

**T. C.**  
**NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BETONARME ELEMANLARIN ÇELİK LEVHALARLA  
GÜÇLENDİRİLMESİNDE BULON SEÇİMİ**

**Nilüfer TEMUR**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER**

**TEKİRDAĞ – EKİM 2011**

Her hakkı saklıdır

**Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER** danışmanlığında, **İns. Müh. Nilüfer TEMUR** tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı' nda **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı: Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER .....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Zekeriya AYDIN .....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ömer FARUK KÜLTÜR.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

**Doç. Dr. Fatih KONUKÇU**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BETONARME ELEMANLARIN ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMESİNDE BULON SEÇİMİ**

**Nilüfer TEMUR**

**Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER**

Bu çalışmada, 4.0, 8.0, ve 10.0 mm kalınlıklarda levhaları hedef beton dayanım sınıfı C8/10, C12/15, C16/20 olan 150-mm küp numuneye delinerek açılmış 14, 18, 22 mm epoksi harçlı deliklere gömülü eksenine dik yüklü 12, 16, 20 mm anma çaplı bütün boyuna dış açılmış ankraj bulonlarıyla bağlanarak elde edilmiş numunelerde bulonların mekaniksel davranışları, levhalar bir kenarından bulon eksenine dik yüklenerek incelendi. Numuneler bulonun temas ettiği betonda ezilme, çatlama oluşabilecek, fakat istenmeyen kapak çıkma, ard kapak atma oluşamayacak biçimde donatıldı ve yüklendi. Bu çalışmada özellikle bulonda makaslama (kesme) sonucu taşıma gücü tükenmesi incelendi. Beton numunelerin parçalanarak ard kapak çıkma şeklinde göçme oluşmaması için bulon deliği çevresinde betonun içerisine 130 mm çaplı helis biçiminde ve bulon eksenine paralel olmak üzere üç doğrultuda 0.016 oranı sağlanacak biçimde Ø8 nervürlü çelik sargı donatısı yerleştirildi. Bulonların beton çekirdek içerisine gömülme boyu ise 125 mm yapıldı. Geliştirilen deney düzeneği kullanılarak çelik levhada yük-ötelenme davranışları kaydedildi. Kısmî faktöriyel tasarımla toplam 31 adet deney sonucu değerlendirilerek en uygun güçlendirme elemanlarının seçilmesinde yararlanılabilecek deney düzeneği, deney yöntemi ve değerlendirme ilkeleri belirlendi. Araştırmada kullanılan malzemelerle yapısal güçlendirmede sünek davranış sağlanması için 4 mm ve 8 mm güçlendirme levhası kalınlığı için tüm boyuna dış açılmış bulonların sırasıyla en az M16 ve M20 seçilmesinin uygun olduğu sonucuna varıldı.

**Anahtar kelimeler:** Beton ezilmesi, cidarda ezilme, kesme kuvveti, ankraj bulonu, güçlendirme

**2011, 61 sayfa**

## **ABSTRACT**

**MSc. Thesis**

### **ANCHOR BOLT CHOICE FOR USE IN STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE MEMBERS WITH STEEL SHAPES AND PLATES**

**Nilüfer TEMUR**

**Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER**

In this work, the mechanical behaviour of steel anchor bolts was investigated on specimens made using post-installed, full-length threaded M12, M16, M20 bolts epoxide sealed into 14, 18, 22 mm drilled holes in 150 mm-concrete cube specimens of C8/10, C12/15, C16/20 nominal strength class, anchoring 4.0 mm, 8.0 mm, 10.0 mm steel plates loaded at one edge perpendicular to the axis of the bolt. Specimens were designed and loaded such that limited bearing deformation and crack formation would take place but total cracking or pry-out failure in concrete would not happen. This study concentrates especially on the shear capacity of the bolts. To prevent the unwanted failure modes of total cracking or pry-out failure in concrete, Ø8 spiral reinforcement around the anchor bolt and rebars were placed to obtain a reinforcement ratio of 0.016. The bolt embedment length was 125 mm. The load-displacement data of the steel plate was recorded using the test set-up developed. For determining the most suitable strengthening elements, the principles of test set-up, the test and analysis method were developed. To obtain ductile behaviour using the strengthening component materials, it was concluded that for 4 mm and 8 mm thick steel plates it would be suitable to use minimum M16 and M20 full length threaded anchor bolts, respectively.

**Keywords :** concrete failure, bearing failure, shear failure, anchor, strengthening,

**2011, 61 pages**

## ÖNSÖZ

Betonarme elemanların çelik levhalarla güçlendirilmesinde bulon seçimi konulu tez çalışmasında ulusal ve uluslar arası yayınlar (tez , makale, bildiri vb.) ve internet sitesi kaynaklarından faydalanılmıştır.

Tez çalışmamı hazırlamamda her türlü bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER' e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Betonarme deney numunelerinin üretilmesinde her türlü yardım, malzeme ve ekipman temininde bulunan SET BETON çalışanlarına, çelik malzemelerin imalatı ve deney çalışmasının belirli dönemlerinde gerekli desteği yapan TEZAŞ İNŞAAT çalışanlarından Mansır, Erol , Ufuk ADSIZ' a ve Hilmi abiye, deney çalışmasında yardımlarından dolayı Arş. Gör. Timur CİHAN hocama ve her türlü maddi ve manevi destek sağlayan annem Hatice TEMUR, babam Kenan TEMUR ve kardeşim Y. Mimar Hürgün TEMUR' a teşekkür ederim.

İnşaat Mühendisi

Nilüfer TEMUR

EKİM 2011

# SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

## SİMGELER DİZİNİ

$A_{Nc}$	Normal kuvvetin saplama grubunun bulunduğu betonda oluşturduğu etki alanı
$A_{Nco}$	Normalin tek saplamanın bulunduğu betonda oluşturduğu etki alanı
$A_{se}$	Bulon etkili alanı
$A_{Vc}$	Kesme kuvvetinin saplama grubunun bulunduğu betonda oluşturduğu etki alanı
$A_{Vco}$	Kesme kuvvetinin tek saplamanın bulunduğu betonda oluşturduğu etki alanı
$A_{CV}$	Ankraj bulonun kuvvete paralel doğrultuda beton kenar yüzeyine minimum mesafesi
$c_{a2}$	Ankraj bulonun $c_{a1}$ mesafesine dik doğrultuda beton kenar yüzeyine minimum Mesafesi
$d_a$	Ankraj bulonu anma çapı
$d_b$	Ankraj bulonu dış dibi çapı
$d_{be}$	Betonarme numune üzerine açılan delik çapı
$d_ç$	Çelik levha üzerine açılan delik çapı
$d_o$	Ankraj bulonu çapı
$f_{uta}$	Çelik çekme dayanımı
$f_{ya}$	Çelik akama dayanımı
$h_{ef}$	Etkili ankraj boyu
$k_{cp}$	Beton art kopması dayanımının hesaplanması için kullanılan çarpan
$l_e$	Kesme kuvveti etkisi altında bulonun yük taşıdığı kısmının boyu
$n$	Saplama/ ankraj bulonu adedi
$n_t$	Vidadaki diş adımı sayısı
$N_{cb}$	Normal kuvvet etkimesi durumunda tek ankraj için beton kopma dayanımı
$N_{cbg}$	Normal kuvvet etkimesi durumunda ankraj grubu için beton kopma dayanımı
$N_b$	Normal kuvvet etkimesi durumunda beton dayanımı
$P$	Yük
$t_ç$	Çelik levha kalınlığı

- $V_b$  Kesme kuvvetinin etkimesi durumunda beton kırılma dayanımı
- $V_{cb}$  Tek ankraj olması durumunda kenar beton koni dayanımı
- $V_{cbg}$  Kesme kuvvetinin etkimesi durumunda ankraj grubu olması durumunda kenar beton koni dayanımı
- $V_{cp}$  Kesme kuvvetinin etkimesi durumunda tek ankraj olması durumunda beton art kopma dayanımı
- $V_{sa}$  Kesme kuvveti etkimesi durumunda donatı dayanımı
- $\psi_{c,V} = 1.0$  için 4 no' lu donatıdan daha küçük ek veya kenar donatısı bulunmayan çatlama beton içerisindeki ankrajlar için çarpan
- $\psi_{c,V} = 1.2$  için 4 no' lu veya daha büyük çaplı ek donatının ankraj ve kenar donatı arasında bulunması halinde çatlama beton içerisindeki ankraj donatı için çarpan
- $\psi_{c,V} = 1.4$  için çatlama beton içerisindeki ankrajlarda ankraj ve kenar arasında ve aralıkları 4 inç den fazla olmayan etriyeli sarılı ek donatı bulunması halinde çarpan)
- $\psi_{c,N}$  Çatlama betonda ankrajların bulunması ya da bulunmaması durumunda çarpan
- $\psi_{cp,N}$  Sonradan yerleştirilen ankraj betonlarında çatlama beton için kullanılan çarpan
- $\psi_{ed,V}$  Kenar etkisi çarpanı
- $\psi_{ec,V}$  Ankraj gruplarında kesme kuvvetinin eksantrisite ile etkimesi durumunda değişim faktörü

## KISALTMALAR

- ACI American Concrete Institute
- TÜBİTAK Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
- DBYBHY Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
- LVDT Linear Variable Differential Transformer

## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 3.1.1. Beton içine önceden yerleştirilmiş ankraj bulonları/ saplamlar .....	10
Şekil 3.1.2. Kompozit döşeme kesiti .....	10
Şekil 3.2.1. Beton içine sonradan yerleştirilmiş ayrık dübelli ankraj bulonları .....	11
Şekil 3.2.1.1. Makaslama kuvveti etkisi altında bulon kesilmesi.....	11
Şekil 3.2.2.1. Makaslama kuvveti etkisi altında beton koni dayanımı .....	12
Şekil 3.2.3.1. Makaslama kuvveti etkisi altında beton art kopma dayanımı.....	13
Şekil 3.2.3.2. Güçlendirilme İşleminde Kiriş- Kolon Kesitinde Saplama Kullanılması ve Kesme Kuvvetinin Güçlendiren Levha Payına Düşen Kısmının Taşınması.....	15
Şekil 3.2.3.3. Kesme kuvveti etkisinin saplama/ bulon ve saplama grubu/ bulon grubu için beton kesitinde etki alanları .....	16
Şekil 3.3.1.1. Çekme kuvveti etkisi altında bulon göçmesi ( Bulonda kopma) .....	17
Şekil 3.3.2.1. Çekme kuvveti etkisinde beton davranışı .....	18
Şekil 3.3.2.2. Bulon eksenine paralel kuvvet etkisinde bulon ve bulon grubu için beton kesitinde etki alanları .....	19
Şekil 3.3.2.3. Ankraj bulon grubunda eksantrisite oluşması.....	20
Şekil 3.3.3.1. Çekme kuvveti altında beton davranışı -2 (Sıyrılıp çıkma, Pull- out) .....	22
Şekil 3.3.4.1. Çekme kuvveti altında beton davranışı -3 (Beton yan yüz kapak atması) .....	22
Şekil 4.3.1. Mesnet düzeneğinin üst görünüşü, kesitler ve kullanılan malzemelerin özellikleri .....	31
Şekil 5.2.1. ASTM 370-08A da belirtilen şartlara uygun kesilen numune boyutları .....	34
Şekil 7.2.1. INSTRON cihazında kaydedilen C8M12L05 yük- ötelenme değerleri.....	49
Şekil 7.2.2. INSTRON cihazında kaydedilen C8M12L05 yük- ötelenme değerleri.....	50



## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1. Ankrajlarda dayanım azaltma faktörü .....	7
Çizelge 3.2. Appendix C' ye göre ankrajlarda dayanım azaltma faktörü .....	8
Çizelge 4.2.1. Üretilen betonlardan alınan küp ve silindir numunelerin sayıları .....	24
Çizelge 4.2.2. Deney numunelerinde kullanılan çelik levhaların özellik ve sayıları.....	27
Çizelge 4.2.3. Deneyde kullanılan ankraj bulonlarının özellik ve sayıları .....	27
Çizelge 4.2.4. Deneyde kullanılan betonların özellik ve sayıları .....	27
Çizelge 4.2.5. Deney numuneleri üretim programı (numune bileşenlerinin isimlendirilmesi)28	
Çizelge 4.2.6. Deney numuneleri üretim programı .....	28
Çizelge 5.2.1. ASTM 370-08a' da belirtilen şartlara uygun kesilen numune sayısı ve özellikleri .....	34
Çizelge 5.2.2. Çelik levhaların akma, çekme, elastisite modülü değerleri .....	36
Çizelge 5.3.1. Donatı özellikleri, donatı akma, elastisite modülü değerleri .....	37
Çizelge 5.4.1. Ankraj bulonu özellikleri, bulon akma, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri.....	38
Çizelge 5.5.1. C8/ 10 betonu için gerekli malzemelerin miktarları, su emme ve su içeriği değerleri.....	39
Çizelge 5.5.2. C12/ 15 betonu için gerekli malzemelerin miktarları, su emme ve su içeriği değerleri.....	40
Çizelge 5.5.3. C16/ 20 betonu için gerekli malzemelerin miktarları, su emme ve su içeriği değerleri.....	40
Çizelge 5.5.4. C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip küp betonlarda basma deneyi sonuçları .....	41
Çizelge 5.5.5. C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip silindir numunelerde basma deneyi sonuçları .....	42
Çizelge 5.5.6. C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip silindir numunelerde yarma- çekme deney sonuçları.....	42
Çizelge 5.5.7. C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip küp numunelerde yarma- çekme deney sonuçları .....	43
Çizelge 7.2.1. INSTRON cihazından elde edilen sonuçlar ve numuneler üzerinde incelenen durumlar .....	51
Çizelge 7.2.2. INSTRON cihazından elde edilen sonuçlar ve numuneler üzerinde incelenen durumlar .....	52

## RESİM DİZİNİ

Resim 4.2.1. Spiral biçimindeki donatının kalıplara yerleştirilmesi.....	25
Resim 4.2.2. Spiral biçimindeki donatı.....	25
Resim 4.2.3. Hazırlanan betonun kalıp içerisine yerleştirilmesi .....	26
Resim 4.2.4. Deneyde kullanılacak sertleşmiş betonarme numuneler .....	26
Resim 4.2.5. Deneyde kullanılan çelik levhalar .....	26
Resim 4.2.6. Karelay yapılmış ve aparatların yerleşmesi için üzerine delikler açılmış çelik levha .....	27
Resim 4.2.7. Deney numuneleri üretim programı .....	29
Resim 4.3.1. Mesnet düzeneğinin görüntüsü .....	30
Resim 4.4.1. Ötelenme ölçümünde LVDT' lerin yerleştirileceği aparat.....	32
Resim 5.2.1. YFLA-10-2L Strain Gauge.....	35
Resim 5.2.2. Çekme deneyi başlamadan önce numunenin durumu.....	36
Resim 5.2.3. Çekme deneyi sonucunda numunenin durumu .....	36
Resim5.3.1. Donatı üzerinde çekme deneyinin yapılması .....	37
Resim 5.4.1. Ankraj bulonu üzerinde çekme deneyinin yapılması .....	38
Resim 6.1.1. INSTRON 1055 model cihaz.....	44
Resim 6.2.1. LVDT' lerin numune üzerine sabitlenmesi.....	44
Resim 6.3.1. Data Logger.....	45
Resim 6.4.1. Numune üzerinde yerleştirilmiş Load-Cell.....	45
Resim 7.1.1. Mesnet düzeneğine yerleştirilen deney numunesinin INSTRON cihazının içindeki görüntüsü.....	46
Resim 7.1.2. INSTRON cihazına koyulan mesnet düzeneğindeki numune üzerine Load Cell' in yerleştirilmesi ve yükleme yapılması.....	47
Resim 7.2.1. C8M12L05 numunesinde yük uygulandıktan sonra numunenin, üzerindeki çelik levha ve bulonun durumu.....	49
Resim 7.2.2. C6M20L05 numunesine yük uygulandıktan sonra numunenin, üzerindeki çelik levha ve bulonun durumu.....	50

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
ŞEKİL DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
RESİMLER DİZİNİ .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	2
1.1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI .....	2
1.1.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ, KAPSAMI VE GEREKÇESİ.....	2
1.2. MALZEME ve YÖNTEM .....	3
<b>2. BETONARME ELEMANLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNDE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>4</b>
<b>3. TAŞIYICI YAPI ÖĞELERİNİN TAŞIMA GÜCÜNÜN ARTIRILMASINDA BİRLEŞİM ARACI OLARAK KULLANILAN BULON VEYA VE BETONUN, KESME KUVVETİ ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞLARI .....</b>	<b>6</b>
3.1. Beton İçerisine Önceden Yerleştirilmiş Ankraj Bulonları .....	9
3.2. Beton İçerisine Sonradan Yerleştirilmiş Ankraj Bulonları .....	11
3.2.1. Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Bulon Dayanımı (ACI349-ACI318M-05) .....	11
3.2.2. Bulona Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Kenar Beton Koni Dayanımı (ACI 349-ACI318M-05) .....	12
3.2.3. Bulona Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Beton Art Kopma Dayanımı (ACI 349-ACI318M-05) .....	13
3.3.1. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Bulon Davranışı (ACI 349-ACI318M-05) .....	17
3.3.2. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Beton Davranışı- 1 (ACI 349-ACI318M-05) .....	17
3.3.3. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Beton Davranışı- 2 (ACI 349-ACI318M-05) .....	21

3.3.4. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Beton Davranışı- 3 (ACI 349-ACI318M-05) .....	22
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>	<b>23</b>
4.1. Genel Bilgi.....	23
4.2. Deney Numunelerinin Üretilmesi .....	24
4.3. Mesnet Düzeneği.....	30
4.4. Ötelenme Ölçümü İçin Tasarlanan Aparatlar .....	32
<b>5. DENEY NUMUNESİ BİLEŞENLERİNİN MALZEME DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ.....</b>	<b>33</b>
5.1. Deney Numunesi Bileşenlerinin Malzeme Dayanımlarının Belirlenmesi için Yapılan Deneyler .....	33
5.2. Çelik Levha Çekme Dayanımı.....	33
5.3. Donatı Çekme Dayanımı .....	36
5.4. Ankraj Bulonu Çekme Dayanımı.....	37
5.5. Beton Dayanımı .....	39
<b>6. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR.....</b>	<b>39</b>
6.1. INSTRON 1055 Cihazı .....	44
6.2. LVDT .....	44
6.3. Data Logger .....	45
6.4. Load Cell .....	45
<b>7. DENEYLER .....</b>	<b>46</b>
7.1. Deneyin Yapılması.....	46
7.2. INSTRON 1055 Cihazında Kaydedilen Deney Sonuçları .....	48
7.2.1. C08M12L05 numunesi deney sonuçları.....	48
7.2.2. C16M20L05 numunesi deney sonuçları.....	50
<b>8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ.....</b>	<b>53</b>
8.1. M12 Bulonlu numunelerde çelik levha kalınlığına göre sonuçlar .....	53
8.1.1. M12L05 .....	53
8.1.2. M12L08 .....	54
8.1.3. M12L10 .....	54
8.2. M16 Bulonu için çelik levha kalınlığına göre sonuçlar .....	54
8.2.1. M16L05 .....	54
8.2.2. M16L08 .....	55
8.2.3. M16L10 .....	55

8.3. M20 Bulonu için çelik levha kalınlığına göre sonuçlar .....	56
8.3.1. M20L05 .....	56
8.3.2. M20L08 .....	56
8.3.3. M20L10 .....	57
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>61</b>

## 1. GİRİŞ

Binaların güçlendirilmesi, deprem hasarlarına neden olacak kusurların giderilmesi, deprem güvenliğini artırmaya yönelik olarak yeni elemanlar eklenmesi, kütle azaltılması, mevcut elemanların deprem davranışlarının geliştirilmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması türündeki işlemleri içerir (Anonim 2007)

Güçlendirme, hasar görmemiş bir yapı veya yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir (TÜBİTAK- İMO 1999).

Mevcut hasarlı veya hasarsız binaya olası bir depreme karşı ya da yapı elemanlarını herhangi bir kesit tesiri kapasitesini öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için de güçlendirme işlemleri uygulanır. Yapı elemanlarında kapasite artırmaya yönelik güçlendirme işlemleri betonarme manto ile, çelik profil veya levhalarla, betonarme kolon eksenine dik doğrultuda ön-germe ile ve lif takviyeli polimer şerit ve/veya şiltelerle yapılabilmektedir.

Betonarme binanın taşıma gücü, depreme dayanıklılığı belirlendikten sonra güçlendirme yapılıp yapılmamasına karar verilir. Güçlendirme betonarme yapının bütününde yapılacaksa ek betonarme perde ve/veya betonarme mantolama uygulanabilir. Bütünsel güçlendirme gerekmiyor ise, bazı katlarda mevcut perde ve kolonların bir bölümünün güçlendirilmesi yeterli olacaksa, bölgesel güçlendirme uygun olabilir. Bu durumda ânî rijitlik değişimleri sonucu yapısal süreksizlikleri en aza indirecek biçimde çelik profil ve levhalar kullanılarak kapasitesi yetersiz bölgeler, örnek olarak kolon-kiriş birleşim bölgeleri, güçlendirilebilir. Güçlendiren malzeme kesitlerinin uygun birleştirme araçları kullanılarak kesite gelen etkiyi paylaşması, betonarme kesitle birlikte çalışması sağlanmalıdır.

Betonarme bir yapı ögesinin yüzeyine yapıştırılmış çelik levha ve profillerle güçlendirilmesinde kesitlerin kapasitelerine katkısı birleştirme biçimine, betonun ve yapıştırıcının ilgili dayanımına bağlıdır. Güçlendiren çelik kesit güçlendirilen eleman kesiti çevresine tam sargılama yoluyla bağlandığında, güçlendirmenin oldukça etkili olması beklenir. Betonarme yapı ögesi kesitinin beton çekirdeğine ankraj bulonlarıyla bağlanmış çelik levha ve profillerle güçlendirme yapıldığında,

1. Çelik levhada plastik şekil değiştirme,
2. Güçlendiren levha ile bulon ara yüzünde cidarda ezilme,
3. Bulon gövdesi ile beton ara yüzeyinde betonda ezilme,

#### 4. Bulon kesitinde makaslama,

oluşturan kesit etkileri kritik taşıma gücü durumlarını temsil eder. Güçlendiren çelik bileşenlerde ezilme ve çekme etkisinde plastik şekil değiştirmeler enerji tükettiklerinden ânî kapasite tükenmesi olasılığı azdır. Ancak son iki durum, özellikle bulon kesitinde makaslama, ânî kesit kapasitesi tükenmesine yol açacağından ânî yapı ögesi göçmesi sonucunu doğurabilir.

### **1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI**

#### **1.1.1. ARAŞTIRMANIN AMACI**

Bu çalışmada mevcut taşıma gücü güvenliği beton dayanımı ve donatısının yetersiz olması sebebiyle dayanımı yetersiz bulunan yapı elemanlarının ve yapı elemanları birleşim bölgelerini bölgesel olarak güçlendirmek için, dayanımı yetersiz betonla güçlendirme elemanı çelik levhanın bağlantısı ankraj bulonları ile yapılarak, bulon eksenine dik gelen kesme kuvvetinin, bulonun yatakladığı betonda oluşturduğu ezilme incelenerek kullanıma uygun bulon çapı seçimi yapılması amaçlandı.

Hasar görmüş veya “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik - Mart 2007” ilkelerine uygun yapılmamış, taşıma gücü yetersiz betonarme elemanların, çelik levhalarla güçlendirilmesinde levhaların, ankraj bulonlarının ve yatakladıkları betonun davranışının sonlu eleman modelleri ve laboratuvar deneyleriyle araştırılması, bulonda ve bulonun yatakladığı çelik ve beton yüzeyde oluşabilecek hasarların örnekler üzerinde incelenmesi ve bunun sonuçlarından yararlanarak mevcut yapıdaki beton dayanımına uygun bulon çapının belirlenmesidir.

#### **1.1.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ, KAPSAMI VE GEREKÇESİ**

Binaların taşıyıcı iskeletlerinin taşıma gücü güvenliğinin ilgili yönetmelik ve standartlara göre yetersiz olması ve iskeletin bölgesel güçlendirilmesinin inşaat mühendisliği bakımından uygun olması durumunda taşıyıcı iskeletin bütününün veya büyük bölümünün güçlendirilmesi yerine gerekli yapı elemanlarının veya kesitlerinin yetersizlik bulunan kesit tesirine karşı çelik levhalar çekirdek betona uygun yapıştırıcı ve bulonlarla bağlanarak

güçlendirilmesi, maliyetlerin büyük ölçüde düşürülmesine imkân vermektedir (Göksu 2003). Bu tür güçlendirmede, eksenine dik yük aktarmak üzere tasarlanan bulonların beton çekirdek bölgesi içerisine giren gövde bölümü betona ezilme (yataklanma) gerilmesi uygulamaktadır.

Güçlendirmenin sünek davranabilmesi için bulon çaplarının güçlendiren çelik levha tarafında ezilme ve makaslama güvenlik kuvvetine göre ve çekirdek bölgesindeki beton ezilme dayanımının da göz önüne alınarak belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma güçlendiren çelik levha kalınlıkları 5, 8, 10 mm ve M12, M16, M20 bulonları, TS EN 206-1 standardında tanımlı C8/10, C12/15, C16/20 betonları, St37 yapı çelikleri için güçlendiren çelik parça kalınlığı bilindiğinde sünek göçme koşulunu sağlayacak bulon çapının çekirdek betonunda cidar ezilmesi de göz önüne alınarak belirlenmesinde kullanılabilir bir tasarım hesap yöntemi geliştirilmesini kapsamaktadır.

Betonda ezilme ve çatlama, güçlendiren levhaların kenarlarında yırtılma, bulonda makaslama dayanımına erişilmesi (bulonun kesilmesi) olmaksızın, çelikte basmada ezilme ve çekmede akma dayanımına erişilmesi yapı ögesi ve güçlendirilen yapı ögeleri birleşim bölgelerinin sünek davranış göstermesini sağlayacaktır. Güçlendiren çelik levhalar ile betonarme yapı ögesi birleşimlerinin sünek davranmasının sağlanması, deprem durumunda ânî göçme olasılığının azaltılması için gereklidir.

## **1.2. MALZEME VE YÖNTEM**

Çalışmada güçlendiren çelik levha kalınlıkları ve-St37 (Fe37) yapı çeliğinden 5, 8, 10 mm kalınlıkta levhalar ve M12, M16, M20 bulonlar kullanıldı, güçlendirilecek taşıyıcı iskelette ise TS EN 206-1 standardında tanımlı C8/ 10, C12/ 14, C16/ 20 betonları kullanıldı.

Tasarım yöntemi çelik güçlendiren parça ve birleşim araçları tasarımı güvenlik gerilmeleri ilkelerine dayandırıldı.

Betonda ezilme dayanımı veya yataklanma dayanımı beton üzerine mesnet bölgesi tasarımı ilkelerine ve iki (veya bulona öngerme verilebilmesi durumunda ise üç) eksenli gerilme altında olmasına göre belirlendi.



## 2. BETONARME ELEMANLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNDE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

### *GÖKSU' nun Çalışması,*

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998)' e göre beton dayanımının yetersizliği sebebiyle takviye gereken betonarme bir yapının güçlendirilmesi ele alınmıştır. Bu çalışmada bölgesel güçlendirmede hafiflik, yapı rijitliğinin az etkilenmesi, maliyet ve daha sünek bir yapı elde etmek için kompozit yapı tasarımı esaslarından da yararlanarak çelik konstrüksiyon kullanılmış ve yapı mekanik çözümünde bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bölgesel güçlendirmede kullanılan çelik levhaların minimum kesitleri belirlenmiş, yapının perde ve mantolarla (düşey taşıyıcı elemanlarla) güçlendirme maliyeti ile çelik konstrüksiyon ile bölgesel güçlendirme maliyeti karşılaştırılmış, uygun güçlendirme yöntem ve malzeme seçimi için öneriler oluşturulmuştur. Perde ve mantolu güçlendirme maliyeti ile çelik konstrüksiyon kullanılması halinde, güçlendirme maliyetleri kıyaslanmıştır (Göksu 2003).

### *ALTIN, ANIL ve GÖKTEN' in Çalışması,*

Bu çalışmada; kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin eleman dışından çeşitli düzenlerde yerleştirilen ve sahada kolaylıkla uygulanabilen etkin bir kelepçe türü geliştirilmiştir. Beş adet dikdörtgen kesitli kiriş geliştirilen kelepçelerle güçlendirilip tek düze yükler altında test edilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler değerlendirilerek, güçlendirme yönteminin deney elemanlarının dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Geliştirilen kelepçeler kesme çatlaklarını başarılı bir biçimde kontrol ederek çatlakların genişlemesini engellemiş ve elemanda sünek eğilme davranışının gelişmesini sağlamıştır.

Sınırlı sayıda deneylerden elde edilen veriler ışığında oluşan sonuçlar;

Kesme dayanımı yetersiz kirişlerin eleman dışından yerleştirilen kelepçelerle kesme dayanımı yetersizliğinin giderilmesi yöntemi başarılı bir teknik olduğu, kesme dayanımı yetersiz kirişlerin kesme kırılması biçiminde beklenen davranışı, kirişin güçlendirilmesiyle birlikte değişim göstererek eleman davranışına sünek eğilme davranışının hakim olması sağlanmıştır. Kelepçeler kesme çatlaklarını başarılı bir biçimde kontrol ederek çatlakların genişlemesini sınırlamış, güçlendirilen kirişlerin maksimum kesme dayanımları, referans kirişin dayanıma yaklaşmıştır. Kelepçeler kesme gereksinimini başarıyla sağladığını, kesme dayanımı

yetersizliği nedeniyle hasar almış kirişlerde de kelepçeleme yöntemi başarı gösterdiği sonuçlarına ulaşılmıştır (Altın ve Ark. 2004).

#### *ÇAĞLAR'ın Çalışması,*

Bu çalışmada, iki farklı kalınlıkta epoksi ve çelik plaka ile güçlendirilmiş betonarme kirişin, tekil ve düzgün yayılı yük altındaki davranışları Ansys sonlu elemanlar programı ile analiz edilmiştir. Plaka uçlarında meydana gelen normal ve kayma gerilmeleri, iki boyutlu düzlemsel elemanlar yardımıyla modellenen kirişin analizinden elde edilerek farklı epoksi yapıştırıcısı ve çelik plaka kalınlığına sahip iki durum karşılaştırılmıştır. Plaka ve epoksi katmanı kalınlığının gerilmelerde nasıl değişime yol açtığı incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu plaka ve ucundan kiriş ortasına doğru normal kayma gerilmelerindeki azalmanın daha yavaş olduğu belirlenmiştir ( Çağlar 2002).

#### *UYSAL'ın Çalışması,*

Bu çalışmada, çelik levha ile güçlendirilmiş kirişlere dayanımın yanı sıra yeterli süneklik de kazandırılması için delikli saç levha kullanılması düşünölmüştür. Bu amaçla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada birisi referans, sekizi güçlendirilmiş olmak üzere dokuz deney elemanı tek düze yükler altında denenmiştir. Çalışmada, delikli çelik levha kullanımının süneklik ve yüzeyler arası yük aktarımı üzerindeki etkisi, çelik levha alanı ve yapıştırma yöntemi parametre olarak ele alınmış ve araştırılmıştır. Deney sonuçları; dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik bakımından irdelenmiş ve delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş kirişlerin iyi bir davranış sergilediği görölmüştür (Uysal 2006).

### 3. TAŞIYICI YAPI ÖĞELERİNİN TAŞIMA GÜCÜNÜN ARTIRILMASINDA BİRLEŞİM ARACI OLARAK KULLANILAN BULON VEYA VE BETONUN, KESME KUVVETİ ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞLARI

ACI komitesinin yayınladığı ACI318M-05- Appendix D “anchoring to concrete” betona ankraj bölümü, sonradan yerleştirilmiş ve beton dökülmeden önce yerleştirilmiş ankraj bulonlarından, grup veya tek olarak bulon/ saplama ve betonun makaslama kuvveti ve normal kuvvet altındaki davranışlarından, başlıklı saplamalardan ve bulon ve saplamaların yerleştirildikleri yüzeyde kenar mesafesinden ve kuvvetin betona dağılış biçimi hakkındadır. ACI318M-05- Appendix D’ nin koşulları deprem yükü altında betonarme yapılarda oluşan plastic mafsal (kolon- kiriş birleşim bölgelerinde ezilme olması durumu) bölgelerindeki bulonların tasarımına uygulanamaz.

ACI318M-05-Appendix D’ e göre, ACI-355.2-07’ in deprem etkisine benzer testleri geçen, düşük veya yüksek sismik riski bölgelerinde veya orta veya yüksek sismik performans veya tasarım kategorilerine atanan yapılar için sonradan yerleştirilen ankraj bulonları kullanılır.

- Başlıklı saplama ve ankraj bulonlarının sahip olduğu geometri, çatlamamış betondaki bulonun çekip çıkarma dayanımına eş veya  $1.4 N_p$  değerini aşarsa olumludur.
- Çengelli ankraj bulonlarının sahip olduğu geometri çatlamamış betonda sürtünme avantajı hariç çekip bulonun çıkarma dayanımına eş veya  $1.4 N_p$  değerini aşarsa olumludur.

Sonradan yerleştirilen ankraj bulonları ACI-355.2-07’ nin öngördüğü koşullara göre değer görülür. Betonda kullanılan ankrajlar sonradan yerleştirilmiş ankrajların uygunluğu ACI355.2-07’ deki ön yeterlilik testine göre deneyle kanıtlanır.

Düşük veya yüksek sismik risk bölgelerinde veya yapılar, orta veya yüksek sismik performans veya tasarım kategorilerine atanan yapılar için ankrajların tasarım dayanımını  $0.75\phi N_n$  ve  $0.75\phi V_n$  olarak,  $\phi$  D4.4 veya 4.5 e göre ve  $N_n$  ve  $V_n$  de D4.1’ e uygun olarak olarak alınır (ACI318M- 05 2005).

Betonda ankrajlar için 9.2. yük kombinasyonu kullanıldığında dayanım azaltma faktörü  $\phi$ , (ACI318M- 05 2005) Çizelge 3.1' de görülmektedir.

a) Ankraj dayanımının sünek çelik elementi kullanıldığında  $\phi$

- Çekme Kuvveti.....0.75
- Makaslama Kuvveti.....0.65

b) Ankraj dayanımının gevrek çelik elementi kullanıldığında  $\phi$

- Çekme Kuvveti.....0.65
- Makaslama Kuvveti.....0.60

c) Bulonda beton kopması, kenar yüz patlaması, çekip çıkarma dayanımı, beton kapak atma dayanımında  $\phi$ , (ACI318M- 05)

**Çizelge 3.1.** Ankrajlarda dayanım azaltma faktörü (ACI318M- 05)

	<b>Koşul A</b>	<b>Koşul B</b>
Çekme Kuvveti	0.75	0.70
Makaslama Kuvveti		
Önceden Yerleştirilmiş Saplamlar, Başlıklı Bulonlar veya Çengelli Bulonlar	0.75	0.70
<b>ACI355.2-07' de Belirlenmiş Kategoriye Göre Sonradan Yerleştirilmiş Ankrajlarda <math>\phi</math></b>		
<b>Kategori 1</b> Yerleştirmede Düşük Duyarlılık ve Yüksek Güvenilirlik	0.75	0.65
<b>Kategori 2</b> Yerleştirmede Orta Duyarlılık ve Orta Güvenilirlik	0.65	0.55
<b>Kategori 3</b> Yerleştirmede Yüksek Duyarlılık ve Düşük Güvenilirlik	0.55	0.45

Betonda ankrajlar için ACI318M-05- Appendix C' ye göre yük kombinasyonu kullanıldığında dayanım azaltma faktörü  $\phi$ , (ACI318M- 05) Çizelge 3.2' de görülmektedir.

d) Ankraj dayanımının sünek çelik elementi kullanıldığında  $\phi$

- Çekme Kuvveti.....0.80
- Makaslama Kuvveti.....0.75

e) Ankraj dayanımının gevrek çelik elementi kullanıldığında  $\phi$

- Çekme Kuvveti.....0.70
- Makaslama Kuvveti.....0.65

f) Bulonda beton kopması, kenar yüz patlaması, çekip çıkarma dayanımı, beton kapak atma dayanımında  $\phi$  katsayısı,

**Çizelge 3.2.** ACI318M-05- Appendix C' ye göre ankrajlarda dayanım azaltma faktörü

	<b>Koşul A</b>	<b>Koşul B</b>
Çekme Kuvveti	0.85	0.75
Makaslama Kuvveti		
Önceden Yerleştirilmiş Saplamalar, Başlıklı Bulonlar veya Çengelli Bulonlar	0.85	0.75
<b>ACI355.2' den Belirlenmiş Kategoriye Göre Sonradan Yerleştirilmiş Ankrajlarda <math>\phi</math></b>		
<b>Kategori 1</b> Yerleştirmede Düşük Duyarlılık ve Yüksek Güvenilirlik	0.85	0.75
<b>Kategori 2</b> Yerleştirmede Orta Duyarlılık ve Orta Güvenilirlik	0.70	0.65
<b>Kategori 3</b> Yerleştirmede Yüksek Duyarlılık ve Düşük Güvenilirlik	0.65	0.55

- **Ankraj Bulonu Tasarımında ACI318-05- Appendix D- D3.3.3. Haricinde Yapılan Kabuller**

$$\phi N_n \geq N_{ua}$$

$$\phi V_n \geq V_{ua}$$

$$\phi N_n \text{ ve } \phi V_n,$$

Bütün ilgili göçme modlarında elde edilen en düşük tasarım dayanımıdır.

$\phi N_n$ , bir ankrajın ve ankraj grubunun  $\phi N_{sa}$ ,  $\phi N_{pn}$ ,  $\phi N_{sb}$  veya  $\phi N_{sbg}$  ve  $\phi N_{cb}$  veya  $\phi N_{cbg}$  değerleri dikkate alınarak belirlenen en düşük çekme dayanımıdır.

$\phi V_n$ , bir ankrajın ve ankraj grubunun  $\phi V_{sa}$ ,  $\phi V_{cb}$  veya  $\phi V_{cbg}$  veya  $\phi V_{cp}$  veya  $\phi V_{cb}$  ve  $\phi V_{cpg}$  değerleri dikkate alınarak belirlenen en düşük makaslama tasarım dayanımıdır (ACI318M-05 2005).

Ankraj Dayanımı Hakkında Genel Koşullar:

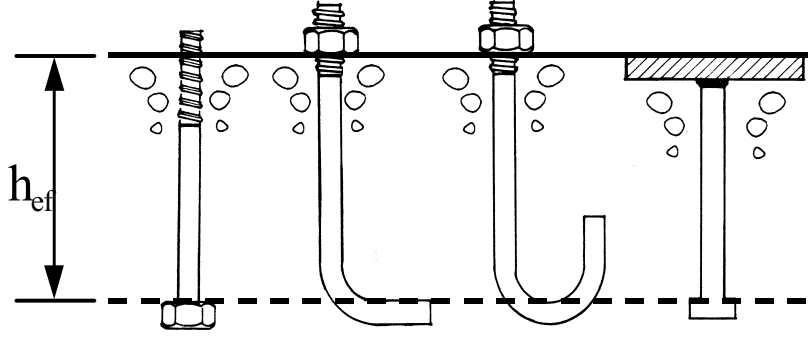
- a) Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Bulon Davranışı
- b) Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Bulon Dayanımı
- c) Bulona Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Beton Çatlama Dayanımı
- d) Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Kenar Beton Koni Dayanımı
- e) Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Bulon Çekip Çıkma Dayanımı
- f) Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Beton Kenar Yüzey Patlama Dayanımı
- g) Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Beton Art Kopma Dayanımı

### **3.1. Beton İçerisine Önceden Yerleştirilmiş ( Cast-in) Ankraj Bulonları**

Zemine kaynaklı ya da gömülü saplama ya da bulonların üzerine beton dökülerek oluşan sistemdir. Saplamanın kuvveti taşıyan boyuna etkin ankraj boyu denmektedir (Şekil 3.1.1). Sisteme örnek kompozit yapılardan kompozit döşemeler verilebilir.

Tipik kompozit döşeme sistemi Şekil 3.1.2' de görülmektedir. Bu sistemde dört temel bileşen yer almaktadır: (1) çelik profil kiriş, (2) başlıklı kayma bağlantısı (3) profillenmiş çelik sac, ve (4) beton.

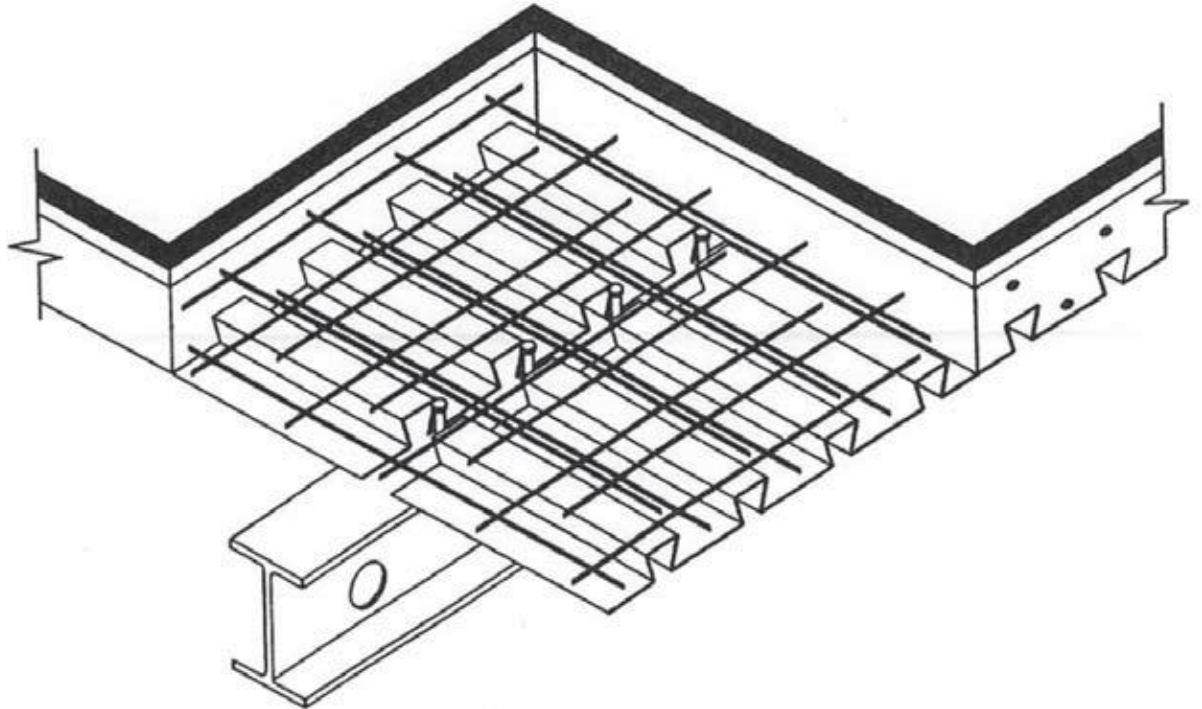
Kompozit döşeme sisteminin bir elemanı olan çelik kirişin, mekanik kayma bağlantıları vasıtasıyla betona bağlanmasıyla bu iki malzeme beraber çalışmaktadır. (Yorgun 2005)



Şekil 3.1.1. Beton içine önceden yerleştirilmiş ankraj bulonları (ACI318M-05 2005)

$h_{ef}$  = Etkin ankraj boyu

- Başlıklı Saplamalar
- Başlıklı Bulonlar



Şekil 3.1.2. Kompozit döşeme kesiti (Yorgun 2005)

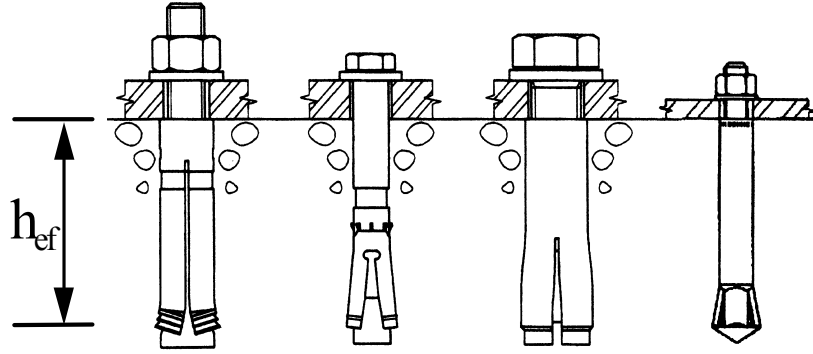
### 3.2. Beton İçersine Sonradan Yerleştirilmiş (Post installed) Ankraj Bulonları

Mevcut betonarme elemana ya da beton elemana uygun delikler açıldıktan sonra çelik levhalar vb. elemanların yüzeye ankrajı yapılır.

Donatının betona bağlanması için ;

- 1) Ucu genişleyen özel ankraj betonu ya da
- 2) Epoksi gibi kimyasal yapıştırıcılar kullanılmaktadır.

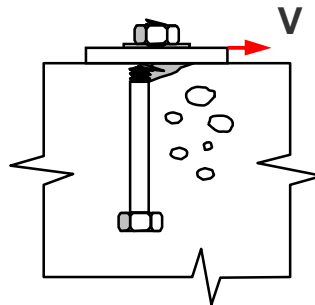
Birinci ankrajlama yönteminde özel ticari adlar altında anılan ankraj sistemleri vardır. Bu sistemlerde betonda açılan deliğe mekanik olarak yerleştirilmiş bulonlar takılır. Bu bulonların derinlik ve özel kesme takozları gibi özelliklerine bağlı olarak taşıyabilecekleri çekme ve kesme kuvveti vardır (Şekil 3.2.1). (ACI318M-05 2005)



Şekil 3.2.1. Beton içine sonradan yerleştirilmiş ayırık dübelli ankraj bulonları (ACI318M-05 2005)

#### 3.2.1. Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Bulon Dayanımı

Betona sonradan yerleştirilmiş bulon eksenine dik kuvvet etki etmesi (makaslama kuvveti) durumunda bulonun göçme şekli aşağıdaki Şekil 3.2.1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2.1.1. Makaslama kuvveti etkisi altında bulon kesilmesi (ACI318M-05)



Makaslama kuvveti etki etmesi durumunda saplamanın dayanımı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

a) Saplamanın dayanımı:

$$V_{sa} = n \times A_{se} \times f_{uta} \quad (3.1)$$

$V_{sa}$  : Makaslama kuvveti altında bulon dayanımı,

$n$  : Ankraj grubu içindeki ankraj sayısı

$n_t$  : Vidadaki adım sayısı

$$f_{uta} = 1.9 f_{ya} \text{ ve } 860 \text{ MPa}$$

$f_{ya}$  = Çelik akma dayanımı, MPa

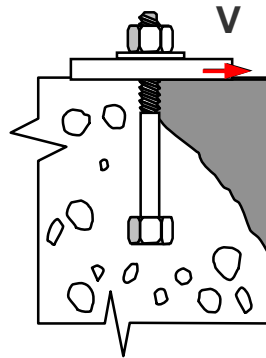
$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \times \left( d_o - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2 \quad (3.2)$$

b) Sonradan beton içine yerleştirilmiş bulon dayanımı:

$$V_{sa} = n \times 0.6 \times A_{se} \times f_{uta} \quad (3.3)$$

### 3.2.2. Bulona Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Kenar Beton Koni Dayanımı

Eksenine dik yüklü kuvvetin beton kenar yüzeyine şartnameye uygun mesafede bulunan bulonun betonda oluşturduğu göçme şekli aşağıda Şekil 3.2.2.1' de gösterilmiştir



Şekil 3.2.2.1. Makaslama kuvveti etkisi altında beton koni dayanımı (ACI318M-05 2005)

$$V_{cb} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \times \psi_{ed,V} \times \psi_{c,V} V_b \quad (3.4)$$

$V_{cb}$  = Tek ankraj olması durumunda kenar beton koni dayanımı,

$V_{cbg}$  = Ankraj grubu olması durumunda kenar beton koni dayanımı,

$$V_b = 7 \left( \frac{l_e}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c'} (c_{a1})^{1.5} \quad (3.5)$$

$$V_{cbg} = \frac{A_{VC}}{A_{VCO}} \times \psi_{ec,v} \psi_{ed,v} \psi_{c,v} V_b \quad (3.6)$$

$$V_{Vco} = 4.5 (c_{a1})^2 \quad (3.7)$$

$\psi_{c,v} = 1.0$  için (4 no' lu (~4mm çaplı) donatıdan daha küçük ek veya kenar donatısı bulunmayan çatlamış beton içerisindeki ankrajlar için çarpan)

$\psi_{c,v} = 1.2$  4 no' lu (~4mm çaplı) veya daha büyük çaplı ek donatının ankraj ve kenar donatı arasında bulunması halinde çatlamış beton içerisindeki ankraj donatı için çarpan)

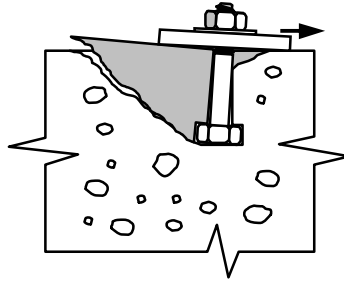
$\psi_{c,v} = 1.4$  ( Çatlamış beton içerisindeki ankrajlarda ankraj ve kenar arasında ve aralıkları 100 mm' den fazla olmayan etriyeli sarılı ek donatı bulunması halinde çarpan)

$\psi_{ed,v} = 1.0$  eğer  $c_{a2} \geq 1.5c_{a1}$  ise (Kenar etkisi çarpanı)

$$\psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{e2}}{1.5c_{a1}} \text{ eğer } c_{a2} \leq 1.5c_{a1} \text{ ise} \quad (3.8)$$

### 3.2.3. Bulona Makaslama Kuvvetinin Etkimesi Durumunda Beton Art Kopma Dayanımı

Betona gömülü kısa başlıklı ankraj bulonunun eksenine dik kesme kuvveti altında betonda oluşturduğu göçme şekli aşağıdaki Şekil 3.2.3.1' de gösterilmiştir. Bu şekilde bir göçmenin önlenmesi için Şekil 3.2.3.2' de gösterilen şekilde saplama kullanılabilir. Kesme kuvvetinin oluşturduğu etki alanları Şekil 3.2.3.3' te gösterilmiştir.



Şekil 3.2.3.1. Makaslama kuvveti etkisi altında beton art kopma dayanımı  
(ACI318M-05 2005)

$V_{cp} = k_{cp} N_{cb}$  Tek ankraj olması durumunda beton art kopma dayanımı

$V_{cp} = k_{cp} N_{cbg}$  Ankraj grubu olması durumunda beton art kopma dayanımı

$k_{cp} = 1.0$  eğer  $h_{ef} \leq 2.5 in$  ise

$k_{cp} = 2.0$  eğer  $h_{ef} \geq 2.5 in$  ise

$$\psi_{ec,v} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e_v}{3c_{a1}}\right)} \leq 1, \text{ (Kuvvetin dış merkezli etkimesi durumunda beton kenar etki çarpanı)}$$

(3.9)

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NC0}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \text{ Tek ankraj için beton kopma dayanımı,}$$

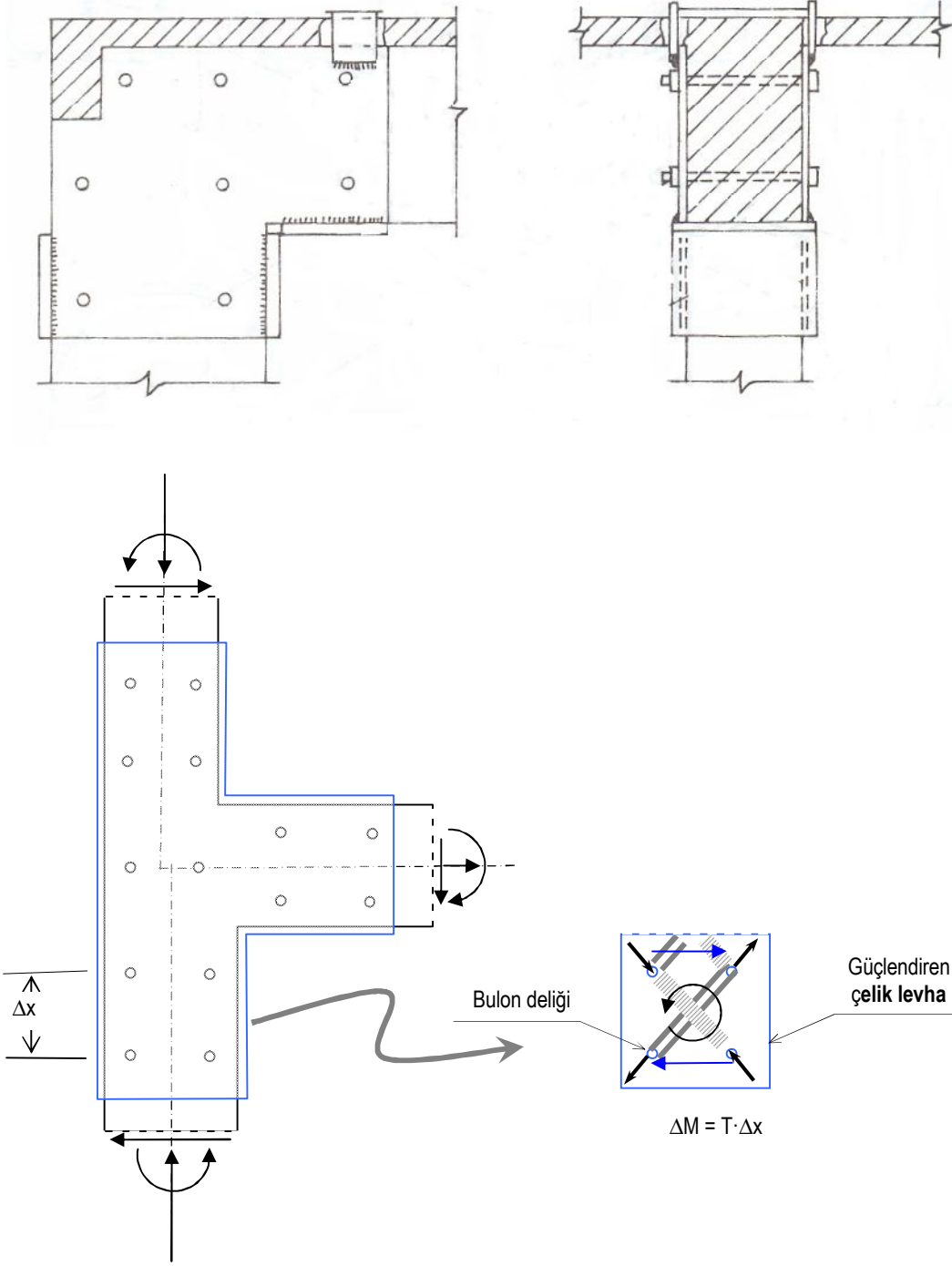
(3.10)

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NC0}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \text{ Ankraj grubu için beton kopma dayanımı,}$$

(3.11)

$$A_{NC} = 9h_{ef}^2$$

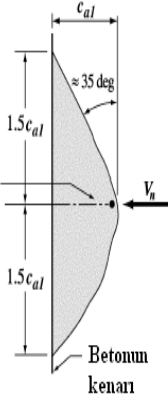
(3.12)



**Şekil 3.2.3.2.** Güçlendirilme İşleminde kiriş- kolon kesitinde bulon kullanılması ve kesme kuvvetinin güçlendirici levha payına düşen kısmının taşınması

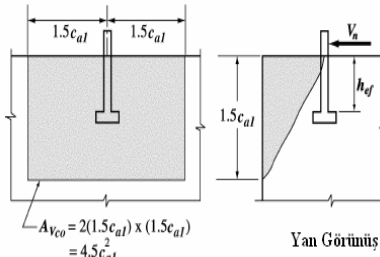
Başlı saplamalar, şişen uçlu ve kısa ankrajlar için kritik kenar uzaklığı  $1.5c_{al}$

Sebest yüzüyle kesişme yerinde ankrajın merkezi



Plan Görünüşü

Başlı saplamalar, şişen uçlu ve kısa ankrajlar için kritik kenar uzaklığı  $1.5c_{al}$

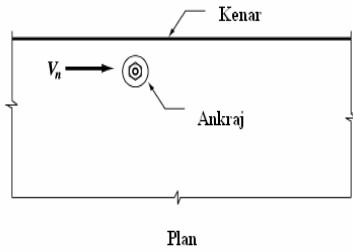


$$A_{vc} = 2(1.5c_{al}) \times (1.5c_{al}) = 4.5c_{al}^2$$

Ön Görünüş

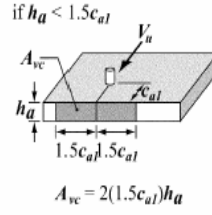
Yan Görünüş

Şek. 6.2.1(a)  $A_{vc}$  değerinin hesabı



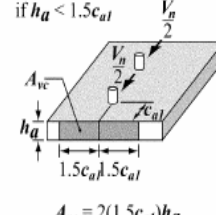
Plan

Şek.RD6.2.1(e) Kenara paralel kesme kuvvetleri



if  $h_a < 1.5c_{al}$

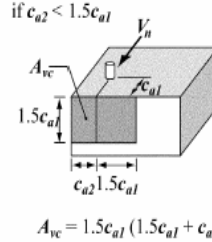
$$A_{vc} = 2(1.5c_{al})h_a$$



if  $h_a < 1.5c_{al}$

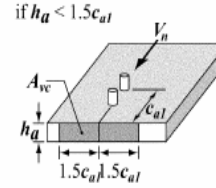
$$A_{vc} = 2(1.5c_{al})h_a$$

Kuvvetlerin dağılımına ilişkin varsayımlardan birisine göre kesme kuvvetinin yarısı ön taraftaki demir için ve onun iz düşüm alanı için kritiktir.



if  $c_{a2} < 1.5c_{al}$

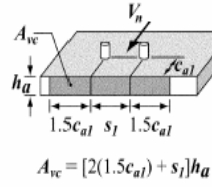
$$A_{vc} = 1.5c_{al}(1.5c_{al} + c_{a2})$$



if  $h_a < 1.5c_{al}$

$$A_{vc} = 2(1.5c_{al})h_a$$

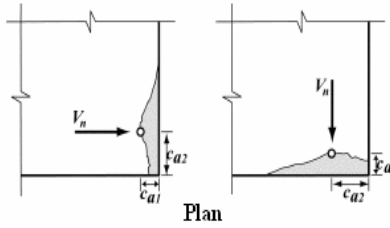
if  $h_a < 1.5c_{al}$  and  $s_l < 3c_{al}$



$$A_{vc} = [2(1.5c_{al}) + s_l]h_a$$

Kuvvetlerin dağılımına ilişkin varsayımlardan diğerine göre kesmenin bütünü arka taraftaki demir için ve onun iz düşüm alanı için kritiktir. Ancak bu varsayım ankrajların levhaya rijit bağlı olması durumunda göz önüne alınabilir.

Şek. RD6.2.1(b) Tek demir (ankraj) ve ankraj grupları için iz düşüm alanı ve  $A_{vc}$  değerinin hesabı



Plan

Şek RD6.2.1(d) Köşe yakınında kesme kuvvetleri

Şekil 3.2.3.3. Kesme kuvveti etkisinin bulon ve bulon grubu için beton kesitinde oluşturduğu etki alanları (ACI 318M-05 2005)

### 3.3.1. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Bulon Davranışı

Şekil 3.3.1.1' de çekme kuvveti etkisi altında bulon göçmesi görülmektedir.

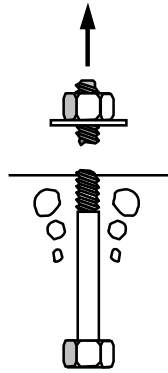
$$N_{sa} = nA_{se} f_{uta} \quad (3.13)$$

$N_{sa}$  = Çekme gerilmesi altında saplama dayanımı

$n$  = Ankraj grubu içersindeki ankraj sayısı

$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \times \left( d_o - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2 \quad (3.14)$$

$$f_{uta} = 1.9ya960 \text{ MPa}$$



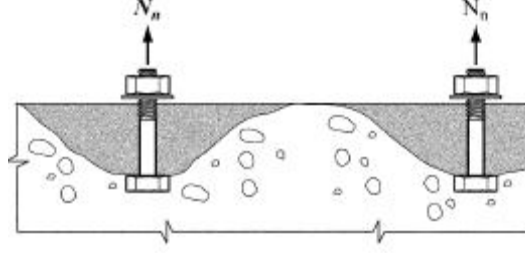
Şekil 3.3.1.1. Çekme kuvveti etkisi altında bulon göçmesi (Bulonda kopma)  
(ACI318M-05 2005)

### 3.3.2. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Beton Davranışı- 1

Şekil 3.3.2.1.' te bulon eksenine paralel çekme kuvveti etkimesi durumunda beton davranışı ve Şekil 3.3.2.2.' de bulon eksenine paralel kuvvet etkisinde bulon ve bulon grubu için beton kesitinde etki alanları görülmektedir.

a) Tek ankraj için:

$$Ncb = \frac{A_{Nc}}{A_{Nc0}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (3.15)$$



Şekil 3.3.2.1. Çekme kuvveti etkisinde beton davranışı (ACI318M-05 2005)

b) Ankraj grubu için:

$$Ncbg = \frac{A_{Nc}}{A_{Nc0}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (3.16)$$

$$A_{Nc0} = 9h^2 e_f \quad (3.17)$$

$$N_b = k_c \sqrt{f'_c} h^{1.5}_{ef} \quad (3.18)$$

Çekme kuvveti etkisi altındaki ankrajın çatlamış betonun kopup çıkma dayanımı  $N_b$  ' yi geçemez.

$k_c = 10$  Önceden yerleştirilmiş ankraj bulonları için alınan katsayı

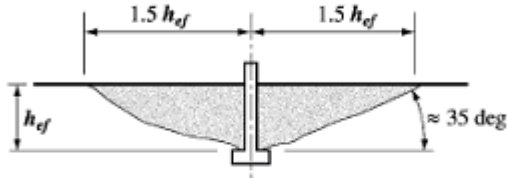
$k_c = 7$  Sonradan yerleştirilmiş ankraj bulonları için alınan katsayı

$\psi_{ec,N}$  = Ankraj grubuna eksantrik kuvvet geldiğinde düzenleme faktörü

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}} \leq 1.0 \quad (3.19)$$

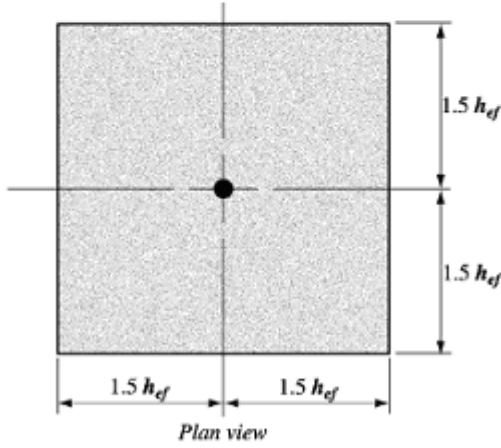
Ankrajlar için  
kritik kenar  
mesafesi  $1.5 h_{ef}$

or headed  
ion anchors,  
 $h_{ef}$



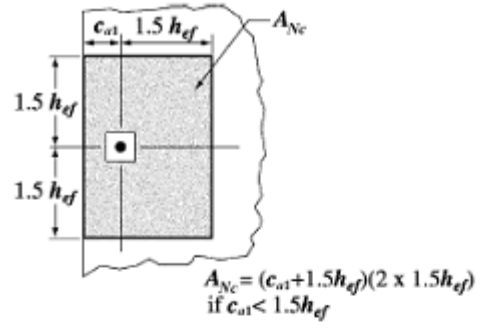
Kesitte göçme  
Konisi

*gh failure cone*

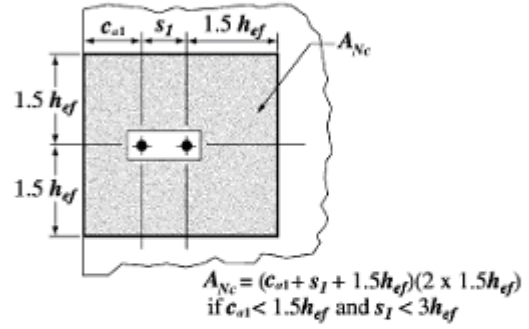


$$A_{Nc0} = [2(1.5) h_{ef}] [2(1.5) h_{ef}] = 9h_{ef}^2$$

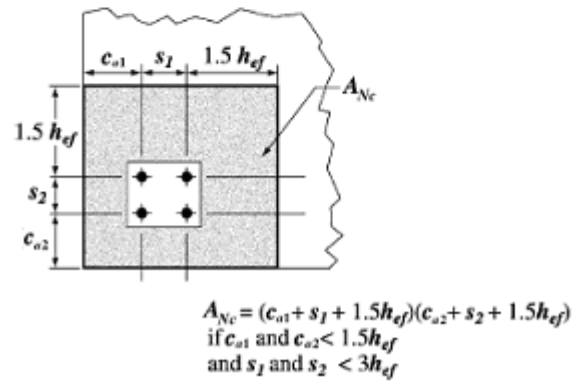
(a)



$$A_{Nc} = (c_{a1} + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef}) \text{ if } c_{a1} < 1.5h_{ef}$$



$$A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef}) \text{ if } c_{a1} < 1.5h_{ef} \text{ and } s_1 < 3h_{ef}$$



$$A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1.5h_{ef})(c_{a2} + s_2 + 1.5h_{ef}) \text{ if } c_{a1} \text{ and } c_{a2} < 1.5h_{ef} \text{ and } s_1 \text{ and } s_2 < 3h_{ef}$$

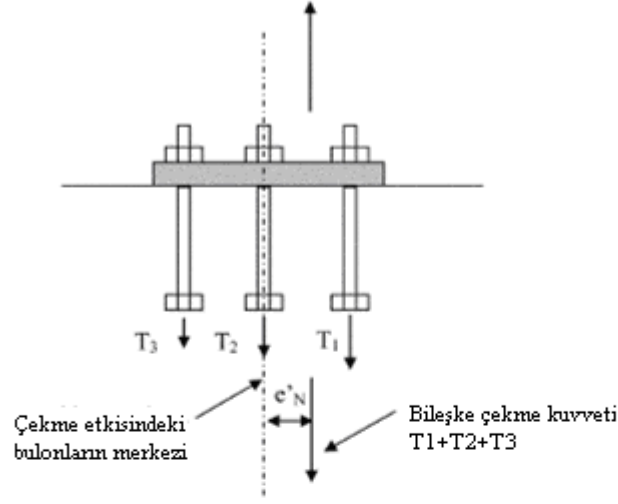
(b)

Şekil 3.3.2.2. Bulon eksenine paralel kuvvet etkisinde bulon ve bulon grubu için beton kesitinde etki alanları (ACI 318M-05 2005)

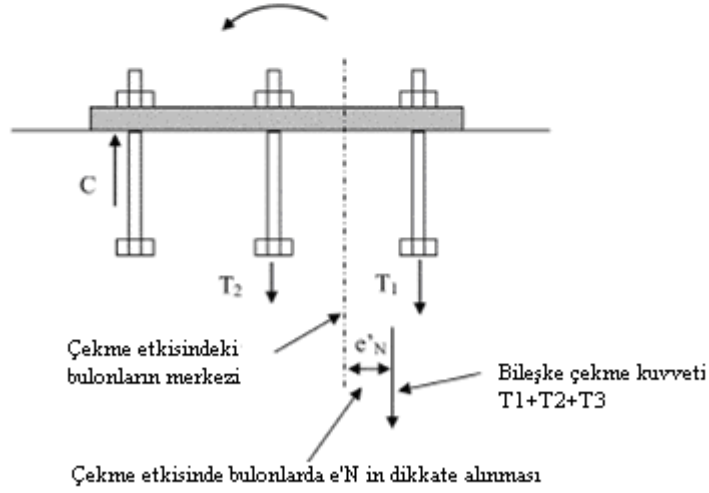
a)  $A_{Nc0}$  alanının hesaplanması

b)  $A_{Nc}$  alanının tek ankraj bulon grubu için hesaplanması





a) Ankraj bulon grubunun çekme etkisinde olması durumu



b) Bulon grubu içinde bazı bulonların çekme etkisi altında olması durumu

Şekil 3.3.2.3. Ankraj bulon grubunda eksantrisite oluşması (ACI318M- 05 2005)

$\psi_{ed,N}$  = Çekme kuvveti altındaki ankraj veya ankraj grubu için kenar etki düzenleme faktörü

$$\psi_{ed,N} = 1 \text{ eğer } c_{a,\min} \geq 1.5h_{ef}$$

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,\min}}{1.5h_{ef}} \text{ eğer } c_{a,\min} < 1.5h_{ef} \quad (3.20)$$

$\psi_{c,N} = 1.25$  Önceden yerleştirilmiş ankraj bulonları için; ve

$\psi_{c,N} = 1.4$  Sonradan yerleştirilmiş ankraj bulonları için; ve  $k_c$  D-7' de kullanıldığında

denklemin değeri 17 olur.

$\psi_{cp,N}$  = Sonradan yerleştirilmiş ankrajlar için D.5.2.6. gereğince çatlammamış betonda düzenleme faktörü

$$\psi_{cp,N} = 1.0 \text{ eğer } c_{a,\min} \geq c_{ac}$$
$$\psi_{cp,N} = \frac{c_{a,\min}}{c_{ac}} \geq \frac{1.5h_{ef}}{c_{ac}} \text{ eğer } c_{a,\min} < c_{ac} \quad (3.21)$$

Önceden yerleştirilmiş ankraj bulonları için tüm durumlarda  $\psi_{cp,N} = 1.0$  olarak alınır.

ACI355.2' e göre kritik kenar mesafesi  $c_{ac}$  aşağıda yazılan değerlerden az olamaz.

Undercut ankrajlar.....  $2.5h_{ef}$

Deplasman kontrollü ankrajlar.....  $2.5h_{ef}$

### 3.3.3. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Beton Davranışı- 2 (ACI318M-05 2005)

Çekme kuvveti altındaki ankraj bulon ve beton davranışı Şekil 3.3.3.1' de gösterilmiştir.

$$N_{pn} = \psi_{c,P} N_p \quad (3.22)$$

Çekme etkisinde tek başlıklı saplamalar veya başlıklı bulonların çekip çıkma dayanımı

$N_p$  aşağıdaki değeri aşamaz.

$$N_p = 8A_{brg} f_c \quad (3.23)$$

Çengelli ankraj bulonlarında  $N_p$  aşağıdaki değeri aşamaz.

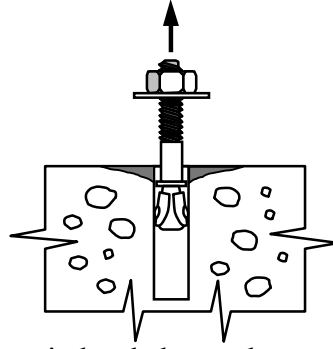
$$N_p = 0.9 f_c e_h d_0 \quad (3.24)$$

$$3d_0 \leq e_h \leq 4.5d_0$$

$\psi_{c,P}$  = Çatlak oluşturmayan yük derecesinde düzeltme faktörü

$$\psi_{c,P} = 1.4$$

Çatlak oluşan yük derecesinde oluşması durumunda,  $\psi_{c,P} = 1.0$



**Şekil 3.3.3.1.** Çekme kuvveti altında beton davranışı- 2 (ACI318M-05 2005)  
(Sıyrılıp çıkma, pull- out)

### 3.3.4. Bulona Eksenine Paralel Çekme Kuvveti Etkimesi Durumunda Beton Davranışı- 3

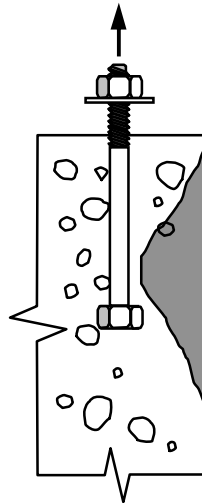
Çekme kuvveti altındaki ankraj bulon ve beton davranışı Şekil 3.3.4.1' de gösterilmiştir.

Tek başlıklı ankraj bulonları için,  $N_{sb} = 13c_{a1}\sqrt{A_{brg}}\sqrt{f_c}$  (3.25)

$c_{a1} < 0.4h_{ef}$  Eğer  $c_{a2}$  değeri başlıklı ankraj için  $3c_{a1}$  değerinden az ise  $N_b$  değeri  $\frac{\left(1 + \frac{c_{a2}}{c_{a1}}\right)}{4}$  faktörü ile artırılır.  $(1.0 \leq \frac{c_{a2}}{c_{a1}} \leq 3.0)$

Eğer Gömülme derinliğine bağlı kenar mesafesi  $c_{a1} < 0.4h_{ef}$  ve ankraj mesafesi  $6c_{a1}$  den az ise ankraj bulon grubu için beton yan yüz kapak atma  $N_{sbg}$  aşağıdaki değeri aşamaz.

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sb} \quad (3.26)$$



**Şekil 3.3.4.1.** Çekme kuvveti altında beton davranışı- 3 (ACI318M-05 2005)  
(Yan Yüz Kapak Atma)

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1. Genel Bilgi

Bu deneysel çalışmada, dayanımı yetersiz bölgesel güçlendirme yapılacak kesitleri temsil eden numuneleri çelik levhalar ile güçlendirmek, bulonlar yardımı ile çelik levha ve betonun bağlantısında kullanılan bulona eksenine dik (kesme) yükleme yaparak aşağıdaki durumlar incelendi. Bunun sonucunda güçlendirme işleminde kullanıma uygun bulon çapı seçimi yapılması amaçlandı.

Deneysel çalışmada üretilen numunelerde incelenen durumlar:

1. Betonda delik cidarında ezilme,
2. Tij ucunda dönme,
3. Tijin delikten sıyrılması,
4. Tijde kesilme,
5. Levhada delik cidarında ezilme,
6. Levhada delik çevresinde dönme,
7. Tij cidarında ezilme,
8. Tijde dış ezilmesi incelendi.

Deney numunelerinin boyut ve sayıları, laboratuvar koşulları, incelenecek parametreler ve değişkenler göz önünde tutularak belirlendi. 31 adet betonarme küp şeklinde deney numunesi üretildi. Deney yapılacak numunelerin sayısı “Tepki yüzeyi” yöntemi kullanılarak hesaplandı ve deney numunelerinde belirli deneysel değişkenler kullanıldı. Bu değişkenler aşağıda verilmiştir.

Deneysel Değişkenler;

1. Beton sınıfı; C8 (8MPa), C12(12MPa), C16(16MPa)
2. Bulon çapı; M12 (12 mm), M16 (16 mm), M20 (20 mm)
3. Levha kalınlığı (St37); t: 5mm, 8mm, 10mm

## 4.2. Deney Numunelerinin Üretilmesi

Gerekli dayanıma ulaşmış dayanımı yetersiz betonarme numuneler, çelik levhalar ile güçlendirilerek deney numuneleri oluşturuldu. Aşağıda deney numuneleri elemanlarının üretimi ve numunelerin nasıl oluşturulduğu belirtildi.

1. Deneyde kullanılacak betonarme numunelerin betonları SET BETON/ Çorlu' da üretildi. Beton karışımına koyulacak malzemelerde gerekli ölçümler ve deneyler yapılarak uygun karışım miktarları bulunduktan sonra betonların üretimleri yapıldı. Üç dayanıma sahip beton üretildi. Bunlar C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20' dir.
2. Üretilen betonların basma ve yarma-çekme dayanımlarının belirlenmesi için her karışımdan küp ve silindir numuneler alındı. Üretilen küp ve silindir numunelerin sayısı Çizelge 4.2.1' de gösterilmiştir
3. Betonlar kalıplara dökülmeden önce kalıplar içerisine boyuna donatı ve etriye görevini görecek olan spiral şekilde donatılar koyuldu (Resim 4.2.1). Spiral şekildeki donatının boyutları D.B.Y.B.H.Y. yönetmeliğine uygun olarak beton içerisinde minimum donatı sağlanacak şekilde belirlendi.

Bulon ve levhadaki ötelenmeyi ölçmek için kullanılacak LVDT' lerin tutturulacağı manyetik ayakların sabitlenmesi için çelik levhalar spiral donatıya kaynaklandı. Spiral şekilde donatılardan 31 adet üretildi ve imalatı Çorlu' da ki atölyede yapıldı (Resim 4.2.2). (Not: Beton kütleler içerisine donatının spiral olarak koyulmasının sebebi betonun basma deneyi sonucunda dağılmasını önlemektir.)

**Çizelge 4.2.1.** Üretilen betonlardan alınan küp ve silindir numunelerin sayısı

<b>Beton Dayanım Sınıfı</b>	<b>Küp Numune Basma Deneyi (Adet)</b>	<b>Küp Numune Yarma-Çekme Deneyi (Adet)</b>	<b>Silindir Numune Basma Dayanımı (Adet)</b>	<b>Silindir Numune Yarma-Çekme Deneyi (Adet)</b>
C8/ 10	3	3	2	3
C12/ 15	3	3	2	3
C16/ 20	3	3	2	3
<b>Toplam</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>9</b>

4. Hazırlanan beton kalıp içerisine dökülerek çelik çubuk yardımıyla kalıp içerisine boşluk bırakılmadan yayılması sağlandı (Resim 4.2.3).
5. Beton döküldükten sonra her bir numune üzerine numune adı ve döküm tarihi olan etiketler yapıştırıldı.
6. Sertleşen numuneler üzerinde güçlendirme işlemi yaparken kullanılacak ankraj bulonları yerleştirmek için bulon çaplarına göre delikler açıldı. Delik çapları bulon çaplarından 2mm büyük açıldı (Resim 4.2.4).
7. Delik delme işleminden sonra deliklerin içleri toz kalmayacak şekilde temizlendi.
8. Ankraj bulonlarından toplam 31 adet ve 125mm uzunluğunda atölyede kestirildi.
9. Temizlenen delikler epoksi (Pattex CF900) ile doldurularak içlerine ankraj bulonları yerleştirildi.
10. Güçlendirme elamanı olarak kullanılacak toplam 31 adet 150x150 boyutlarında St 37 kalitesinde 5mm, 8mm ve 10 mm lik çelik levhalar kestirildi. Levhaların üzerlerine ankraj bulonlarının yerleştirilmesi için kullanılan bulon çaplarından 2mm fazla büyüklükte tornada delik açıldı (Resim 4.2.5).
11. Çelik levhaların üzerlerine şekil değiştirmeyi izlemek için 5mm ve 10 mm aralıklarla çizgiler çizilerek levha üzerlerinde karelej oluşturuldu. (Resim 4.2.6)
12. Şekil değiştirmeyi izlemek için kullanılan LVDT' lerin oturacağı aparatların sabitlenmesi için delik merkezi hizasında olacak şekilde çelik levhalar üzerine 4mm büyüklüğünde delikler açıldı (Resim 4.2.6).
13. Epoksi kurduktan sonra çelik levhalar betonarme kütleler üzerine yerleştirildi ve bulonlara somunlar sıkılarak levhalar sabitlendi.

Deney numunelerinde kullanılan beton, çelik levha ve bulonların ebat ve toplam miktarları Çizelge 4.2.2.-4.2.4.' de verildi. Deney numunelerinin deney programı çizelge 4.2.5, 4.2.6. ve Resim 4.2.7.' de verildi.



**Resim 4.2.1.** Spiral biçimindeki donatının kalıplara yerleştirilmesi



**Resim 4.2.2.** Spiral biçimindeki donatı



**Resim 4.2.3.** Hazırlanan betonun kalıp içersine yerleştirilmesi



**Resim 4.2.4.** Deneyde kullanılacak sertleşmiş betonarme numuneler



**Resim 4.2.5.** Deneyde kullanılan çelik levhalar



**Resim 4.2.6.** Karelaj yapılmış ve aparatların yerleşmesi için üzerine delikler açılmış çelik levha

**Çizelge 4.2.2.** Deney numunelerinde kullanılan çelik levhaların özellik ve sayıları

Çelik Levha Adı	Miktar (Adet)	Kalınlık ( $t_c$ , mm)	Çelik Levha Üzerine Açılan Delik Çapı ( $d_c$ , mm)	Ebat mmxmm
L05	3	4.01	14	150x150
L05	3	4.01	18	150x150
L05	3	4.01	22	150x150
L08	3	7.80	14	150x150
L08	7	7.80	18	150x150
L08	3	7.80	22	150x150
L10	3	10.00	14	150x150
L10	3	10.00	18	150x150
L10	3	10.00	22	150x150
Toplam	31			

**Çizelge 4.2.3.** Deneyde kullanılan ankraj bulonlarının özellik ve sayıları

Ankraj Bulonu Adı	Miktar (adet)	Anma Çapı ( $d_a$ , mm)	Diş Dibi Çapı ( $d_b$ , mm)	Uzunluk (mm)
M12	9	12	9.85	125
M16	13	16	13.55	125
M20	9	20	16.90	125
Toplam	31			

**Çizelge 4.2.4.** Deneyde kullanılan betonların özellik ve sayıları

Beton Dayanım Sınıfı	Miktar (Adet)	Betonarme Numune Üzerine Açılan Delik Çapı $d_{be}$	Ebat mmxmmxmm
C8/10	9	14	150x150x150
C12/15	13	18	150x150x150
C16/20	9	22	150x150x150
Toplam	31		



**Çizelge 4.2.5.** Deney numuneleri üretim programı (Numune bileşenlerinin isimlendirilmesi)

Dayanım Sınıfı	Numune Sayısı	Tij Adı	Levha Adı	Dayanım Sınıfı	Numune Sayısı	Tij Adı	Levha Adı	Dayanım Sınıfı	Numune Sayısı	Tij Adı	Levha Adı
C08	1	M12	L10	C12	2	M12	L10	C16	1	M12	L10
	1	M12	L08		1	M12	L08		1	M12	L08
	1	M12	L05		1	M12	L05		1	M12	L05
	1	M16	L10		1	M16	L10		1	M16	L10
	1	M16	L08		3	M16	L08		2	M16	L08
	1	M16	L05		1	M16	L05		1	M16	L05
	1	M20	L10		1	M20	L10		1	M20	L10
	1	M20	L08		1	M20	L08		-	M20	L08
	1	M20	L05		1	M20	L05		1	M20	L05
	Toplam 9 adet numune				Toplam 12 adet numune				Toplam 9 adet numune		

**Çizelge 4.2.6.** Deney numuneleri üretim programı

Dayanım Sınıfı	BulonDiş Dibi Çapı ( d <sub>b</sub> , mm)	Levha Kalınlığı ( t <sub>t</sub> , mm)	Dayanım Sınıfı	Bulon Diş Dibi Çapı (d <sub>b</sub> , mm)	Levha Kalınlığı ( t <sub>t</sub> , mm)	Dayanım Sınıfı	Bulon Diş Dibi Çapı ( d <sub>b</sub> mm)iii	Levha Kalınlığı ( t <sub>t</sub> , mm)
C08	12	10.00	C12	12	10.00	C16	12	10.00
	12	7.80		12	7.80		12	7.80
	12	4.01		12	4.01		12	4.01
	16	10.00		16	10.00		16	10.00
	16	7.80		16	7.80		16	7.80
	16	4.01		16	4.01		16	4.01
	20	10.00		20	10.00		20	10.00
	20	7.80		20	7.80		20	7.80
	20	4.01		20	4.01		20	4.01
	Toplam 9 adet			Toplam 12 adet			Toplam 9 adet	



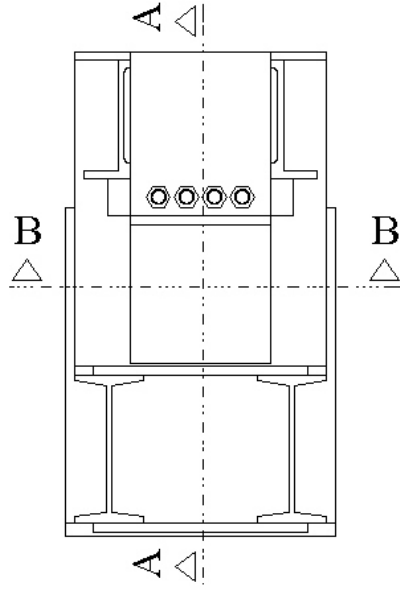
Resim 4.2.7. Deney numuneleri üretim programı

### 4.3. Mesnet Düzeneği

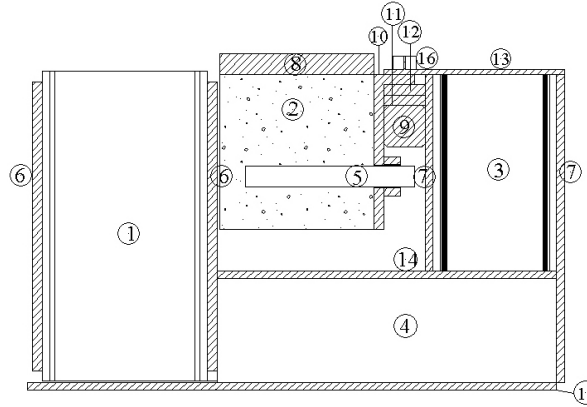
Deney numuneleri üzerinde ölçüm yapmak ve numunelerde mesnetlenme sınır koşullarını sağlamak için mesnet düzeneği imalatı yapıldı ve mesnet düzeneği parçalarının boyutları ve parçaları birleştirmede kullanılan kaynak dikiş kalınlıkları numune üzerine yapılacak yükleme büyüklüğü dikkate alınarak hesaplandı. Mesnet düzeneğinin şekil ve kesim ölçüleri aşağıda belirtilmiştir (Resim 4.3.1). (şekil 4.3.1)



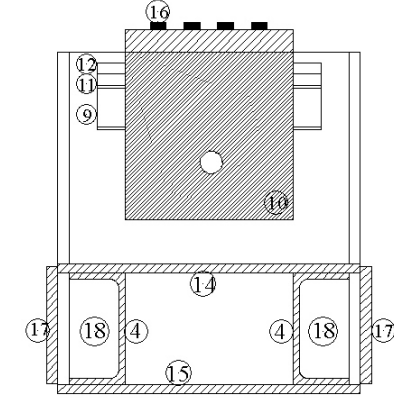
**Resim 4.3.1.** Mesnet düzeneğinin görüntüsü



ÜST GÖRÜNÜŞ



A-A KESİTİ



B-B KESİTİ

1. St372 St37 NPI 160, h= 30cm
2. 150mm.150mm.150mm Betonarme numune C08/10, C12/15,C16/20
3. St372 Adet St37 NPI120 h=19 cm
4. St372 Adet St37 UAP 100 h=33cm
5. M12, M16, M20 Ankraj bulonu ( Beton levha bağlantısı) l=12,5cm
6. St37 Levha 230mm.280mm.10mm
7. St37 Levha 270mm.300mm.10mm
8. St37 Yükleme levhası 150mm.150mm.20mm
9. St37 Delikli mesnet levhası, 40mm.40mm.200mm

10. St37 Delikli levha 150mm.150mm.5/8/10mm
11. St37 Delikli levha 40mm.10mm.200mm
12. St37 Delikli levha 40mm.10mm.200mm
13. St37 Delikli levha 150mm.180mm.5mm
14. St37 Levha 270mm.330mm.10mm
15. St37 Levha 270mm.330mm.10mm
16. Mesnet bulonu M12 Bulon
17. St37 2 Adet Köşe levhası 340mm.105mm.10mm
18. St37 Berkitme levhası 89mm.45mm.10mm

Şekil 4.3.1. Mesnet düzeneğinin üst görünüşü, kesitler ve kullanılan malzemelerin özellikleri

#### 4.4. Ötelenme Ölçümü İçin Tasarlanan Aparatlar

Çelik levhaların ve ankraj bulonun şekil değiştirmesini izlemek için kullanılacak LVDT'lerin ölçüm alması için lama ve boru profilden aparatlar üretildi. Bu aparatların numune üzerine yerleştirilmesi için ankraj bulonlarının üzerlerine ve çelik levhaların üzerlerine 4' lük perçinin tutturulacağı delikler delindi. Resim 4.4.1' de Ötelenme ölçümünde LVDT'lerin yerleştirileceği aparat görülmektedir.



**Resim 4.4.1.** Ötelenme ölçümünde LVDT'lerin yerleştirileceği aparat

## 5. DENEY NUMUNESİ BİLEŞENLERİNİN MALZEME DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ

### 5.1. Deney Numunesi Bileşenlerinin Malzeme Dayanımlarının Belirlenmesi için Yapılan Deneyler

Deney numunelerinin imalatı devam ederken numuneleri oluşturan betonlardan, çelik levhalardan ve bulonlardan malzeme kalitelerinin belirlenmesi için numuneler alındı. Alınan beton numuneler üzerinde beton basma, çekme- yarma deneyi, çelik levha ve bulon numuneleri üzerinde çekme deneyleri yapıldı.

**Çekme Deneyi:** Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır. Çekme deneyinde bir malzemenin uygulanan bir yüke karşı dayanımı ölçülür. Malzeme universal çekme makinasına yerleştirilir ve malzemeye kuvvet (yük) uygulanır. Çekme deneyinde malzemedeki uzama miktarı strain-gauge (şekil değiştirme ölçer) ve ekstansometre ile uygulanan kuvvet (yük) ise yük hücresi kullanılarak ölçülür ve bu ölçülen uzama ve yük değerleri kullanılarak gerilim-şekil değiştirme eğrisi elde edilir.

Çekme deneyi ile malzemelerin sünekliği, mukavemeti, ve rijitliği belirlenebilir.

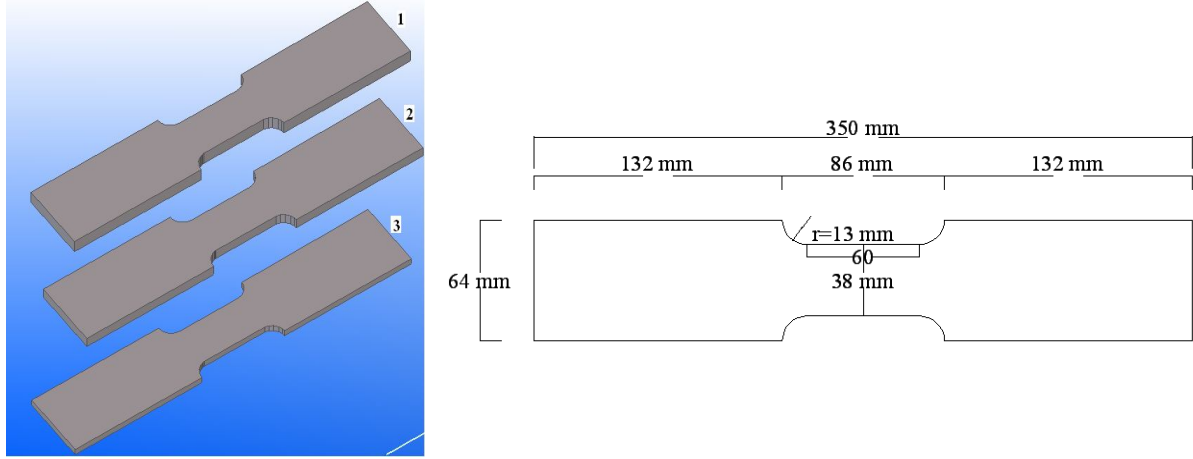
**Basma Deneyi:** Çekme-basma makinelerinde basma kuvveti uygulamak suretiyle yapılır. Basma deneyi sonucu gevrek malzemelerin mukavemet değerleri belirlenir.

### 5.2. Çelik Levha Çekme Dayanımı

Deneye tabi tutulacak numunelerde kullanılacak çelik levhaların dayanımlarının belirlenmesi ASTM A370- 08A yönetmeliğinde belirtilen değerler esas alınarak çelik levhalardan numuneler kestirildi ve bu numuneler üzerinde çekme deneyi yapıldı.

Üzerinde çekme deneyi yapılan numunelerin şekilleri, özellikleri ve miktarları Şekil 5.2.1 ve Çizelge 5.2.1' de verilmiştir.





Şekil 5.2.1. ASTM 370-08a' da belirtilen şartlara uygun kesilen numune boyutları

Çizelge 5.2.1. ASTM 370-08a' da belirtilen şartlara uygun kesilen numune sayısı ve özellikleri

Levha No	Kalınlık (mm)	Numune Miktarı (Adet)	
		x doğrultusu (E)	y doğrultusu (U)
1	10	2	2
2	8	2	2
3	5	2	2
<b>Toplam (Adet)</b>		6	6

Çekme deneyine tabi tutulacak numuneler de deney sonuçlarının belirlenmesi için ölçümlerde YFLA-10-2L özelliğinde strain gauge kullanıldı (Resim 5.2.1).

Üzerinde ölçüm yapılacak numunelerin strain gauge yapıştırılacak kısmı zımparalandı ve zımparalanan yüzey aseton ile temizlendikten sonra strain gaugeler yapıştırıldı. Yapıştırılan strain gaugelerin üzerlerine özel kağıtları yapıştırılarak 1 gün kurumaya bırakıldı. Yapıştırma işleminden bir gün sonra çekme deneyi yapıldı.

Kopmadan önceki ve sonraki kesit değerleri ölçülerek şekil değiştirmeler ve uygulanan yük değerleri elde edilerek asıl deneyde kullandığımız çelik levhaların gerçek kopma dayanımları, elastisite modülleri, kesit daralmaları, uzama miktarları hesaplandı (Resim 5.2.2- 5.2.3).

Strain Gauge: Bir malzemede oluşan gerinmeyi ölçmek için çoğunlukla strain gauge kullanılır. Strain gauge, elektriksel direnci, maruz kaldığı gerinmeyle orantılı şekilde değişen bir cihazdır. En çok tercih edileni metalik strain gauge' tir.

YFLA-10-2L: 2m kablo uzunluğu ve 10mm aktif tel uzunluğu olan çeliğin akmasından sonra da ölçüm yapabilen strain gauge tipidir.

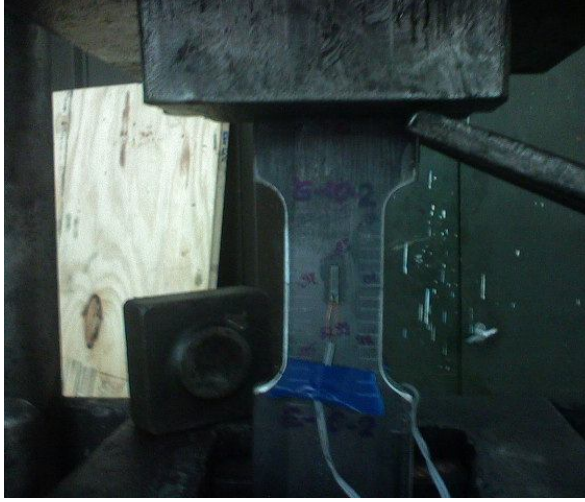
Gauge faktör (k):  $2.10 \times 10^6$



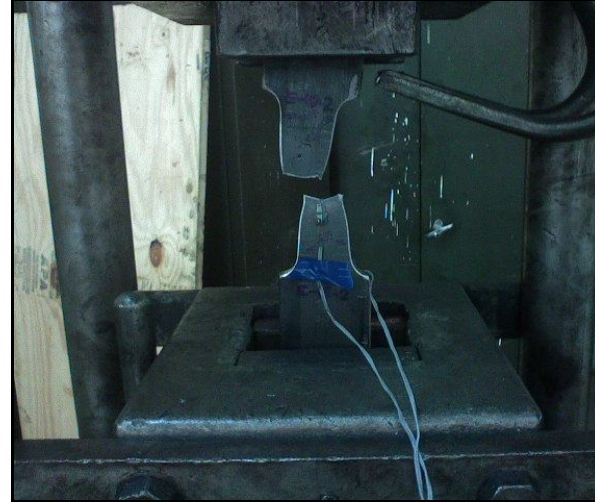
Resim 5.2.1. YFLA-10-2L Strain Gauge



Çelik levhalar üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçları Çizelge 5.2.2 de verilmiştir



**Resim 5.2.2.** Çekme deneyi başlamadan önce numunenin durumu



**Resim 5.2.3.** Çekme deneyi sonucunda numunenin durumu

**Çizelge 5.2.2.** Çelik levhaların ortalama akma, çekme, elastisite modülü değerleri

Numune Adı		$f_{yaort}$ (MPa)	$f_{suort}$ (MPa)	E (MPa)
L05	E05-1	277	399.42	194260
	E05-2			
L08	E08-1	265	372.88	208829
	E08-2			
L10	E10-1	315	422.00	218273
	E10-2			

### 5.3. Donatı Çekme Dayanımı

Deney numunelerindeki betonlar içerisine yerleştirdiğimiz spiral donatıları oluşturduğumuz donatılardan alınan numuneler üzerinde çelik çekme deneyi yapıldı. (Resim 5.3.1) Çekme deneyi İTÜ Malzeme Laboratuvarında AMSLER modeli 20 tonluk çekme cihazında yapıldı. Ölçüm değerleri extansometre kullanılarak okundu. Elde edilen verilerle donatının akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması hesaplandı. Donatı üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçları çizelge 5.3.1' de verilmiştir.

**Çizelge 5.3.1.** Donatı özellikleri, donatı akma ve elastisite modülü değerleri

Numune Adı	Çap (mm)	$f_{yaort}$ (MPa)	$E_{ort}$ (MPa)
Ø8	8	501.32	205215



**Resim 5.3.1.** Donatı üzerinde çekme deneyinin yapılması

#### **5.4. Ankraj Bulonu Çekme Dayanımı**

Deney numunelerinde çelik levhaların betonarme numunelere bağlanmasında kullanılan bulonlar üzerinde çekme deneyi uygulandı (Resim 5.4.1). Çekme deneyi İTÜ Malzeme Laboratuvarında AMSLER modeli 20 tonluk çekme cihazında yapıldı. Ölçüm değerleri extansometre kullanılarak okundu. Elde edilen verilerle donatının akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması hesaplandı. Bulonlar üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçları Çizelge 5.4.1’ de verilmiştir.

**Çizelge 5.4.1.** Ankraj bulonu özellikleri, bulon akma, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri

Numune Adı	Diş Dibi Çapı $d_{b\text{ort}}$ (mm)	$f_{yaort}$ (MPa)	$E_{ort}$ (MPa)
M12-1	9.85	597	192214
M12-2			
M16-1	13.55	612	203139
M16-2			
M20-1	16.90	627	214064
M20-2			



**Resim 5.4.1.** Ankraj bulonu üzerinde çekme deneyinin yapılması

## 5.5. Beton Dayanımı

Deney numunelerinde kullanılmak üzere C08/ 10 C12/ 15 C16/ 20 kalitesine sahip betonlar üretilmiştir. Beton karışımlarında kullanılacak bileşenlerin karışım miktarları hesaplandı. Beton karışım oranlarına göre 1 m<sup>3</sup> beton için gerekli malzemeler Çizelge 5.5.1-5.5.3' de verilmiştir.

Deney numunelerinin üretimi sırasında malzeme dayanımlarını belirlemek için her beton sınıfından 150x150 küp, 150x300 silindir numuneler alındı ve tek eksenli basınç dayanımları ile yarma- çekme dayanımları İTÜ malzeme laboratuvarında 1996 /ELE modeli basınç dayanımı cihazı kullanılarak hesaplandı. Bu deneylere tabi tutulan numunelerin özellikleri ve deney sonuçları Çizelge 5.5.4- 5.5.7' de verilmiştir.

**Çizelge 5.5.1.** C8/ 10 betonu için gerekli malzemelerin miktarları, su emme ve su içeriği değerleri

<b>C8/ 10 BİLEŞENLERİN</b>					
<b>Karışıma Giriş Sırası</b>	<b>Adı</b>	<b>Harmanda Kullanılan Miktarı (Kg)</b>	<b>Tane Yoğunluğu</b>	<b>Su Emmesi</b>	<b>Su İçeriği</b>
			<b><math>\rho_i</math></b>	<b>SE</b>	<b>Sİ</b>
<b>1</b>	Mıçır 2	29,538	2600	0,0120	0,0140
<b>2</b>	Kum	46,010	2600	0,0140	0,0550
<b>3</b>	Kırmataş tozu	0,000	2550	0,0000	0,0000
<b>4</b>	Mıçır 1	24,354	2590	0,0170	0,0120
<b>5</b>	ÖGYFC	8,250	2900	0,0000	0,0000
<b>6</b>	CEM II	4,950	3100	0,0000	0,0000
<b>7</b>	Su	9,857	1000	10,000	10,000
<b>8</b>	Katkı SA	0,000	1200	0,0000	0,0000
<b>9</b>	Hava	0,001	1,29	0,0000	0,0000

Çökme: 190mm, Beton Sıcaklığı:32.3

**Çizelge 5.5.2.** C12/ 15 betonu için gerekli malzemelerin miktarları, su emme ve su içeriği değerleri

<b>C12/ 15 BİLEŞENLERİN</b>					
Karışıma Giriş Sırası	Adı	Harmanda Kullanılan Miktarı (Kg)	Tane Yoğunluğu	Su Emmesi	Su İçeriği
			$\rho_i$	SE	Sİ
1	Mıdır 2	19,645	2600	0,012	0,0055
2	Kum	25,443	2600	0,014	0,0509
3	Kırmataş tozu	6,724	2550	0,026	0,0202
4	Mıdır 1	16,819	2590	0,017	0,0074
5	ÖGYFC	3,954	2900	0,000	0,0000
6	CEM II	5,460	3100	0,000	0,0000
7	Su	6,614	1000	1,000	10,000
8	Katkı SA	0,038	1200	0,000	0,0000
9	Hava	0,001	1,29	0,000	0,0000

Çökme: 212.5mm, Beton Sıcaklığı:25.3

**Çizelge 5.5.3.** C16/ 20 betonu için gerekli malzemelerin miktarları, su emme ve su içeriği değerleri

<b>C16/ 20 BİLEŞENLERİN</b>					
Karışıma Giriş Sırası	Adı	Harmanda Kullanılan Miktarı (Kg)	Tane Yoğunluğu	Su Emmesi	Su İçeriği
			$\rho_i$	SE	Sİ
1	Mıdır 2	21,184	2600	0,0120	0,0054
2	Kum	27,906	2600	0,0140	0,0724
3	Kırmataş tozu	7,232	2550	0,0260	0,0134
4	Mıdır 1	18,274	2590	0,0170	0,0174
5	ÖGYFC	2,205	2900	0,0000	0,0000
6	CEM II	8,380	3100	0,0000	0,0000
7	Su	6,459	1000	10,000	10,000
8	Katkı SA	0,047	1200	0,0000	0,0000
9	Hava	0,001	1,29	0,0000	0,0000

Çökme: 191.67mm, Beton Sıcaklığı:31

**Çizelge 5.5.4.** C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip küp betonlarda basma deneyi sonuçları

<b>Küp Basma Dayanımı</b>										
<b>Basma Dayanım Sınıfı, C __ / __</b>	<b>Numune No.</b>	<b>Boyutlar, mm</b>			<b>Kütle, g</b>	<b>Birim Hacim Kütle, Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Ortalama</b>	<b>Kırılma Yüğü, kN</b>	<b>Dayanım (küp), MPa</b>	
		<b>h (döküm doğ.)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>					<b>f<sub>c</sub> küp</b>	<b>f<sub>c ort</sub>/ f<sub>ck</sub> küb/ f<sub>ck</sub> sil</b>
<b>C8/ 10</b>	1	150,0	150,0	150,0	7322,2	2,170	2,171	528,9	23,51	23,80
	2	150,0	150,0	151,0	7379,8	2,172		530,0	23,56	22,45
	3	150,0	150,0	151,4	7395,0	2,171		547,4	24,33	19,20
<b>C12/ 16</b>	1	150,0	150,0	150,0	7384,6	2,188	2,203	861,3	38,28	37,22
	2	150,5	150,0	150,0	7482,7	2,210		840,8	37,24	34,08
	3	150,0	150,0	150,0	7467,5	2,213		813,0	36,13	29,97
<b>C16/ 20</b>	1	148,5	150,0	150,0	7402,5	2,215	2,191	949,1	42,61	42,05
	2	150,5	150,0	150,0	7327,8	2,164		962,2	42,62	39,19
	3	149,8	150,0	150,0	7393,5	2,194		919,5	40,92	33,85

**Çizelge 5.5.5.** C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip silindir numunelerde basma deneyi sonuçları

<b>Silindir Basma Dayanımı</b>							
Basma Dayanım Sınıfı, C __/ __	Numune No.	Boyutlar, mm			Kırılma Yüğü, kN	Dayanım (silindir), MPa	
		$\varnothing_1$	$\varnothing_2$	h		$f_{c\ sil}$	$f_{c\ ort/ f_{ck\ sil}}$
C8/ 10	1	152,0	152,0	300	347,1	19,13	19,80
	2	152,0	152,0	300	358,5	19,76	
	3	153,0	152,0	300	374,9	20,53	17,76
C12/ 16	1	152,0	152,0	300	632,5	34,86	35,29
	2	152,0	152,0	300	671,8	37,02	
	3	152,0	152,0	300	616,8	33,99	30,73
C16/ 20	1	150,2	150,2	300	763,2	43,07	40,66
	2	152,5	152,5	300	706,2	38,66	
	3	152,0	152,0	300	730,3	40,25	34,14

**Çizelge 5.5.6.** C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip silindir numunelerde yarma- çekme deney sonuçları

<b>Yarma-Çekme Dayanımı (Silindir)</b>							
Basma Dayanım Sınıfı, C __/ __	Numune No.	Boyutlar, mm			Kırılma Yüğü, kg <sub>f</sub>	Yarma-Çekme Dayanımı, MPa	
		$\varnothing_1$	$\varnothing_2$	h		$f_{cst\ sil}$	$f_{cst\ ort/ f_{csk}}$
C8/ 10	1	152,0	152,0	297	14.500	2,01	1,654
	2	150,0	150,0	297	9.300	1,30	
	-	-	-	-	-		
C12/ 16	1	152,0	152,0	296	15.100	2,10	2,437
	2	152,0	152,0	297	20.100	2,78	
	-	-	-	-	-		
C16/ 20	1	152,0	152,0	298	26.500	3,65	3,230
	2	152,0	152,0	297	20.300	2,81	
	-	-	-	-	-		

**Çizelge 5.5.7.** C8/ 10, C12/ 15, C16/ 20 kalitesine sahip küp numunelerde yarma- çekme deney sonuçları

<b>Yarma-Çekme Dayanımı (Küp)</b>										
<b>Basma Dayanım Sınıfı, C__/_</b>	<b>Numune No.</b>	<b>Boyutlar, mm</b>			<b>Kütle, (g)</b>	<b>Birim Hacim Kütle, Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Ortalama B.H.K.</b>	<b>Kırılma Yüğü, kN</b>	<b>Yarma-Çekme Dayanımı, MPa</b>	
		<b>h (Döküm Doğ.)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>					<b>f<sub>est</sub> küp</b>	<b>f<sub>est</sub> ort/ f<sub>csk</sub></b>
<b>C8/ 10</b>	1	150,5	150,0	150,3	7322,0	2,158	2,159	82,5	2,32	2,254
	2	150,0	150,0	150,0	7339,5	2,175		71,2	2,01	
	3	151,0	150,0	150,0	7284,5	2,144		86,3	2,43	1,630
<b>C12/ 16</b>	1	149,0	150,0	150,0	7379,5	2,201	2,193	120,2	3,424	3,490
	2	151,0	150,0	150,0	7411,3	2,181		130,5	3,668	
	3	150,2	150,0	150,0	7426,8	2,198		119,6	3,379	3,037
<b>C16/ 20</b>	1	150,5	150,0	150,0	7376,8	2,178	2,198	132,3	3,731	4,174
	2	149,0	150,0	150,0	7422,7	2,214		170,1	4,845	
	3	151,5	150,0	150,0	7504,3	2,201		140,9	3,947	2,449



## 6. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR

### 6.1. INSTRON 1055 Cihazı

Üzerinde maksimum 10 ton eğilme (Close Loop) ve basınç deneyleri yapılan Instron 1055 model cihazdır. (Resim 6.1.1)

Deney numuneleri INSTRON 1055 cihazında teste tabi tutuldu.



Resim 6.1.1. INSTRON 1055 model cihaz

### 6.2. LVDT

Deneyde 4 adet elektronik deplasman ölçer (LVDT) kullanıldı (Resim 6.2.1).



Resim 6.2.1. LVDT'lerin numune üzerine sabitlenmesi

### 6.3. Data Logger

Bilgisayar destekli veri kayıt cihazıdır. LVDT' lerin okumalarının kaydedilmesini sağlar (Resim 6.3.1).



Resim 6.3.1. Data Logger

### 6.4. Load Cell

Deneyde 1 adet Load- Cell kullanıldı. Instron cihazının hareketli başlığında gelen yükü bilgisayar destekli veri kayıt cihazına ( Data logger) iletir (Resim 6.4.1).



Resim 6.4.1. Numune üzerinde yerleştirilmiş Load- Cell

## 7. DENEYLER

### 7.1. Deneyin Yapılması

Deney numunesi INSTRON cihazının içerisine yerleştirilmiş mesnet düzeneğine yerleştirildikten sonra elektronik deplasman lerler (LVDT)' ler manyetik ayaklar vasıtasıyla deney numunelerinin yan yüzeylerindeki levhalara tutturuldu. LVDT' ler 25 mm deplasman ölçecek şekilde seçildi (Resim 7.1.1).

INSTRON cihazının uygulayacağı yk Load Cell vasıtasıyla bilgisayara kaydedildi. Load Cell 10 kN yük aktaracak özellikte seçildi. Load Cell numunenin zerine yerleştirilen 20 mm levhanın üzerine ve bulon başına yakın olacak şekilde oturtuldu. ( Resim 7.1.2)

Bilgisayar programında deney sonucunda ulaşılması gereken yük ve deplasman değerlerini alacak şekilde ayarlama yapıldı. Yükleme hızı 0.5 mm/ dak. olarak ayarlandı. Deplasman 25mm olduğunda ve numune üzerindeki bulon kesildiğinde yükleme sonlandırıldı.



**Resim 7.1.1.** Mesnet düzeneğine yerleştirilen deney numunesinin INSTRON cihazının içindeki görüntüsü



**Resim 7.1.2.** INSTRON cihazına koyulan mesnet düzeneğindeki numune üzerine Load Cell'in yerleştirilmesi ve yükleme yapılması

## 7.2. INSTRON 1055 Cihazında Kaydedilen Deney Sonuçları

Deneyler tamamlandıktan sonra INSTRON cihazında kaydedilen verilerden elde edilen sonuçlardan C08M12L05 ve C16M20L05 numunelerine ait oluşan durumlar aşağıda gösterildi. Tüm deney numunelerinin sonuçları çizelge 7.2.1 ve 7.2.2' de verildi.

### 7.2.1. C08M12L05 numunesi deney sonucu

INSTRON cihazda yapılan deney sonucu numuneye ait grafik çizdirildi. Yük 27. 7 kN' a geldiğinde bulon kesildi. Şekil 7.2.1' deki grafikte okunan yük değerlerinde çelik levhanın ezilmesi, bulonun ezilmesi ve bulonun makaslama ile göçmesi durumlarının incelenmesi için hesaplamalar yapıldı. Bu hesaplamalar çelik levha ezilme gerilmesi, çelik levha ezilme kuvveti, bulon makaslama gerilmesi, bulon makaslama kuvveti, bulon ezilme gerilmesi ve bulon ezilme kuvvetidir.

Çelik levha ezilme gerilmesi üzerinde çekme deneyi yapılan çelik levhalardan elde edilen ortalama akma dayanımları kullanılarak hesaplandı.

Bulonlara ait ezilme emniyet gerilmesi ve makaslama gerilmesi de üzerinde çelik çekme deneyi yapılan bulonlardan elde edilen ortalama akma gerilmesine göre hesaplandı.

Aşağıda excelde hesaplanan değerlerden C08M12L05 numunesine ait hesaplamalar gösterildi.

#### Levha için $N_t$ değeri hesabı;

$$N_{tlevha} = t_{levha} \cdot d_{bulon} \cdot \sigma_{tlevha} \rightarrow N_{tL05M12lev} = t_{L05} \cdot d_{bulM12} \cdot \sigma_{tL05} \quad (7.1)$$

$$N_{tL05M12lev} = 19.47 \text{ kN}$$

#### Bulon için makaslama yükü $N_{sbulon}$ değeri hesabı;

$$N_{sbulon} = \left( \frac{\pi(d_{bulon})^2}{4} \right) \tau_{ortalama bulon} \rightarrow N_{sM12} = \left( \frac{\pi(d_{M12})^2}{4} \right) \tau_{M12} \quad (7.2)$$

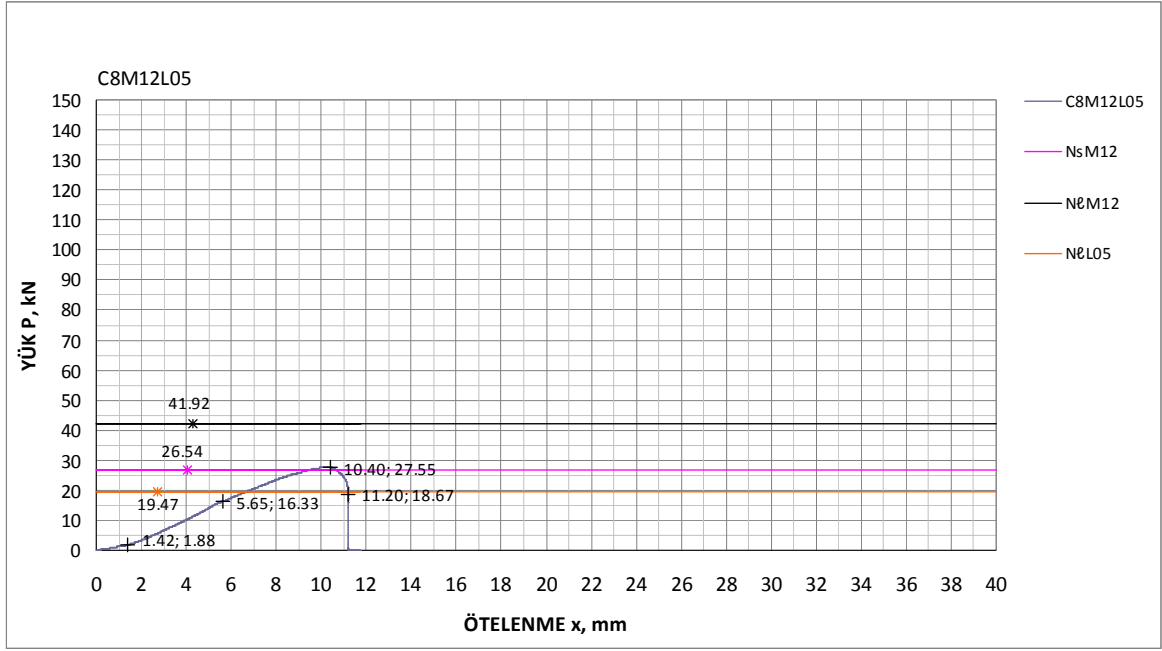
$$N_{sM12} = 26.54 \text{ kN}$$

#### Bulonların ezilme yükü $N_{tbulon}$ değeri hesabı;

$$N_{tbulon} = t_{levha} d_{bulon} \sigma_{tbulon} \quad (7.3)$$

$$N_{tbulonL05} = 41.92 \text{ kN}$$





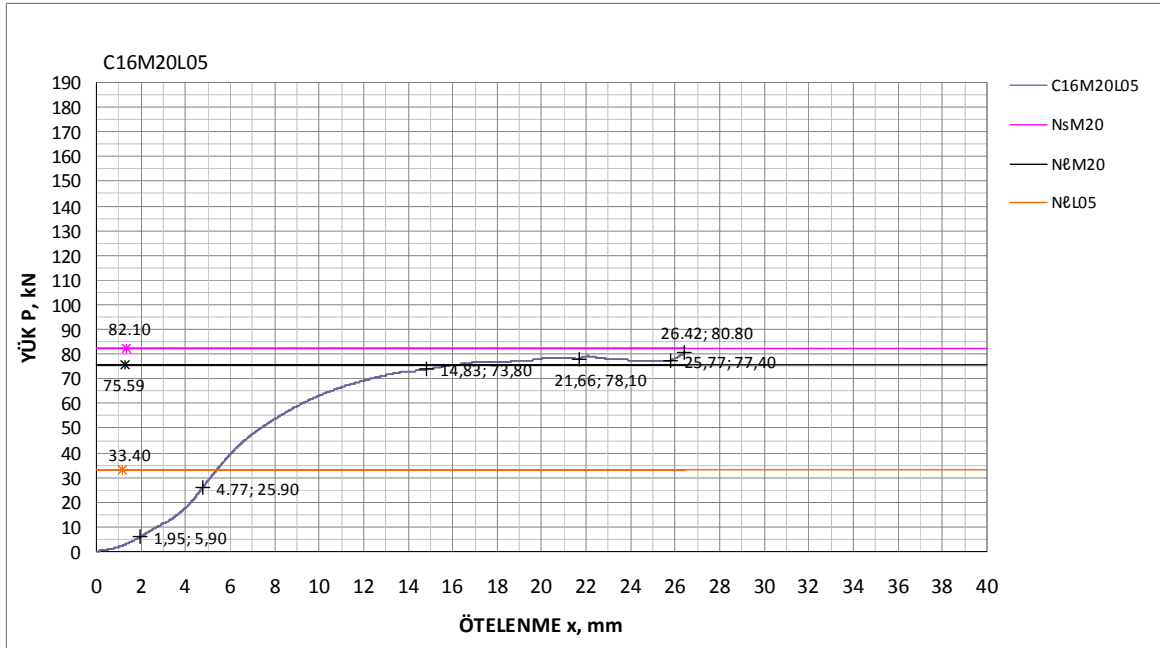
Şekil 7.2.1. INSTRON cihazında kaydedilen C8M12L05 yük- ötelenme değerleri



Resim 7.2.1. C8M12L05 numunesinde yük uygulandıktan sonra numunenin, üzerindeki çelik levha ve bulonun durumu

## 7.2.2. C16M20L05 numunesi deney sonucu

Numuneye yük uygulanması 10 kN oluncaya ve düzenek ile arasındaki mesafe tamamlanmaya kadar devam etti. Yük 80.80 kN değerinde iken numune yaklaşık 3.5 cm' lik mesafe bittikten sonra yükleme durduruldu. Çelik levhada buruşma, bulon ucunda dönme oluştuğu görüldü.



Şekil 7.2.2. INSTRON cihazında kaydedilen C8M12L05 yük- ötelenme değerleri



Bulon ucunda dönme

Çelik levhada buruşma

Resim 7.2.2. C6M20L05 numunesine yük uygulandıktan sonra numunenin, üzerindeki çelik levha ve bulonun durumu

**Çizelge 7.2.1. INSTRON cihazından elde edilen sonuçlar ve numuneler üzerinde incelenen durumlar**

BETON HEDEF DAYANIM SINIFI - BETON BASMA DAYANIMI, MPa	NUMUNE ADI	ÖTELENMELER (mm)		EN BÜYÜK YÜK (kN)	EN BÜYÜK YÜKTE BULON KESİLMESİ
		Bulon Ucunda $\delta_{bulon}$	Levha Üst Kenarında $\delta_L$		
CO8/10- (20/ 24)	M12L05	10.3	7.019	27.7	Kesildi.
	M12L08	5.315	4.172	31.4	Kesildi.
	M12L10	9.55	17.727	27.3	Kesildi.
	M16L05*	24.952	19.221	77.2	<b>Kesilmedi.</b>
	M16L08	9.421	9.587	60.7	Kesildi.
	M16L10	12.636	12.925	59.4	Kesildi.
	M20L05	24.352	25.03	99.9	<b>Kesilmedi.</b>
	M20L08	23.709	14.43	79.6	Kesildi.
	M20L10	24.538	20.326	76.5	Kesildi.
C12/15- (35/ 37)	M12L05*	-	-	22.7	Kesildi.
	M12L08	5.096	4.648	28.7	Kesildi.
	M12L10	5.165	4.851	28.5	Kesildi.
	M16L05	20.056	12.401	67.0	Kesildi.
	M16L08-1	9.557	8.051	61.1	Kesildi.
	M16L08-2	17.989	12.058	53.2	Kesildi.
	M16L08-3	10.455	8.968	59.5	Kesildi.
	M16L10	12.348	8.181	60.8	Kesildi.
	M20L05	23.793	25.04	99.8	<b>Kesilmedi.</b>
	M20L08	20.976	16.21	64.7	Kesildi.
	M20L10	16.243	13.818	84.4	Kesildi.
C16/20- (41/ 42)	M12L08	3.594	2.844	29.2	Kesildi.
	M16L05	22.665	17.817	59.9	Kesildi.
	M16L08-2	-	-	58.7	Kesildi.
	M16L08-2	8.07	9.423	54.7	Kesildi.
	M16L10	8.674	7.385	59.0	Kesildi.
	M20L05	22.563	15.96	80.8	<b>Kesilmedi.</b>
	M20L10*	-	-	90.7	Kesildi.

M12L05\* ;M20L10\* ; Numunede LVDT' de deplasman okuması işleminde hata oluştu.

M16L05\* ; Yüklemede numune altındaki deplasman miktarı yetersiz kaldı bulon kesilmedi.



**Çizelge 7.2.2.** INSTRON cihazından elde edilen sonuçlar ve numuneler üzerinde incelenen durumlar

BETON HEDEF DAYANIM SINIFI - BETON BASMA DAYANIMI, MPa	NUMUNE ADI	ÇELİK LEVHADA BURUŞMA	BULONUN DELİKTEN SIYRILMASI	BULONDA DÖNME
CO8/10- (20/ 24)	M12L05	-	-	-
	M12L08	-	-	-
	M12L10	-	-	-
	M16L05*	<b>Var</b>	-	<b>Var</b>
	M16L08	<b>Var</b>	-	-
	M16L10	<b>Var</b>	-	-
	M20L05	<b>Var</b>	-	<b>Var</b>
	M20L08	<b>Var</b>	-	-
	M20L10	<b>Var</b>	-	-
C12/15- (35/ 37)	M12L05*	-	-	-
	M12L08	-	-	-
	M12L10	-	-	-
	M16L05	<b>Var</b>	-	-
	M16L08-1	<b>Var</b>	-	-
	M16L08-2	<b>Var</b>	-	-
	M16L08-3	<b>Var</b>	-	-
	M16L10	<b>Var</b>	-	-
	M20L05	<b>Var</b>	-	<b>Var</b>
	M20L08	<b>Var</b>	-	-
	M20L10	<b>Var</b>	-	-
C16/20- (41/ 42)	M16L05	<b>Var</b>	-	-
	M16L08	<b>Var</b>	-	-
	M16L10	-	-	-
	M20L05	<b>Var</b>	-	<b>Var</b>
	M20L10*	<b>Var</b>	-	-

M12L05\* ;M20L10\* ; Numunede LVDT de deplasman okuması işleminde hata oluştu.

M16L05\* ; Yüklemede numune altındaki deplasman miktarı yetersiz kaldı bulon kesilmedi.

## 8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Bu çalışmada Türkiye’de güçlendirme uygulamasında yaygın olarak kullanılan yapısal çelik levha ve bütün boyuna dış açılmış M12, M16 ve M20 olarak anılan dişli ankraj bulonu (tij) kullanıldı. Çelik (4 mm, 8 mm, 10 mm) levhalarda bulon kenar uzaklıkları standartta öngörülen ve yırtılmaya yol açmayacak büyüklükte seçildiğinden numunelerde yırtılma sonucu göçme söz konusu olmadı. Beton küplerin içerisine bulon eksenine paralel eksenli spiral ve doğrusal Ø8 nervürlü donatı çubukları yerleştirilerek küp kenarlarına paralel üç doğrultuda donatı oranı yaklaşık %2 olduğundan numunelerde betonun dağılması sonucu göçme oluşmadı. Ancak, bulonunkinden yaklaşık 2 mm daha büyük çaplı delik içerisinde dişli bulon, 1 mm kalınlıkta epoksi harcı yataklanma alanını genişlettiğinden betonda sınırlı ezilme ve bazı numunelerde açılması kısıtlanmış kılcal çatlak oluştu. Betonda ezilmenin özellikle C8/10 beton ve M12 dişli bulon durumunda ötelenmelerin bir miktar büyük olmasına yol açtığı söylenebilir. Ancak göçmeler bulon çekirdek bölgesinin makaslanarak kesilmesi sonucu oluştu. Sünek olmayan davranış levhanın yırtılması veya betonun çatlayıp dağılması sonucu değil, bulonun kesilmesi sonucu oluştu.

Bulonlar kesme yükünü dış açılmış bölgede taşıdığından kesme kuvveti çekirdek bölgesi alanına etkimektedir. Çekirdek bölgesi çapı bulonun anma çapından küçüktür. Örnek olarak M12 dişli bulonun (tij) anma çapı 12 mm olduğu halde çekirdek çapı 9.85 mm olmaktadır. Bu nedenle levha kalınlığı 4 mm olması durumunda dahi göçme bulonun makaslanması sonucu oluştu.

Numunelere 100 kN kapasiteli ötelenme kontrollü deney düzeneğinde ve en fazla 35 mm levha üst kenarı ötelenmesi uygulanarak aşağıdaki durumların oluştuğu görüldü.

### 8.1. M12 Bulonlu numunelerde çelik levha kalınlığına göre sonuçlar;

#### 8.1.1. M12L05

- M12L05C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; levha üst kenarı ötelenmesi 7 mm ve bulon 27.7 kN yükte kesildi.
- M12L05C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; bulon 22.7 kN yükte kesildi..

### **8.1.2. M12L08**

- M12L08C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; levha üst kenarı ötelenmesi 4.2 mm ve bulon 31.4 kN yükte kesildi.
- M12L08C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; levha üst kenarı ötelenmesi 4.6 mm ve bulon 28.7 kN yükte kesildi.
- M12L08C16: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; levha üst kenarı ötelenmesi 2.8 mm ve bulon 29.2 kN yükte kesildi.

### **8.1.3. M12L10**

- M12L10 C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; levha üst kenarı ötelenmesi 17.7 mm ve bulon 27.3 kN yükte kesildi.
- M12 L10 C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; levha üst kenarı ötelenmesi 4.8 mm ve bulon 28.5 kN yükte kesildi.

## **8.2. M16 Bulonu için çelik levha kalınlığına göre sonuçlar;**

### **8.2.1. M16L05**

- M16L05C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 19.2 mm ve bulon 77.2 kN yükte kesildi.
- M16L05C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 12.4 mm ve bulon 67.0 kN yükte kesildi.
- M16L05C16: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 17.8 mm ve bulon 70.8 kN yükte kesildi.

### 8.2.2. M16L08

- M16L08C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 9.6 mm ve bulon 60.7 kN yükte kesildi.
- M16L08C12-1: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 8 mm ve bulon 61.7 kN yükte kesildi.
- M16L08C12-2: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 12.1 mm ve bulon 53.2 kN yükte kesildi.
- M16L08C12-3: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 9 mm ve bulon 59.5 kN yükte kesildi.
- M16L08C16-1: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 9.4 mm ve bulon 58.7 kN yükte kesildi.
- M16L08C16-2: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; ve bulon 54.7 kN yükte kesildi.

### 8.2.3. M16L10

- M16L10C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 12.9 mm ve bulon 59.0 kN yükte kesildi.

- M16L10C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 8.2 mm ve bulon 60.8 kN yükte kesildi.
- M16L10C16: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı; levha üst kenarı ötelenmesi 7.4 mm ve bulon 59.0 kN yükte kesildi.

### **8.3 M20 Bulonu için çelik levha kalınlığına göre sonuçlar;**

#### **8.3.1. M20L05**

- M20L05C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu ve bulon ucu döndü; levha üst kenarı ötelenmesi 25.0 mm ve bulon 99.9 kN yükte kesilmediği görüldü.
- M20L05C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu ve bulon ucu döndü; levha üst kenarı ötelenmesi 25.0 mm ve bulon 99.8 kN yükte kesilmediği görüldü.
- M20L05C16: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu ve bulon ucu döndü; levha üst kenarı ötelenmesi 16 mm ve bulon 80.8 kN yükte kesilmediği görüldü.

#### **8.3.2. M20L08**

- M20L08C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 14.4 mm ve bulon 79.6 kN yükte kesildi.
- M20L08C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 16.2 mm ve bulon 64.7 kN yükte kesildi.

### 8.3.3. M20L10

- M20L10C08: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 20.3 mm ve bulon 76.5 kN yükte kesildi.
- M20L10C12: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; levha üst kenarı ötelenmesi 13.8 mm ve bulon 84.4 kN yükte kesildi.
- M20L10C16: Numunede bulon dişlerinin ezilerek çelik levha delik iç cidarında belirgin derinlikte iz bıraktı ve levhada buruşma oluştu; bulon 90.7 kN yükte kesildi.

Levha kalınlığı arttıkça ve bulon çapı azaldıkça göçmenin bulonun makaslanması ile oluştuğu görüldü.

C08, C12, C16 beton sınıfına, 20 mm anma çapına sahip bulon ve 4 mm kalınlığındaki çelik levha bulunan numunelerde deney sonucunda bulonların kesilmediği ve bulon ucunun döndüğü görüldü. Betonarme numuneler üzerindeki çelik levhalarda plastik şekil değiştirme, buruşma durumu (yanal stabilite kaybı) gözlemlendi. Çelik levhada ezilme olayı, bulon dişlerinin ezilmesi, bulon cidarında ezilme durumları yük ve ötelenme farklarının oranlarının ikinci türevleri hesaplandı ve ikinci türevin negatif olduğu yerlere bakıldı. Numunedeki beton, bulon, çelik levha ve epoksiden hangisinin önce ezildiğini söylemek ve betonun ezilme bölgesinin ezilme ilerledikçe artacağı düşünülerek ayrıca ek deneyler yapılması gerektiği görüldü.

#### **Özet sonuç olarak;**

1. Bu çalışmada bir basma deneyi aleti içerisine yerleştirilerek çelik levha ve ankraj bulonlarının davranışı hakkında ön bilgi elde edilmesinde kullanılacak numune ve mesnetlendirme düzeneği geliştirildi.
2. Deneyler sırasında numunelerdeki beton, bulon, çelik levha ve epoksi harcından bulon çapına bağlı olarak hangisinin önce ezildiğini anlamak mümkün olmamakla birlikte levha üst ucu ötelenmesi büyük ve kesilme olmayan birleşimlerin sünek davranacağı söylenebilir.

3. Tam boy dişli M16 ile M20 ankraj bulonunun güçlendirilecek kesitte kullanım miktarları hesaplanarak güçlendirme uygulamasında maliyeti en aza indirecek bulon çap ve aralıkları belirlenerek kullanılabilir.

4. C08, C12, C20 beton dayanım sınıflarında üretilmiş betonarme kesitlerde güçlendirme elemanı olarak piyasada nominal kalınlığı 5 mm olarak bulunan (gerçekte yaklaşık 4 mm kalınlığındaki) çelik levha ve minimum M16 tam boy dişli ankraj bulonu kullanarak güçlendirme yapılması sünek davranış elde edilmesi yönünden uygun görünmektedir. Bu durumda,

5. Betonarme kesitlerin çelik levha, hadde ürünü profillerle güçlendirilmesinde bütün boyuna diş açılmış ankraj bulonlarının kullanılması durumunda çekirdek kesitin küçük ve diş dibinde gerilme yığılması olması sebebiyle kesme dayanımları düşük ve değerlerin dağılmasının büyük olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

#### **İleri çalışmalar için;**

1. Mesnet deney düzeneğinin ötelenme sığasının arttırılması,
2. Beton basma ve bulon makaslama dayanımlarının farklı değerlerinde, özellikle daha yüksek dayanımlı bulon ve somun kullanılması durumlarında etkileşimin ve davranışların araştırılması,
3. Cidarda diş ezilmesini önleyerek güçlendiren çelik elemanların küçük şekil değiştirmelerden başlayarak güçlendirilen betonarme kesit ile birlikte çalışmasının sağlanması konuları önerilebilir.

## KAYNAKLAR

ACI Committee 318 (2005). Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI318-05) And Commentary (ACI 318R-05). 430s, Miami, USA.

ACI Committee 355 (2007). Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI 355.2-07) and Commentary An ACI Standard Reported by American Concrete Institute. 39 s, USA.

Altın S, Anıl Ö, Gökten Y (2004). Betonarme Kirişlerin Güçlendirilmesinde Bir Kelepçe Uygulaması Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , 19: 415-422.

Anonim (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi (2007). 167s, İstanbul.

ASTM International (2008). Standard Test Methods and Definitons for Mechanical Testing of Steel Products. West Conshohocken, United States.

Büyükkaragöz A (2006). Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Zayıf Kolon- Güçlü Kiriş Birleşimleri İçin Alternatif Bir Detay Önerisi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çağlar Y (2002). Çelik Plakalarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Göksu Ç (2003). Betonarme Yapıların Çelik Konstrüksiyon İle Güçlendirme Tasarım Esasları. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Çorlu.

TUBİTAK-İMO (1999). Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi. Kurs Notları .

Yorgun C (2005). Çelik Sac- Beton Kompozit Döşeme Sistemlerinin Uygulamalarına Yönelik Değerlendirmeler. Mühendislik Haberleri, Sayı 435-2005/1



Yozgat U (2007). Eksenel Yüklü Kare Kesitli Betonarme Kolonların Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Nonlineer Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : NİLÜFER TEMUR  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 25.07.1984 İstanbul  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (282) 613 08 38  
e-mail : [temurnilufer@hotmail.com](mailto:temurnilufer@hotmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Namık Kemal Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	2011
Lisans	Trakya Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	2006
Lise	Orhan Cemal Fersoy Süper Lisesi	2002

### Yabancı Dil

İngilizce

### İş Deneyimi

Yıl	Firma	Yetki
2010 –	NS Mühendislik Mimarlık	İnşaat Mühendisi