agrega", ve bu elek üzerinde kalan agregaya, "iri agrega" denilmektedir (TS EN 1226).

Çimento, tek başına bağlayıcılık özeliğe sahip olmayan malzemelerin çok ince öğütülerek su ile hidrasyonu sonucu bağlayıcılık özelliği kazanan bir malzemedir.

Çimentonun sağlayabileceği bağlayıcılık özeliği, bu malzemenin su ile birlikte karılması sonucunda elde edilmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme, "çimento hamuru" olarak adlandırılmaktadır.

Betonun oluşturulmasında çimento hamurunun işlevi, agrega tanelerinin yüzeylerini kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini birarada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktır. O bakımdan, beton, "çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme" olarak da tanımlanabilmektedir.

Çimento, su, ve ince agreganın karışımından oluşan malzemeye "harç" denilmektedir. Harç, içerisinde iri agrega bulunmayan bir betondur.

Çimento ve suyun birleştirilmesiyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta, plastik (yumuşak, şekil verilebilir) bir malzeme durumundadır. Ancak, çimento ve su arasında hemen başlayan ve devam etmekte olan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) etkisiyle, çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özeliği zaman ilerledikçe azalmaktadır. Hidratasyon sırasında hidratasyon ürünleri olarak bilinen ürünler oluşmaya başlamakta, böylece bir veya birkaç saat içerisinde, çimento hamuru plastikliğini kaybederek katılaşmakta ve daha sonraları da tamamen sertleşmiş bir duruma gelmektedir.

Çimento hamurunun ilk zamanlarda plastik özellik göstermesi nedeniyle, beton da, ilk karıldığı anı takip eden bir veya birkaç saatlik süre içerisinde plastik yapısını korumaktadır. O nedenle, elde edilen plastik durumdaki taze betonun, istenilen şekildeki bir kalıba yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi, ve yüzeyinin düzeltilebilmesi mümkün olmaktadır. Çimento hamurunun zaman ilerledikçe daha katı ve sert bir özellik kazanması nedeniyle, betonda da sertleşme ve dayanım artışı meydana gelmekte, istenilen boyutlarda ve şekilde taş gibi sert bir malzeme elde edilmektedir (Erdoğan, 2003).

1.3 Betonarme

Betonarme, kelime olarak Fransızcadan türetilmiş olup, donatılmış beton anlamına gelmektedir. Malzeme olarak ise beton ve donatıdan oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. Betonarmeden bahsedebilmek için bu iki malzemenin birliktelik oluşturması zorunludur. Bu birlikteliğin tam sağlanabilmesi için de beton ve donatının kendinden beklenen davranışı sergilemesi, diğer bir deyişle her birinin üzerine düşen görevi yerine getirmesi gerekmektedir. Bunun için beton ve donatının istenen özelliklere sahip olması aralarındaki kenetlenmenin (aderansın) tam olması gerekmektedir (Arslan, 2007).

Dolayısıyla, içine yerleştirilmiş her donatıyla beton mutlaka betonarme özelliği gösterecek diye bir kural yoktur. Örneğin, büzülme ve sıcaklık değişmesi nedeniyle oluşabilecek çatlakları önlemek amacıyla betonun içine donatı yerleştirilmesi ya da dış etkilere karşı korumak amacıyla çelik elemanların betonla kaplanması gibi durumlarda betonarmeden söz edilemez.

Beton ve donatının ayrı malzemeler olarak çeşitli etkiler altındaki davranışları ve performansları Tablo 1.1'de karşılaştırılmaktadır (Doğangün, 2007). Bu tablodan görülebileceği gibi, belirli bir etki için beton ya da donatıdan birinin performansı zayıf olurken, aynı etki için diğeri daha iyi bir performans gösterebilmektedir. Dolayısıyla bu iki malzeme, aralarındaki kenetlenme sağlanmak koşuluyla, birlikte kullanıldıklarında birbirlerinin eksikliklerini gidermektedir. Beton ve donatıdan oluşan ve betonarme olarak adlandırılan bu malzemede donatı; çekme etkilerinin, kısmen de kayma gerilmelerinin karşılanmasında etkili olduğu gibi, malzemenin sünek davranış göstermesine de katkıda bulunmaktadır. Beton ise basınç gerilmelerinin karşılanmasında etkili olduğu gibi, etrafını sararak donatının burkulmasını önlemekte, malzemenin dış ortama karşı dayanıklılığını ve yangın dayanımını arttırmaktadır.

Betonarmenin malzeme olarak kendinden beklenen davranışı, yapının ekonomik ömrü süresince gösterebilmesi için; bu konuda çalışacak olanların bilgi birikiminin yanında, proje mühendisinin, malzemeyi temin edenlerin, şantiye şefinin, kontrol mühendisinin ve üretimini gerçekleştiren işçilerin işbirliği yaparak gereken özeni göstermeleri zorunludur. Aksi halde, yapı inşa edildikten sonra betonarme kendisinden beklenen performansı göstermez, dolayısıyla da istenmeyen yapı davranış biçimleriyle karşılaşılabilir. Bunun sonucu olarak da, çeşitli hukuki sorunların yanında, can ve mal kaybı da meydana gelebilir.

Bağlayıcı özelliği olan puzolonik kül gibi malzemelerin Romalılar zamanından, muhtemelen de daha eski uygarlıklardan itibaren kullanılmasına rağmen 18. Yüzyıla kadar bağlayıcı malzemeler konusunda önemli bir gelişme olmamıştır (Erdoğan, 2003).

Tablo 1.1. Beton ve donatının çeşitli etkilere karşı performansı

Özellik	Beton	Donatı
Basınç dayanımı	Çelik kadar olmasa da yüksek basınç dayanımına sahiptir (bazen donatının katkısına ihtiyaç duyulur).	Çelik malzeme olarak yüksek basınç dayanımına sahiptir, ancak donatı çubuklarının basınç altında burkulma sorunu vardır (bu sorun nedeniyle betonun sarmasına ihtiyaç duyulur).
Çekme dayanımı	Çok düşük çekme dayanımına sahiptir (Bu zayıf yönünün telafisi için donatıya ihtiyaç duyulur),	Yüksek çekme dayanımına sahiptir.
Kesme dayanımı	Orta seviyelerde kesme dayanımına sahiptir (bazen donatının katkısına ihtiyaç duyulur).	Yüksek kesme dayanımına sahiptir.
Yangın dayanımı	İyi bir yangın dayanımına sahiptir.	Zayıf yangın dayanımına sahiptir. (Bu zayıf yönünün telafisi için betonun bir kalkan gibi korunmasına ihtiyaç duyulur)
Dış etkilere karşı dayanıklılığı	Dış etkilere karşı iyi bir dayanıklılığa (ömür uzunluğuna) sahiptir.	Dış etkilere karşı dayanıklı olmayıp, korozyona uğrama ihtimali yüksektir (Bu zayıf yönünün telafisi için betonun korunmasına ihtiyaç duyulur).
Süneklik özelliği	Gevrek bir malzeme olup, süneklik özelliği zayıftır (Bunun için donatının sünekliğine ihtiyaç duyulur).	süneklik özelliği oldukça iyidir.
Büzülme ve sünme etkisine karşı davranışı	Çeşitli koşullara bağlı olarak büzülme ve sünme meydana gelmektedir (Bunların etkisini azaltmak için donatıya ihtiyaç duyulur).	Büzülme ve sünme olayları gerçekleşmez.

Betonarme, ilk olarak 1848 yılında Lambot tarafından Seine nehrinde yüzdürülen küçük bir teknede (kano) kullanılmıştır. İnşaatta kullanılmasının başlangıcına ise 1861 de zincirlerin çevresine beton dökülerek gerçekleştirilen bir döşemede rastlanılmaktadır. Bugünkü anlamda betonarme inşaat yapmak üzere ilk patent 1857 yılında Fransa'da Versailles Sarayı bahçivanı J Monier tarafından alınmıştır. Monier kendi işinde kullandığı saksıların dayanımını arttırmak ve kalınlıklarını azaltmak için çelik bir kafes etrafına beton dökmeyi düşünmüş ve bu düşüncesini saksılarda deneyip başarıya ulaştıktan sonra su hazneleri ve döşemeler yaparak betonarmeyi yapım alanına sokmuştur. Daha sonra betonarme Almanya ve Avusturya'da geliştirilmiştir. 1880 yılında Berlin'de kurulan Wayss Şirketi önemli betonarme yapılar inşa etmeye başlamış, bu şirketin mühendisi Könen betonarmenin ilk kurallarını koymuştur. Aynı tarihlerde Amerika ve İngiltere'de, yangından korunmak amacıyla, betonarmeye geçiş sayılabilecek yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Bu ülkelerdeki uygulamalarda yapının esas sistemi çeliktir ve profillerin etrafı betonla kaplanmıştır. 1892 yılında Fransa'da Hennebique firması kendi geliştirdiği betonarme yapım tarzının patentini almış ve çeşitli ülkelerde yaptığı yapılarla ün kazanmıştır. Ancak betonarmenin yapıda büyük ölçüde kullanılmaya başlanması 20. yüzyılın başlarından önce olmamıştır.

1900 yılında Fransa' da betonarme inşaatı incelemek üzere bir komisyon kurulmuştur. Bu komisyonun uzun incelemelere ve sistematik deneylere dayanarak hazırladığı şartname 1905 yılında bitmiş, 1906 yılında yayınlanmış ve uzun süre yürürlükte kalmıştır. 1934 yılında bunu değiştiren ve görülen eksikleri tamamlayan başka bir şartname yayınlanmıştır. Bundan sonra da gelişmelere uyularak 1960 ve 1968 yıllarında yenilemeler yapılmıştır.

Almanya'da da benzer amaçlarla bir komisyon kurulmuş ve sistematik laboratuvar deneylerine dayanarak hazırlanan ilk şartname 1904 yılında yayınlanmıştır. Daha sonra, her keresinde bir önceki şartnamelerde gerekli değiştirmeler ve geliştirmeler yapılarak 1908, 1918, 1925, 1932, 1943 yıllarında yenilenmiş, daha sonra ekler, düzeltmeler yapılmış ve çeşitli araştırma sonuçlarına dayanarak yeniden hazırlanan ve esaslı değişiklik gerektiren bir şartname 1971 yılında yürürlüğe girmiştir (MacGregor, 1997).

Beton ve betonarmeyle ilgili konularda önemli sayılabilecek gelişmeler, tarih sırasına göre, aşağıda özetlenmektedir:

- F.Coignet'in 1801'de betonun çekmedeki zayıflığından bahseden ifadesinin yayınlanması

- John Smaeton'un 1756 yılında çimentoyu yeniden keşfetmesinden sonra ilk çimento fabrikasının 1848'de İngiltere'nin Kent şehrinde kurulması
- J.L.Lambot'un betondan 1848' de imal edip karesel bir ağ oluşturan demir çubuklarla tekneyi güçlendirmeye çalışması ve 1855' de Paris 'te bir sergide sergilenmesi
- F.Coignet'in 1855'de, bir bahçıvan olan J.Monier'in 1857'de betonarmeyle ilgili, bugünkü anlamda, patentler alması
- W.E.Ward'ın 1873'de, günümüze de kalan, betonarme bir konut inşa etmesi
- Koenen'in 1886'da beton yapıların teorisi ve tasarımıyla ilgili ilk kitabı yayınlaması
- İlk betonarme köprüünün 1889 da inşa edilmesi
- Neumann'ın 1890'da, çeliğin elastisite modülünün, betonunkine oranı olan modüler oranı önermesi nedeniyle, hesap yöntemlerindeki gelişmelerin hızlanması
- Bir Fransız firması olan Hennebique firmasının 1892' de geliştirdiği betonarme yapı tekniğinin patentini alması ve çeşitli ülkelerde inşa faaliyetlerine başlaması
- Türkiye'de ilk çimento fabrikasının 1911 de Darıca/Kocaeli'nde kurulması
- Dünyadaki en yüksek betonarme yapının 374 m yüksekliğinde 1992 de Hong Kong da inşa edilmesi

Yukarıdaki bilgilerden anlaşıldığı gibi 1800'lü yıllarda betonarmeye ilişkin önemli sayılabilecek gelişmeler olmasına rağmen, yaygın olarak kullanımı sağlanamamıştır. Hatta bu tekniğin uygulanabilir bir teknik olduğundan bile şüphe edilmiştir. Bunda betonarmeye ilişkin teorik çalışmalarda bir gelişme kaydedilememesi ve çelik elemanlar için hazırlanmış çizelgelerin betonarme elemanlara uyarlanmasındaki zorlukların etkisi bulunmaktadır. Ancak, 1900' lü yılların hemen başlarında, inşaat mühendisliği konularıyla uğraşan bilim adamları ve mühendisler, modüler oranı kullanarak, elastisite bağıntılarını betonarmeye uygulamışlar, teori ve pratikte önemli gelişmelere öncülük etmişlerdir. Bundan sonra da betonarme tekniği Dünya'ya yayılarak farklı ülkelerde bu teknikle yapılar inşa edilmeye başlamıştır. Betonarme yapıların hesap, tasarım ve inşası konularındaki sanatsal, bilimsel ve teknolojik gelişmeler özellikle 1950'lilerde, bugüne bile muhteşem kabul edilen, önemli yapıların inşasını mümkün kılmıştır.

Günümüzde dayanımın yaklaşık olarak donatı için 400 MPa (N/mm^2) beton için basınçta 140 MPa, çekmede 13 MPa değerlerine ulaşması, beton ve donatı arasındaki kenetlenmenin (aderansın) nervürlü donatı ve kaliteli betonla daha etkin bir şekilde sağlanması, davranışı daha iyi temsil eden hesap yöntemlerinin kullanılması ve daha önce inşa edilmiş yapılardan deneyimler kazanılması gibi nedenlerle, sanatsal ve teknik açıdan

üstün sayılabilecek betonarme yapıların Dünya'nın birçok yerinde inşa edildiğini görmek mümkündür.

Özellikle Türkiye'deki yapılarda son yıllarda en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesinin betonarme olduğu söylenebilir. Betonarmenin uygulamalarına hemen her alanda rastlamak mümkündür. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir:

- Bina inşaatlarında
- Köprü inşaatlarında
- Baraj inşaatlarında
- Sıvı deposu inşaatlarında
- Tünel inşaatlarında
- İstinat duvarı inşaatlarında
- Silo inşaatlarında
- Yol inşaatı sanat yapılarında
- Kanal ve sulama yapılarında
- Hiperbolik soğutucu ve baca inşaatlarında.

1.3.1. Betonarme Yapıların Yığma, Ahşap ve Çelik Yapılara Göre Üstün ve Zayıf Tarafları

Betonarme yapıların; yığma, ahşap ve çelik yapılara göre üstün tarafları:

- Rijitliğinin fazla olması: Rijitliği, ahşap ve çelik yapıların rijitliğine göre daha fazladır. Bu özellik sayesinde yapının kullanım aşamasında rahatsız edici titreşimler ve büyük yerdeğiştirmeler meydana gelmez.
- Ucuz olması: Çelik yapılara göre daha ucuzdur. Betonarme yapılar için kullanılan temel malzemeleri (agrega, su, çimento ve demir) çelik yapılarda kullanılan malzemelere göre daha kolay ve ucuza temin etme imkanı bulunmaktadır.
- Yangına dayanıklı olması: Yangın dayanımı, özellikle çelik yapıların yangın dayanımından daha fazladır. Normal bir yangın etkisinde kalmış betonarme yapılarda ağır hasar meydana gelmez. Oluşan hasar da genellikle onarılabilecek düzeyde kalır. Yangında ağır hasar, genellikle çelik yapılarda, zaman zaman da ahşap yapılarda meydana gelmektedir. Çelik 550–600 °C sıcaklıkta dayanımının tamamını kaybetmesine rağmen, beton basınç dayanımının yaklaşık %50 sini kaybetmektedir. Deneyler 30 mm kalınlığında net beton örtüsünün donatıları 1-2 saat, 50 mm kalınlığında net beton örtüsünün ise 3-4

saat, 600⁰ C civarında bir sıcaklığa karşı koruduğunu göstermektedir.

- Dış etkilere dayanıklı olması: Yapılara zarar veren dış etkilere karşı genellikle ahşap ve çelik yapılara göre daha uzun süre dayanabilir. Bu özeliğinden dolayı, toprak ve suyla temas halinde bulunan yapıların ya da yapı elemanlarının inşasında tercih edilmektedir. Bilindiği gibi, hava şartlarından özellikle su ve nemden korunmayan çelik yapılar paslanmakta, malzemesi uygun olmayan ve korunmayan ahşap yapılar ise çürümektedir. Bayındırlık Bakanlığı verilerine göre en düşük aşınma oranı, betonarme ve çelik yapılar için öngörülmektedir.

- Ömrünün uzun olması: Kullanım ömrü uygun koruma teknikleri ile korunmayan ahşap ve çelik yapılara göre daha uzundur. Betonun dayanımı zamanla arttığından ve dış etkilerden daha az etkilendiğinden ekonomik ömrü daha uzun olmaktadır. Betonarme yapılar diğerlerine göre daha yeni olduğundan ömür uzunluğu ile ilgili net değerler bulunmayıp, ekonomik ömrünün 100 yıl civarında olacağı tahmin edilmektedir. Diğer yapı türleri uygun malzeme ve koruma tekniği ile bu süreyi geçebilmektedir. Örneğin Samsun Çarşamba'da 800 yıllık ahşap yapıların varlığından söz edilmektedir.

- Elemanlara istenen şeklin verilebilmesi: İyi bir kalıp işçiliği sayesinde kabuk, kemer gibi çok değişik biçime sahip taşıyıcı sistemleri yapma imkanı bulunmaktadır. Bu özelliği sayesinde mimari açıdan tasarlanan ve inşası güç görülen yapıların bile inşası betonarme sayesinde mümkün olmaktadır. Diğer yapı malzemelerini kullanarak bu tür yapıların yapılması oldukça zor ya da imkansız olmaktadır.

- Bakımının kolay olması: Ahşap ve çelik yapılara göre daha az bakım istemektedir. Ahşap ve çelik yapıların belirli periyodik sürelerle koruyucu malzemelerle kaplanması gerekmektedir. Betonarme yapılarda ise buna gerek yoktur. Ancak, betonarme yapılara da bakım yapılmalıdır. Maalesef "betonarme yapılar bakım istemez" düşüncesi yayılmış ve betonarme yapılara genellikle hiç bakım yapılmamış, bunun sonucunda da yapılar hasar görmüştür. Bu nedenle betonarme yapıların yüzeysel ve yağış sularına karşı yalıtımı yapılmalı ve zamanla bakım gerektiren kısımlarının bakımı mutlaka yapılmalıdır.

- Elemanların birleşme sorununun olmaması: Ahşap ve çelik yapılarda elemanların birbirine bağlanma sorunu ortaya çıkmaktadır. Betonarme yapıların bir döküm (yekpare, monolitik) olarak inşa edilmesi halinde böyle bir sorunla karşılaşılmaz. Ancak prefabrik olarak inşa edilmesi halinde bu sorunla yine karşılaşılmaktadır.

- Dayanımının yüksek olması: Betonarme elemanların dayanımı aynı boyutlara sahip ahşap elemanların dayanımından daha yüksektir. Böylece daha yüksek yapı yapılabilir.

- İşçi bulmanın kolay olması: Son yıllarda betonarme yapılar yaygın olarak inşa edildiğinden, bu yapılardan anlayan işçileri bulmak daha kolay olmaktadır. Bu durum hiçbir zaman betonarme yapıların deneyimi ve sertifikası bulunmayan vasıfsız işçilerle inşa edilebileceği anlamına gelmemelidir. Projesi ne kadar mükemmel olursa olsun onu pratik hayata geçirecek olan işçilerdir.

Betonarme yapıların ; kargir , ahşap ve çelik yapılara göre zayıf tarafları :

- Ağır olması: Ahşap ve çelik yapılara göre daha ağırdır. Eleman boyutlarının çelik yapılara göre büyük olması nedeniyle deprem bölgelerinde yapılacak yapılara etkileyen deprem yükü daha büyük olacaktır. Diğer taraftan, kendi ağırlığının fazla olmasından dolayı büyük açıklıkların geçilmesi ekonomik olarak uygun olmaz. Ağır olmasından kaynaklanan sakıncasını ortadan kaldırmak amacıyla, betonarme yapılarda hafif agregalı beton kullanma yoluna gidilmektedir. Ancak hafif betonun dayanımının geleneksel betona göre düşük olması, bu düşünceyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda, hiç olmazsa taşıyıcı olmayan elemanları hafif malzemelerden yapmak, özellikle balkon ve çatılarda korkuluk amacıyla inşa edilmiş beton duvarlardan kaçınmak gerekmektedir.

Betonarme yapılara ağırlığının fazla olmasından dolayı büyük yüklerin gelmesi, bunların depremde diğerlerinden daha kötü davranış gösterdiği anlamına gelmez. Ancak, özellikle 1999 Depremlerinden sonra betonarme yapıların depreme dayanıklı olmadığı, hatta betonarmenin artık çağını doldurduğu imajı verilmeye çalışıldı. Ancak, çelik yapılar da, betonarme yapılar da, ön üretimli betonarme yapılar da, ahşap yapılar da iyi tasarlandığı ve iyi denetlendiği zaman depreme dayanıklı olabilir. Tasarım aşamasında iyi bir taşıyıcı sistem seçilmezse, tasarım bilinçsiz yapılırsa ve yapımda etkili bir denetim sağlanmazsa, bina çelik de olsa, betonarme de olsa depremde hasar görmesi kaçınılmazdır. ABD' deki Northridge ve Japonya'daki Kobe Depremlerinden sonra yazılan raporlar incelendiğinde, çelik binaların da betonarme binalar gibi hasar gördüğü görülebilir. Yönetmeliklere uyularak ve mühendislik sağduyusu kullanılarak betonarme yapıların inşasına gerekli özen gösterilirse, bu yapıların depreme dayanıklılık bakımından çelik yapılardan hiç de geri kalmayacağı belirtilebilir.

- Kaliteyi tutturmak zahmetlidir: Çelik ve ahşap yapılarda elemanların özellikleri şantiye şartlarında genellikle değişmez. Ancak, betonarme yapılarda özellikle beton için üretim, yerleştirme ve kür işlemleri son derece önemli olmaktadır. Bunların birinde gerçekleşecek bir ihmal, betonun kırılarak yeniden dökülmesine bile yol açabilir.

- Kusurların sonradan belirlenmesi zordur: Yapı inşa edildikten sonra kusurların ve

projesine uygun olarak inşa edilip edilmediğinin belirlenmesi zor ve zaman alıcı olmaktadır. Kesit boyutları ölçülerek kısmen kolay bir şekilde belirlenebilmekte, ancak özellikle donatının konum, düzen ve miktarı zor belirlenebilmekte ve oldukça fazla zaman almaktadır. Beton dayanımının, donatı konum ve düzeninin belirlenmesinde tahrip edici yöntemlere başvurmak gerekebilmekte, dolayısıyla da yapıya zarar verilmektedir.

- Güçlendirilmesi zordur: Betonarme yapıların onarım ve/veya güçlendirilmesi (takviye edilmesi) ahşap ve çelik yapılara göre daha zor olmaktadır: Eğer yapı ağır hasar görmüşse, yıkıp yeniden yapmak bazen onarım ve/veya güçlendirmekten daha ekonomik olmaktadır.
- Malzeme yeniden kullanılamaz: Betonarme yapıları, ahşap ve çelik yapılar gibi, yıkarak malzemeyi yeniden kullanma imkanı yoktur. Donatıyı hurda demir olarak, betonun parçalanmış halini dolgu malzemesi olarak kullanma imkanı olsa da bu işlemleri gerçekleştirmek oldukça zahmetlidir. Diğer taraftan betonarme bir yapının yıkılması komşu yapılarda yaşayanlar için rahatsız edici olduğu gibi, tehlikeli de olabilir.
- İnşa süresi uzundur: Yapının bir döküm olarak inşa edilmesi halinde yapım süresi, ahşap ve çelik yapıların süresine göre genellikle daha uzundur. Çünkü ahşap ve çelik yapılarda elemanları önceden atölyelerde yapma ve inşa alanında birleştirme imkanı vardır. Bu imkan betonarme elemanlardan prefabrike olarak inşa edilen yapılarda bulunmasına rağmen bir döküm olarak inşa edilenlerde bulunmamaktadır.
- Kalıp maliyeti fazladır: Bir döküm betonarme yapıların iskele ve kalıp masrafları ahşap ve çelik yapılara göre çok fazladır. Bu maliyeti düşürmek için uzun süre kullanılabilir ve pratik olarak uygulanabilecek kalıp sistemleri geliştirilmektedir.
- Çatlaklar oluşabilir: Büzülme ve sünmeden dolayı kaçınılmaz sayılabilecek çatlaklar oluşmakta, bu da görünümü olumsuz yönde etkilemektedir. (Doğangün, 2007).

Özetle bir malzemeyi (betonarme, çelik, ahşap, kargir) ön plana çıkararak her yönüyle üstün göstermek gerçekçi değildir. Betonarmenin üstün yanları olduğu gibi, diğer yapı sistemlerinin de betonarmeye göre üstün yanları bulunmaktadır. Örneğin ahşap yapıların özellikle deprem yönünden betonarme yapılara göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Ahşap, betonarme, yığma ya da çelik olsun, yapıların deprem davranışlarını ön yargısız ve bilimsel bir yaklaşımla irdelemek ve yorumlamak gerekmektedir. Dolayısıyla bütün yapı sistemleri, artıları ve eksileriyle birlikte konut piyasasında bir seçenek olmalı ve böylece kişiler istediği yapı malzemesini tercih edebilmelidir.

Beton ve çeliğin bileşik bir yapı malzemesi olarak birlikte kullanılabilirleri aşağıda

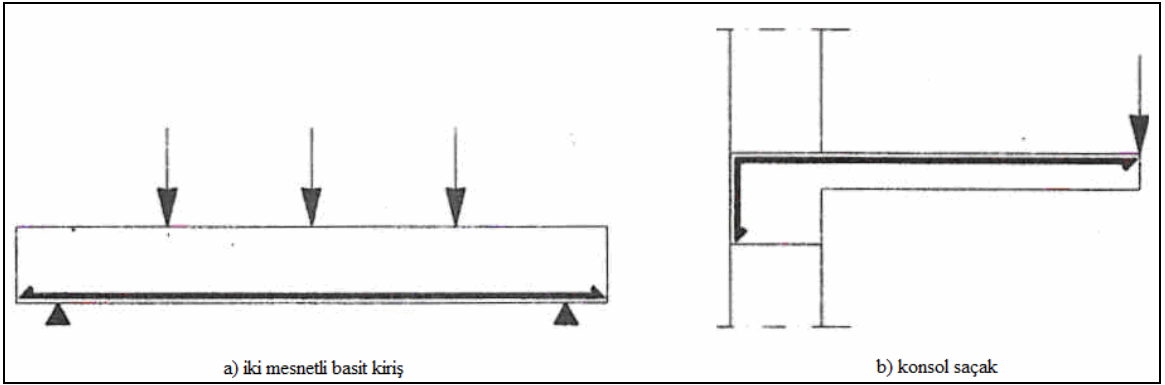
belirtilen bazı fiziksel özelliklerin varlığı sayesinde (Aka vd.,2001):

a) Beton çeliği pastan korur; böylece çelik için önceden bir önlem almak ya da daha sonra bakım gerekmez.

b) Betonla, dökülürken içinde bulunan çelik çubuklar arasında bir bağlantı, aderans, meydana gelir. Böylece çelik ve beton beraber uzar ya da kısalırlar, başka bir deyişle birlikte çalışırlar.

c) Çelik ve betonun sıcaklıkla uzama katsayıları yaklaşık olarak aynıdır. Sıcaklık değişince aralarındaki bağlantı bozulmaz, zararlı gerilmeler ortaya çıkmaz.

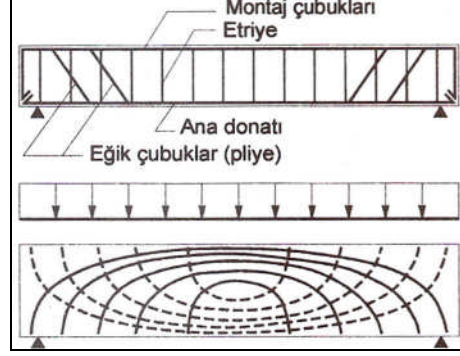
Betonarme yapılarda çelik çekme gerilmelerini karşılamak için kullanıldığına göre, örnek olarak düşey yük etkisindeki iki mesnetli bir basit kirişte (Şekil 1.1.a) çelik donatının alt kısma konulmasına karşılık, bir konsol saçakta ya da balkon döşemesinde (Şekil 1.1.b) çekme gerilmeleri elemanın üst kısmında olduğundan çelik çubukların üste konulması gerekir.



Şekil 1.1. Bazı yapı elemanlarında dış yüklerden oluşacak çekme gerilmelerini karşılamak üzere çelik donatı konulması (Aka vd.,2001)

Betonarme yapılarda kesme ve kayma gerilmelerini karşılamak için de çelikten yararlanılır. İki mesnetli bir kiriş (Şekil 1.1.a) yalnız alt kısma konulan düz çubuklarla donatılırsa, kirişe etkiyen yük çoğaldığında kesme ve kayma gerilmeleri etkisi ile mesnetlere yakın bölgelerde yaklaşık olarak 45° eğimli çatlaklar oluşur. Bunu önlemek için alta konulan düz çelik donatının bir kısmını 45° eğimde, çatlak doğrultusuna dik olarak, kıvrımak gerekir. Ayrıca boyuna donatıya dik doğrultuda, betonlama sırasında ana donatının istenen yerde kalmasını sağlamak amacıyla konulan ve etriye olarak adlandırılan enine donatı kesme ve kayma gerilmelerini karşılamada da yararlı olur. Bütün donatıyı rijit

bir duruma getirmek üzere montaj çubukları da eklenince bir betonarme kiriş ortaya çıkar (Şekil 1.2).



- Basınç gerilmesi yörüngeleri
- - Çekme gerilmesi yörüngeleri

Şekil 1.2. İki mesnetli basit kirişte donatı ve oluşan asal gerilme yörüngeleri (Aka vd.,2001)

İki mesnetli basit kirişte asal gerilme yörüngeleri (Şekil 1.2) gözönüne alınırsa, çelik çubukların kesik çizgi ile gösterilen çekme gerilmesi yörüngeleri boyunca düzenlenmesinin daha uygun olacağı açıktır. Ancak uygulanması çok güç olan ve yüklemeye bağlı kalan bu biçim yerine düz ve eğik çelik çubuklar kullanılıncaya eğilme ve kayma etkilerine aynı derecede karşı koyduğu deneylerle saptanmıştır. Bu bakımdan uygulanması çok daha basit olan birinci şekil kullanılır.

Sonuç olarak betonarmenin, basınç gerilmelerini betonun, çekme gerilmelerini çeliğin, kesme ve kayma gerilmelerini de beton ve çeliğin birlikte karşıladıkları, masif ve uzun ömürlü yapılar meydana getirmeye yarayan ekonomik bir yapı malzemesi olduğu söylenebilir (Aka vd.,2001).

1.4. Kolon Çeşitleri

Betonarme kolonlar, türlerine göre çeşitli kesit şekilleri alabilen, doğru eksenli, genellikle prizmatik çubuklardır. Betonarme kolonları, içlerinde bulunan boyuna çelik donatının niteliğine ve bu boyuna donatıları bir arada tutan enine bağlantıların türlerine göre

- 1 - Fretli kolon
- 2 - Etriyeli kolon
- 3 - Bileşik kolon
- 4 - Boru kolon

olarak dört çeşide ayrılırlar.

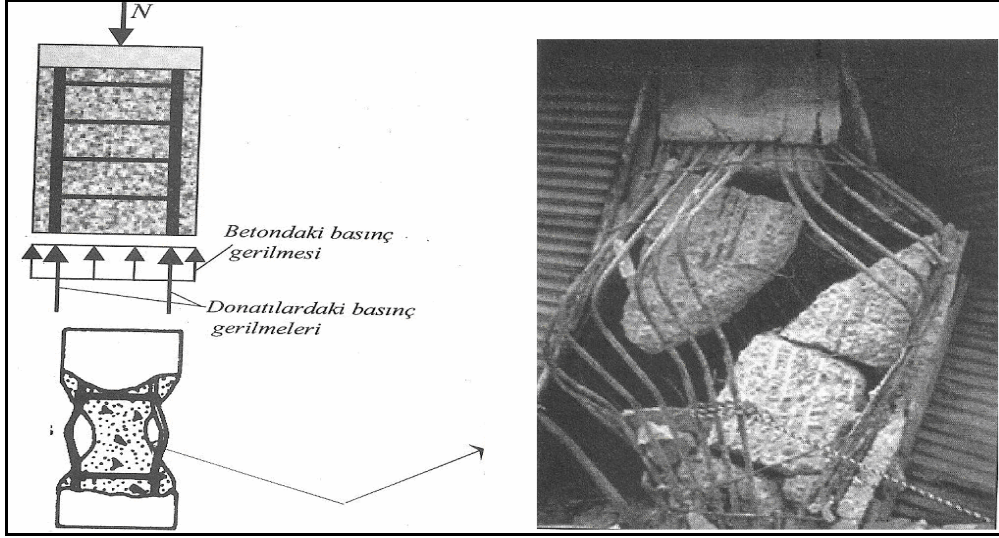
Bu betonarme kolon türlerinden, etriyeli ve fretli kolonlar uygulamada en çok karşılaşılanlardır.

Betonarme kolonların hesaplanmalarında kolon boyunun etkisi çok önemlidir. Kolon boyu, belirtilecek sınırları aştığında burkulma sorunu ile karşılaşılır ve hesabın bu sorunu da kapsayacak şekilde genişletilmesi gerekir. Bu arada sınır koşullarının da kolon dayanımı üzerinde büyük ölçüde etkisi vardır.

1.4.1. Fretli Kolonlar

Betonarme bir kolon aksenal basınç yükü etkisinde kaldığı zaman, bu yük beton ve donatıda basınç gerilmeleri oluşturmaktadır. Etriyeli kolonda basınç yükü arttığında betonda ezilme meydana gelmekte ve kopan betonlar nedeniyle boşalan kısımlardan boyuna donatılar burkulmaktadır (Şekil 1.3). Etriye, tekniğine uygun olarak sık bir şekilde yerleştirilirse boyuna donatıların burkulma boyları azalacak, dolayısıyla da donatılar ancak daha büyük yüklerde burkulacaktır. Dolayısıyla tekniğine uygun yerleştirilmiş sık etriyeli kolon daha sünek davranacak, muhtemelen de depremi daha az hasarla atlanmasına neden olacaktır.

Kolonlarda etriyelerin sık yerleştirilmesi, deprem davranışları için olumludur, ancak yeterli değildir. Etriye kancaları Şekil 1.3'deki gibi tekniğine uygun olarak yapılmayıp kancalar 90° kıvrılırsa, depremde etriyeler çok kolay bir şekilde açılacak ve kolonun kırılmasına neden olacaktır. Kancalar 135° kıvrılırsa kolay bir şekilde açılmayacak ve etriye tasarımı kendinden beklenen davranışı deprem esnasında gösterecektir. Şekil 1.4' de etriye aralığının yetersizliğinden dolayı boyuna donatılarda burkulma görülmekte, ancak kesmenin de etkisiyle etriye kesilene kadar çalışmış ve yapı yıkılmaktan kurtulmuştur. (Topçu, 2007).



Şekil 1.3. Etriyeli bir kolonun davranışı (Doğangün, 2007)



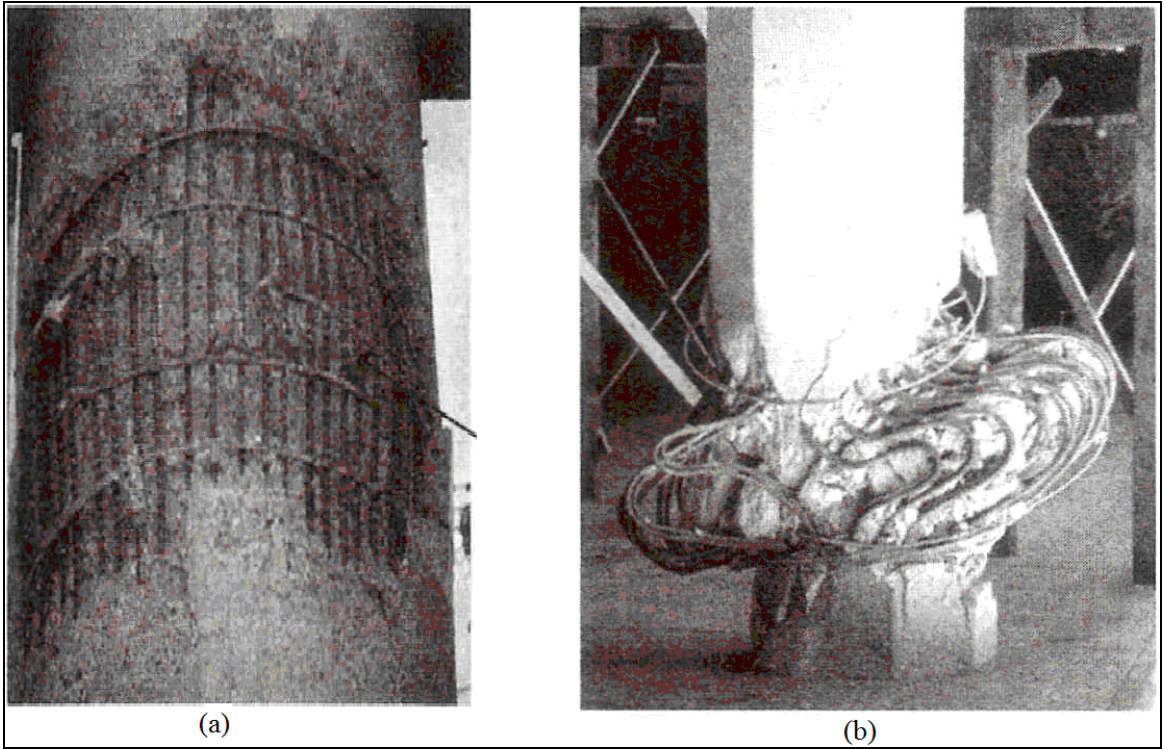
a- depremde etriyelerin kolayca açılması b- depremde etriyelerin kesilene kadar çalışması

Şekil 1.4. Etriye kancalarının kolon davranışına etkileri (Doğangün, 2007)

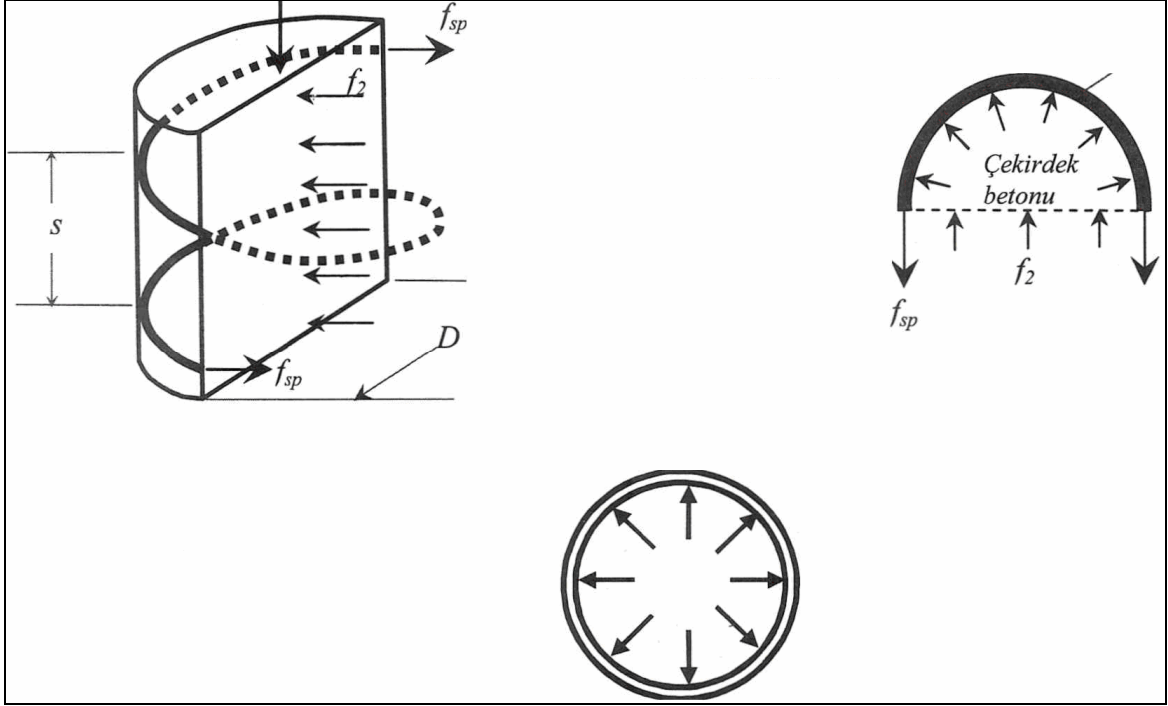
Fretli kolonlarda basınç yükü arttığında ilk olarak çekirdek alanı dışındaki beton örtüsü dökülmektedir. Sargı donatısı çekirdek betonuna basınç uygulayarak, kolonun hem dayanımına hem de sünekliğine katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla etriyeli kolonların ağır hasar gördüğü depremi, aynı etkiye maruz fretli kolonların sadece hafif hasarla atlama ihtimali yüksektir. Kolona etkiyen yükün çok aşırı artması durumunda fretli kolonlar da

kırılacaktır, ancak kırılma etriyeli kolonlardaki kadar gevrek bir şekilde olmayacak, daha sünek bir şekilde gerçekleşecektir.

Fretli kolonlarda etriyelerin açılması gibi bir durumla karşılaşılmaz. Çünkü sargı donatısı spiral olarak kolonun çekirdek alanını sarmaktadır. Çekirdek alanındaki dışa doğru olan basınç, sargı donatısında çekme gerilmesi oluşturmaktadır. Dolayısıyla da sargı donatısı, ancak kopması durumunda görevini terk etmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, etriyeli kolonlarda etriyelerin açılması ya da etriye eksenine dik olarak uygulanan kuvvet nedeniyle, etriyelerin dışa doğru eğilerek şişmesi gibi bir davranışla fretli kolonlarda karşılaşılmaz. Bu nedenlerle depremlerde, fretli kolonların, etriyeli kolonlara göre daha iyi bir performans gösterecekleri söylenebilir. Ülkemizde son zamanlara kadar çok nadir olarak kullanılmış olmasına rağmen son yıllarda geçirdiğimiz büyük depremlerden sonra daha fazla fretli kolon tasarımı yapılmaya başlanmıştır.



Şekil 1.5. Fretli kolonların deprem davranışları, a – çekirdek betonu dışındaki beton kısmı dökülmüş, b – aşırı yük etkisinde kırılmış ancak yine de ayakta kalmış (Doğangün, 2007)

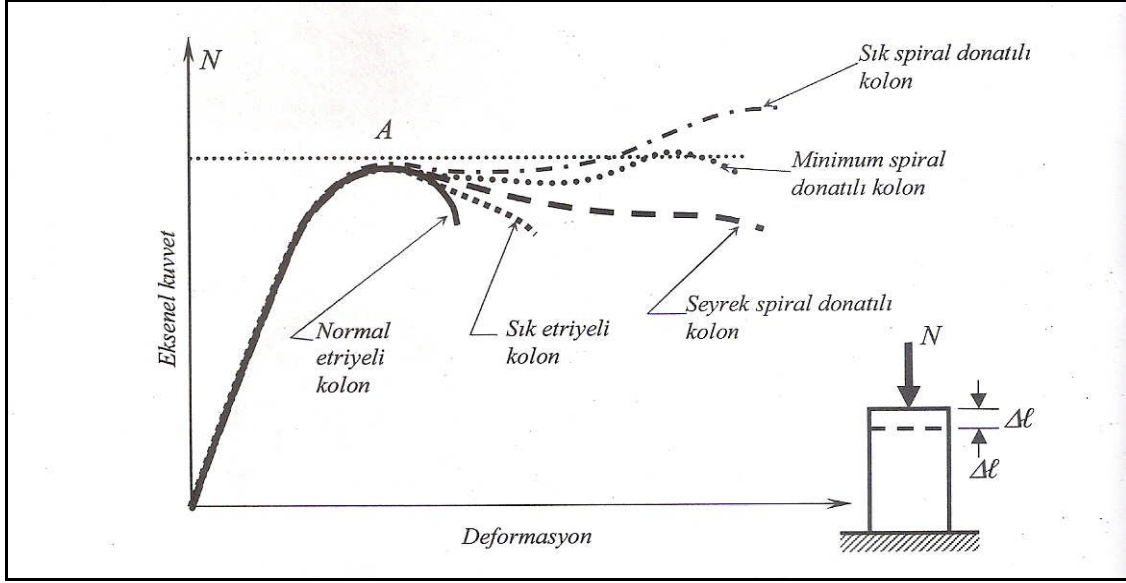


Şekil 1.6. Enine donatının fretli kolonlarda sargı etkisi yapması

Etriyeli ve fretli kolonların aksiyel basınç etkisindeki yük-deformasyon diyagramı Şekil 1.7'de görülmektedir. Bilindiği gibi, uygulamada karşılaşılsa da, etriyesiz bir kolonun davranışı, donatısız betonun davranışına benzemektedir. Diğer taraftan etriye, kolona tekniğine uygun olarak yerleştirilmezse, bu kolonların davranışları da betonun davranışından pek farklı olmayacaktır.

Kolona etriye tekniğine uygun olarak yerleştirildiğinde, kolonun sünekliği artmakta, ancak dayanımda aynı oranda bir artış beklenmemelidir. Diğer taraftan etriye sıklaştırıldığında, sargılama etkisi artacak, ancak dayanımda yine kayda değer bir artış gerçekleşmez. Süneklik için ise olumlu yönde oluşacak artış gerçekleşecek ve bu da genel olarak yapının sünek davranış göstermesine katkıda bulunacaktır.

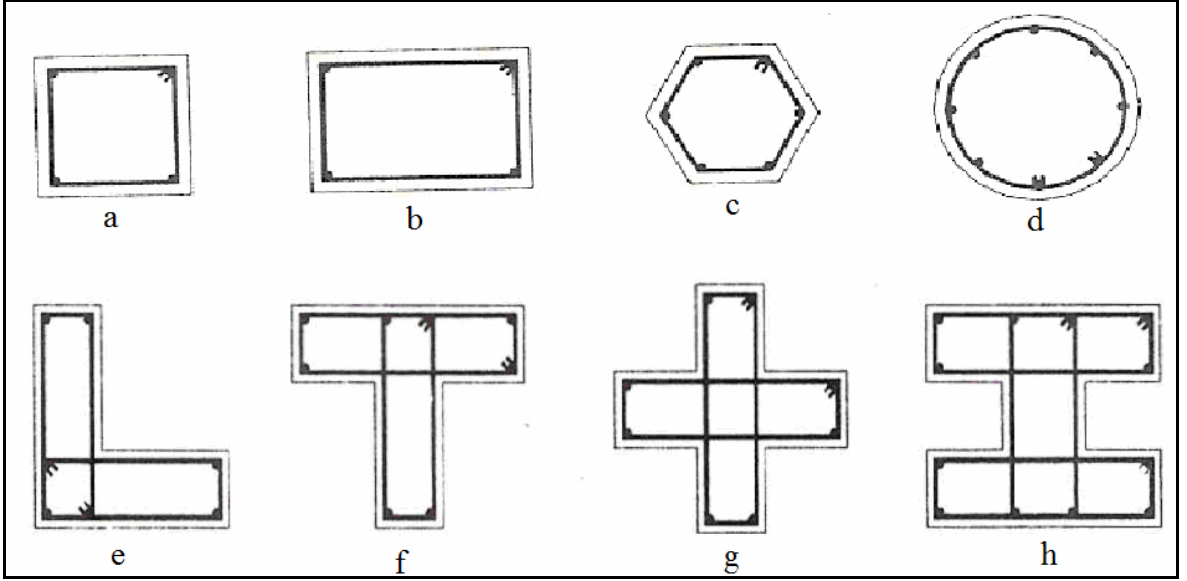
Fretli kolonlarda Şekil 1.7'den görüldüğü gibi süneklik normal etriyeli kolonlara göre önemli derecede artmaktadır. Diğer taraftan fretli kolonlarda sık spiral donatı kullanıldığında sünekliğin artması yanında dayanımda da bir artış olmaktadır. Bu durumda ikinci tepe noktası daha yüksek bir yük düzeyine çıkabilmektedir. (Doğangün, 2007)



Şekil 1.7. Etriyeli ve fretli kolonların merkezi yük altında davranışı

1.4.2. Etriyeli Kolonlar

Yapılışlarındaki basitlik ve çelik işçiliği istememeleri bakımından uygulamada en sık karşılaşılan betonarme kolonlardır. Boyuna donatı çelik çubuklardan oluşur ve bu çubuklar belirli aralıklarla konulan enine doğrultudaki etriyelerle birbirlerine bağlanır. Değişik sorunları çözmek amacıyla çok çeşitli enkesit biçimlerinde olabilirler (Şekil 1.8). En çok kullanılan enkesit biçimleri kare ve dikdörtgendir. Ancak mimari nedenlerle serbest hacimlerde düzgün çokgen ya da daire şekillerinde yapılabilecekleri gibi, yüksek yapıların alt katlarında yararlı hacimleri bozmamaları için, dolgu duvarları içinde kalacak L, T, + ve benzeri biçimleri de alabilirler (Celeb vd.1998).



Şekil 1.8. Etriyeli kolon enkesit çeşitlerinden bazıları

Basınç kuvveti ya da basınç ağırlıklı bileşik eğilme etkisinde bulunan basit etriyeli bir kolonun eksenini doğrultusundaki çelik çubuklar betonla birlikte bu kuvvete karşı koyarlar. Kolonda, yükü taşıyan boyuna çubuklardan başka, kesit içinde boyuna çubukların çevresini saran ve etriye adı verilen enine donatı da bulunur. Köşeler arasında da boyuna donatı bulunması durumunda bu çubuklar ek etriyeler ya da karşılıklı olarak tek kollu çirozlarla bağlanmalıdırlar. Kolonlarda momentler dolayısıyla oluşan kesme kuvvetini taşımaya yardımcı olan etriyelerin, betonlama sırasında boyuna çubukların yer değiştirmemesini sağlamak, yine boyuna donatının burkulma boyunu azaltmak ve parçalanmayı önleyerek betonun dayanımını prizma dayanımı düzeyinde tutmak gibi görevleri de vardır. (Aka vd., 2001)

1.4.3. Bileşik (Kompozit) Kolonlar

Beton içine gömülü bir çelik kolon ile ayrıca boyuna ve enine donatılardan meydana gelirler

1.4.4. Boru Kolonlar

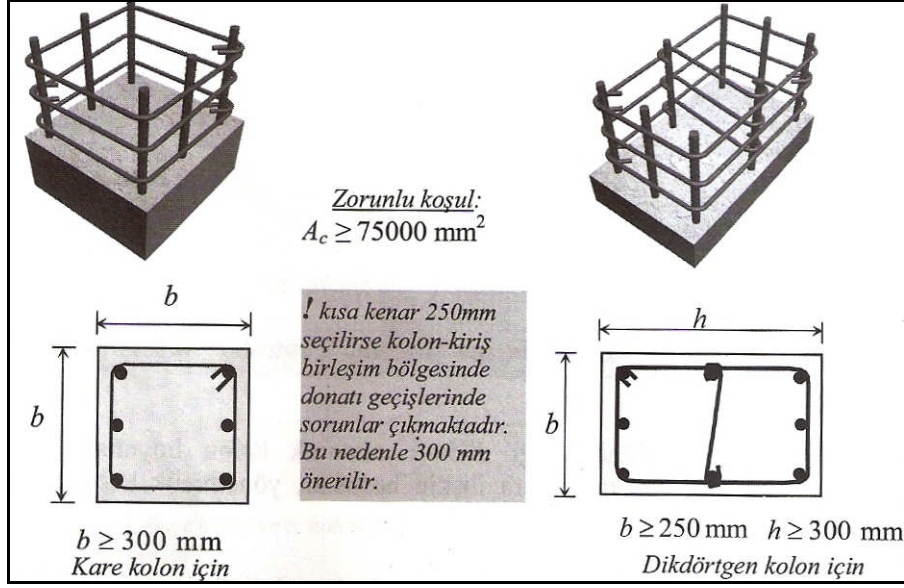
Betonla doldurulmuş çelik borulardan oluşurlar. Boru yerine çelik profiller de kullanılabilir. Bunlar çelik inşaat sayılabilir ve bu nedenle çelik yapılara ait şartnamelerde verilen kurallara uymalıdırlar.

1.4.5. Kolon Boyutları ve Donatılarına İlişkin Yönetmeliklerdeki Koşullar

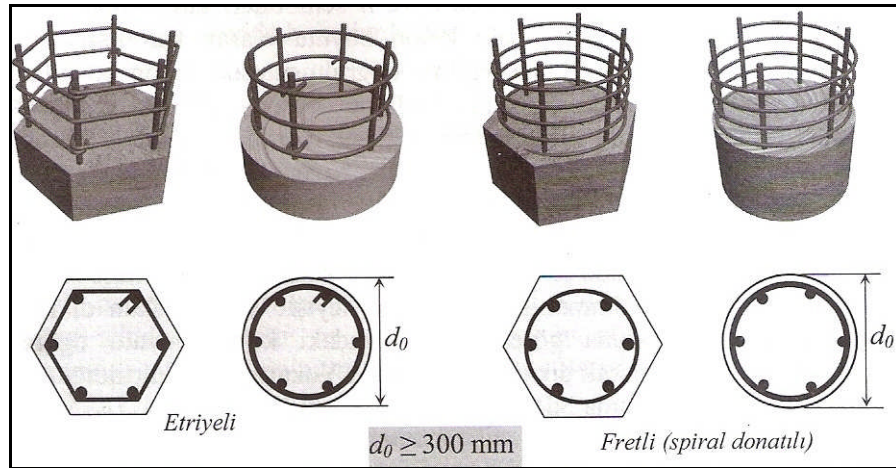
TS 500 ve Deprem Yönetmeliği dikkate alınarak kolon boyutlarına ve kolonlara yerleştirilecek donatılara ilişkin hususlar aşağıda belirtilmiştir.

Kolon enkesit boyutları için TS 500 ' de b ve h sembolleri kullanılmış olup, bunlardan h eğilme doğrultusundaki kolon boyutu olarak tanımlanmıştır. Kolon tek başına düşünülduğünde, eğilme doğrultusundaki kolon boyutunu büyük seçmek uygun olacaktır. Ancak, özellikle deprem davranışı açısından yapının her iki doğrultudaki rijitliklerinin yaklaşık olarak eşitlenmesi ilkesine göre, kolonların tamamı dikkate alındığından, bazen hesap yapılan eğilme doğrultusundaki boyutu küçük olabilir. Kolonun bir doğrultuda eğilme etkisinde kalması durumunda bir eğilme doğrultusu bulunduğundan, bu doğrultudaki kolon boyutu ister küçük olsun isterse büyük olsun h olarak dikkate alınmalıdır. Diğer bir deyişle yatay yükün dikkate alınan etkime doğrultusuna göre, o doğrultudaki kolon boyutu eğilme doğrultusundaki boyut olarak dikkate alınacaktır. Yukarıda da belirtildiği gibi köşe kolonları, iki doğrultuda bileşik eğilme etkisindedir.

Dikdörtgen kesitli kolonlarda kesit genişliği 250 mm den az olamaz. Kesiti dikdörtgen olmayan I , T , L gibi kesitlere sahip kolonlar için kesit genişliği 200 mm, kutu kesitlerde ise en küçük kalınlık 120 mm alınabilmektedir. Daire kesitli kolonlarda kolon çapı 300 mm den daha küçük seçilemez. Kolon kesitlerine ilişkin minimum boyutlar Şekil 1.9 ve 1.10' da görülmektedir.



Şekil 1.9. Kare ve dikdörtgen kesitli kolonların enkesit boyutlarına ilişkin koşullar (Doğangün, 2007)



Şekil 1.10. Çokgen ve dairesel geometrik kesitli kolonların enkesit boyutlarına ilişkin koşullar (Doğangün, 2007)

Deprem Yönetmeliğinde dikdörtgen kesitli kolonların enkesit alanının 750 cm^2 den az olamayacağı koşulu bulunmaktadır. Bu durumda kolon kare olarak düşünülse, kolon boyutları $274 \text{ mm} \times 274 \text{ mm}$ olarak dikkate alınabilir. Ancak, bu değerler pratik olmayacağından minimum kolon boyutlarını, $250 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ olarak akılda tutmak daha pratik olacaktır. Ancak donatı yerleştirme açısından 250 mm 'lik kenarın hiç de yeterli olmadığı uygulamada çalışan mühendisler tarafından gayet iyi bilinmektedir. Bu nedenle küçük boyutu en az 300 mm almak kiriş donatılarının yerleştirilmesi açısından uygun

olmaktadır (TS500).

Kolon enkesit alanı (A_c), tasarım aksenal kuvveti ve betonun karakteristik basınç dayanımına bağlı olarak, sünek davranış için, aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$A_c \geq \begin{cases} \frac{N_{dm}}{0.5f_{ck}} \left(= \frac{N_{dm}}{0.75f_{cd}} \right) & \text{Deprem Yönetmeliği Koşulu} \\ \frac{N_d}{0.6f_{ck}} \left(= \frac{N_d}{0.90f_{cd}} \right) & \text{TS500 Koşulu} \end{cases} \quad (1.1)$$

1.4.5.1. Kolonlarda Boyuna Donatı

Bir kolondaki toplam boyuna donatı miktarı, hesap sonucunda belirlenen donatılardan ve hesap sonucu belirlenmeyen ancak yönetmelik gereği yerleştirilmesi zorunlu olan donatılardan oluşmaktadır. Toplam boyuna donatı; kesit boyutlarına ve etkileyen kesit etkilerine göre çekmeye ve basınca çalışan boyuna donatıların hepsini kapsamaktadır. Kolona yerleştirilen toplam boyuna donatıların alanı A_{st} sembolü ile gösterilmektedir.

Kolona yerleştirilecek olan boyuna donatının çapı 14 mm den daha az olamaz. Boyuna donatı çapı için bir üst sınır bulunmamakla birlikte, literatürde 26 mm den daha büyük çubukların kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Fretli ve etriyeli dairesel kesitli kolonlarda en az $6\phi 14$, kare ya da dikdörtgen kesitli kolonlarda ise $4\phi 16$ ya da $6\phi 14$ donatının bulunması zorunludur. Bunlardan $6\phi 14$ 'ü dikkate almak, etriye kolları arasında bırakabilecek en büyük açıklık koşulunun sağlanması bakımından daha uygun olmaktadır.

Kolonlarda boyuna donatı oranı (ρ_t) toplam boyuna donatı alanının (A_{st}), kolon enkesit alanına (A_c) bölümüyle belirlenmektedir.

Donatı oranının; kolonun donatısız beton eleman gibi kırılmasını önlemek ve sünek davranmasını sağlamak için belirli bir değerden az olmaması gerekmektedir. Bu amaçla kolonlarda toplam boyuna donatı oranı (ρ_t), aşağıdaki koşulu sağlamalıdır:

$$\rho_t \geq 0,01 \quad (1.2)$$

Bu koşul dışında TS 500 de $0,01 A_c$ dikkate alınarak yerleştirilecek donatı alanının, hesap sonucu bulunan gerekli donatı alanının 1,3 katından daha büyük olması durumunda donatı oranının 0,005'e kadar indirilebileceğini öngörmektedir. Söz konusu durumla iç kolonlarda karşılaşma olasılığı daha yüksektir. Büyük bir etki alanına sahip ve ağır yükleri n etkisindeki bir iç kolonlarda, düşey yükler dikkate alınarak belirlenen enkesit boyutları oldukça büyük olacaktır. Aynı kolon için yatay yükler de dikkate alınarak yapılan yapısal çözümlemede çok küçük eğilme moment değeri hesaplanmışsa, bu momente göre belirlenen boyuna donatı az olacaktır. Bu kolon için $0,01 A_c$ koşuluna göre, enkesit boyutlan çok büyük olduğundan, çok fazla boyuna donatı gerekli olacaktır. Örneğin 1 m kenar uzunluklarına sahip kare bir kolona $0,01 A_c$ koşulu için 10000 mm^2 donatı alanı gerekli olmaktadır. Bu durumda donatı çapı 14 mm seçilse 65 adet donatının yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu kolon için eğilme momenti de dikkate alınarak hesap sonucu belirlenen donatı ise 10914 olabilir. Bu durumda 0,005 koşuluyla yerleştirilecek boyuna donatı (65 adet donatı) azaltılabilir. Ancak deprem yönetmeliğinde bu şekilde bir azaltma sözkonusu değildir.

TS 500 de eğilme momentıyla birlikte aksel çekme de taşıyan elemanların hesabında, aksel çekme etkisinin ihmal edilemeyeceği belirtilmektedir. Bütün kesitin çekmeye çalıştığı durumlarda, elemandaki boyuna donatı oranı, aşağıdaki koşulu sağlamalıdır:

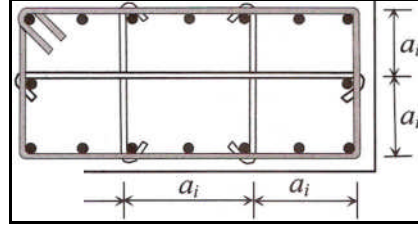
$$\rho_t \geq 1,5 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (1.3)$$

Kolona betonun rahatça yerleştirilebilmesi ve kesitte aşırı donatıdan dolayı basınç bölgesindeki betonun ezilmesini engellemek (daha sünek davranmasını sağlamak) için boyuna donatı oranına bir üst sınır getirilmektedir. Boyuna donatı oranının maksimum sınırları(TS500):

Bindirme bölgeleri dışında $\rho_t \leq 0,04$

Bindirme bölgelerinde $\rho_t \leq 0,06$

Dikdörtgen kesitli kolonlarda etriye ya da çirozla tutulmuş olan boyuna donatı çubukları arasındaki uzaklık diğer bir deyişle etriye kolları ve/veya çirozlar arasındaki mesafe, enine donatının serbest boyunu azaltmak ve yanal basınç sağlamak amacıyla, 300 mm den fazla olamaz (Şekil 1.11). Burada a_i 'nin boyuna donatılar arasındaki mesafe olmadığını belirtmek uygun olmaktadır.



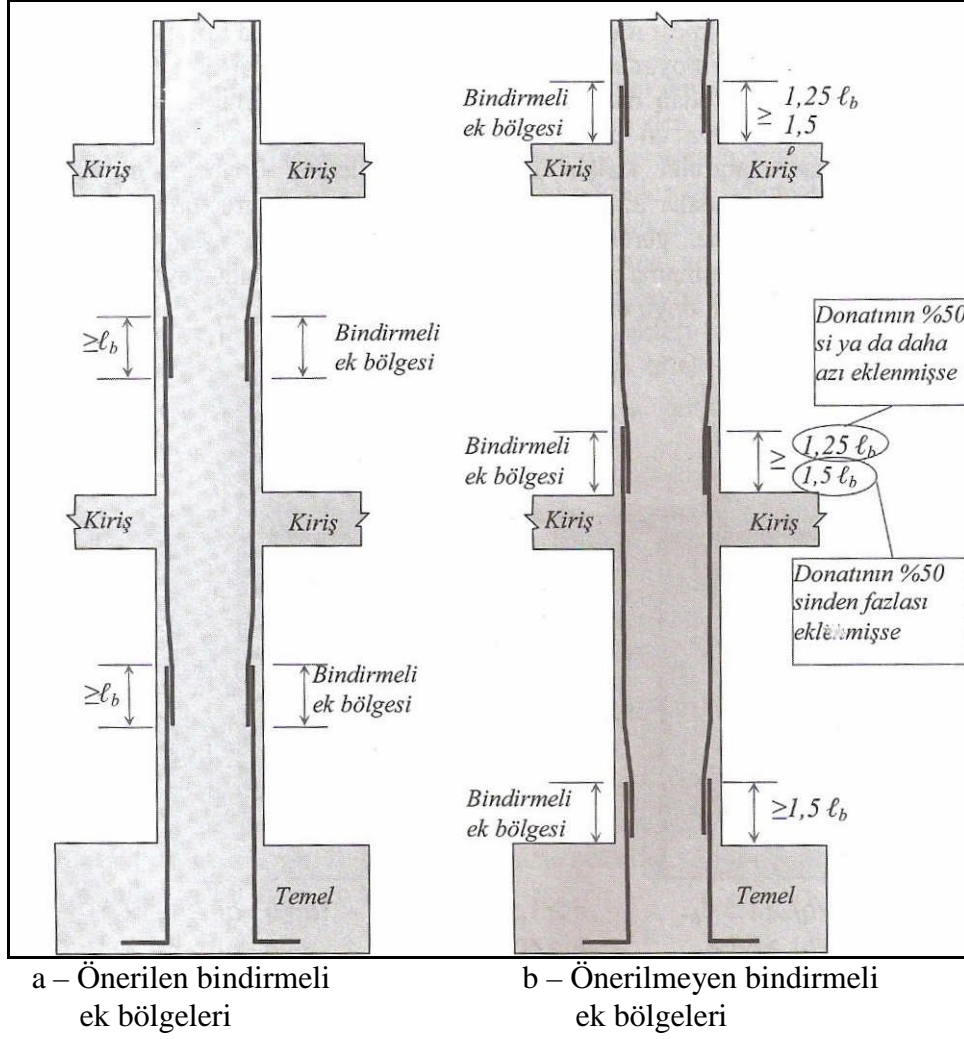
$$a_i \leq \begin{cases} 25 \cdot \phi_w \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$$

ϕ_w : enine donatı çapı

Şekil 1.11. Etriye kolları ve çirozlar arasındaki en büyük mesafe

Kolonlarda boyuna donatıların ekleri genellikle bindirmeli olarak yapılmakta, bazı özel durumlarda manşonlu ya da kaynaklı ek tercih edilmektedir. Boyuna donatılarının bindirmeli ekleri mümkün olduğunca kolon orta bölgesinde yapılmalıdır. Bilindiği gibi, genellikle, kolon uç momentleri uçlarda maksimum, orta bölgede küçük değer almakta ve tarafsız ekseninde sıfır olmaktadır. Eklerin kolon tabanında yapılması durumunda, en fazla zorlanan bu alt uç bölgede donatı yığılması olmakta, betonun donatılar arasına girmesi zorlaşmaktadır. Bu durumda beton-donatı kenetlenmesi tam sağlanamayabilir. Bindirmeli ekin kolon orta bölgesinde yapılması durumunda Şekil 1.12’de görüldüğü gibi bindirmeli ek boyu, çekme donatısı için verilen kenetlenme boyuna (ℓ_b) eşit alınmaktadır. Boyuna donatıların bindirmeli eklerinin Şekil 1.13’de görüldüğü gibi kolon alt ucunda yapılması durumunda ise, aşağıda verilen üç koşula uyulması gerekmektedir.

- (1) Boyuna donatıların %50 'sinin veya daha azının kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu, ℓ_b 'nin en az 1,25 katı olacaktır.
- (2) Boyuna donatıların %50'den fazlasının kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu, ℓ_b 'nin en az 1,5 katı olacaktır. Temelden çıkan kolon filizlerinde de bu koşula uyulacaktır.
- (3) Yukarıdaki her iki durumda da, bindirmeli ek boyunca sarılma bölgesi için tanımlanan minimum enine donatı kullanılacaktır. Süneklik düzeyi normal kolonlarda bu koşula uyulmayabilir.



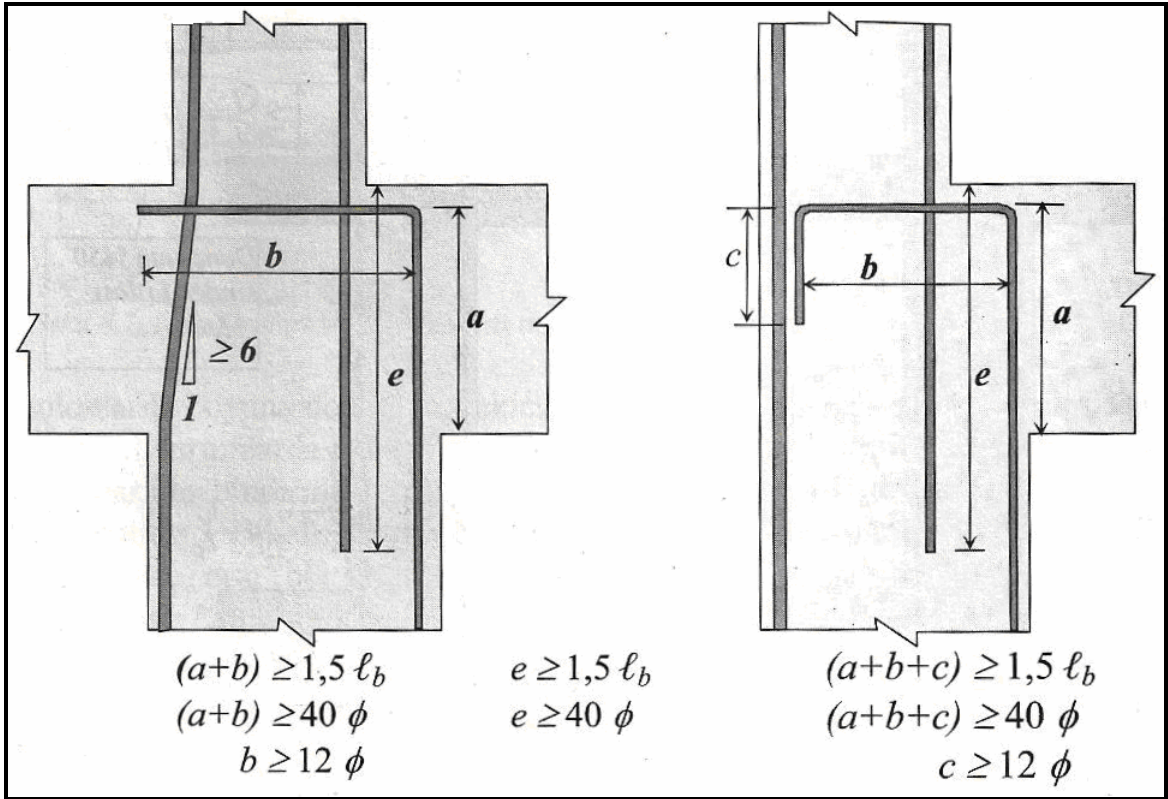
Şekil 1.12. Kolonlarda bindirmeli ek bölgelerinin uzunlukları(Doğangün, 2007)

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi kolon boyuna donatılarının uçlarına kanca yapılmamalıdır. Çünkü bu kancalar boyuna donatıların burkulmasını kolaylaştırmakta, bir kesitte yığıldıklarından beton kesitini zayıflatmakta ve betonun donatılar arasında girmesini zorlaştırmaktadır.

Kaynaklı ve manşonlu ekler için Deprem Yönetmeliğinde, yanyana boyuna donatılarda yapılan bu eklerin arasındaki boyuna uzaklığın 600 mm' den az olamayacağı koşulu bulunmaktadır.

Kolonlara yerleştirilen boyuna donatılarla ilgili olarak, bitişik katlardaki kesit küçülmeleri durumunda özel bir durumla karşılaşmaktadır. Çünkü bu durumda alt kattan gelen boyuna donatıların tamamının düşey konumlarını koruyarak devam ettirilmesi mümkün değildir. Katlar arasında kolon kesitinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi 1/6'dan daha fazla olmaz. Kesit

değişiminin daha fazla olması durumunda veya en üst kat kolonlarında; alttaki kolonun boyuna donatısının karşı taraftaki kirişin içindeki kenetlenme boyu, ℓ_b 'nin 1.5 katından ve 40ϕ den daha az olmamalıdır. Karşı tarafta kiriş bulunmadığı durumlarda kenetlenme, gerekirse kolonun karşı yüzünde aşağıya doğru kıvrım yapılarak sağlanmamalıdır. 90 derecelik yatay kancanın veya aşağıya kıvrılan düşey kancanın boyu en az 12ϕ olmalıdır (Şekil 1.13)(DBYBHY).



Şekil 1.13. Kolonlarda kesit değişimi durumunda boyuna donatı düzenlemesi (DBYBHY).

1.4.5.2. Kolonlarda Enine Donatı

Kolonlara boyuna donatılarla birlikte etriye ya da fret (spiral) donatı olarak adlandırılan enine donatılar da yerleştirilmektedir.

Kolonlarda enine donatının görevleri:

- a) Kesme kuvvetini betonla birlikte karşılamak
- b) Boyuna donatıların burkulma boyunu azaltarak, burkulmasını önlemek
- c) Çekirdek betonunun sünekliğini artırmak

- d) Yanal basınç uygulayarak çekirdek betonunun dayanımını artırmak (fretli kolonlarda)
 e) Betonun yerleştirilmesi sırasında boyuna donatıyı yerinde tutmak.

Enine donatı yerleştirilmesi açısından kolonlar TS500 de, sarılma ve orta bölgelere ayrılmamıştır. Adı geçen standartta enine donatı aralığının en küçük donatı çapının 12 katından ve 200 mm den daha fazla olamayacağı öngörülmektedir. Deprem Yönetmeliğinde ise kirişlerde olduğu gibi kolonlar da iki sarılma ve bir orta bölge olmak üzere toplam üç bölgeye ayrılmaktadır. Diğer taraftan enine donatı koşullarını etkileyen bir ayırım da Deprem Yönetmeliğinde kolonların süneklik düzeyi normal ve yüksek kolonlar olarak iki sınıfa ayrılmasıdır. Aşağıda, tasarımcıya kolaylık sağlaması bakımından, kolonlara yerleştirilecek enine donatıların aralıkları için TS500 ve Deprem Yönetmeliği koşulları birlikte dikkate alınarak, ortak değerler verilmektedir. Kolonlarda kullanılacak en küçük enine donatı çapı (ϕ_w) 8 mm olmaktadır.

Sarılma bölgelerinin her birinin uzunluğu, döşeme üst kotundan yukarıya doğru veya kolona bağlanan en derin kirişin alt yüzünden başlayarak aşağıya doğru ölçülmek üzere, kolon kesitinin büyük boyutundan (dairesel kesitlerde kolon çapından), kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından ve 500 mm' den az olamaz. Bu donatıların temelin içinde de, 300 mm' den ve en büyük boyuna donatı çapının 20 katından az olmayan bir yükseklik boyunca devam ettirilmesi gerekmektedir(TS500).

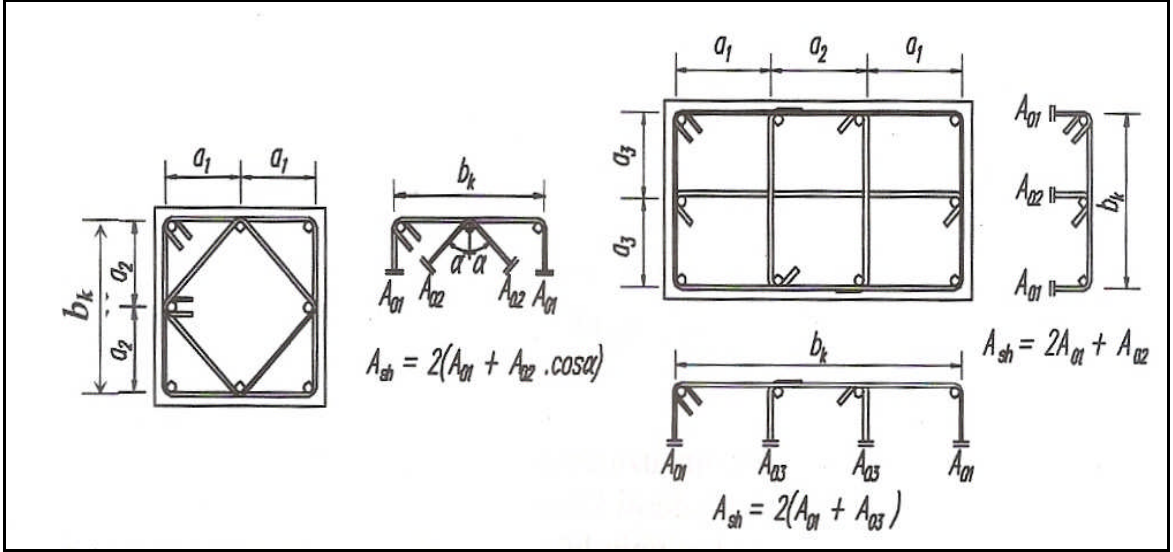
Kolon sarılma bölgesi boyunca etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun 1/3'ünden ve 100 mm' den daha fazla, 50 mm' den daha az olamaz. Sürekli dairesel spirallerin adımı ise, çekirdek (göbek) alanı çapının 1/5'inden ve 80 mm' den fazla olamaz. Etriye kolonlarda $N_d > 0,20 A_c f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı aşağıda verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanacaktır.

$$A_{sh} \begin{cases} 0,30.s.b_k \left[\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \\ 0,075.s.b_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \end{cases} \quad (1.4)$$

Bu bağıntıda A_c kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanını, A_{ck} sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanını, A_{sh} enine donatı aralığına (s ye) karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda veya perde uç bölgesindeki tüm

etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan b_k 'ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamını, f_{ck} betonun karakteristik basınç dayanımını, f_{ywk} enine donatının karakteristik akma dayanımını göstermektedir.

Yukarıdaki bağıntıyla yapılacak hesapta kolonun çekirdek boyutu b_k , her iki doğrultu için ayrı ayrı göz önüne alınmalıdır (Şekil 1.14) (ACI 318-89, 1989).



Şekil 1.14. Dikkate alınacak toplam enine donatı alanı (DBYBHY).

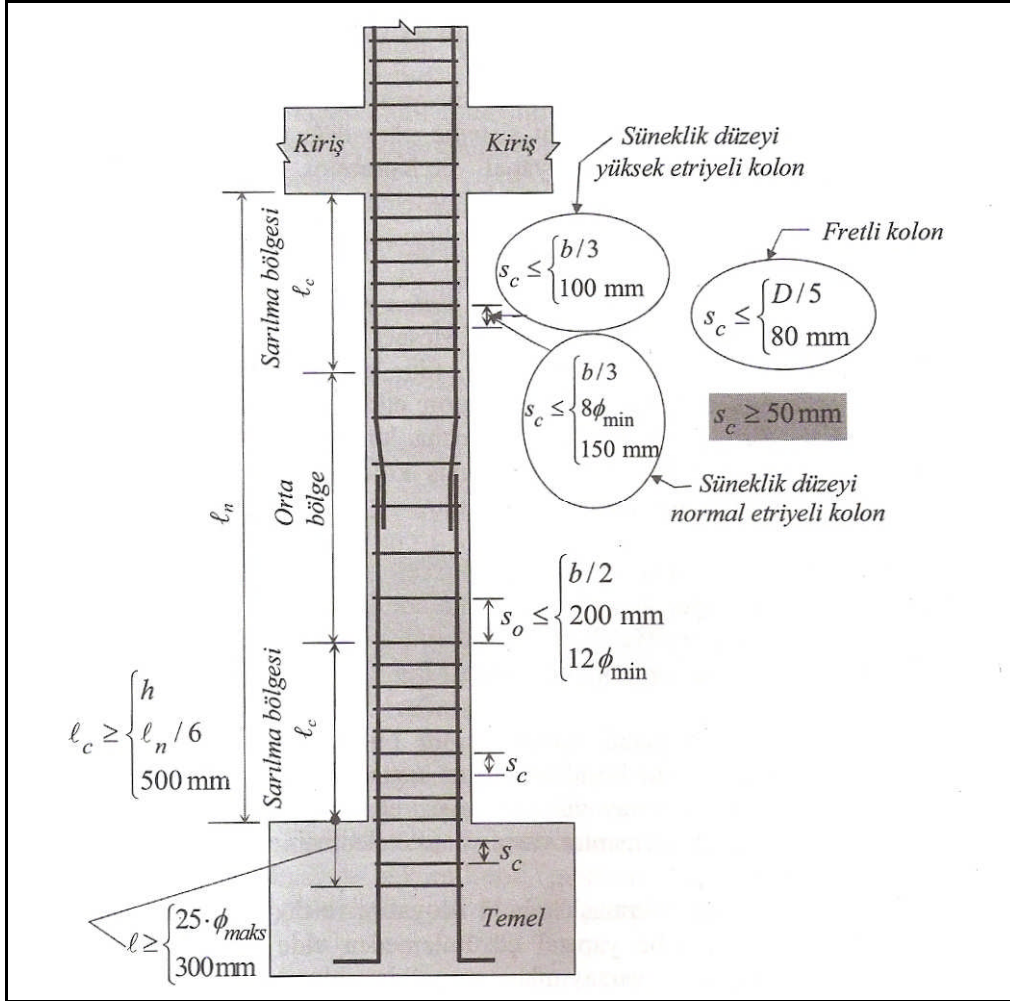
Fretli (spiral donatılı) kolonlarda $N_d > 0,20 A_c f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki enine donatının minimum hacimsel oranı (ρ_s); A_{os} spiral donatının enkesit alanını ve D dairesel kolonun göbek çapını göstermek üzere aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

$$\rho_s = \frac{4A_{os}}{D.s} \rightarrow \rho_s \geq \begin{cases} 0,45 \left[\frac{A_c - 1}{A_{ck}} \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \\ 0,12 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \end{cases} \quad (1.5)$$

Etriye ve fretli kolonların her ikisinde de $N_d \leq 0,20 A_c f_{ck}$ olması durumunda, kolon sarılma bölgelerinde (1.4) ve (1.5) bağıntılarında verilen enine donatıların en az $2/3$ 'ü, minimum enine donatı olarak kullanılmalıdır.

Kolon orta bölgesinde etriye, çiroz veya spiral aralığı, en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm' den daha fazla olamaz.

Kolonların sarılma ve orta bölgelerine yerleştirilecek olan enine donatı için TS500 ve Deprem Yönetmeliğinde belirtilen koşullar birleştirilerek Şekil 1.15 üzerinde gösterilmektedir. Bu şekilde s_c sarılma bölgesindeki enine donatı aralığını, s_o orta bölgedeki enine donatı aralığını, ℓ_c sarılma bölgesi uzunluğunu, ϕ_{\min} en küçük boyuna donatı çapını göstermektedir(DBYBHY).

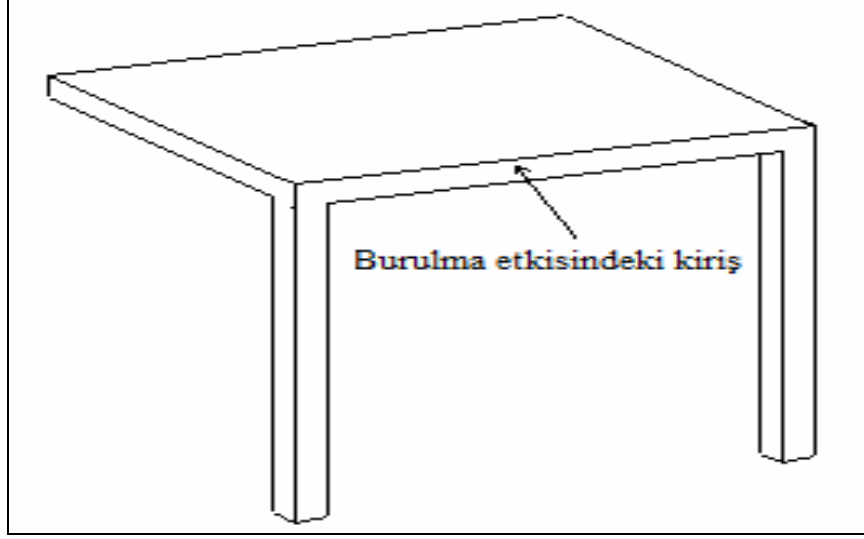


Şekil 1.15. Kolonlarda enine donatılara ilişkin koşullar (Doğangün, 2007)

1.5. Burulma

Betonarmenin monolitik özelliğinden dolayı, yapı elemanlarının büyük bir çoğunluğu az veya daha çok burulma momentine maruzdurlar. Bu moment, sistemin geometrisinden veya yüklerin simetrik olmayan yayılışından meydana gelebilirler. Bu tanımlamaya göre, bir yapıdaki bütün elemanlar az veya daha çok burulma momentine

maruzdur. Ancak, çoğu kez bu burulma momentinin mertebesi küçük olduğundan, ihmal edilebilir. Pratikte burulma hesabına daha çok, kenar kirişler, merdiven ve balkon kirişleri gibi elemanlarda rastlanır. Ayrıca, ızgara sistemler ve eğri köprülerde burulma, sistemin ayrılmaz bir parçasıdır(Kayan, 1992).



Şekil 1.16. Burulma momentinin doğrudan etken olması.

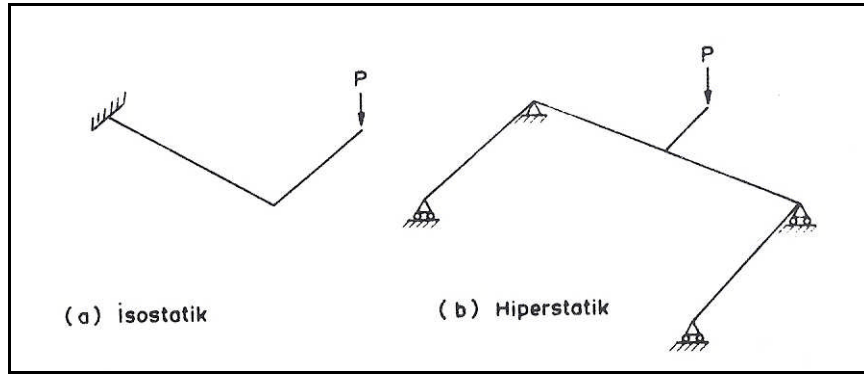
Burulma etkisindeki kirişin burulma momentine karşı emniyette olmaması durumunda çerçevenin üzerini kapatan döşeme yükünü taşıyacak başka eleman bulunmadığından göçme oluşur.

Sisteme burulma momentinden başka bir etki yoksa ve yalnızca burulma momenti etkiliyor ise kesitte kayma gerilmeleri oluşur. Eksene 45^0 eğimli bir hücrede kayma gerilmeleri asal gerilmelere dönüşür ve hücre bir taraftan çekme diğer taraftan basınç etkisi altında kalır. Geçmişte uzun yıllar burulma etkisine önemsiz olarak bakılmış ve emniyet katsayısını büyütme suretiyle burulma etkisi dolaylı olarak itibara alınmıştır. Son zamanlarda burulma hesabı yapılarak ve ilave burulma donatısı kullanılarak burulmaya karşı emniyet sağlanmaktadır. Bu değişikliğin nedeni yeni malzemeler kullanılmasıyla yapı türlerinde burulma etkisinin daha etken olması ve daha geliştirilmiş hesap yapılabilmesidir.

Eğrisel köprü kirişleri ve döner merdiven gibi yapı türlerinde burulma çok etkili olmaktadır. Sonuç olarak 1960'dan başlayarak yapılan burulma araştırmaları gün geçtikçe artarak devam etmiş ve uygulamada kullanılmak üzere hem ekonomik hem emniyetli projelendirme metotları geliştirilmiştir. Yapılarda bazen eleman üzerine gelen yükler ancak

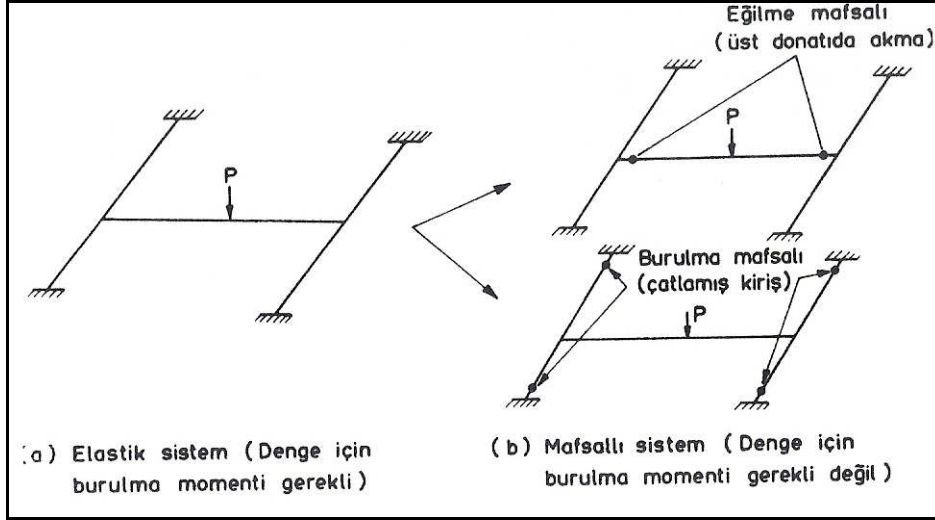
burulma sayesinde taşınabilir. Burulmanın doğrudan etkimesi olan bu durum için gerekli burulma donatısı konulmadığı takdirde eleman göçer. Fakat bazı durumlarda (örneğin döşemelerin kenar kirişlere dönme etkisi yapması gibi durumlarda), eleman dolaylı olarak burulma etkisinde kalır ve elemanın burulmaya karşı donatılmaması halinde eleman dönme yapar fakat diğer taşıyıcılar yükü alır ve göçme meydana gelmez. Kısaca bu olaya yeniden dağılım denir (redistribution).

Yapı sisteminin ya da burulmaya maruz kalmış elemanı dengede tutabilmek için burulma momentine ihtiyaç varsa bu burulma çeşidi denge burulması olarak adlandırılır. Denge burulması izostatik ve hiperstatik sistemlerde görülebilir. Yapı sisteminin stabilitesini bozmamak koşulu ile, bazı kesitlerde oluşabilecek eğilme veya burulma “plastik mafsalları”, denge için gerekli burulma momentini ortadan kaldırmaz. Denge burulması sistemin ayrılmaz bir parçasıdır ve elemanların davranışı doğrusal olsa da olmasa da vardır. Bu nedenden dolayı eleman analizleri yapılırken bu burulma çeşidinin ihmal edilmemesi söz konusu olamaz.



Şekil 1.17. Denge burulması (Ersoy,1975)

Sistemdeki uygunluk şartlarının sağlanabilmesi için bir dönme gerekiyorsa, sistemdeki bu burulma çeşidi uygunluk burulması olarak adlandırılır. Denge şartlarının sağlanabilmesi için burulma momentine gerekli ise de, sistemin stabilitesini bozmadan, belirli noktalarda oluşabilecek plastik mafsallarda, denge için burulma momentine gereksinme kalmayabilir. Plastik mafsalların oluşması ile sistem yeni bir denge durumuna gelecek ve denge için burulma momentinin bulunması gerekli olmayacaktır. Binalarda, döşeme veya saplanan bir kiriş tarafından yüklenen kenar kirişleri uygunluk burulmasının tipik bir örneğidir.



Şekil 1.18. Uygunluk Burulması (Ersoy,1975)

Uygunluk burulması izostatik sistemlerde söz konusu olamaz. Sistemin çeşitli noktalarında oluşabilecek burulma plastik mafsallar nedeni ile, denge için burulma momentine gereksinme kalmayacağına göre, sistem analizi burulma momenti ihmal edilerek yapılabilir. Ancak, bu gibi durumlarda sabit burulma momenti altında dönmeyi sağlayabilmek için elemanın düktil bir davranış göstermesi zorunludur. Bu da, o andaki burulma momentini (çatlama) taşıyabilecek kadar kayma donatısı bulundurmakla mümkündür. Ayrıca dönme nedeni ile meydana gelecek çatlama kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır(Ersoy,1975).

Yapılardaki betonarme elemanlarda yalnızca burulma momenti etkimesi durumu çok az görülür. Burulma momentiyile birlikte eğilme momenti ve kesme kuvvetine de maruzdurlar.

1.5.1. Donatısız Bir Betonarme Elemanın Burulma Altında Davranışı

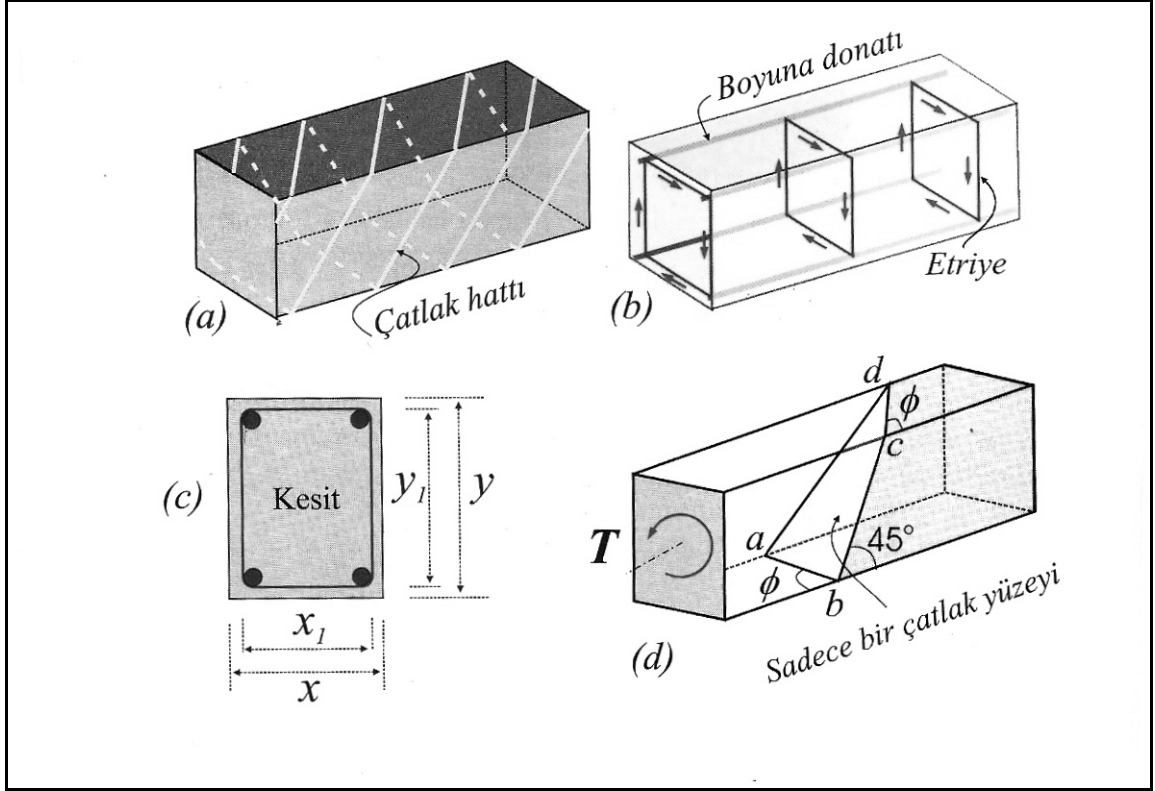
Boyuna donatısı ve kayma donatısı bulunmayan bir betonarme elemana burulma momenti etkimesi durumunda, betonarme eleman ani ve çok gevrek bir şekilde kırılır. Betonarme bir kirişte meydana gelen kırılma çatlakları, elastisite teorisinden hesaplanan asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşmaktadır. Elemanın üç yüzünde çekme gerilemeleri oluşmakta bununla birlikte diğer yüzünde ezilmeler meydana gelmektedir. Meydana gelen ezilme asal basınç gerilemelerine dik yönde oluşmaktadır. Tablalı

kirişlerde meydana gelen burulma etkisi kirişlere göre biraz daha farklı olmaktadır. Kiriş ilk eğik çatlağın oluşması ile birlikte kırılmamakta, kesit artan burulma momentini taşımaya devam etmektedir. Ancak çatlakların oluşmasından sonraki davranış doğrusal değildir. Kırılma anındaki burulma momentinin çatlama momentine oranı, tabla genişliği ve derinliğine göre değişmektedir.

1.5.2. Donatılı Bir Betonarme Elemanın Burulma Altında Davranışı

Yapılan deneysel çalışmalarda burulma momentinin ya da etriyelerin yalnız başına kullanılmasının burulmaya karşı fazla etkili olmadığını göstermiştir (Ersoy, 2004). Burulmaya karşı direnç oluşması için etriyeler ve etriyelerle birlikte etriyeleri tutan boyuna donatıların elemanda bulunması gerekir. Yalnızca boyuna donatının bulunması durumunda, boyuna donatı burulmaya karşı pim etkisi ile karşı koymakta ve bu katkı % 15 mertebesinde kalmaktadır. Bu nedenle etriye kullanılmamış ise boyuna donatı bulursa bile itibara alınmaz ve burulma etkisine karşı sadece betonun direnç gösterdiği kabulüne dayanan hesaplar kullanılarak elemanın burulma kapasitesi belirlenir(Kaplan2004).

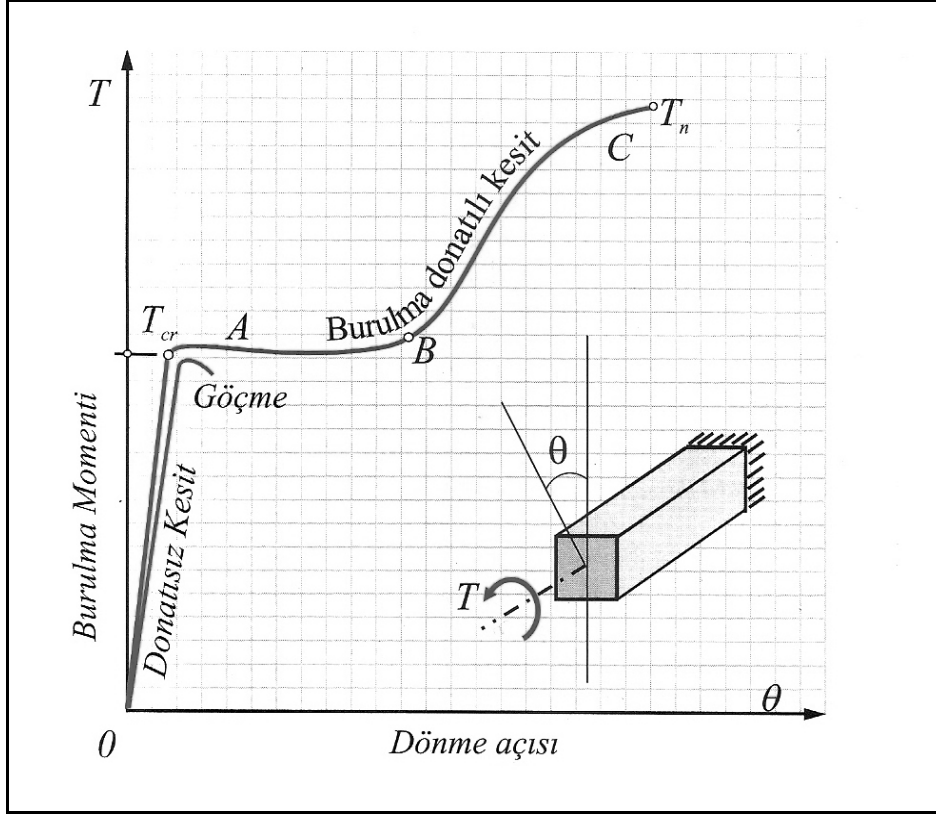
Şekilde görüldüğü gibi hem boyuna donatı hem de etriye olması durumunda burulma değerinin kritik değere ulaşması halinde beton çatlak ve çatlak spiral biçimli olur. Oluşan çatlak Şekil 1.19'da görülmektedir. Çatlak eleman boyunca birbiri ardına oluşur ve adeta elemanı sargı gibi çatlatır. Çatlak sonrası yukarıda belirtilen burulma direnci azalır ve çatlak meydana gelmeden önceki değer yarı değerine düşer.



Şekil 1.19. Elemanda meydana gelen burulma çatlakları ve donatı (Kaplan,2004)

Elemanın azalan burulma kapasitesi burulma donatısı tarafından taşınır. Burulma kritik değere ulaştığında çatlak oluşur ve burulma donatısı yoksa eleman çatlak takiben eleman göçer.(Şekil 1.20) Fakat elemanda kayma donatısı bulunuyor ise, çatlaktan sonra kaybedilen kapasite donatı tarafından karşılanır ve burulma artışı donatı tarafından taşınır.

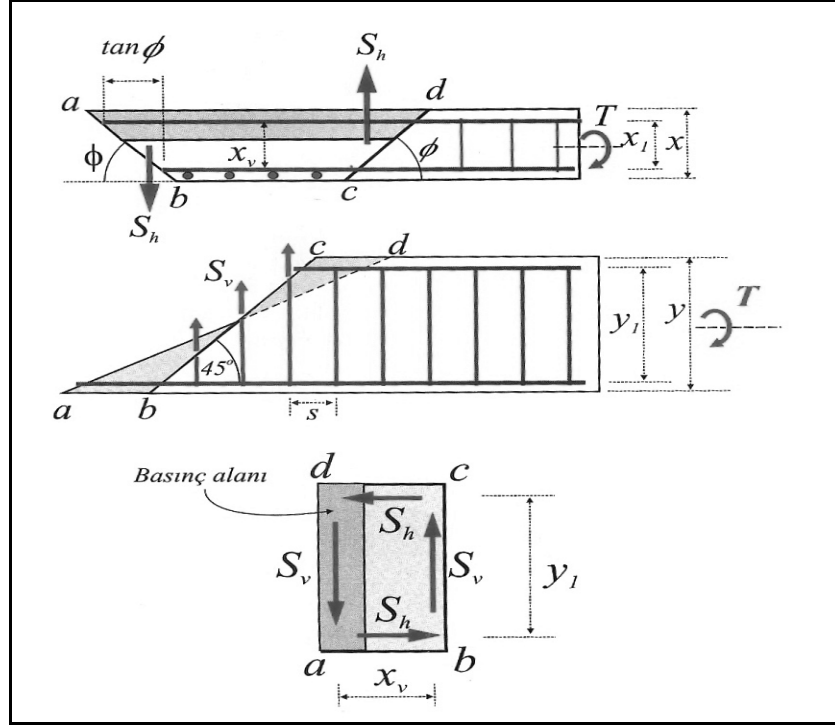
Burulma artıma devam ettiğinde donatı akma sınırına ulaşır ve bunu takiben basınç tarafında beton ezilerek göçme meydana gelir. Burulma kapasitesi Şekil 1.19’da verilen matematik model dikkate alınarak hesaplanabilir. Bu düzlem çekme tarafında eleman eksenini ile 45 derece açı yapar. Eleman alt ve üst yüzeylerinde belli bir açı ile genişler ve bu genişleme açısı 45 derece ile 90 derece arasında olabilir.



Şekil 1.20. Donatılı ve donatısız elemanlarda burulma – eksenel dönme ilişkisi

Sonuçta basınç hattı olan a-d hattını oluşturur. Şekil 1.21’de çatlak bir elemanın yüzeyi gösterilmektedir. Göçme düzlemini kesen etriyelerin yatay ve düşey kollarında oluşan çekme kuvvetleri S_h ve S_v gösterilmiştir (basınç bölgesindeki gösterilmemiştir).

Alt veya üst tarafta düzlemi kesen etriye kol adeti $n_h = (x_1 \cot \phi) / s'$ dir. Basınç bölgesi karşısında düzlemi kesen etriye düşey ayağı sayısı $n_v = y_1 / s_1$



Şekil 1.21. Burulma etkisi altında göçme düzlemi(Kaplan,2004)

Deney sonuçlarından etriyelerin düşey kollarının göçme öncesi çoğunlukla akma limitine ulaştığı fakat yatay kolların akma limitine ulaşmadığı gözlenmiştir(Kaplan,2004). Etriyenin yatay doğrultudaki kollarından oluşan kuvvetlerin burulma momenti:

$$T_h = n_h S_h y_l = \frac{x_l \cot \phi}{s} A_t f_{sh} y_l = K_h \frac{x_l y_l}{s} A_t f_y \dots \quad (1.6)$$

şeklindedir. Burada;

A_t = Bir etriye kolunun kesit alanı

f_{sh} = etriyenin yatay kolundaki çekme gerilmesi

f_y = akma limiti

$k_h = \cot \phi (f_{sh} / f_y)$ göstermektedir.

Düşey yönde etriye kolundaki kuvvetin meydana getirdiği burulma momentini belirlemek için çekme tarafında etriye kolundaki çekme kuvvetleri ile basınç tarafında etkiyen belirlemek gerekir. Basınç tarafında beton basıncı iki kısımdır. Birisi eğik düzlemde kayma kuvveti diğeri eğik düzleme dik olan kısımdır ve buna ilave olarak basınç tarafında etriye kollarında basınç kuvveti vardır. Bütün bu kuvvetler hemen kolaylıkla

hesaplanabilecek kuvvetler değildir. Fakat kesin olan bir eşitlik vardır ve basınç tarafındaki kuvvetler bileşkesi R değeri, çekme tarafındaki kuvvetler toplamı S_v değerine eşittir. Bu eşitlikten hareket ederek etriyenin düşey kollarındaki kuvvetler tarafından oluşturulan burulma momenti aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$T_v = n_v S_v x_v = \frac{y_1}{s} A_t f_y K_v x_1 = K_v \frac{x_1 y_1}{s} A_t f_y \quad (1.7)$$

Burada $X_v =$ moment manivela kolu, $S_v =$ iç kuvvetlerden çekme kuvvetini göstermektedir.

R = basınç tarafındaki bileşke

$$K_v = x_v / x_1$$

Denklem (1.3) ve (1.4) den anlaşılacağı gibi katsayılar farklı diğer terimler her iki denklemde aynıdır. Katsayılar toplamı $\alpha = K_h + K_v$ ve burulama toplamını $T_s = T_v + T_h$ olarak gösterilerek yukarıdaki ifadeler yazılıp tertiplenirse

$$T_s = (\alpha_t) \frac{x_1 y_1}{s} A_s (f_y) \quad (1.8)$$

ifadesi elde edilmektedir. Burada α_t kesit boyutlarına bağlı bir katsayıdır. Bu katsayı

$$\alpha_t = 0.66 + 0.33 (x_1 / y_1) \leq 1.5 \quad (1.9)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi çatlak meydana geldikten sonra beton tarafından taşınan burulma momenti T_0 , çatlak meydana getiren moment değerinin yarısına inmektedir. Bu değeri biraz daha emniyetli tarafta tutarak çatlak meydana getiren T_{cr} değerinin % 40 kadarının çatlamış beton tarafından taşındığı kabul edilerek gerekli hesaplar yapılırsa:

$$T_0 = 0.40 \left(0.5 \sqrt{f'_c} \left(\frac{x^2 y}{3} \right) \right) = \frac{\sqrt{f'_c} x^2 y}{15} \quad (1.10)$$

bağıntısı elde edilmektedir.

Toplam burulma momenti beton tarafından taşınan ve donatı tarafından taşınan burulma momentlerinin toplamı olacağından; toplam burulma momenti

$$T_n = T_0 + T_s = \frac{\sqrt{f'_c} x^2 y}{15} + \alpha_t \frac{x_1 y_1}{s} A_t f_y \quad (1.11)$$

şeklinde verilmektedir.

Belirlenen burulma bağıntısının geçerli olabilmesi için meydana gelen çatlakların yeteri kadar etriyeyi kesmesi gerekmektedir. Yani etriye aralığı yeteri kadar sık değilse birbiri ardına meydana gelen çatlaklardan birisi elemanın göçmesine sebep olabilir. Bu nedenle etriye aralıklarını kısıtlayıcı standart önerilere uyulması gerekmektedir.

Boyuna donatı burulma etkisi altında etriyelerin çalışmasının ana nedenidir. Ayrıca boyuna donatı, meydana gelen çatlakların genişlemesine mani olmakta ve spiral biçimli çatlakların fazla açılmasını önlemektedir. Buna ilaveten boyuna donatı pim etkisi yaptığından burulma kapasitesini bir miktar arttırmaktadır. Deney sonuçlarından, aynı birim eleman boyu için ,boyuna donatı hacmi etriye hacminin 0,7 ile 1,5 katı olduğu anlaşılmaktadır. Her ikisi eşit olarak alınırsa birim boy için aşağıdaki denge denklemi elde edilir:

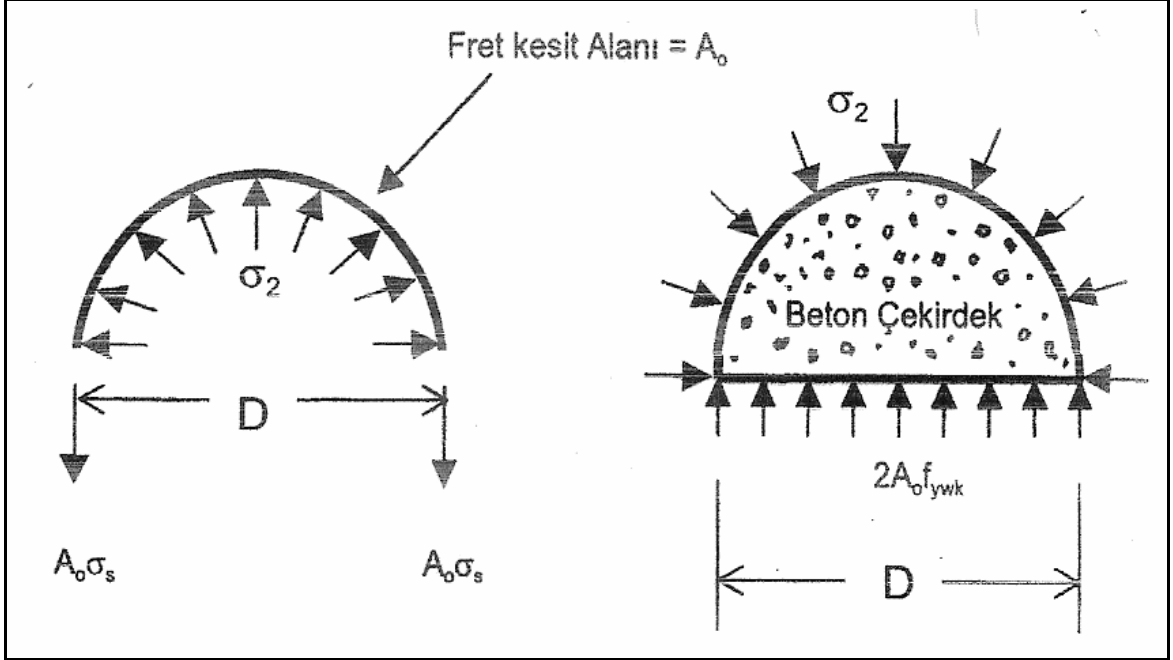
$$A_{st} = \frac{2(x_1 y_1)}{s} A_t \quad (1.12)$$

Burada, A_{st} ; boyuna donatı alanını, A_t ; enine donatı alanını göstermektedir.

1.6. Fretli Kolonlarda Sargı Etkisi

Kolonlarda, enine donatının sargı etkisi ile dayanım ve sünekliği arttırmaktadır. Eksenel yük altında, poisson etkisi nedeni ile oluşan yanal deformasyonun kısıtlanması ile beton çekirdeğe uygulanan yanal basınç, davranıştaki bu iyileşmeyi sağlamaktadır. Dairesel fretli kolonlarda poisson etkisi ile oluşan yanal basınç, radyal yönde düzgün yayılı olduğundan, çözüm için “ ince cidarlı boru analogjisi “ kullanılabilir(Ersoy,1985).

Şekil 1.22' de gösterildiği gibi fretlerdeki toplam kuvvet $2A_o\sigma_s$ 'dir. A_o , fret kesit alanıdır. Sınır durumda fret akma konumuna ulaşacağından $\sigma_s = f_{ywk}$ alınabilmektedir.



Şekil 1.22. Fret ve beton çekirdeğinin serbest cisim diyagramı (Ersoy, 1997)

Şekil 1.22' de fret iki ucundaki toplam kuvvetin $F_s = 2A_o f_{ywk}$, beton çekirdekte oluşan eşit yayılı basınçla karşılanacağı varsayılmıştır. $2A_o f_{ywk}$ kuvvetinin etki ettiği alan, D (s) 'dir. Sargı etkisi nedeni ile çekirdek betonunda oluşan yanıl basınç σ_2 ile gösterilirse aşağıdaki ilişki elde edilir.

$$\sigma_2 = \frac{2A_o f_{ywk}}{D(s)} \quad (1.13)$$

Prof.Dr. Richart tarafından yapılan deneylerde, yanıl basınç σ_2 altında beton basınç dayanımının önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Richart, artan beton dayanımı için aşağıdaki bağıntı önermiştir (Richart, 1930).

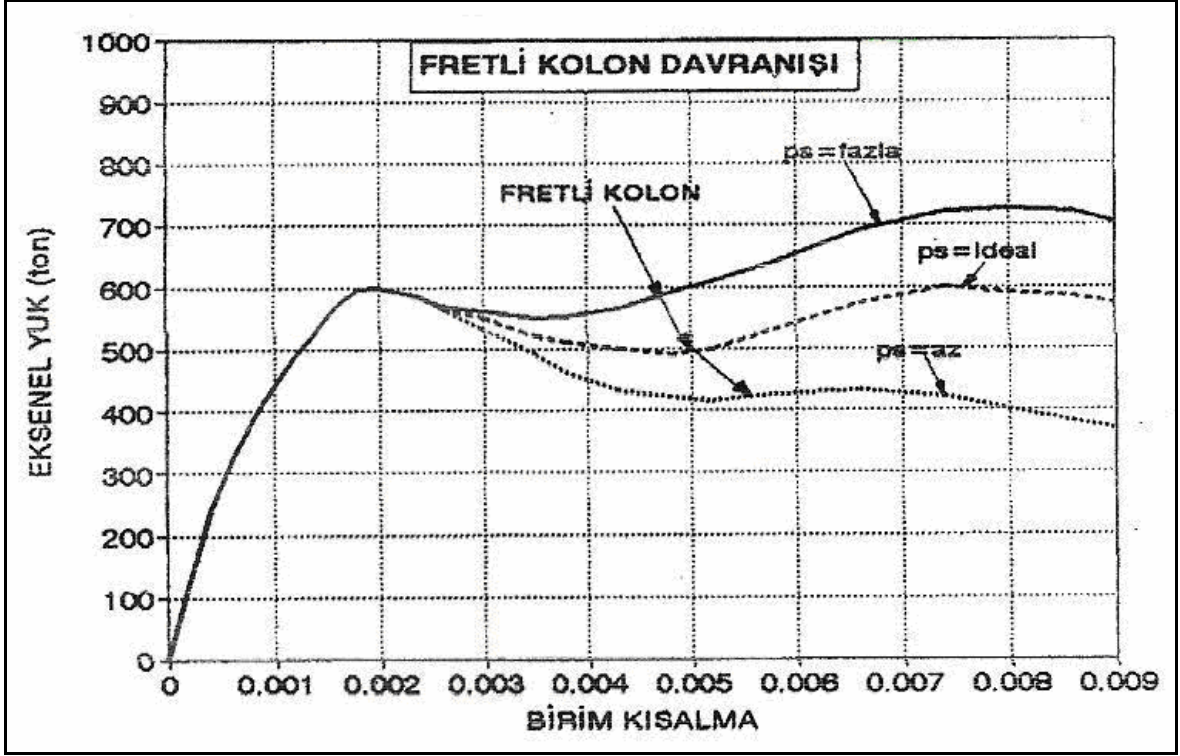
$$f_{cc} = f_{ck} + k_1 \sigma_2 \quad (1.14)$$

Kolon boyutları Richart' ın deney elemanlarından çok daha büyük olduğundan f_{ck} yerine $0.85 f_{ck}$ yazmak daha doğru olacağı önerilmektedir (Saatçioğlu, 1992). Richard, k_1 katsayısının σ_2 ile değiştiğini, ancak yaklaşık $\sigma_2 \geq 10$ MPa olduğunda, bu katsayının sabit kaldığını gözlemiş ve k_1 değerini 4 olarak almıştır. Bu nedenden dolayı sargı nedeni ile dayanım artışı $4 \sigma_2$ olarak varsayılmıştır.

Saatçioğlu (1992), geliştirdiği sargılı beton modelinde, gerçek değerleri kullanarak k_1 'i aşağıdaki denklemde elde etmiştir (Saatçioğlu, 1992).

$$k_1 = \frac{9.9}{(\sigma_2)^{0.17}} \quad \sigma_2 = \text{kgf/cm}^2 \quad (1.15)$$

Şekil 1.23. 'de aksenal yük altında denenen üç fretli kolonun, yük deformasyon eğrileri gösterilmiştir (Ersoy, 1997). Yük-deformasyon eğrisinde iki tepe noktası oluşmaktadır. Birinci tepe noktası, kabuk betonunun ezilmeye başladığı yük düzeyinde oluşur. Bu noktada birim deformasyon 0.002 dolaylarındadır.



Şekil 1.23. Eksenel yük altında fretli kolon davranışı (Ersoy, 1997)

Birinci tepe noktasındaki kabuk dahil tüm beton kesit etkilidir. Kabuğun ezilmeye başladığı birinci tepe noktasındaki boyuna donatı da akmıştır ya da akmaya çok yakındır.

Tepe noktası ötesinde, kabuktaki ezilme devam ettiğinden, boyuna donatı aktığından ve sargı henüz etkili olmadığından, kolon kapasite yitirmeye başlar. Ancak, deformasyon artması ile sargı etkili olmaya ve çekirdekteki betonun dayanımını yükseltmeye başlar. Sargı donatısı nedeni ile çekirdekteki kapasite artışı, kolonun ikinci bir tepe noktasına ulaşmasına neden olur.

İkinci tepe noktasının, birinciye göre konumu, kolonda bulunan fret oranına bağlıdır. Şekilde gösterildiği gibi, ρ_s oranına bağlı olarak ikinci tepe oranı birinciye oranla daha yüksek ya da daha düşük olabilir. Brüt beton alanının çekirdek alanına oranının (A_c/A_{ck}) çok küçük olduğu kolonlarda, kabuğun ezilmesi nedeniyle oluşan kapasite düşmesi belirgin olmaz.

İdeal olan bu iki tepe noktasının aynı düzeyde oluşmasıdır. Genelde, ideal veya minimum olarak adlandırılan fret hacimsel oranı, bu ilkeye göre hesaplanır (Ersoy vd. 1997).

1.7. Literatürde Burulma ile İlgili Yapılmış Olan Bazı Çalışmalar

Hindi vd. (2008), dairesel fretli kolonları çevrimsel yük altında yeni bir teknik uygulayarak denemişlerdir. İki adet, birbirlerine zıt yönde monte edilmiş spiraller kullanarak kolonlar üretmişler ve bu kolonların dayanım ve sünekliklerini gözlemlemişlerdir. İki farklı boyda ve değişik spiral aralıklarına sahip numuneler üzerinde testler yapmışlardır. Yeni teknikle üretilmiş kolonları geleneksel fretli kolonlarla karşılaştırmışlardır. Çapraz sargılı dairesel kolonların, tek sargılı dairesel kolonlara göre önemli ölçüde dayanımı arttırdığını ve kesme kuvveti karşısında çok daha az bozulma yaptığı gözlemlemişlerdir. Çift sargılı dairesel kolonların, farklı yerlerde ve zamanlarda donatının akma dayanımına ulaştığını izlemişler ve bununda numunenin sünek olarak geçmesinde büyük fayda sağladığının sonucuna varmışlardır.

Chen vd. (2008), içine beton santrifüj edilmiş çelik tüplerle kompozit elemanlar oluşturmuşlardır. Bu yeni kompozit çeşidinde beton çelik içine çok ince bir tabaka şeklinde uygulanmıştır. Bu yeni oluşturulan malzemenin burulma altındaki gerilmelerini hesaplamaya çalışmışlardır. Elde ettikleri verileri standartlarla ve çalışma yapmış diğer araştırmacılarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak standartların deneylerden elde ettikleri verilere daha yakın olduğunu saptamışlardır.

Kim vd. (2008), dikdörtgen kutu kirişlerin eğilme ve burulma momenti altındaki nihai dayanımlarını araştırmışlardır. Bu yükleri hesaplamayabilmek için bir FEA programı olan Abaqus' u kullanmışlardır. Sonuçları diğer araştırmacılarla karşılaştırmışlar ve bulunan sonuçların yakın olduklarını tespit etmişlerdir.

Prekash vd. (2008) çevrimsel yük altında dairesel kolonlara kesme, basit burulma ve iki yükü birden uygulamışlardır. Çalışmalarında burulma momentini eğilme momentine, yüksekliği elemanın çapına oranlayarak karşılaştırmalar elde etmişlerdir. Eğilme momenti altında; yükseklik çap oranı azaldığında, elemanın kesme kapasitesinin arttığını gözlemlemişlerdir. Eğilme ve burulma momentinin, yükseklik çap oranı azaltıldığında kayda değer miktarda değişmediğini grafiklerle göstermişlerdir.

Pancharharam vd. (2002), harici olarak kullandıkları liflerle kiriş elemanın burulma altındaki davranışlarını gözlemlemişlerdir. Yapılan araştırmalarda güçlendirilmiş kiriş yüzeyi değişik ve değişik lif düzenlerini denemişlerdir. Sonuçlardan elde ettikleri verilere göre dıştan lif ile sargılamanın nihai burulma ve numunenin çatlama kapasitesini belirgin bir şekilde arttırdığını göstermişlerdir.

Hsu vd. (2000), betonarme ve betonarme kompozit elemanları farklı şekilde donatarak bu elemanların eğilme ve burulma momenti altında davranışlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda kullandıkları ek donatıların kesitin taşıyabileceği burulma ve eğilme momentini arttırdığını gözlemlemiştir.

Hsu (1968), donatısız beton elemanlar üzerine burulma deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu gerçekleştirdiği çalışmada deney numunelerine basit burulma momenti uygulamıştır. Deneylerde elemanların 45^0 açı yaparak kenarlarında oluşan eğilme nedeniyle kırıldığını sonucuna varmıştır. Deneylerden elde ettiği verilerle burulma momentinin hesaplanabilmesi için yeni bağıntılar geliştirmiştir.

Liu vd. (2009), silindir kompozit tüp betonarme kolonların davranışlarını araştırmak için 18 adet kolon üretmişler ve basıç etkisi altında çevrimsel yüke maruz bırakmışlardır. Numunelerde yükleme sırasında tepe kısımlarında ezilme olduğunu görmüşlerdir. Çalışmalarında bu kolonlara ait yeni bir denklem tasarlamışlardır. Test sonuçları elde ettiklerine göre, deneye tabi tutulan kolonların, betonarme kolonlara göre daha fazla eğilme dayanımını ve yerdeğiştirme göstermiştir. ACI şartnamesinde bulunan denklemlerle, moment dayanımının hesaplanabileceğini söylemişlerdir.

Hsu vd. (2004), betonarme kompozit kolonlara çevrimsel yük ile eğilme ve burulma momenti uygulamışlardır. Bu çalışma için 14 farklı kolon üretmişlerdir. Test sonuçlarına göre bu elemanların ortalama burulma değerinden sonra burulma kapasitesinin düştüğünü görmüşlerdir. Verilere göre eğilme ve burulma etkileşimini gösteren tablolar çizmişlerdir.

1.8. Çalışmanın Amacı

Geleneksel betonla üretilmiş betonarme kolonlarda basınç yükü ile birlikte, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentleri bulunabilir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki betonarme, monolitik özelliği ve doğrusal olmayan davranışı yüzünden son derece karmaşık ve çözümü imkansız denebilecek problemler ortaya çıkarmıştır. Bu problemlerin başlıcalarından bir tanesi burulmadır. Bu çalışmanın amacı basit burulma etkisindeki fretli kolonların davranışlarını çevrimsel yük altında incelemektir.

Çalışma kapsamında 3 tip fretli kolon üretilmiştir. Fret sargı aralıkları sırasıyla 50 mm, 100 mm, 200 mm olarak numuneler hazırlanmıştır. Kurulan düzenek yardımıyla kolonlara çevrimsel yük uygulanmış ve yük altında kolonlarda meydana gelen şekildeğiştirmeler incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR ve İRDELEMELER

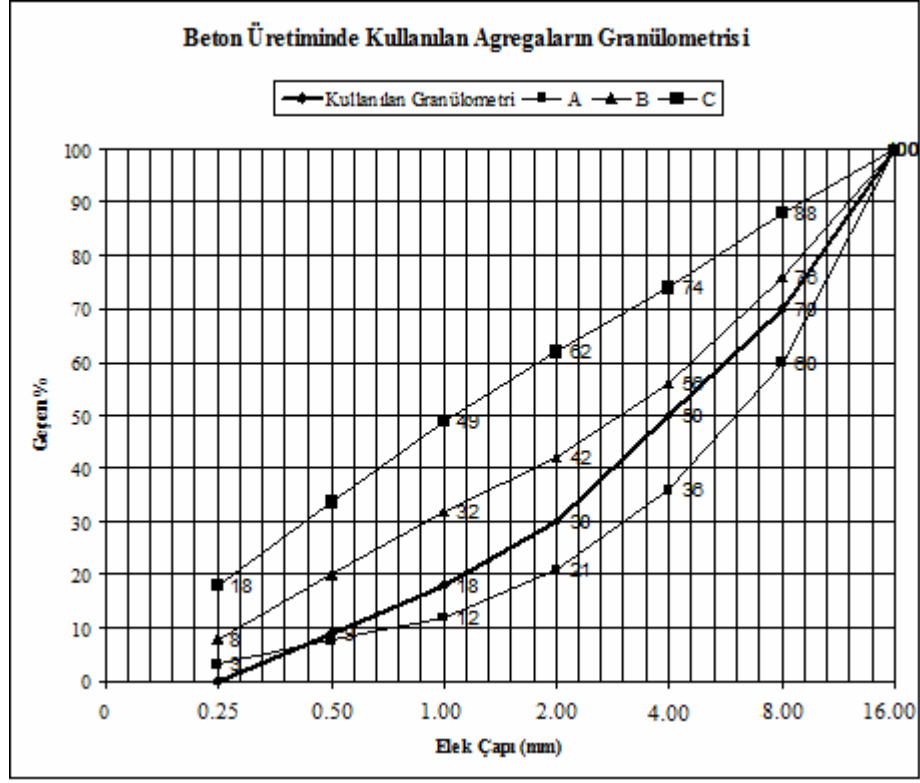
2.1 Deneylerde Kullanılan Malzeme Özellikleri

2.1.1. Agregata Özellikleri

Betonların üretiminde kullanılan agregata, Trabzon ili Maçka ilçesinde üretilen taş ocaklarından hazır olarak temin edilmiştir. Bu agregatlar iri, orta ve ince daneli malzeme olarak üç çeşide ayrılmıştır. İri agregata 16–8 mm, orta agregata 8-4 mm ve ince agregata 4-0 mm boyutlarında elenmiştir. Bu agregatların bazı fiziksel özellikleri Tablo 2.1’de, beton üretiminde kullanılan agregatların granülometrik birleşimi ise Şekil 2.1’de verilmektedir (TS 3529):

Tablo 2.1. Agregata fiziksel özellikleri

Agregata Tipi	Doygun Kuru Yüzeyle Birim Hacim Ağırlık(kg/m ³)	Su Emme (%)
İri	2680	1,63
Orta	2720	1,78
İnce	2650	2,70



Şekil 2.1. Beton karışımında kullanılan agregaların granülometrisi (TS 1226)

2.1.2. Çimento Özellikleri

Beton üretiminde Trabzon Çimento Fabrikasında üretilmiş, karakteristik dayanımı 42,5 MPa olan, Puzolanik Katkılı CEM I/A-P 42,5R çimentosu kullanılmıştır. Çalışma boyunca özelliklerinin aynı kalması için çimento paketleri kapalı torbalar içinde saklanmıştır. Beton üretiminde kullanılan çimentoya ait bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.2’de, kimyasal özellikleri ise Tablo 2.3’de verilmektedir (TS EN 1097-6).

Tablo 2.2. Beton üretiminde kullanılan çimentonun bazı özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		PÇ 42.5
ÖZGÜL KÜTLE(gr/cm^3)		3.10
BLANİNE ÖZGÜL YÜZEY(cm^2/gr)		3666
200 mm ELEK ÜSTÜNDE KALAN(%)		0
90 mm ELEK ÜSTÜNDE KALAN(%)		1.1
PRİZ SÜRESİ (saat)	BAŞLANGIÇ	2:35
	BİTİŞ	4:00
TOPLAM HACİM GENLEŞMESİ(mm)		1:00
MEKANİK ÖZELLİKLER		
2.GÜN	EĞİLME DAYANIMI(MPa)	5.60
	BASINÇ DAYANIMI(MPa)	28.9
7.GÜN	EĞİLME DAYANIMI(MPa)	7,30
	BASINÇ DAYANIMI(MPa)	43,6
28.GÜN	EĞİLME DAYANIMI(MPa)	8,50
	BASINÇ DAYANIMI(MPa)	52,9

Tablo 2.3. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

KİMYASAL ÖZELİK	KÜTLECE YÜZDE (%)
CEM I 42,5 R	
Klinker	95
SO ₃	2,4
MgO	1,0
Toplam Alkali	0,53
Serbest Kireç	0,65
CI-	0,01
Kızdırma Kaybı	0,9
Çözünmeyen Kalıntı	0,3

2.1.3. Kullanılan Karma Suyu Özellikleri

Betonların üretiminde Yapı ve Malzeme Laboratuvarı'ndaki içme suyu kullanılmıştır. Bu suyun K.T.Ü. Kimya Bölümü Laboratuvarı'nda belirlenen kimyasal özellikleri Tablo 2.4'de verilmektedir.

Tablo 2.4. Kullanılan suyun kimyasal özellikleri

Bileşenler	Miktarlar (mg/l)
Na ⁺	50,00
K ⁺	0,80
Ca ⁺²	100,80
Mg ⁺²	6,72
Fe ⁺³	3,00
Cl ⁻	125,00
SO ₄ ⁻²	45,00
HCO ₃ ⁻	210,00
NO ₃ ⁻	9,50
Toplam katyon m.e.g.sayısı	7,9
Toplam anyon m.e.g.sayısı	8,1

2.1.4. Kullanılan Kimyasal Katkı Maddesi

Beton üretimlerinde CHRYSO firmasından temin edilen süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır.

2.1.5. Donatı Özellikleri

Betonarme numunelerin üretiminde çapları 8 mm , 14 mm ve 16 mm nervürlü donatılar kullanılmıştır. ϕ 8 ve ϕ 14 kolon etriyesi ve boyuna donatısı olarak, ϕ 16'lık donatılar ise deney numunesinin kiriş ve temelinde asal donatı olarak kullanılmıştır. Bu donatıların mekanik özellikleri Tablo 2.5'de verilmektedir.

Tablo 2.5. Deneyle kullanılan nervürlü donatıların bazı mekanik özellikleri

Anma Çapı (mm)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı(MPa)	Kopma Birim Uzama(%)
8	450	520	22
14	450	520	19
16	450	520	21

2.2. Çalışma Kapsamında Üretilcek Betonların Bileşimi

Deneyle kullanılan betonun bileşim oranları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Eurocode-2 ve TS 802):

Geleneksel ve hafif betonların bileşim hesaplarında mutlak hacim metodu kullanılmıştır (TS 802). W_c , W_a , V_w , ve V_h sırasıyla 1 m³ betondaki çimento kütleini (kg), agrega kütleini (kg), su ve hapsedilmiş hava hacmini (dm³), γ_c ve γ_a sırasıyla çimento ve agreganın doymuş kuru yüzeyli (DKY) birim kütlelerini (kg/dm³) göstermek üzere agrega mutlak hacmi;

$$V_a = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (2.1.)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Agrega yığınının i adet farklı agrega sınıfından meydana geldiği göz önüne alındığında, her bir agrega sınıfının kütle farklı olacağından β_i ve γ_{ai} sırasıyla agrega sınıflarının kütlece oranını ve DKY birim kütleini göstermek üzere toplam agrega kütleini;

$$\sum \left(\beta_i \frac{W_a}{\gamma_{ai}} \right) = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (2.2.)$$

bağıntısıyla ile hesaplanabilir. Agrega sınıflarının ayrı ayrı kütleleri, bağıntı (2.2)'den elde edilen toplam agrega kütleini ile istenilen agrega sınıfının kütlece oranıyla çarpılarak tespit edilebilir.

$$W_{ai} = \beta_i \cdot W_a \quad (2.3.)$$

Elde edilen agrega kütleleri DKY agrega kütleleridir. Agregalar genellikle doymun kuru yüzeyli halde bulunmamaktadır. Hesapla elde edilen değerden agregaların doyma suyunu belirlemek için doğal nem (DN_i) durumunun ve su emme miktarının (SE_i) belirlenmesi gerekir. Belirlenen bu değerlerden sonra doyma suyu miktarı (DS_i);

$$DS_i = (SE_i - DN_i) \cdot W_{ai} \quad (2.4.)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Toplam doyma suyu ise her bir agrega sınıfının doyma suyu miktarlarının toplanmasıyla elde edilir.

$$DS = \sum DS_i \quad (2.5.)$$

Geleneksel ve hafif betonların her ikisinin de üretiminde 350 kg/m^3 çimento, 0,50 su/çimento oranı kullanılmıştır. Ayrıca 1 m^3 beton için hava miktarı 10 dm^3 olarak kabul edilmiştir. Yukarıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanan malzeme miktarları Tablo 2.6'da verilmiştir(TS 802).

Tablo 2.6. Beton bileşimi

Üretim	W/C oranı	Çimento (kg/m^3)	Su (kg/m^3)	Toplam Agrega (kg/m^3)	Doyma Suyu (kg/m^3)	Süper akışkanlaştırıcı (kg/m^3)
	0.50	350	175	1758,4	35	3,5

2.3. Deneylerde Kullanılan Betonun Üretimi ve Kürü

Geleneksel betonların karılmasında 80 litre kapasiteli eğik eksenli bir betonyer kullanılmıştır. Betonların üretiminde kullanılan her bir sınıf agrega, çimento, doyma ve karma suyu tartılarak hazırlanmıştır. Agregalar önceden nemlendirilmiş betonyere konmuş ve doyma suyu ilave edilerek üç dakika karılmıştır. Ardından çimento ilave edilerek üç dakika daha karıldıktan sonra betonyer çalışır durumda iken karma suyu ilave edilerek bir üç dakika daha karılarak betonlar elde edilmiştir.

Beton üretiminde kullanılan malzemeler ± 1 gr hassasiyetle ölçüm yapan Mettler marka PM 30 tipi tartı aletiyle (Şekil 2.2) tartıldıktan sonra, 80 litre kapasiteli eğik eksenli betoniyerle (Şekil 2.3) karılmıştır. Üretilen betonun dayanımını belirlemek amacıyla her üretimden 3'er adet standart silindir numuneler alınmıştır(çap:15 mm, yükseklik:300 mm).

Üretilen silindir numuneler üretimlerinden bir gün sonra kalıplarından çıkarılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numuneler 23 derece ± 2 derece olan kür havuzuna konulmuş ve 28 günlük dayanımları ölçülene kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Numuneler 28. günde 2500 kN' luk basınç kapasitesine sahip preste kırılmıştır (Şekil 2.4). Elde edilen sonuçlar Tablo 2.6'da verilmektedir.

Tablo 2.7. Deneylerde kullanılan betonun 28 günlük numune dayanımları

Üretim No	$f_{cm(28)}$ (MPa)	$f_{ck(28)}$ (MPa)	Standart sapma (MPa)
1. Üretim	25,4	21,4	3,12
2. Üretim	21,7	21,7	2,35
3. Üretim	24,3	20,8	2,71
Genel	24,8	21,3	2,73

Bu tabloda görüldüğü gibi, deney numunelerinde üretilen betonların karakteristik basınç dayanımını genel olarak 21,3 MPa' dır. Üretimler arasında farklılık ise %4 civarında gerçekleşmiştir. Bu da numune üretiminde kullanılan beton karışımının aynı özelliklerde yeniden üretilebilirliğini göstermektedir.



Şekil 2.2. Mettler marka PM 30 tipi tartı aleti



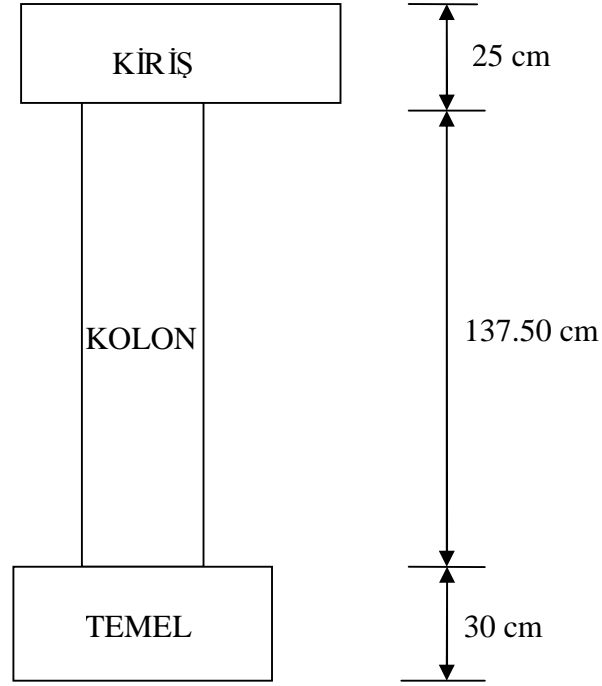
Şekil 2.3. 80 litre kapasiteli eğik eksenli betoniyer



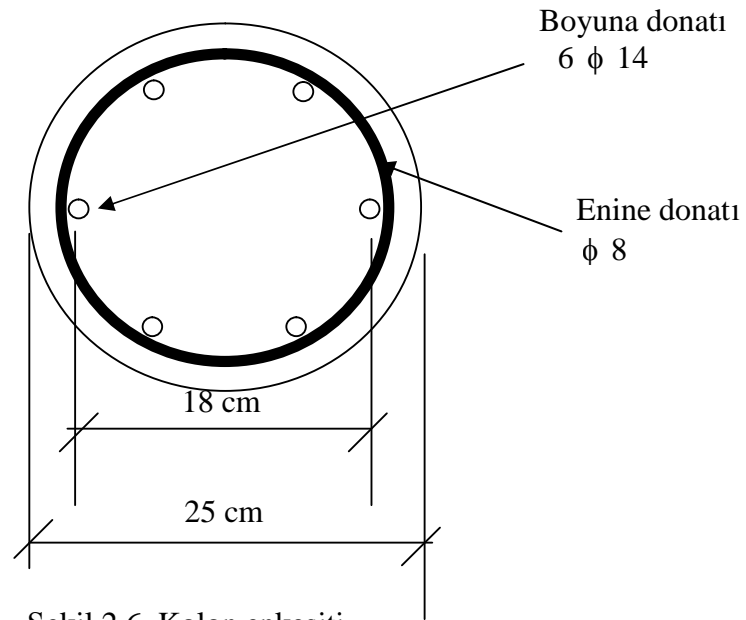
Şekil 2.4. Beton basınç dayanımı test cihazı

2.4. Deney Numuneleri Üretimi ve Kürü

Farklı fret aralıklarına sahip betonarme kolonların burulma etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi için 3 tip farklı sargı donatısına sahip kolon numune hazırlanmıştır. Kolonlar 25 cm çapında, 137,50 cm boyunda üretilmiştir (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).



Şekil 2.5. Numune boyutları



Şekil 2.6. Kolon enkesiti

Üretilen kolonlarda fret adımları 50 mm, 100 mm ve 200 mm olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kolonların bazı özellikleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.8. Kolon detayları

Kolon Adı	Kolon Yüksekliği (cm)	Fret Adımları(mm)	Boyuna Donatı Çapı (mm)	Enine Donatı Çapı (mm)
CT-S50	137,50	50	14	8
CT- S100	137,50	100	14	8
CT- S200	137,50	200	14	8

Deney numunelerini için sargı donatılarının hazırlanışı Şekil 2.7’de, hazırlanmış bir sargı donatısı ise Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Kolon sargı donatısı üretimi

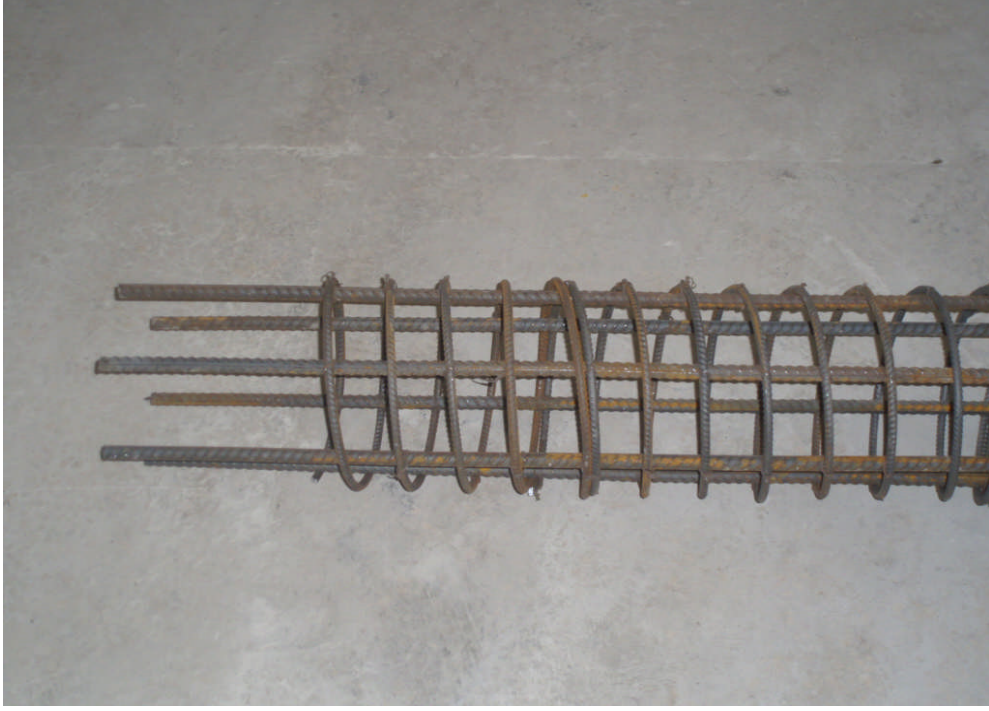


Şekil 2.8. Üretilen kolon sargı donatısı

Sargı donatısı hazırlandıktan sonra kolon boyunca donatısı yerleştirerek istenilen sargı adımında sarılmıştır (Şekil 2.9). Bu şekilde hazırlanan bir kolon donatısı Şekil 2.10'da ve Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.9. Kolon boyunca donatısı ve sargı donatısının birbirine monte edilmesi

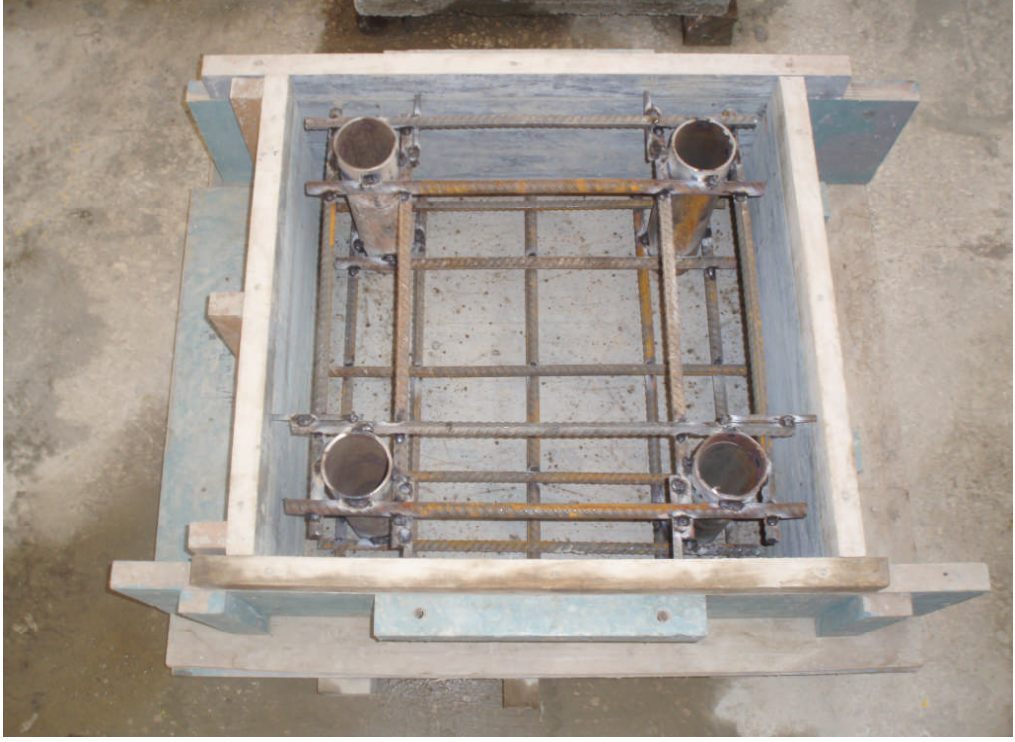


Şekil 2.10. Üretilen kolon donatısı



Şekil 2.11. Üretilen kolon donatısı

Kolon üzerinde burulma deneyi yapabilmek için, bu kolonun laboratuarda bulunan rijit platforma bağlanabilmesi için 300 mm x 300 mm enkesit alanına ve 300 mm yüksekliğe sahip temel yapılmıştır. Temel şekilde görüldüğü gibi ϕ 16 ‘lık demirlerle oluşturulmuş ve ankraj için 75 mm çapındaki borular temel demirlerine kaynatılmıştır (Şekil 2.12).

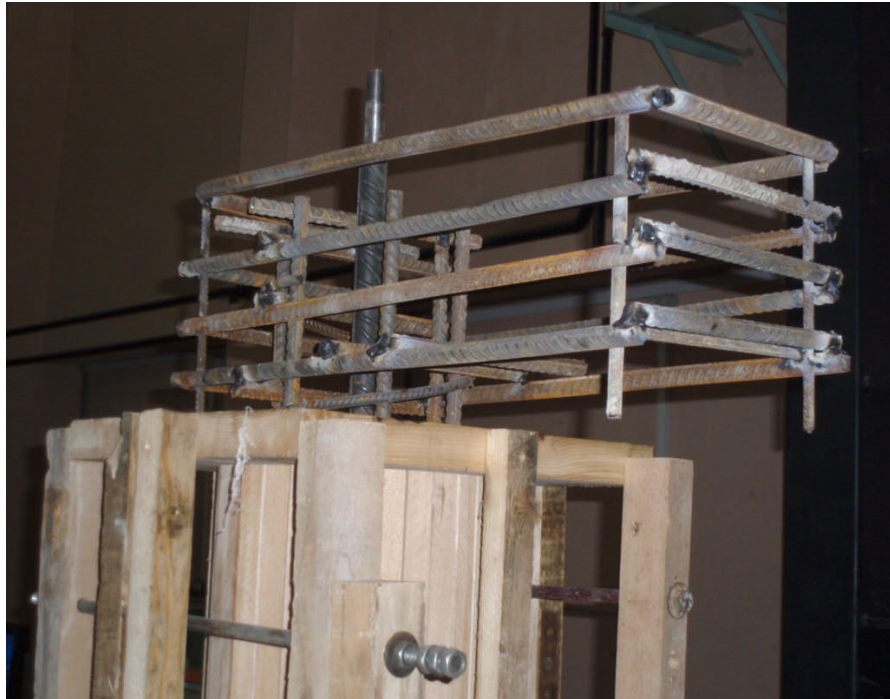


Şekil 2.12. Temel donatı detayı

Bu şekilde hazırlanan temele kolon donatıları yerleştirerek temel betonunun dökülebilmesi için gerekli hazırlıklar yapılmıştır (Şekil 2.13). Deney kolonlarına burulma uygulayabilmek için kolon üst kısmını kolon donatıları ile birleşik ve kolon boyuna donatıları ile birlikte çalışacak şekilde yükleme kirişi yapılmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.13. Temel ve kolon birleşimi



Şekil 2.14. Kiriş detayı ve kolon kiriş birleşimi

Kalıpları ve donatıları yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi hazırlanan deney numunelerinin öncelikli olarak temeli akabinde kolon ve kiriş kısmı dökülmüştür. Döküm sırasında vibratör kullanılmış ve betonun kalıba iyice yerleştirilmesi sağlanmıştır.

Betonarme kolonları üç gün sonra kalıplarından çıkartılarak su tutucu ıslak çuvallara sarılmıştır. Numuneler belirli aralıklarla sulanmış, böylelikle yüzeyleri ıslak kalacak şekilde bekletilmiştir(Şekil 2.15).

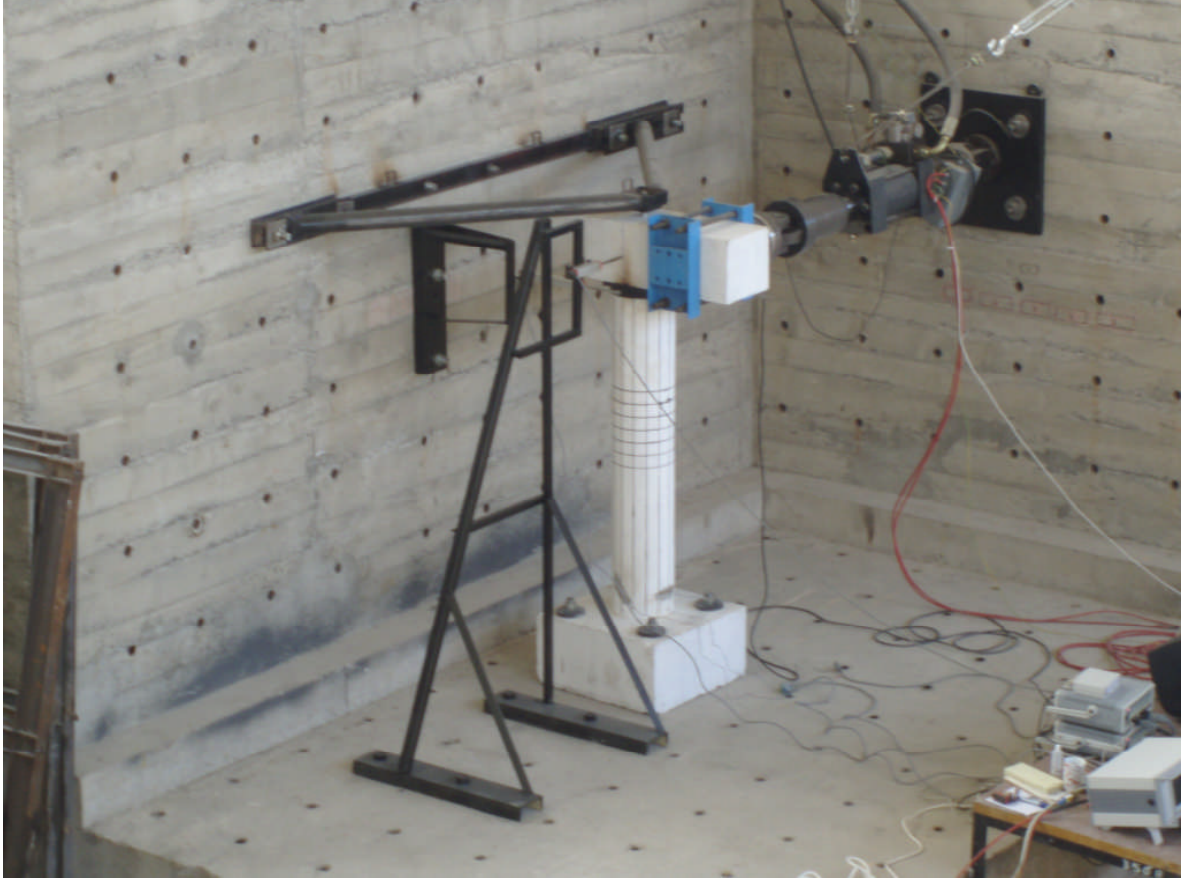


Şekil 2.15. Deney numunelerinin kürü

2.5. Deney Düzenegi ve Burulma Deneyleri

Betonarme kolonların basit burulma deneyleri için Şekil 2.16'da görüldüğü gibi bir deney düzenegi hazırlanmıştır. Bu düzenekte kolona burulma momenti, kirişe uygulanan yük yardımıyla sağlanmıştır. Deney düzenegi Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat

Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Malzeme Laboratuvarı'nda mevcut olan dayanma duvarı platformunda oluşturulmuştur. Bu dayanma duvarının döşeme ve duvarlarında mevcut olan ankraj deliklerine çelik profiller ve vidalarla bu çalışma için özel olarak yapılmış mesnetler ankre edilerek deney düzeneği hazır hale getirilmiştir.



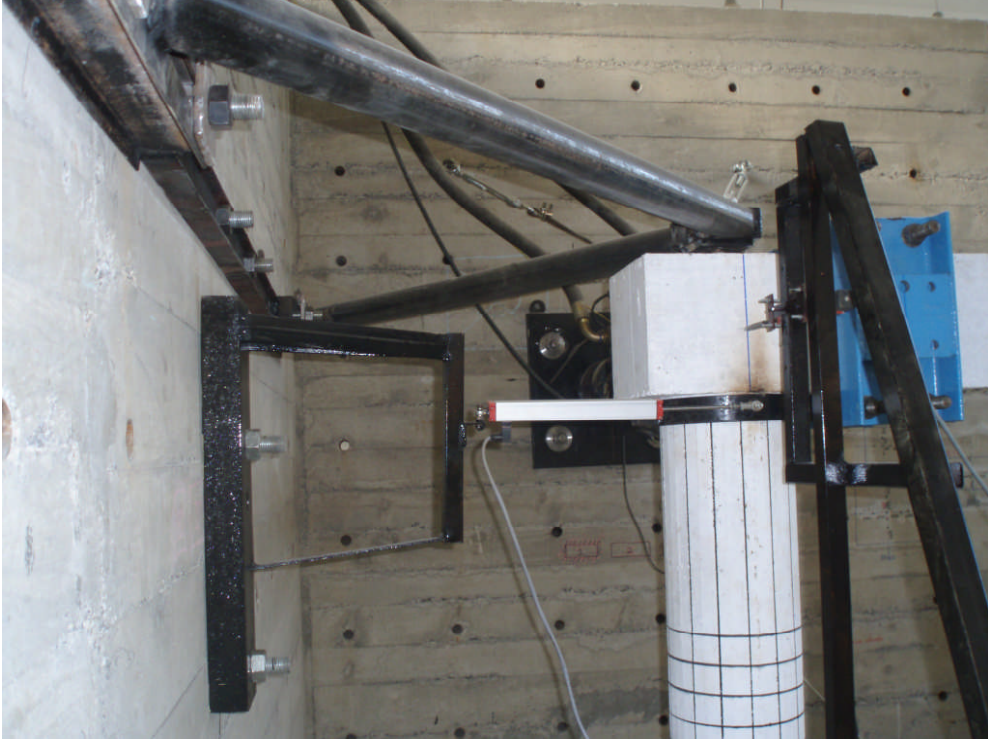
Şekil 2.16. Deney düzeneği

Deney numunesi, dayanma yapısının tabliyesi üzerine gijonlar yardımıyla bağlanmıştır. Böylelikle yük uygulanması sırasında deney numunesi temelinde herhangi bir yer değiştirme olmaması sağlanmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Numune temelinin dayanma yapısına sabitlenmesi

Temelde yapılan sabitleme işlemi aynı şekilde numunenin üst kısmında da yapılmıştır. Böylelikle numunenin basit burulma yapması sağlanmıştır. Beton dökümü sırasında kirişin üst kısmına ankre edilmiş demire Şekil 2.18' de görüldüğü gibi mesnet monte edilmiştir.



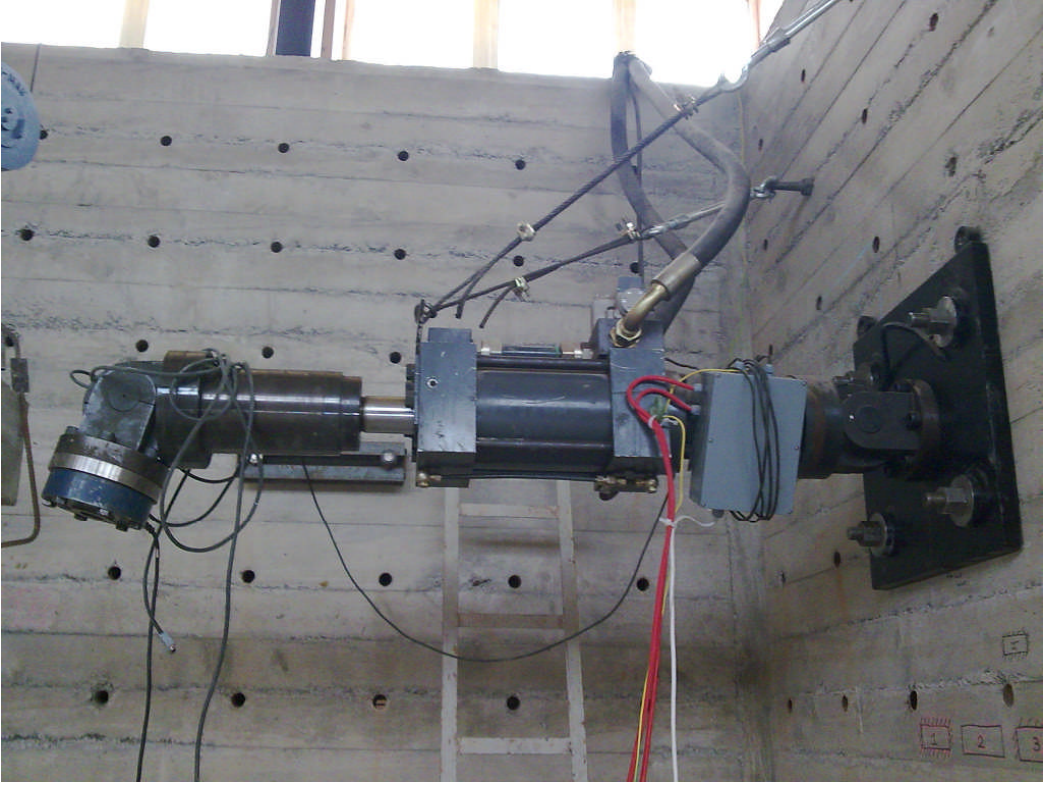
Şekil 2.18. Numunenin ekseninde dönme yapmasını sağlayan mesnet

Deney numunesinin rahatça dönme yapabilmesi için kirişten çıkan pim ile sabitleyici mesnetin birleştiği bölgeye rulman konulmuştur. Böylelikle kolonun uygulanan kuvvet ile dönebilmesi ve yalnızca basit burulma etkisi altında kalması sağlanmıştır (Şekil 2.19).

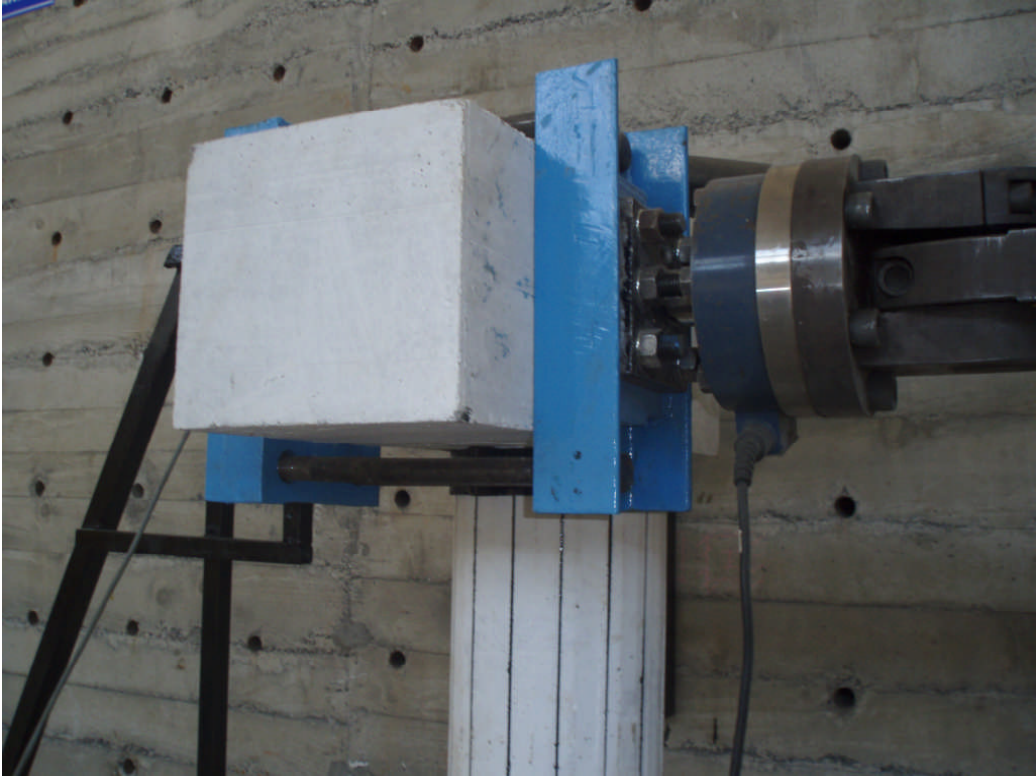


Şekil 2.19. Numune ile ankastre mesnet birleşimi ve rulman

Deney numunelerine burulma momenti, yükleme kirişi yardımıyla uygulanmıştır. Deney numunelerine tekrarlı yük uygulanması 280 kN kapasiteli aktüatör yardımıyla yapılmıştır (Şekil 2.20). Çelik profiller ile aktüatörün yükleme kirişine bağlanması sağlanmıştır. Karşılıklı iki adet UPN profilinin 16 mm çapındaki vidalarla sıkılmasıyla kiriş ve aktüatör rijitlenmiştir (Şekil 2.21).

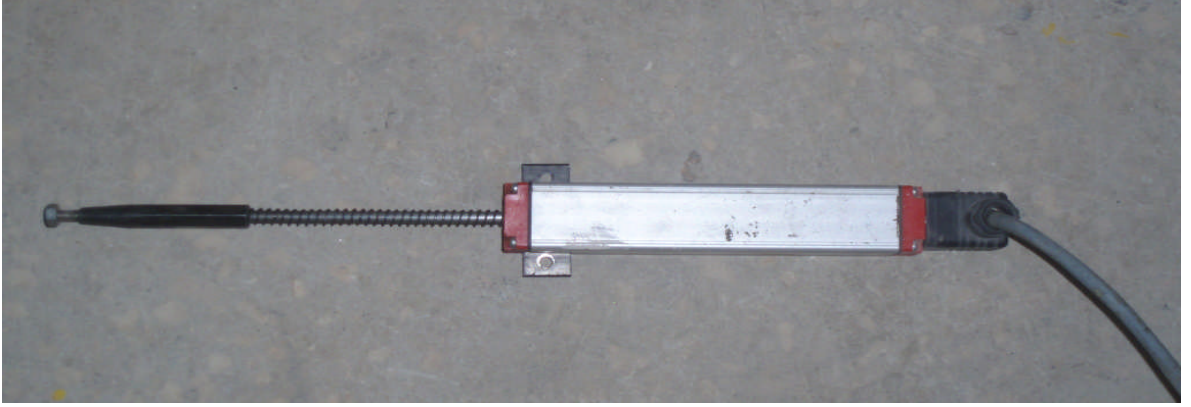


Şekil 2.20 Aktüatör

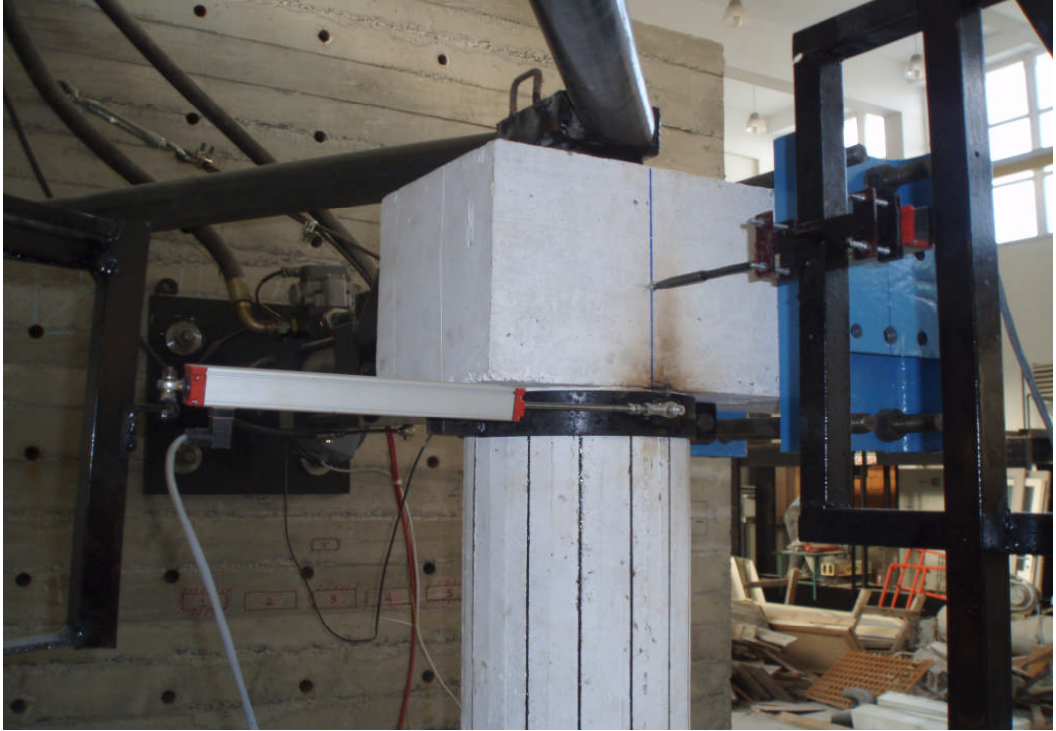


Şekil 2.21. Aktüatör ve kirişin rijit hale getirilmesi

Deney sırasında, deney elemanı üzerinde dönmelerin belirlenebilmesi için eleman üzerine Şekil 2.22’de görüldüğü gibi düzenekler kurulmuştur. Hazırlanan ölçü düzenekleri üzerine ölçü boyları 150 mm ve 500 mm olan lineer potansiyometrik cetveller (LPDT) monte edilmiştir (Şekil 2.23). Betonarme elemana burulma momenti etki ederken numune kendi eksenini etrafında dönmeye çalışmakta ve bu dönme değerleri potansiyometrik cetveller yardımıyla kaydedilmektedir.

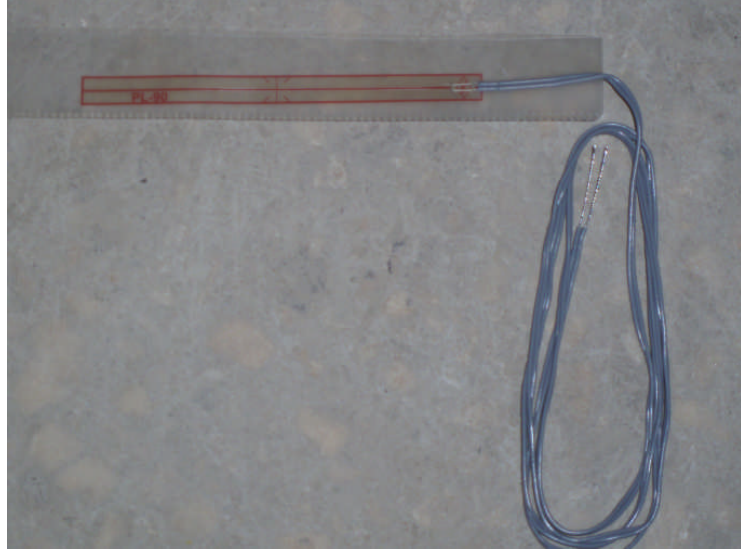


Şekil 2.22. Potansiyometrik cetveller (LPDT)



Şekil 2.23. Deney numunesi üzerine monte edilen LPDT ‘ler

Ayrıca kolon yüzeyine, betonda meydana gelen birim uzama ve birim kısalma değerlerini belirlemek amacıyla aktif boyu 120 mm olan birim şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir (Şekil 2.24 ve Şekil 2.25).

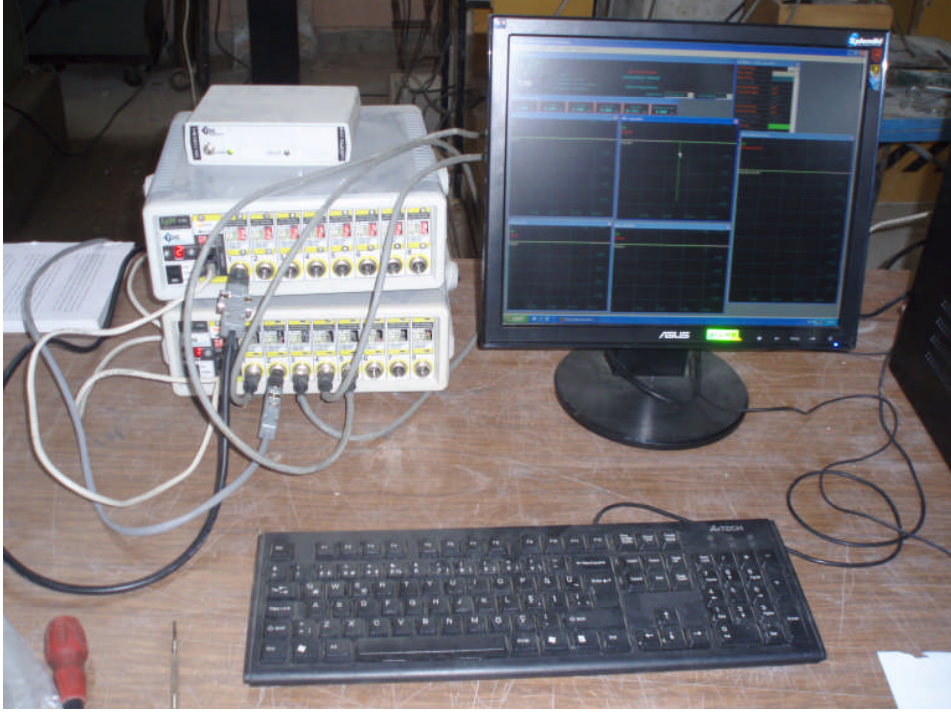


Şekil 2.24. Şekildeğiştirme ölçerler



Şekil 2.25. Numune üzerindeki şekildeğiştirme ölçerler

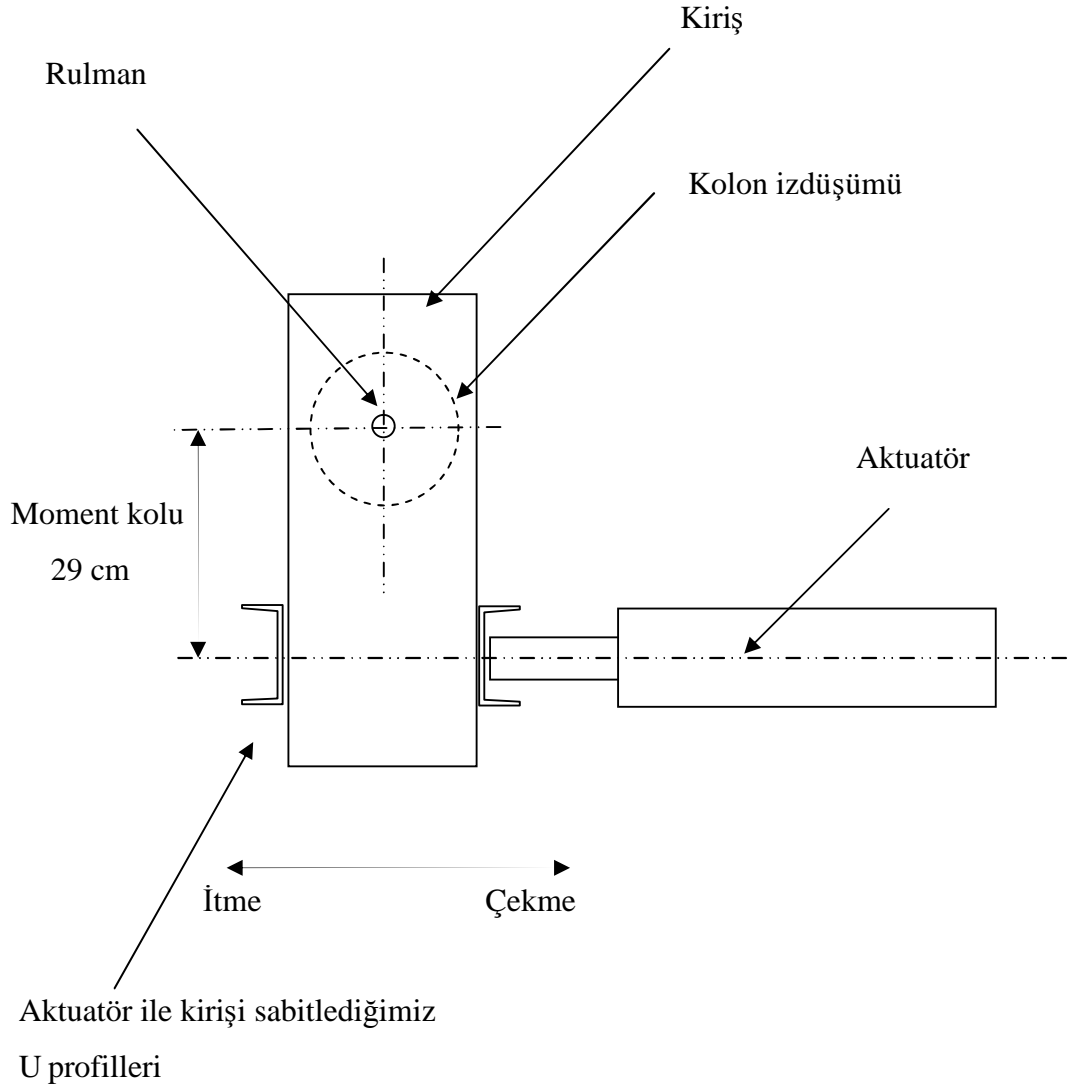
Kolon numunelerin burulma davranışlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu deney düzeneğine kolon numuneleri ve ölçüm sistemleri yerleştirildikten sonra 280 kN kapasiteli bir piston ve 500 kN kapasiteli yükölçer (loadcell) yardımıyla sabit bir yükleme hızında burulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney süresince uygulanan yük ve deney numunelerinin şekildeğişimleri veri kayıt sistemi ile kaydedilmiştir(Şekil 2.26).



Şekil 2.26. Veri kayıt sistemi

2.6. Bulgular ve İrdemeler

Fretli kolonların basit burulma altında davranışlarının araştırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada fret adımları 50 mm, 100 mm ve 200 mm olan kolonlar deneye tabi tutulmuştur. Yükleme 280 kN kapasiteli aktüatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerine burulma, yük kirişi vasıtasıyla yapılmıştır. Deney numunesi eksenini (kolon eksenini) ile aktüatör eksenini arasındaki mesafe 290 mm'dir. Yükleme düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2.27' de verilmektedir.



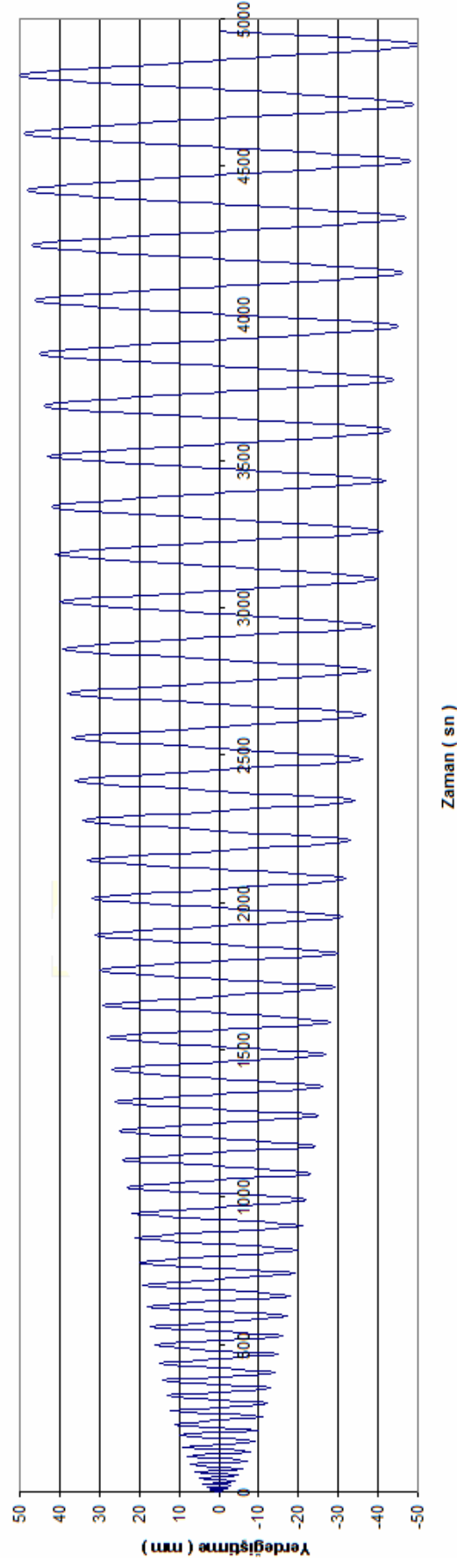
Şekil 2.27. Yükleme düzeneği

Fretli betonarme kolonların basit burulma altındaki davranışlarının araştırılması amacıyla üretilen bir kolonun deneye hazırlanması ve ölçüm sistemi ile yük sisteminin montajı Şekil 2.28' de görülmektedir.



Şekil 2.28. Kolonun deneye hazırlanması ve ölçüm sistemi

Yukarıda verildiği gibi deneye hazırlanan kolonlara çevrimsel yük uygulanmıştır. Yükleme-yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Diğer bir deyişle yükleme 1mm itme, 1 mm çekme olacak şekilde artırımlı olarak devam etmiştir. Uygulanan yükün yerdeğiştirme-zaman ilişkisi Şekil 2.29' da verilmiştir.



Şekil 2.29. Uygulanan çevrimsel yükün zamana bağlı değişimi

Deneyle, kolonların çevrimsel yükleme altında kaçamaya başlamasına, diğere bir deyişle artık yük almamaya başlayana kadar devam edildi. Bu şekilde çevrimsel döngü elde edilmeye çalışıldı.

Burulma etkisine maruz bırakılan deney numunelerinde, deney boyunca oluşan çatlaklar kaydedildi (Şekil 2.30). Bu kolonlardan 50 mm fret adımına sahip olanının kırılma şekli Şekil 2.31’ de görölmektedir.

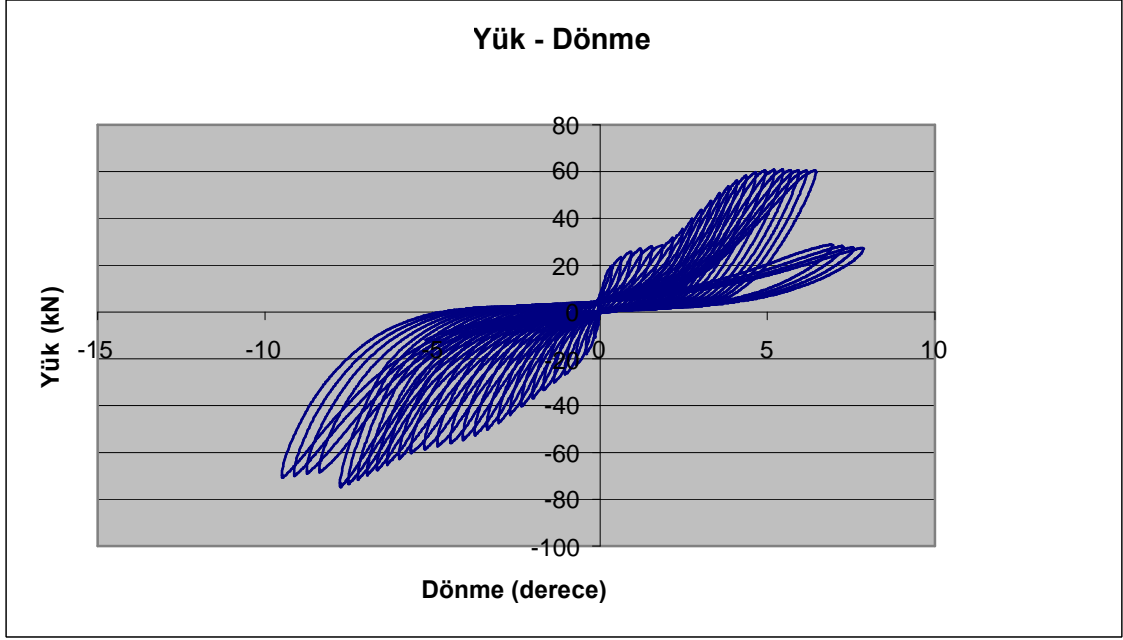


Şekil 2.30. Deney boyunca oluşan çatlakların işaretlenmesi



Şekil 2.31. Burulma etkisindeki fret adımı 50 mm olan kolonlarda çevrimsel yüklerden oluşan kırılma şekli

Bu şekilden de görüldüğü gibi, çevrimsel yükleme altında burulma nedeniyle oluşan çatlaklar, fret adımı 50 mm olan kolonlarda tüm kolon boyunca yayılmış ve göçme alt ve üst mesnet bölgesine yakın bir yerden göbek betonu dışındaki betonun parçalanması ile gerçekleşmiştir. Kolon o bölgede artık bir mafsal gibi davrandığından daha fazla bir burulma momenti taşıyamaz hale gelmiştir. Gerçekleştirilen deneyler boyunca kolona uygulanan çevrimsel yük ve dönme, çevrim eğrilerini oluşturmak için kaydedilmiştir. Fret adımı 50 mm olan kolonlar için çevrim eğrileri Şekil 2.32' de verilmektedir.

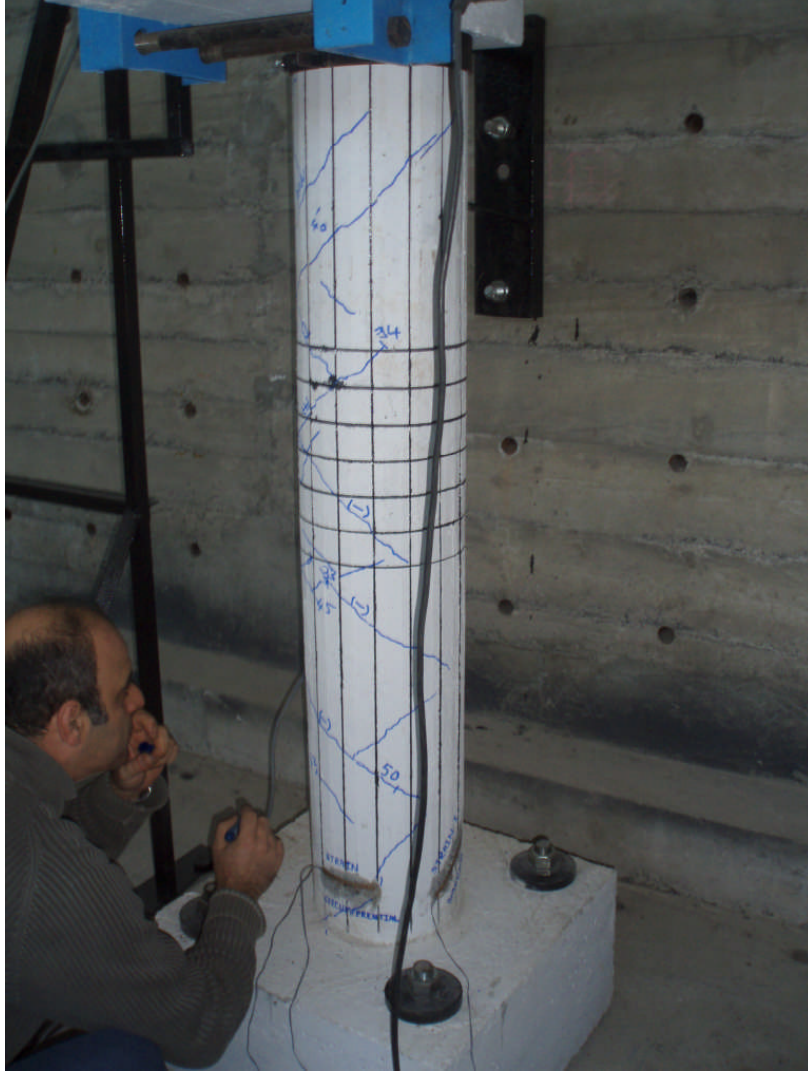


Şekil 2.32. Fret adımını 50 mm olan kolonlar için çevrimsel yük-dönme eğrileri

Bu şekilde itme, fret sargı yönünün tersinde dönme oluşturacak (frette açılma), çekme ise fret sargı yönünde dönme oluşturacak şekilde yüklemeyi göstermektedir. Bu çevrimsel yükleme eğrilerinden görüldüğü gibi, fret sargı yönünde dönme oluşturan burulma yaklaşık 20 kN' luk çevrimsel yüklemeye benzer davranış gösterirken, bu yükten sonra her iki bölge farklı davranış göstermektedir. Bunun nedeni fret yönünün ters dönme oluşturan yükleme (itme) nedeni ile frette oluşan açılma eğilimidir. Fretli kolona uygulanan çevrimsel yükleme neticesinde, kolonun göbek betonu dışındaki betonda oluşan yaklaşık 45° lik çatlaklar sonucunda fret donatısının bazı kesitlerde aderansın sökülmesinde etkisiyle daha kolay açılmasıdır. Fretli kolonun fret sargısı doğrultusunda uygulanan yüklemeye ise fretler kapanmaya çalışmakta ve kolonun göbek betonuna basınç uygulamaktadır. Göbek betonunun kesit alanının daha fazla olması nedeniyle fret etkisi ile parçalanmamakta daha fazla burulma momenti taşıyabilmektedir. Fretlere uygulanan çevrimsel yüklemeye, fretlerin açılmaya ve kapanmaya çalışması sonucunda bu diyagramda her iki bölgedeki davranış da birbirinden farklı olmaktadır.

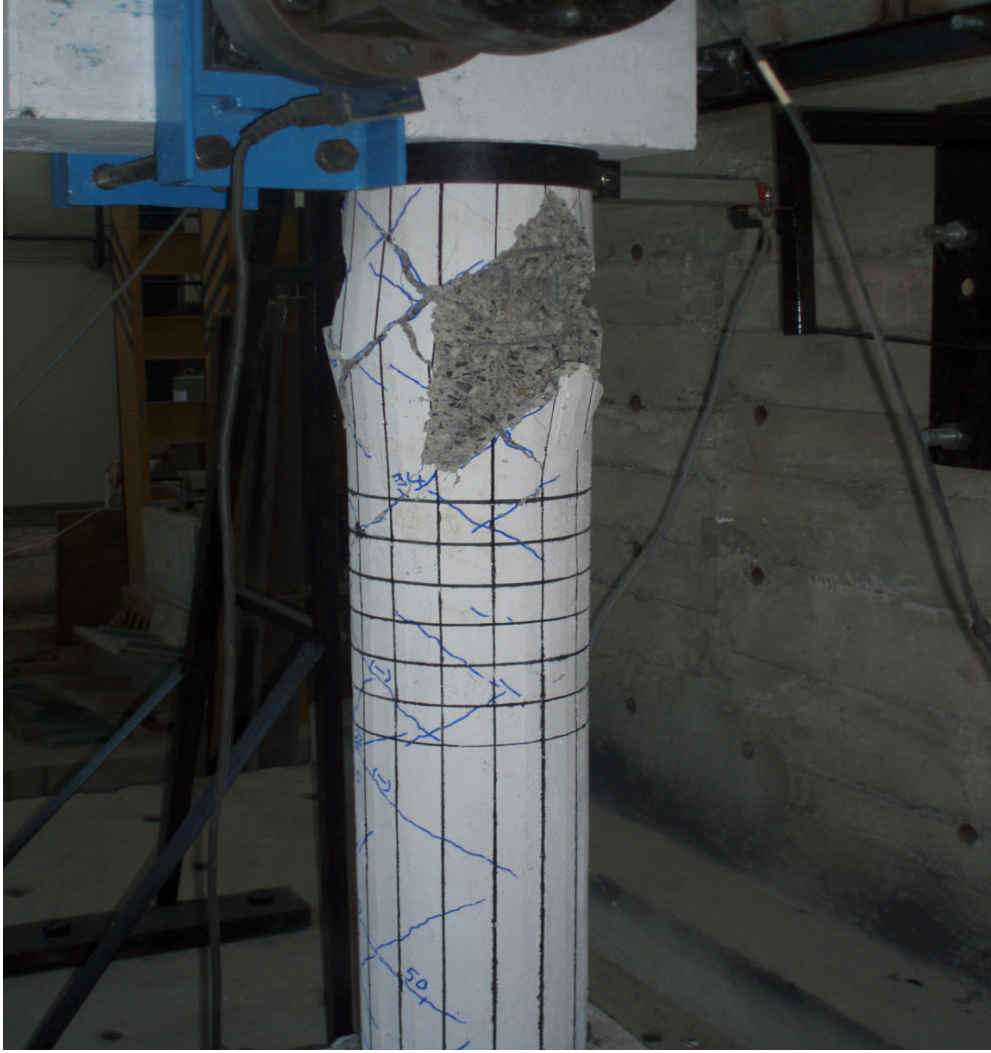
Fretli kolonların çevrimsel yük altında burulma davranışlarının araştırılması ile gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında fret adımını 100 mm olarak üretilen kolonlar üzerinde

Şekil 2.29' da verilen yükleme uygulanarak burulma deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyler boyunca oluşan çatlaklar kaydedilmiştir (Şekil 2.33).



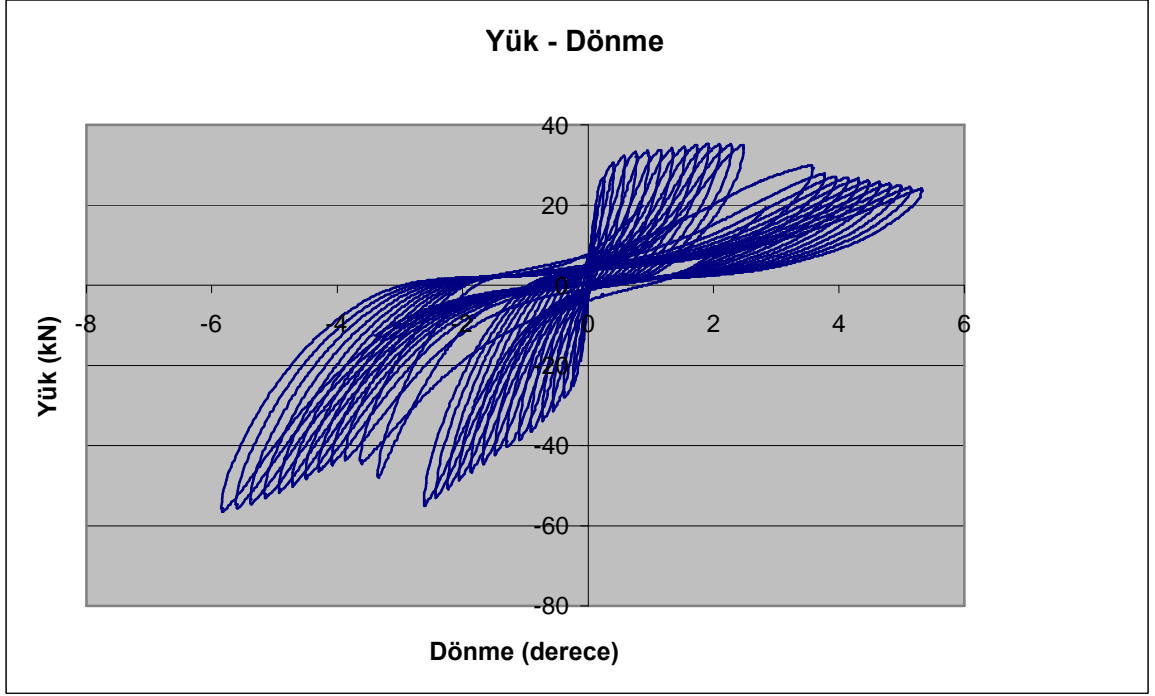
Şekil 2.33. Fret adımı 100 mm olan kolonlarda yüklemede oluşan çatlaklar

Bu şekilden de görüldüğü gibi deneylerde oluşan çatlakların aralıkları, fret adımı 50 mm olan kolonunkinden daha fazla olmuştur. Bu kolonun kırılma şekli ise yük uygulanan mesnete yakın bölgede gerçekleşmiştir (Şekil 2.34).



Şekil 2.34. Fret adımı 100 mm olan kolonda çevrimsel yükten oluşan kırılma şekli

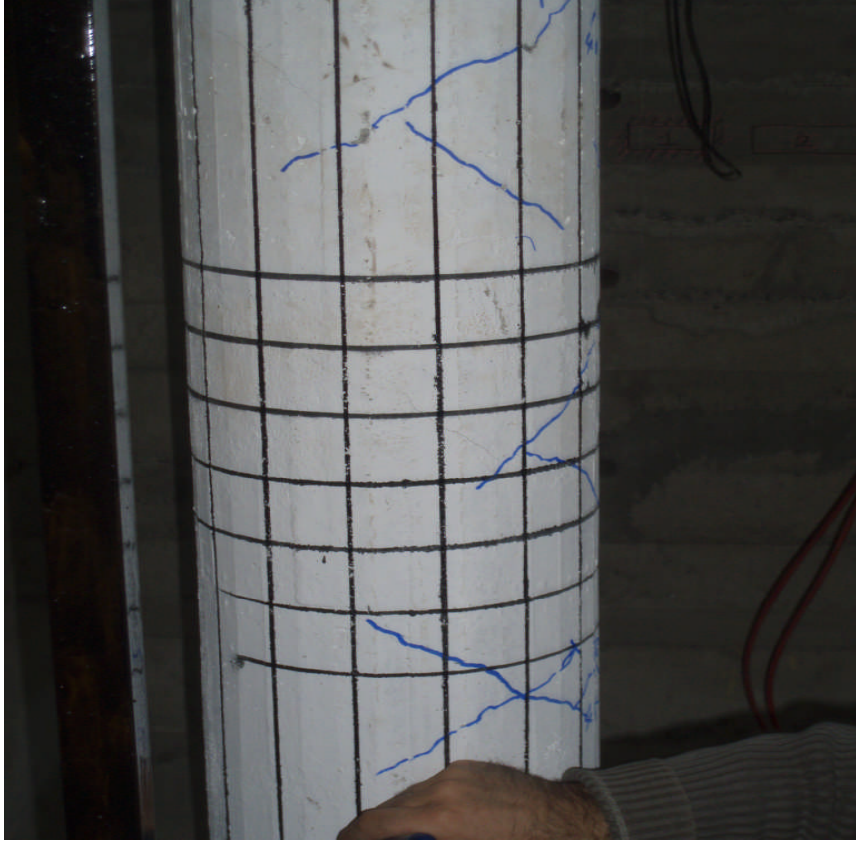
Fret adımı 100 mm olan kolonlar için deneylerden elde edilen çevrimsel yük-dönme eğrileri (çevrim) Şekil 2.35' de verilmektedir.



Şekil 2.35. Fret adımı 100 mm olan kolonlar için çevrimsel yük-dönme eğrileri

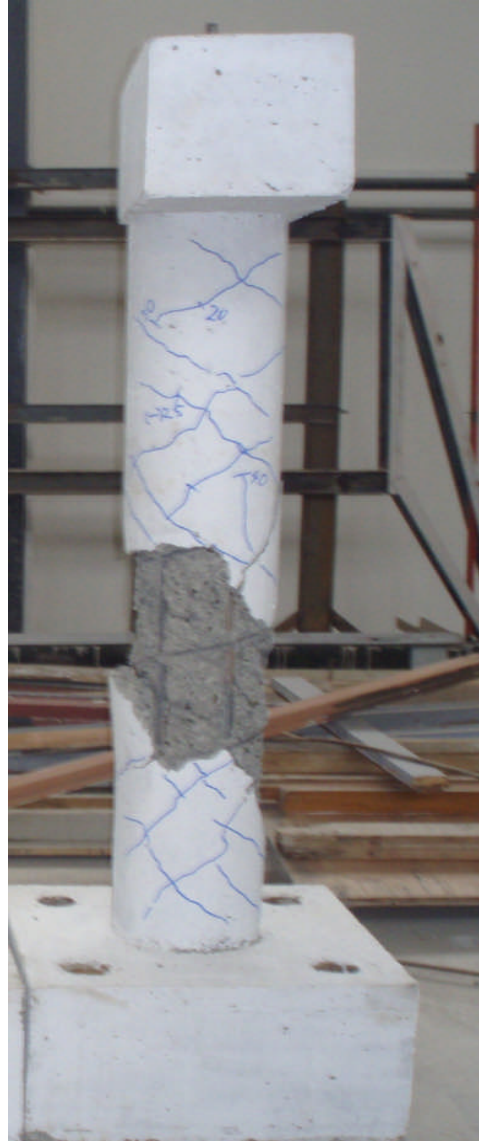
Bu şekilden de görüldüğü gibi, fret sargı yönünün tersine dönme oluşturan (itme) yükleme ile fret sargı yönü doğrultusunda dönme oluşturan (çekme) yüklemelerde kolon davranışı farklılık göstermektedir. Yükleme boyunca oluşan çatlakların, en fazla zorlanan kesitte, açılmasıyla mafsallık oluşmakta ve çevrim eğrilerinde her iki bölgede de büyük açılmalar meydana gelmektedir. Mafsallık oluşumundan sonra kolon burulma etkisi ile taşıma gücünü tamamen kaybetmektedir. Burulma momenti altında daha fazla dönme oluşturarak belli bir yükü taşımaya devam etmektedir. Ancak bu yük taşıma işi göbek betonunun parçalanmasından sonra oldukça azalmaktadır.

Fret adımı 200 mm olan kolonlar diğer kolonlar gibi deneye tabi tutulmuş ve deneyler boyunca oluşan çatlaklar kaydedilmiştir (Şekil 2.36).



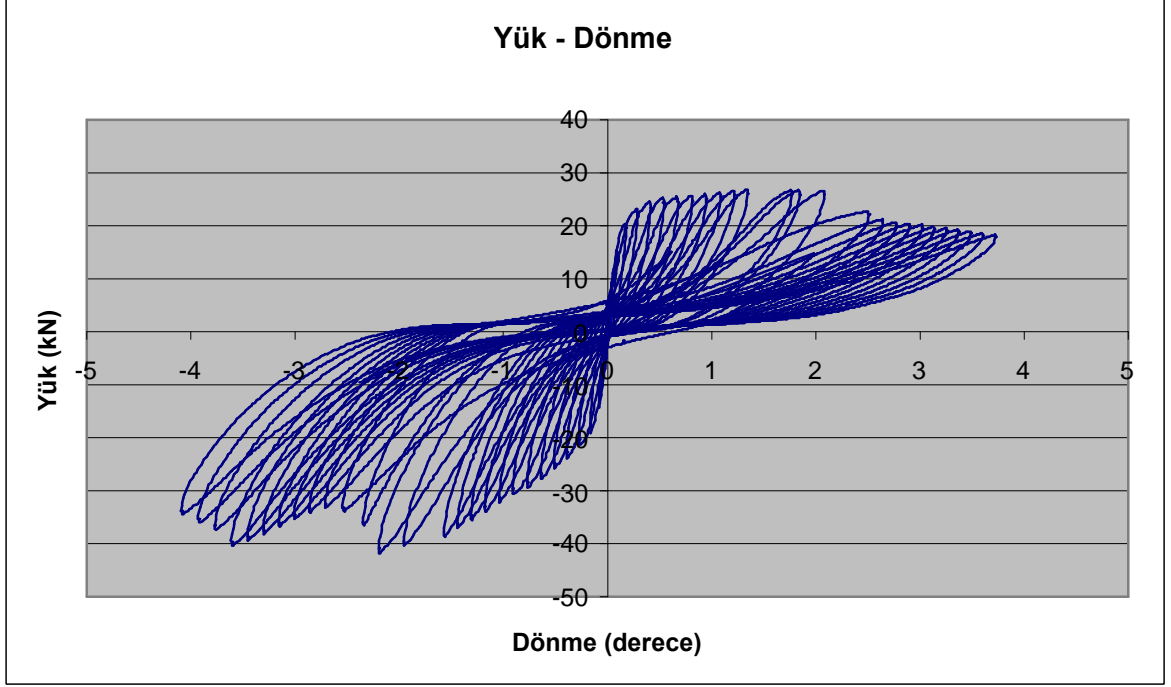
Şekil 2.36. Fret adımı 200 mm olan kolonlarda yüklemekten oluşan çatlaklar

Bu şekilden de görüldüğü gibi deneyler boyunca kolon yüzeyinde oluşan çatlakların, araklıları 50 mm ve 100 mm olan kolonlarınkinden daha fazladır. Bu da fret adımı büyük olması nedeniyle oluştuğu çatlakların fret yörüngesini izlediğini göstermektedir. Fret adımları 200 mm olan kolonların kırılma şekli ise Şekil 2.37' de verilmektedir.



Şekil 2.37. Fret adımı 200 mm olan kolonda çevrimsel yükten oluşan kırılma şekli

Bu şekilden de görüldüğü gibi, fret adımı 200 mm olan kolonlarda kırılma kolon orta bölgesine yakın bir kesitte meydana gelmiştir. Bu kolonlara ait çevrimsel yük-dönme eğrileri Şekil 2.38' de verilmektedir.



Şekil 2.38. Fret adımı 200 mm olan kolonlar için çevrimsel yük-dönme eğrileri

Bu şekilden de görüldüğü gibi, fret sargı yönünün tersi yönde dönme oluşturan (itme) yükleme ile fret sargı yönü doğrultusunda dönme oluşturan (çekme) yüklemede kolon davranışı farklılık göstermekte ve 100 mm fret adımına sahip kolonların davranışlarına benzer bir davranış görülmektedir. Yüklemenin fret sargı yönünün tersi yönde olması durumunda dönme kabiliyeti azalmaktadır. Fret adımları 200 mm olması nedeniyle fret donatısı diğer kolonlarınkine göre daha düşük yük değerlerinde açılmaya başlamakta ve göbek betonunun daha erken dağılmasına neden olmaktadır.

Fretli kolonlarda burulma etkisinin çevrimsel yük altında davranışlarının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan kolonlara ait maximum yük ve dönme kapasiteleri Tablo 2.8' de verilmektedir.

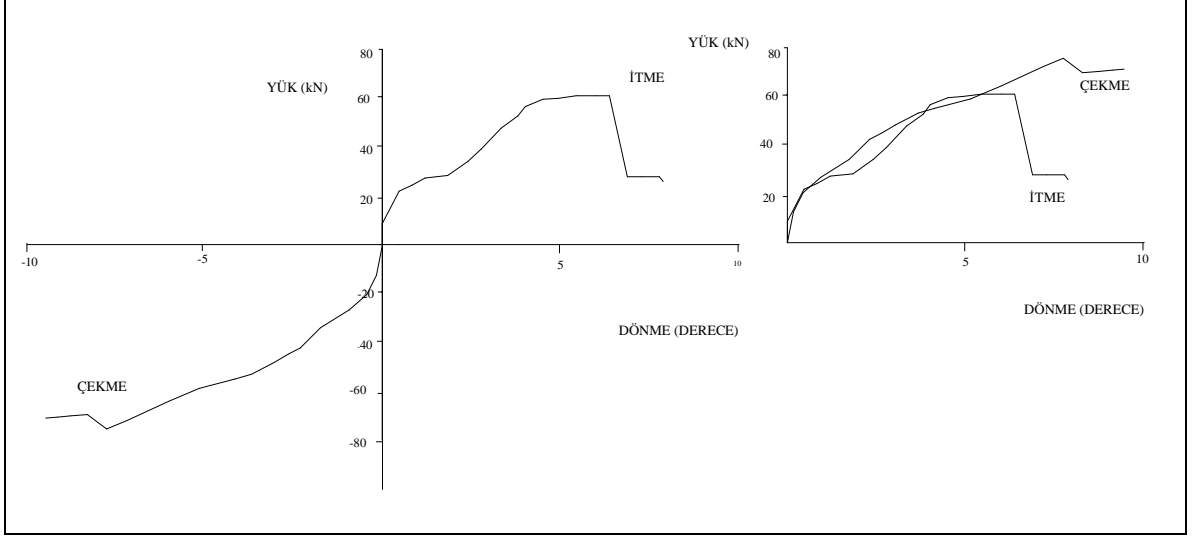
Tablo 2.9. Fretli kolonlarda elde edilen maksimum yük ve dönme değerleri

Kolon adı	Kolonun taşıdığı max. yük altındaki dönme değeri			
	Çekme		İtme	
	Yük(kN)	Dönme(Derece)	Yük(kN)	Dönme(Derece)
CTS-50 (fret adımı 50 mm)	74,78	7,74	60,3	5,46
CTS-100 (fret adımı 100mm)	55,6	5,85	34,56	1,92
CTS-200 (fret adımı 200mm)	41,79	2,19	26,74	1,83

Bu tablodan da görüldüğü gibi, fret sargı yönünde uygulanan burulma etkisinde maksimum yük, fret adımı 50 mm olanlar için 74,78 kN olurken bu değer fret adımının artmasıyla azalmaktadır. Fret adımı 100 mm olan kolonlarda fret yönünde uygulanan yük fret adımı 50 mm olana göre, % 26 oranında azalırken, bu azalma yükün fret yönünün tersi doğrultusunda (frette açılma) uygulanması durumunda %42 oranında olmaktadır.

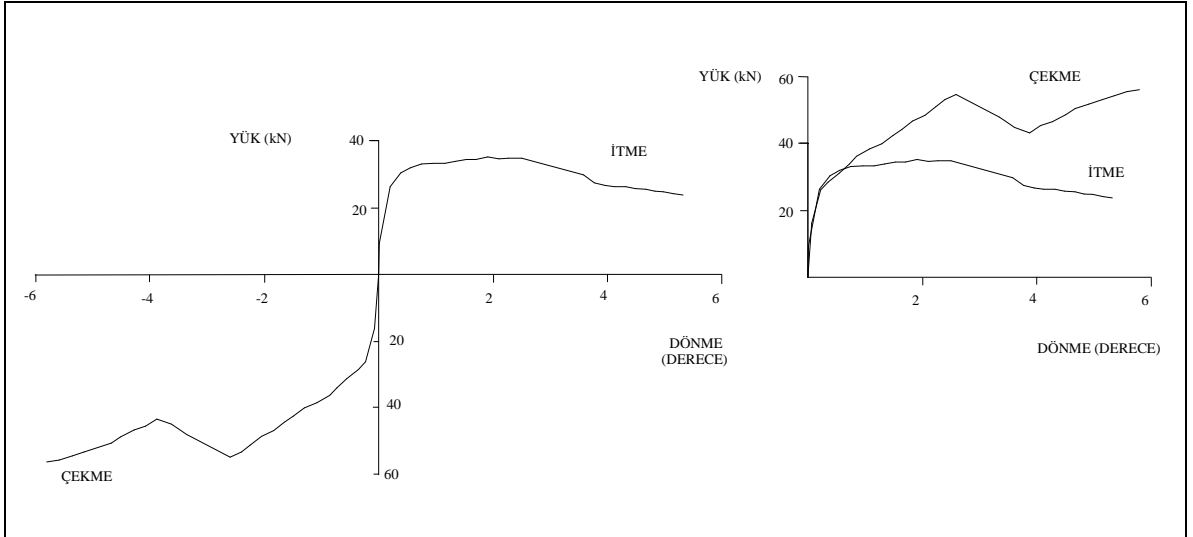
Aynı şekilde fret adımı 200 mm olan kolonlarda fret yönünde uygulanan yük fret adımı 50 mm olanlara göre, %44 oranında azalırken, bu azalma yükün fret yönünün tersi doğrultusunda (frette açılma) uygulanması durumunda %56 oranında olmaktadır. Bu oranlar, fret adımının 100 mm ile 200 mm olanlarda sırasıyla %25 ve % 23 oranlarında olmaktadır. Buradan fret adımı 100 mm'den 200 mm çıkarmaktaki etki, fret adımının 500 mm' den 100 mm' ye çıkartılmasında olduğundan daha azdır.

Fretli kolonlar üzerinde yapılan deneylerde, fret donatısının sarılma doğrultusunda uygulanan yük ile fret donatısının sarılma doğrultusuna ters doğrultuda uygulanan yük durumunda (fret açılması), fret adımı 50 mm olan kolonlarda yük-dönme her iki bölgede de belirli bir değere göre benzer davranış göstermesine rağmen, yükün artırılması durumunda fret donatısının sarılma doğrultusuna ters uygulanan (itme) yük durumunda donatı açılması nedeniyle davranışta sapma olmaktadır. (Şekil 2.39).



Şekil 2.39. Fret adımı 50 mm olan kolonlarda çevrimsel yük-dönme ilişkisi

Fret adımı 100 mm olan kolonlarda çevrimsel yük-dönme ilişkisi ise Şekil 2.40' da verilmektedir.

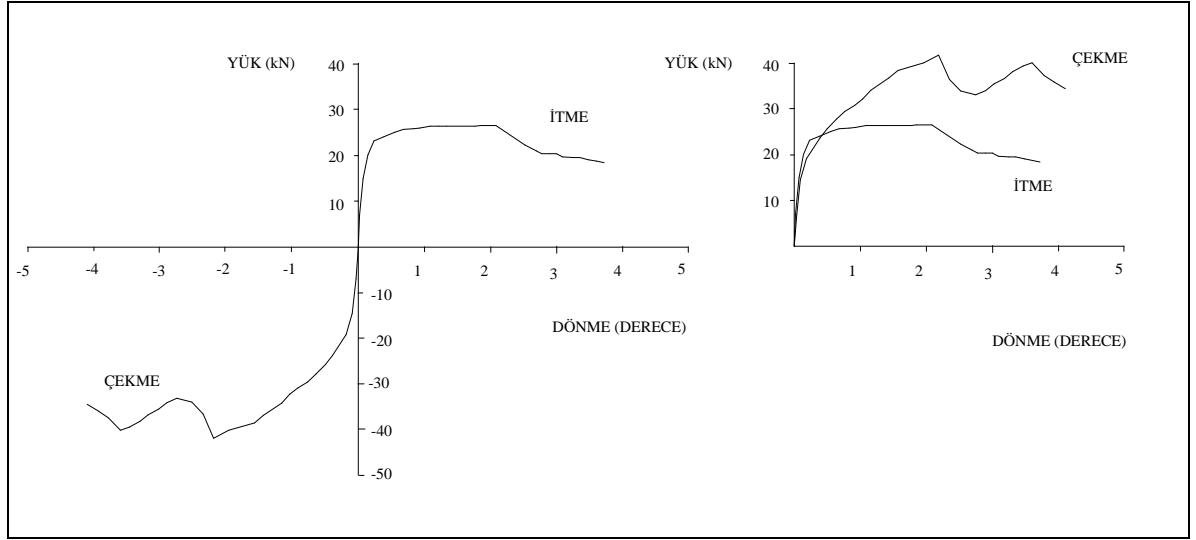


Şekil 2.40. Fret adımı 100 mm olan kolonlardaki çevrimsel yük-dönme ilişkisi

Bu şekilden de görüldüğü gibi, her iki yükleme durumunda da yaklaşık 25 kN' luk yük değeri kadar aynı davranışı gösteren fretli kolon bu yük değerinden sonra kolon

boyunca oluşan çatlakların gelişmesiyle bir birinden ayrılmakta ve fretleri sıkıya çalışan (çekme) yükleme durumunda daha fazla burulma yükü taşıma kapasitesine sahip olmaktadır. Bu yükleme durumunda fretlerin açılıp kapanmalarından dolayı göbek betonunda oluşan çatlaklar nedeniyle yerel yük kayıpları olmakla birlikte tekrar burulma yükü alabilmektedir. Göbek betonunun tamamen dağılmasına kadar bu işlem (çekme) devam edebildiği ya da sargı donatısında oluşan gerilmelerin kopma dayanımına ulaşması ile göçmenin olabileceği düşünülmektedir.

Fret adımı 200 mm olan kolonlarda çevrimsel yük-dönme ilişkisi Şekil 2.41’ de verilmiştir.



Şekil 2.41. Fret adımları 200 mm olan kolonlardaki çevrimsel yük-dönme ilişkisi

Bu şekilden de görüldüğü gibi fret adımı 200 mm olan kolonların çevrimsel yük altındaki davranışı, fret adımı 100 mm olan kolonların davranışları ile oldukça benzerlik göstermektedir. Bu da fret adımının belli bir değerden daha fazla arttırılmasının, çevrimsel davranış yönünden herhangi bir etkisinin olmadığı ancak, sargı aralığının artması ile burulma yükünün önemli derecede azaldığı görülmüştür.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fretli kolonların çevrimsel yük altında burulma davranışlarının araştırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, fret adımları 50 mm, 100 mm ve 200 mm olan kolonlar üretilmiş ve kolon boyunca burulma etkisine maruz kalacak şekilde çevrimsel yük altında deneye tabi tutulmuştur. Yükleme bir milimetrelık artımla artan yük altında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen bazı sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

a – Kolonların üretiminde karakteristik basınç dayanımı $21,3 \text{ N/mm}^2$ olan (C20 dayanım sınıfı) beton kullanılmıştır. Betonların, üretimden üretime basınç dayanımı arasında farklılık en fazla %4 civarındadır. Bu da kolon üretiminde kullanılan betonun yeniden üretilebilirliğini sağladığını göstermektedir.

b - Deney numuneleri fret adımları 50 mm olan kolonlarda daha fazla dönme ve burulma momenti taşıma kapasitesine sahip olduğu, fret adımları artmasıyla hem dönme kapasitesinin, hem de burulma momenti taşıma kapasitesinde önemli oranda azalma olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç etriyeli kolonlarda da gözlenen bir davranıştır.

c – Burulmanın fret sargısı yönünde olması durumunda taşıma kapasitesinin, fret sargısının tersi yönde olanlara göre daha büyük olduğu, dolayısıyla da fret sargısının tersi yönde burulma uygulanan durumda göbek betonu dışında kalan beton kısmı çevrimsel yük nedeniyle çatlayarak sargı donatısı aderansının kaybolma ve fretlerin açılmasına neden olduğu görülmüştür.

d – Fretli kolonların burulmaya karşı etkili olması ancak burulmanın fret sargı donatısı yönünde gelmesi durumunda, etriyeli kolonlara göre daha etkili olduğu; sargı donatısının ters yönde burulma uygulanması durumunda, etriyeli kolon davranışlarına benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

e – Fretli kolonlarda farklı yönlerde ve farklı çapta fret uygulanması durumunda davranışların nasıl olacağı araştırılmalıdır.

f – Fretli kolonlarda boyuna donatının burulmaya etkisi araştırılabilir.

g – Bu çalışmada basit burulma etkisi araştırılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda eğilmeli burulma da çevrimsel yük uygulanarak araştırılabilir.

4. KAYNAKLAR

- ACI 318-99, 1999. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit.
- ACI 318-95, 1999. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit.
- Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F.ve Çelik, O., 2001. Betonarme, 1.Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Arslan, M. E., 2007. Eğilmede Taşıyıcı Hafif Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton Donatı Aderansıyla Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Celep, Z.ve Kumbasar, N., 1998. Betonarme Yapılar, 2. Baskı, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Chen, J., Jin, W.J.ve Fu, J.,2008. Experimental Investigation of Thin Walled Centrifugal Concrete-Filled Steel Tubes Under Torsion, Thin-Walled Structures, 46, 1087-1093.
- DBYBHY, 2007. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Doğangün, A., 2007. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Durmuş, A., 2000. Hüsem, M., Şekildeğiştirme Ölçerleri, Birinci Baskı, KTÜ Basımevi, Trabzon.
- Eid, R.ve Dancygier, A.N., 2006. Confinement Effectiveness in Circular Concrete Columns, Engineering Structures, 28, 1885-1896.
- Erdoğan, T.,2003. Beton, ODTÜ Yayıncılık, 2. Baskı, Ankara.
- Erdoğdu, Ş., 2007. Yüksek Lisans Beton Ders Notları, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Ersoy, U., 1975. Betonarmede Burulma, Güven Kitabevi, Ankara.
- Ersoy, U., 1986. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü, 1.Cilt, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Ersoy, U.ve Özcebe, G., 1997. Fretli Kolonlarda Sargı Etkisi Üzerine Bir İrdeleme, 4. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı.
- Ersoy, U., 1998. Betonarme Temel İlkeler TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap, Evrim Yayınevi, İstanbul.

- Eurocode-2,1999. Design of Concrete Structures, European Committee for Standardisation, Brussels.
- Hatzigeorgiou, G., 2008. Numerical Model for The Behavior and Capacity of Circular CFT Columns, Part:1 Theory, Engineering Structures, 30, 1573-1578.
- Hindi, R.ve Turechek, W., 2008. Experimental Behavior of Circular Concrete Columns Under Reversed Cyclic Loading, Construction and Building Materials, 22, 684-693.
- Hsu, H.L.ve Wang, C.L., 2000. Flexural-torsional behavior of steel reinforced concrete members subjected to repeated loading, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29:667-682.
- Hsu, H.L., Hsieh,J.C.ve Juang, L., 2004. Seismic Performance of Steel-Encased Composite Members With Strengthening Cross-Inclined Bars, Journal of Construction Steel Research, 60, 1663-1679.
- Hsu, T.T.C, 1968. Torsion of Structural Concrete-Plain Concrete Rectengular Sections. ACI Journal, SP-18 203-238.
- Kaplan, S.,2004. Betonarme Yapı Elemanları, 1.Baskı, Bilseyki Yayınları, Ankara.
- Kayan, İ., 1992. Cisimlerim Mukavemeti, İkinci Baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Kim, K.ve Yoo, C., 2008. Ultimate Strength of Steel Rectengular Box Beams Subjected To Combined Action of Bending and Torsion, Engineering Structures, 30, 1677-1687.
- Liu, J., Zhang, S., Zhang, X.ve Guo, L., 2009. Behavior and strenght of circular tube confined reinforced concrete (CTRC) columns, Journal of Construction and Steel Search, 65, 1447-1458.
- MacGregor, J. G., 1997. Reinforced Concrete : Mechanics and Design, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Öztekin, E., 2000. Basit Eğilme Etkisinde Yüksek Performanslı Betonarme Kiriş Hesabı için Gerilme-Şekildeğiştirme ve Eşdeğer Gerilme Dağılım Modellerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Panchacharam, S.ve Belarbi, A, 2002. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened With FRP Composites, First FIB Congress, Osaka.
- Prekash, S., Belarbi, A.ve You, M., 2008. Seismic Performance of Circular RC Columns Subjected to Axial Force, Bending and Torsion With Low and Moderate Shear, Engineering Structures, 32, 46-59.
- Pul, S., 1999. Doğu Karadeniz Bölümü Agregalarıyla Yüksek Performanslı Beton Üretimi ve Özelliklerinin Diğer Betonlarla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Pul, S., Hüsem, M.ve Öztekin E., 2002. Eğilme Etkisindeki Yüksek Performanslı Betonarme Kesitlerde Gerilme Bloğu Parametreleri, S.A.U. Fen Bilimleri Dergisi,6 ,3.
- Richart, F.E., Brandtzaeg, A. and Brown, R.L., 1928. A Study of the Failure of Concrete Under Combined Compressive Stresses, University of Illinois Eng.Exp.Sta.Bull.
- Saatçioğlu, M., 1992. Strength and ductility of confined concrete, ASCE Structural Engineering. 118, 6, 1590-1607.
- Topçu,A., 2007. Betonarme I, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara.
- TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, TSE, Ankara.
- TS 802, 1985. Beton Karışım Hesapları, TSE, Ankara.
- TS 1226 ISO 3310-1, 1996. Deney Eleklere Teknik Özellikler ve Deneyler Kısım 1:Tel Örgülü Deney Eleklere TSE, Ankara.
- TS 1226 ISO 3310-2, 1996. Deney Eleklere Teknik Özellikler ve Deneyler Kısım 2:Delikli Metal Levhalı Deney Eleklere TSE, Ankara.
- TS 3529, 1996. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, TSE, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

20.06.1982 yılında Trabzon'da doğdu. Eğitim öğretim hayatına Trabzon İskenderpaşa İlkokulu'nda başladı. Bu okulu bitirdikten sonra Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde orta ve lise öğrenimini gördü. 2000 yılında ÖSYM sınavında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanarak, aynı bölümden 2005 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2006 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

Bekâr olan Ömer SOLEY, iyi derecede İngilizce bilmektedir