

**BETONA SONRADAN YERLEŞTİRİLEN KİMYASAL  
ANKRAJLARIN EĞİLME ETKİLERİ ALTINDA MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Merdan Törehan TURAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ali ERĐÜN

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Ekim, 2013

Bu tez çalışması 11.FEN.BİL.24 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BETONA SONRADAN YERLEŞTİRİLEN KİMYASAL ANKRAJLARIN EĞİLME  
ETKİLERİ ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Merdan Törehan TURAN**

**DANIŞMAN  
Doç. Dr. Ali ERĐÜN**

**YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**EKİM 2013**

## TEZ ONAY SAYFASI

Merdan Törehn TURAN tarafından hazırlanan “Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eğilme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 08/10/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yapı Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Doç.Dr. Ali ERGÜN

<b>Başkan</b>	: Doç. Dr. Osman ÜNAL Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,	İmza
<b>Üye</b>	: Doç. Dr. Ali ERGÜN Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,	İmza
<b>Üye</b>	: Yrd. Doç. Dr. Gökhan KÜRKLÜ Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahriyat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**08/10/2013**

**Merdan Törehan TURAN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BETONA SONRADAN YERLEŞTİRİLEN KİMYASAL ANKRAJLARIN EĞİLME ETKİLERİ ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Merdan Törehan TURAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Ali ERGÜN

Ülkemizde mevcut yapı stoğu içerisinde yer alan binaların büyük çoğunluğunun yeterli deprem güvenliğinin bulunmadığından güçlendirilme gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Betonarme taşıyıcı elemanların ve taşıyıcı sistemin güçlendirilmesinde mevcut betonarme elemanlarla yeni elemanların birlikte uyum içerisinde çalışmasının sağlanmasında kimyasal ankrajların kullanımı gerekmektedir. Mevcut betonarme elemanların onarım ve güçlendirilmesinde sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlar, dış yükler altında aksenal çekme, eğilme ve kesme gibi etkilere maruz kalmaktadır. Bu sebeple, aksenal çekme, eğilme ve kesme gibi etkiler altında kimyasal ankrajların mekanik özelliklerinin ayrı ayrı ortaya konulması, sistem içerisinde davranışının belirlenmesi açısından önemlidir. Bu etkilerin ayrı ayrı araştırılması açısından üç farklı tez çalışması yapılmıştır.

Bu tez, kimyasal ankrajların kapsamlı olarak incelenmesi için oluşturulan çalışma grubunun eğilme etkileri başlıklı alt bölümünün çalışmalarını içermektedir. Tez çalışmasında, betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların *eğilme etkileri* altında mekanik özellikleri belirlenmiş, betonlama sırasında konulan mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile karşılaştırılması yapılmış olup, elde edilen sonuçlara bağlı olarak, kimyasal ankrajların yeterli çap ve boyda kullanılması durumunda daha etkin davranış sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aderans, eğilme deneyi, kimyasal ankraj

**2013, x+50 sayfa**

## **ABSTRACT**

M.Sc Thesis

### **THE INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF CHEMICALLY BONDED POST-INSTALLED IN CONCRETE UNDER AXIAL TENSION EFFECTS**

Merdan Törehan TURAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Ali ERGÜN

The need for reinforcement arises since majority of the buildings in the building stock in our country lacks adequate earthquake safety. Use of chemical anchorage is required for having harmonious operation of existing ferroconcrete and new components. Chemical anchorages placed afterwards for repair and reinforcement of existing ferroconcrete components are exposed to axial tension, bending and cutting under external loads. Therefore, determining the mechanical properties of chemical anchorages under impacts like axial tension, bending and cutting is of importance in terms of assessing its behavior in a system. Three different thesis studies were prepared to investigate these impacts separately.

This thesis study includes studies in a subchapter titled “bending impacts” of a study group organized for detailed investigation chemical anchorages. In the thesis study, the mechanical properties of chemical anchorages under bending impact were determined and compared to that of anchorages described as mechanical joints located during cementation. Based on the results obtained, it was observed that chemical anchorages yield more effective behavior provided that they are used in adequate diameter and length.

**Key Words:** Bond, bending experiment, chemical anchorage, epoxy.

**2013, x+50 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali ERGÜN'e, vermiş oldukları destekten dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu birimine, deney numunelerinin hazırlanmasın da katkıda bulunan üretici firma Kolsan A.Ş.'ye, deneyin yapılmasında destek olan arkadaşım Erdal ÇALIŞKAN'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Merdan Törehan TURAN

AFYONKARAHİSAR, 2013

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	5
2.1 Yapılan Çalışmalar .....	5
2.2 Basit Eğilme .....	7
2.3 Aderans .....	8
2.3.1 Eğilme Aderansı .....	9
2.3.2 Kenetlenme Aderansı .....	9
2.3.3 Aderansın Nedenleri .....	11
2.3.4 Aderansa Etki Eden Değişkenler.....	11
2.3.5 Betona Uygulanan Ankrajlar.....	12
2.3.5.1 Kimyasal Ankraj .....	14
2.3.6 Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı.....	15
2.3.7 Kimyasal Ankraj Davranışını Etkileyen Parametreler.....	16
3. MATERYAL METOD .....	20
3.1 Deneyde Kullanılan Numunelerin Üretimi .....	21
3.1.1 Beton .....	26
3.1.2 Ankraj Çubukları.....	27



3.1.3 Kimyasal Yapıştırıcı.....	28
3.2 Deneyin Yapılışı.....	29
4. BULGULAR.....	33
5. SONUÇLAR .....	45
6. KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	50

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$\tau_b$	Aderans Gerilmesi
$u$	Çubuğun Çevre Uzunluğu
$\Delta_x$	Çubuk Uzunluğu
$T$	Donatıdaki Çekme Kuvveti
$\Delta M$	Betonarme elemanda oluşan moment
$A_s$	Donatı kesit alanı
$\sigma_s$	Donatıdaki gerilme
$l_b$	Kenetlenme Boyu
$f_{cd}$	Betonun tasarım basınç dayanımı
$f_{ctd}$	Betonun hesap çekme dayanımı
$f_{yd}$	Donatının hesap akma dayanımı
$\emptyset$	Çubuğun Çapı
$C_0$	Katsayı
$C_1$	Katsayı
$P_u$	ankrajın göçme yükü
$F_{su}$	donatı çeliğinin kopma dayanımı
$A_{ank}$	çalışan ankraj yüzeyinin alanı
$T_{yap}$	ankraj yüzeyi boyunca eşdeğer düzgün yayılı yapışma dayanımı
$R$	delik çapı
$h_{ef}$	ankrajın kimyasal yapıştırıcı ile bağlanmış derinliği
$o$	ankraj çapı
$l_d$	Ekme boyu
$F$	Sıyırma kuvveti
$F_{max}$	Maksimum sıyırma kuvveti
$f_{ctk}$	betonun karakteristik çekme dayanımı
$(\tau_{max})_{ort}$	Ortalama aderans gerilmeleri

### Kısaltmalar

---

ACI	American Concrete Institute
DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ASTM	Amerikan Malzeme Test Birliği

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Basit kirişte eğilme momenti ve kesme kuvveti yayılışı.....	8
Şekil 2.2 Aderans gerilme dağılımı.....	10
Şekil 2.3 Taze betona yapılan ankrajlar .....	13
Şekil 2.4 Bağ tipi ankrajlar.....	13
Şekil 2.5 Ankarjlarda oluşan farklı yüklemeler .....	14
Şekil 3.1 Beton basınç dayanımı için üretilen standart küp, silindir ve prizma numuneler .....	21
Şekil 3.2 Belçika kiriş deney modeli için kiriş numuneleri .....	22
Şekil 3.3 Belçika kiriş deney modeli için dört noktalı basit eğilme düzeneği .....	31
Şekil 4.1 Ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki beton numunelerinin mekanik özelliklerinin değişimi.....	35
Şekil 4.2 En düşük beton sınıfına göre dayanım oranları.....	35
Şekil 4.3 Dört noktalı eğilme durumuna ait yük-iç kuvvet ilişkisi .....	36
Şekil 4.4 Sabit moment altında donatıda oluşan çekme kuvveti.....	37
Şekil 4.5 40Φ mekanik ankraj boylular için $F_{max}$ değişimleri .....	39
Şekil 4.6 Kimyasal ankrajlı 10Φ boylu donatılarda $F_{max}$ değişimleri.....	39
Şekil 4.7 Kimyasal ankrajlı 15Φ boylu donatılarda $F_{max}$ değişimleri .....	40
Şekil 4.8 40Φ mekanik ankraj boylular için $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri .....	41
Şekil 4.9 Kimyasal ankrajlı 10Φ boylu donatılarda $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri .....	41
Şekil 4.10 Kimyasal ankrajlı 15Φ boylu donatılarda $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri .....	42

<b>Şekil 4.11</b> En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 40Φ ankrajların aderans gerilme oranları değişimleri.....	43
<b>Şekil 4.12</b> En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 10Φ kimyasal ankrajların aderans gerilme oranları değişimleri .....	43
<b>Şekil 4.13</b> En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 15Φ kimyasal ankrajların aderans gerilme oranları değişimleri .....	44

## ÇİZELGELER

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> Betona yapılan ankraj tipleri .....	12
<b>Çizelge 3.1</b> Kiriş numunelerini hazırlama bilgileri .....	23
<b>Çizelge 3.2</b> Üretici firmadan alınan beton özellikleri .....	27
<b>Çizelge 3.3</b> Tez çalışmasında kullanılan donatıların mekanik özellikleri.....	28
<b>Çizelge 3.4</b> Pattex CF 900 genel mekanik ve fiziksel özellikleri.....	29
<b>Çizelge 4.1</b> Amaçlanan beton sınıfı için üretilen numunelerin 28 günlük ortalama dayanım değerleri .....	34
<b>Çizelge 4.2</b> Üretilen numunelerin ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki ortalama dayanım değerleri .....	34
<b>Çizelge 4.3</b> Ankraj deneylerinin ortalama dayanım değerlerinin ortalama sonuçları....	38

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Özel kalıp sisteminin hazırlanışı.....	23
<b>Resim 3.2</b> Kiriş numunelerinin için hazırlanan kalıp sisteminin görünüşü .....	24
<b>Resim 3.3</b> Kiriş parçalarının beton dökümü .....	25
<b>Resim 3.4</b> Belçika kiriş deney numunelerinin üretimi.....	25
<b>Resim 3.5</b> Birleştirilmesi yapılmış Belçika kiriş deney numuneleri.....	26
<b>Resim 3.6</b> Tez çalışmasında kullanılmak üzere hazırlanan donatı numuneleri .....	27
<b>Resim 3.7</b> Deney sırasında kullanılan çelik kılıflar .....	30
<b>Resim 3.8</b> Eğilmeye maruz bırakılan kiriş numuneler .....	32

## 1. GİRİŞ

Beton çekme dayanımı düşük olan bir malzeme olduğu için, betondan taşıyıcı sistem oluşturmak, zor ve ekonomiklikten uzak çözümler gerektirir. Betonun çekme dayanımını karşılamak üzere betona çekme gerilmeleri beton içinde yerleştirilen ve çekme dayanımını karşılayabilecek çekme dayanımı yüksek başka bir malzeme tarafından karşılanır. Betonda bu çekme gerilmesini karşılamak üzere çelik donatı çubukları kullanılır. Çelik ve betondan oluşan bu kompozit yapı malzemesi “betonarme” olarak adlandırılır. Betonarmede genel olarak betonun görevi basınç, çeliğin görevi de çekme gerilmelerini karşılamaktır (Ersoy, 2000).

Betonarme malzemenin doğru çalışabilmesi için betonarme malzemeyi oluşturan beton ve çeliğin birbirine kaynaşmış şekilde birlikte çalışmaları gerekir. Başka bir deyişle, çelik çubuk etrafındaki beton kütleyle kenetlenmelidir. Beton ve çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan bu olay “kenetlenme” veya “aderans” olarak adlandırılır. İki malzeme arasında oluşan kenetlenme veya aderans gerilmeleri, çeliğin betondan sıyrılmasını önler.

Betonarme bir sistemde asal olan çekme gerilmeleri, betonun yapısında düşük olan çekme mukavemetini aştığı anda, betonda bu gerilmelere dik yönde çatlaklar meydana gelecektir. Çatlakların meydana geleceği bu bölgelere yerleştirilmiş çelik çubuklar betonda meydana gelen bu çatlama keskinlikle önleyemez. Çünkü çatlama çubuklarla alakalı değil betonla alakalı bir olaydır dolayısı ile çatlak oluşmasına donatının etkisi yoktur. Ancak, optimum sayıda ve bilinçli olarak yerleştirilmiş donatı, çatlakların genişlemesini önleyerek, sadece kılcal düzeyde kalmasını sağlar.

Betonarme sistemlerin onarım ve güçlendirme çalışmalarında, betona sonradan donatı ilave edilmesi düşünülür, ancak betona sonradan ilave edilmesi düşünülen donatıların sistem olarak birlikte çalışması için birbirine tam olarak yapışması gerekmektedir. Betonarme kesitleri davranış modellerinde olan çekme gerilmesi karşılayan çelik donatının betondan sıyrılarak gelmemesi için beton ile donatı arasında üst düzeyde yapışma olması yani donatının çekme kuvvetinin beton ve yapışma ile dengelenmesi

gerekir. Bu işlem; donatının betona bağlanması, ankrajlama olarak tanımlanır (Demir vd., 2009). Onarım veya güçlendirme işleminin etkinliği ilave edilecek yeni betonarme elemanlarının mevcut elemanlara donatılar aracılığıyla iyi ankrajlanmasına bağlıdır.

Deprem ülkesi olan ülkemizde son yıllarda yaşanan depremlerin ardından mevcut yapılar incelendiğinde büyük bir çoğunluğunu 2007 DBYBHY öngörülen performans seviyelerinin altında olduğu ortaya çıkmaktadır. İstenilen yeterli performansa sahip olmayan bu tür betonarme sistemlerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapılacak güçlendirme çalışmalarında en çok tercih edilen yöntemler, mevcut betonarme elemanlarının mantolanması ve taşıyıcı sisteme yeni betonarme perdelerin ilave edilmesidir. Yapıların güçlendirilmesi sırasında eklenen yeni bir taşıyıcı elemanın var olan elemanlarla birlikte çalışması için aralarında tam bir kuvvet ve yük aktarması olması gerekir. Örnek olarak bir çerçeve ortasına konulan perde duvarın çerçeve ile birlikte çalışması için kolonda donatı için yuva açılır ve açılan yuvalara donatılar ankre edilir. Ankraj donatılarının görevi perde ile kolonun birlikte çalışmasını sağlamak ve kesme kuvveti aktarmaktır. Taşıyıcı elemanların kuvvet aktarma işlemi ankrajlama ile yapılmaktadır. Ankrajlama işlemlerinde donatı, kendi eksenini doğrultusunda çekme kuvveti karşılar. Bu yapı iyileştirme çalışmalarında, taşıyıcı elemanların ve sistemin güçlendirilmesinde mevcut betonarme elemanlarla yeni elemanların birlikte uyum içerisinde çalışması için iyi yapışması ve bunun sağlanmasında kimyasal ankrajların kullanımı gerekmektedir. Kimyasal ankrajların yüksek yapışma dayanımı, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları, güçlendirme çalışmalarının etkin ve güvenli uygulanabilir olduğu sağlamıştır. Güçlendirme ve onarım çalışmalarında kimyasal ankrajlar söz konusu dış yükler altında üzerine düşen etkileri, ankraj çubuklarının delik içerisine yapıştırılmasında kullanılan yapıştırıcı ile beton arasındaki aderans kuvveti ile taşırlar. Sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların uygulamaları ile ilgili teknik bilgiler ve kurallar üretici firmalar tarafından verilmekte ve yapı sistemi içerisinde mekanik davranışlar konusunda yeterli bir bilgi bulunmamaktadır.

Bu alandaki eksikliklerin giderilmesi noktasında son yıllarda uluslararası alanda olduğu gibi ulusal alanda da kimyasal ankrajlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, betonarme elemanlarının içerisinde farklı tiplerde kimyasal yapıştırıcılar



kullanılmış ve beton dayanımı, ankraj çapı, ankraj derinliği gibi parametreler incelenmiştir. Mevcut betonarme elemanların onarım ve güçlendirilmesinde sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlar, dış yükler altında aksel çekme, eğilme ve kesme gibi etkilere maruz kalmaktadır. Bu sebeple, aksel çekme, eğilme ve kesme gibi etkiler altında kimyasal ankrajların mekanik özelliklerinin ayrı ayrı ortaya konulması, sistem içerisinde davranışının belirlenmesi açısından önemlidir.

Ayrıca, incelemeler sonucu güçlendirme gereksinimi olduğu belirlenen ve güçlendirilmesine karar verilen mevcut betonarme yapılarda beton basınç dayanımları 8-20 Mpa arasında değişmektedir. Güçlendirme projelerinin tasarımı ve güvenliği konusunda kimyasal ankrajların düşük dayanımlı betonlardaki mekanik özelliklerinin farklı etkilere göre de belirlenmesi ülkemiz açısından bir gerekliliktir.

Aderans deneyleri arasında en eskisi, en yaygın olarak kullanılan ve en basit ve pratiği olan aksel çekip çıkarma deneyidir. Bu deneyde tabandan mesnetlenmiş numune içerisine yerleştirilmiş donatı çubuğu serbest ucundan çekilip betondan çıkartılmaya çalışılır (Ersoy, 2000). Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların davranışı ASTM E488'e göre tanımlanan ya aksel çekme ya da kesme etkisi altında incelenmiştir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme, eğilme ve kesme etkileri altında davranışlarının incelenmesi amacıyla çalışma grubu oluşturulmuştur. Tez çalışma konuları betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme, eğilme ve kesme etkileri altında mekanik özelliklerin incelenmesidir. Kimyasal ankrajların eğilme etkileri altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi, yapılan üçlü tez çalışma grubunun bir ayağını oluşturmaktadır. Çekme etkileri Altan tarafından tamamlanmıştır (Altan 2013).

Bu tez kapsamında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eğilme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla farklı bir test türü uygulanmıştır. Uygulanan test türünde incelenen parametreler, mevcut beton dayanımı,

ankraj edilen çeliğin özellikleri ve ankraj derinlikleri olarak alınmıştır. Deneysel çalışmaların uygulama alanındaki mevcut duruma bire bir uyum sağlaması için deneylerde alınan parametreler, Türkiye'deki mevcut yapıları temsil etmek üzere beton dayanımı 8, 12, 16 ve 20 Mpa, ankraj çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm ve derinliği ise  $10\Phi$  olmuştur.

Çalışmada, sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eğilme davranışını incelemek için literatürlerde Belçika deney elemanı olarak bilinen kiriş deney numuneleri kullanılmıştır. Belçika deney elemanları eğilme etkisi altında donatıların aderans dayanımının belirlenmesinde kullanılan bir test tekniğidir. Bu test tekniği, tez çalışma kapsamında betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eğilme altında davranışlarını incelemek amacıyla kullanılmı uygun olmuştur. Bu tez çalışması kapsamında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eğilme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenerek, tez sonrası elde edilen sonuçlara bağlı olarak, gerçek yapı davranışı içerisinde kimyasal ankrajların mekanik özelliklerinin daha iyi ortaya konulması sağlanmıştır.

## 2.LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde, uluslararası çalışmalarda olduğu gibi kimyasal ankrajlar üzerine bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde, betonarme sistemlerin içerisinde farklı tiplerde kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak, beton dayanımı, ankraj çapı, ankraj derinliği gibi parametreler incelenmiştir.

Cook (1993) kimyasal ankrajların eksenel çekme altındaki davranışlarını ve göçme tiplerini incelemek üzere bir takım deneyler yapmış, deney sonuçlarının önceki çalışmalardaki öneriler doğrultusunda karşılaştırmıştır.

Seyhan (2006) yaptığı tez kapsamındaki deneysel çalışmalarında; farklı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak farklı ankraj çaplarında, farklı derinliklerde, farklı donatı çaplarında ve farklı yüzey hazırlığı yöntemleri kullanarak seksen adet ankraj imalatı yapmış ve bu ankrajların eksenel çekme yükleri altındaki davranışları incelemiştir. Ankrajların yapıldığı beton plakların dökümünde 16 MPa karakteristik basınç dayanımına sahip beton kullanılmıştır.

Mazılıgüney (2007) yaptığı tez çalışması kapsamında yıkılmasına karar verilmiş beton dayanımı düşük olan betonarme karkas binanın, betonarme yapı elemanlarına sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajları çekip çıkarma deneyine tabii tutarak, kimyasal ankrajın nihai dayanımının beton dayanımı, ankraj edilen çelik özellikleri ve ankraj derinliğinin etkileri ile birlikte değerlendirilmiştir.

Gürbüz (2007), yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında, eksenel çekme etkisi altındaki tam ve kısmi bağlı kimyasal ankrajların farklı ankraj derinlikleri ve ankraj delik yüzey koşulları altında davranışlarını incelemiştir. Ankraj davranışının belirlenmesinde ASTM E488'e uygun olarak tasarlanmış çekip çıkarma(pull-out) deney düzeneği kullanılmıştır. Ankraj numunelerinin uygulandığı taban bloklarında Türkiye'deki mevcut betonarme binalardaki düşük beton kalitesini temsil etmesi amacıyla düşük dayanımlı beton kullanılmıştır. Düşük dayanımlı betona yapılan kısmi bağlı ankrajlar, aynı bağlı ankraj derinliğine sahip tam bağlı ankrajlara kıyasla daha yüksek performans sergilemişlerdir.

Yılmaz vd, (2010), kimyasal ankrajlarla ilgili olarak literatürde yer alan çalışmaları derleyerek ankraj dayanımını etkileyen faktörler ve ankraj elemanlarının çekme ve kesme yükleri altındaki olası hasar çeşitleri irdelemişlerdir. Çalışmanın sonrasında ise çok düşük dayanımlı

betonlara yapılan ankrajlarla ilgili çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı ve bu konularda kapsamlı çalışmalara ihtiyaç bulunduğu önerilmiştir.

Gesoglu vd. (2004), çelik fiber katkılı ve katkısız normal ve yüksek dayanımlı betonlara sonradan yerleştirilen ankrajların çekme davranışını incelemiştir. Test sonuçları çelik fiber katkıların, ankrajların aksenal çekme dayanımlarını artırmadığını ama maksimum yük altındaki şekil değiştirme yeteneğini artırdığını belirlemiştir.

Yılmaz vd, (2011), yaptıkları bir başka çalışmada düşük basınç dayanımına sahip betonlara ekilen kimyasal ankrajların tersinir tekrarlı kesme yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. Deneysel sonuçları, ankraj kesme dayanımı için ACI318 Ek D ve TS500'de verilen hesap yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Ankraj çapının artması ile ortaya çıkan yerel gerilme yoğunlaşması dolayısıyla ankraj çubuğunun taşıyabildiği nihai kesme gerilmelerinin azaldığı belirlenmiştir.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların davranışı ASTM E488'e göre tanımlanan ya aksenal çekme ya da kesme etkisi altında incelenmiştir. Bu proje kapsamında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksenal çekme, eğilme ve kesme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla üç farklı test türü bir arada uygulanmıştır. Bu üç farklı test türünde incelenecek parametreler, mevcut beton dayanımı, ankraj edilen çeliğin özellikleri ve ankraj derinlikleri olmuştur. Deneysel çalışmaların uygulama alanındaki mevcut duruma bire bir uyum sağlaması için deneylerde alınacak parametreler, Türkiye'deki mevcut yapıları temsil etmek üzere beton dayanımı 8, 12, 16 ve 20 Mpa, ankraj çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm ve derinliği ise  $10\Phi$  olacaktır.

Literatürde sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların davranışını belirlemek amacıyla aksenal çekme, eğilme ve kesme etkileri bir arada kullanılmamıştır. Bu tez çalışması kapsamında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eğilme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla aderans deneyleri için kullanılan ve Belçika kiriş deneyi olarak bilinen test türü bu çalışmada kullanılmıştır. Anabilim dalımızda paralel yapılan diğer tez çalışmalarında ise aksenal çekme ve kesme etkileri incelenmiştir. Böylece, kimyasal ankrajların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla aynı parametreler ve malzemeler kullanılarak aksenal çekme, eğilme ve kesme etkileri altında davranışları ayrı ayrı incelenerek, sonuçlarının birlikte değerlendirilmesine katkı sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, gerçek yapı davranışı içerisinde kimyasal ankrajların mekanik

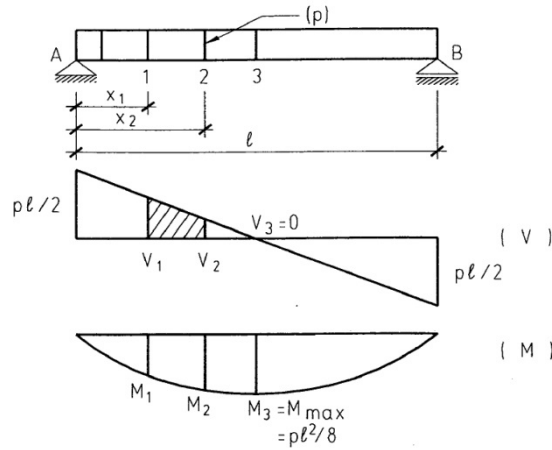
özelliklerinin daha iyi ortaya konulması ve tasarımda daha gerçekçi modellemeye imkan sağlaması amaçlanmıştır

## 2.2 Basit Eğilme

Betonarme yapılarda, basit eğilmeyle kiriş ve döşemelerde karşılaşılır. Oysa yine mukavemetten bilindiği gibi, -sabit moment hali dışında- eğilme momenti daima kesme kuvveti ile birlikte etkir; iki kesit arasındaki moment değişimi, kesme kuvveti diyagramında bu iki kesit arasındaki alana eşittir; kesme kuvveti eğilme momentinin türevidir. Düzgün yayılı yükü taşıyan bir basit kiriş üzerinde bu ilişki, açıklıkla görülebilir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, hemen bütün kesitlerde M ve V birlikte etkimektedir. Betonarme pratiğinde eğilme ve kesme etkileri ayrı ayrı incelenir.

Çünkü:

- i) Bernouilli-Navier Hipotezi gereği; eğilme momenti kesite dik o gerilmelerin, kesme kuvveti ise kesit düzlemi içindeki gerilmelerin bileşkesidir. Yani varsayım gereği, bu kesit tesirlerinden doğan gerilmeler farklı nitelikte gerilmelerdir ve etkileri ayrı ayrı incelenebilir.
- ii) Basit eğilme, açıklık boyunca tek bir kesitte vardır: bu örnekte  $x = U2 \setminus V = 0; M \neq 0$ . Ancak bu, herhangi bir kesit değildir. Momentin maksimum olduğu kesittir ve ilerde görüleceği gibi, kirişin eğilme donatısı bu momente göre belirlenir. Benzer şekilde -bu örnekte- mesnet kesitlerinde,  $M = 0; V \neq 0$ , yani basit kesme hali vardır; kesme kuvveti maksimumdur ve kirişin kayma donatısı bu değere göre hesaplanır.
- iii) Mühendislik pratiğinde; kirişler önce basit eğilme etkisine göre hesaplanıp eğilme donatıları bulunur; daha sonra kesme kuvvetine göre gerekli kayma donatısı hesaplanır. Böylece kiriş eğilme ve kesme etkilerine dayanıklı hale getirilir.
- iv) Didaktik (öğretim kolaylığı) olma açısından da eğilme momenti ve kesme kuvveti etkilerinin ayrı ayrı incelenmesi uygun olmaktadır. Berktaş (2003)



Şekil 2.1 Basit kirişte eğilme momenti ve kesme kuvveti yayılımı, Berktaç (2003)

### 2.3 Aderans

Betonarmenin, betonla çeliğin beraber çalıştığı kompozit bir malzeme çeşidi olduğu bilinmektedir. Beraber çalışma özelliği ancak çeliğin beton içerisinde kaymaması halinde mümkün olur. Kaymanın olmaması için de iki malzeme arasında bir bağ kuvveti meydana gelebilmeli ve bu kuvvet kalıcı olmalıdır(Tanyıldızı,2006).Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için çubukların betona kenetlenmesi gerekir. Kenetlenmeyi sağlayan çelik çubukla beton arasındaki kayma gerilmelerine “Aderans” denir(Kurt 2006). Aderans olayı betonarmenin en önemli faydalı özelliklerinden biridir. Bu suretle iki malzemenin beraberce kullanılması ve birbirini tamamlaması mümkün olur.

Donatıda meydana gelen gerilme azalması ve çoğalması komşu beton bölgelerine gerilme geçişiyle meydana gelir. Bu durum düz yüzeyli demir çubuklarda kayma gerilmelerinin doğrudan oluşmasıyla açıklanabilir. Nervürlü çubuklarda ise geçişin nervür etrafında oluşan karmaşık bir gerilme durumunun bileşkesi olarak ortaya çıkan kayma gerilmeleri tarafından sağlandığı kabul edilebilir. Her iki durumda da ortaya çıkan kayma gerilmeleri aderans gerilmeleri olarak da isimlendirilir.

Genellikle aderansın çubuk dış yüzü ile çimento harcı arasındaki kimyasal yapışma sonucu ortaya çıktığı düşünülürse de, düşük zorlamalar bile bu yapışmayı çözer ve çubuk sıyrılır. Bu tür sıyrılmanın başlamasıyla sürtünme ve kayma etkisi ile oluşan aderans başlar. Sürtünmeden ortaya çıkan aderans donatı çubuğunun pürüzlülüğüne bağlıdır. Dikkatli incelendiğinde düz

yüzeyle çubukta da pürüzlülüğün bulunduğu görülür. Donatının paslanmaya başlamasıyla pürüzlülükle beton ile çelik arasındaki aderans artar. Ancak pasın bir tabaka oluşturması, donatının bu tabakadan sıyrılmasını kolaylaştırarak, aderansın kolayca çözülmesine sebep olur(Tanyıldızı ,2006).

### 2.3.1 Eğilme Aderansı

İki malzemenin beraber çalışmasını sağlayan ve çatlama durumunun şekli üzerinde rol oynayan eğilme aderansıdır (Yılmaz, 2006). Eğilmeye çalışan bir betonarme elemanda momentin bir kesitten diğerine değişebilmesi için, donatıdaki gerilmelerin de değişmesi gerekir. Donatıdaki gerilmenin değişebilmesi, ancak donatı çevresinde oluşan ve aderans gerilmesi olarak adlandırılan kayma gerilmeleri ile mümkündür. Denge koşulu nedeniyle  $\Delta x$  uzunluğundaki çubuk çevresindeki etkiyen aderans gerilmelerinin toplamı, çubuğun iki ucundaki çekme kuvvetleri farkına eşit olmalıdır (Ersoy,2000).

$$\tau_b(u)\Delta x = \Delta T = \frac{\Delta M}{Z} \quad (2.1)$$

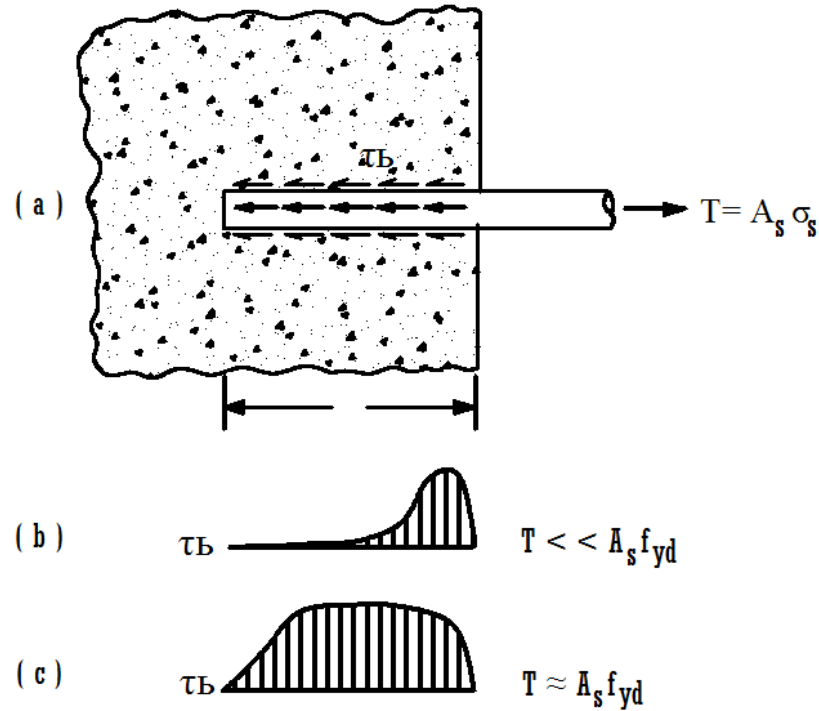
Yukarıdaki denklemde,  $\tau_b$  aderans gerilmesi,  $u$  ise çubuğun çevre uzunluğudur.  $\frac{\Delta M}{\Delta X} = V$  olduğundan, denklem (2) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\tau_b = \frac{V}{u(Z)} \quad (2.2)$$

### 2.3.2 Kenetlenme Aderansı

Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüşse, çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütleyle yaparabilir. Betona gömülen çubuk boyu, “kenetlenme boyu” olarak adlandırılır ve bu tür aderansa da “kenetlenme aderansı” denir. Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine eriştiğinde veya depremde olduğu gibi, donatı akma ötesinde belirli bir birim deformasyona ulaştığında, çubuk betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır. Şekil 3.1(a) beton bir kütleyle gömülen bir çubuk gösterilmiştir. Çubuğun  $\tau_b$  olarak gösterilen kenetlenme boyunca etkiyen bağ kuvvetleri, uygulanan çekme kuvvetlerini dengelemek durumundadır. Donatıdaki

çekme kuvveti de,  $T = A_s \sigma_s$  olarak gösterilmiştir. Yeterli, kenetlenmenin sağlanabilmesi için  $\sigma_s = f_{yd}$  olduğunda, çubuk çevresinde oluşan bağ kuvvetlerinin toplamının çekme kuvvetine eşit olması gerekir,  $\sum \tau_b = A_s f_{yd}$ . Eğer  $\tau_b$  olarak gösterilen aderans gerilmeleri kenetlenme boyunca düzgün yayılı olsaydı veya bu gerilmelerin dağılımı kesin olarak bilinseydi, gerekli kenetlenme boyunun hesabı oldukça kolay olurdu. Yapılan deneyler, aderans gerilmelerinin kenetlenme boyunca düzgün yayılmadığını ve gerçek dağılımın birçok değişkene bağlı olduğunu göstermiştir. Şekil 2.1(b) ve (c) de gösterildiği gibi, aderans gerilmelerinin dağılımı düzgün değildir ve bu dağılım, diğer değişkenlerin yanı sıra, çubuktaki gerilme düzeyine göre değişmektedir (Ersoy,2000).



Şekil 2.2 Aderans gerilme dağılımı, Ersoy (2000)

Aderans gerilmeleri ile kenetlenme boyu arasındaki ilişkiyi yaklaşık olarak saptayabilmek için, aderans gerilmelerinin kenetlenme boyunca değişmediği varsayılabilir. Gerçek dağılım varsayılandan çok değişik olduğundan, elde edilecek bağıntının gerçeğe tam uymadığı unutulmamalıdır (Ersoy,2000).

$$\sum \tau_b = T \quad (2.3)$$

$$\tau_b (\pi \phi) \ell_b = A_s f_{yd} = \frac{\pi \phi^2}{4} \quad (2.4)$$



$$\ell_b = \frac{f_{yd}}{4\tau_b} \emptyset \quad (2.5)$$

Denklemdaki  $\emptyset$ , çubuğun çapıdır. Yapılan deneyler, aderans dayanımının birçok değişkene bağlı olduğunu göstermiştir. Bu değişkenlerden en önemlisi, betonun çekme dayanımıdır.  $\tau_b$ ,  $C_1 f_{ctd}$  ve  $\frac{1}{4 C_1} = C_0$  varsayılırsa denklem (2.6) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\ell_b = C_0 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \emptyset \quad (2.6)$$

Denklem (3.4), kenetlenme boyunu veren temel denklemdir. Katsayı  $C_0$ 'ın deneysel olarak saptanması gerekir.

### 2.3.3 Aderansın Nedenleri

Aderans olarak adlandırılan beton ve donatı arasındaki bağın, üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir.

- a) Çelik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moloküller ve kapiler bağ kuvvetleri
- b) Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri
- c) Donatı çubuğu ve beton arasındaki mekanik diş kuvvetleri

Düz yüzeyli çubuklarda aderans ilk iki nedene, yani yapışma ve sürtünmeye dayanmaktadır. Nervürlü çubukların aderansında ilk iki nedenin etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu tür çubukların aderansı, çubuk üzerindeki çıkıntılarının betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere , mekanik diş denilmektedir (Ersoy,2000).

### 2.3.4 Aderansa Etki Eden Değişkenler

Aderans birçok değişkenle etkilenmektedir. Aderans dayanımında, kesme-aderans etkileşimi ve boyut etkisi çok önemli rol oynadıklarından dolayı aderans dayanımını etkileyebilecek değişkenler Ersoy (2000)'da detaylı olarak açıklanmıştır. Bunlar;

- a) Betonun çekme dayanımı. Nervürlü çubuklarla donatılmış elemanlarda kırılma yarıma ile olacağından, çekme dayanımı özellikle önemlidir.
- b) Çeliğin akma dayanımı kenetlenme boyunca aderans gerilmesi dağılımını etkileyeceğinden, önemlidir.
- c) Çubuğun yüzey geometrisi (nervürlü, nervürsüz)

- d) Donatı çapı. Çap değıştikçe kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değışmektedir. Ayrıca, yarılma kırılmasında betonda oluşan çekme gerilmeleri de çapla orantılı olmaktadır.
- e) Aderans kenetlenme boyu ile değışir. Ancak aderans dayanımı, kenetlenme boyu ile orantılı değildir, yani kenetlenme boyunun iki katına çıkarılması, aderans dayanımının iki kat arttığı anlamına gelmez.
- f) Donatı etrafındaki beton örtünün kalınlığı (pas payı). Beton örtünün kalınlığı, özellikle nervürlü çubukla donatılmış elemanlar için önemlidir. İç basınç altındaki boru analogisinden hareket edilirse, çekme dayanımının (yarılma dayanımı) et kalınlığı (pas payı) ile ters orantılı olduğu görülür.
- g) Betonarme çubuğunun betonlama sırasındaki konumu. Betonlama sırasında üst yüzeye yakın çubukların altında biriken hava kabarcıkları bu çubukların aderansını zayıflatır.
- h) Yerel gerilmeler de aderansı etkileyebilir. Örneğin, mesnedin uyguladığı yerel basınç gerilmeleri, özellikle nervürlü donatı kullanılan durumlarda yarılmayı geciktirebilir.
- i) Sargı donatısı. Sargı donatısı özellikle nervürlü donatı kullanıldığında etkilidir. Sargı donatısı beton kütleyi sararak, yarılmaya karşı dayanımı önemli ölçüde artırabilir.
- j) Kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri de aderansı etkiler. Örneğin, hafif agrega ile yapılan betonun aderans dayanımı, normal agregayla yapılan oranla daha düşüktür. Pozzolanlı katkı maddeleri de aderansı olumsuz yönde etkileyebilir (Ersoy,2000).

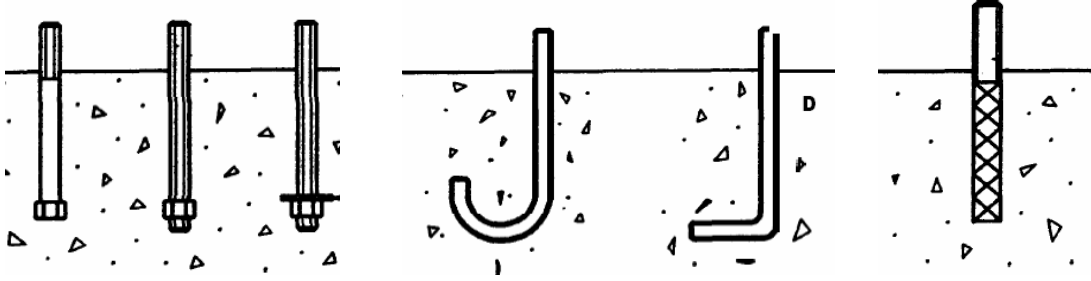
### 2.3.5 Betona Uygulanan Ankrajlar

Amerika Beton Enstitüsünü (ACI) betona yapılan ankrajları; betonlama esnasında yapılan (cast-in-place anchors) ve sertleşmiş betona sonradan yapılan ankrajlar (postinstalled anchors) olmak üzere iki ana gruba ayırmaktadır (Gürbüz,2007).

**Çizelge 2.1** Betona Yapılan Ankraj Tipleri

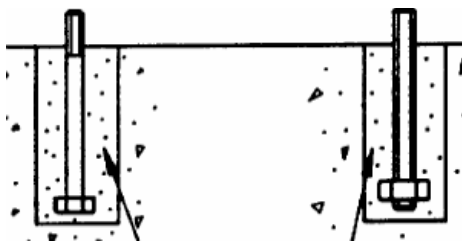
<b>Taze Betona Yapılan Ankrajlar</b>		
<b>Sertleşmiş Betona Yapılan Ankrajlar</b>	Bağ Tipi Ankrajlar	
	Mekanik Ankrajlar	Kimyasal Bağlı Ankrajlar
		Harçlı Ankrajlar
		Genişler Ankrajlar

Şekil 2.2 de verilen taze betona yapılan ankrajların tasarımında sünek davranış göstermeleri amacıyla beton güç tükenmesine ulaşmadan ankraj donatısının akması istenmektedir .

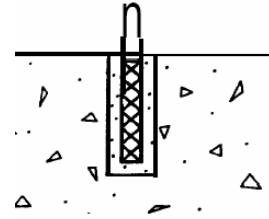


Şekil 2.3 Taze Betona Yapılan Ankrajlar, (Gürbüz,2007).

Sertleşmiş betonda sonradan açılan deliğe yapılan ankrajlar; kendi içlerinde mekanik ve bağ tipi ankrajlar olarak tekrar ikiye ayrılırlar , Şekil 2 Mekanik ankrajlar etkisi altında oldukları yükü ankraj deliği boyunca oluşan mekanik sürtünme ve kilitleme mekanizmaları ile betona aktarırlar; kimyasal ankrajlardaki yük iletimi mekanizması farklıdır. Kimyasal ankrajlar etkisi altında oldukları yükü ankraj bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri ile aktarırlar. Kimyasal yapıştırıcılar harçlı bileşimlere göre genellikle daha pahalı olmasına rağmen yüksek çekme ve basınç dayanımları ve bağ kuvvetleri onları avantajlı hale getirir. Kimyasal ankrajların uygulamasında mevcut betona daha önce tasarlanan ankraj boyu kadar derinlikte delik açılır, açılan delik tamamen kimyasal yapıştırıcı ile doldurulduktan sonra ankraj donatısı deliğe yavaşça döndürülerek ekilir. Kimyasal yapıştırıcı ankraj donatısı ile beton arasında bağlayıcı madde görevi görerek ikisinin birlikte çalışmalarını sağlar.



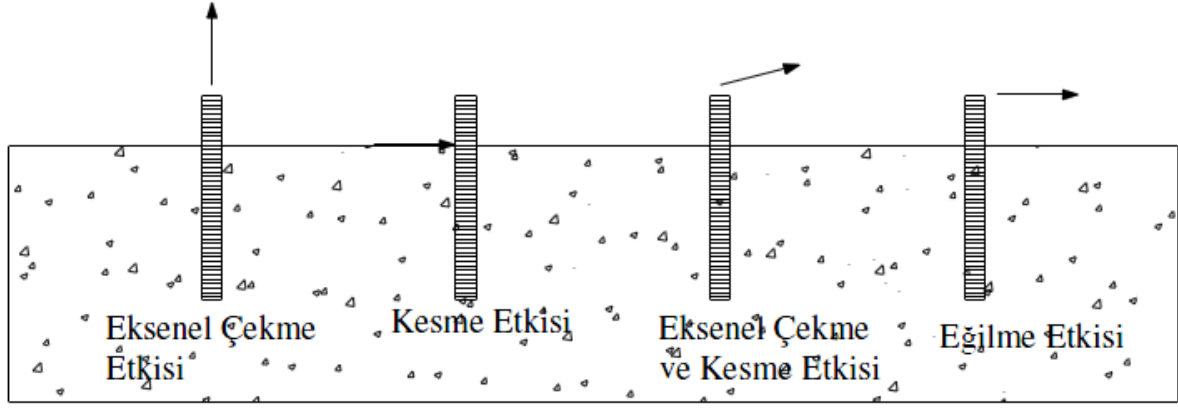
a.Harçlı Ankrajlar



b. Kimyasal Ankrajlar

Şekil 2.4 Bağ tipi ankrajlar (Gürbüz,2007)

Güçlendirme amaçlı kullanılan kimyasal ankrajların tasarımı aşamasında farklı yükleme tipleri (eksenel çekme, kesme, eğilme) altında ankraj davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Şekil 2.4’de ACI 355’de tanımlanan ankrajların etkisinde kaldığı yükleme tipleri verilmiştir.



Şekil 2.5 Ankrajlarda oluşan farklı yüklemeler

### 2.3.5.1 Kimyasal Ankraj

Kimyasal ankrajlar, sertleşmiş betona sonradan açılan deliğe yapılan bağ tipi ankrajlardır. Betonarme yapıların güçlendirilmesi esnasında, mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinin büyütülmesi veya mevcut sisteme yeni taşıyıcı eleman ilavesinde ihtiyaç duyulan yeni donatıların kimyasal ankrajla betona tespiti en sık kullanılan yöntemdir. Kimyasal ankrajlar planlama, tasarım ve uygulama aşamalarında kullanıcıya büyük esneklik sağlamalarının yanında; sahip oldukları yüksek yapışma dayanımları, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadırlar. Özellikle güçlendirme perdelerinin başlık bölgeleri, ya da kolon mantoları gibi, moment aktarması beklenen güçlendirmelerde ankrajların büyük çekme kuvvetlerine karşı koyması gereklidir. Uygulanan yapısal ankrajın aksenal çekme etkisi altındaki davranışının bilinmesi, güvenli tasarım yapılabilmesi için önem taşımaktadır. Güçlendirme çalışmalarında, taşıyıcı sisteme yapılan ilavelerin yapıdaki mevcut elemanlarla birlikte çalışması ve güvenli yük aktarımının sağlanması uygulama esnasında yapılan ankrajların performansına bağlıdır. Ankrajlar üzerlerindeki çekme yüklerini monte edildikleri betona ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri vasıtasıyla aktarırlar. Kimyasal ankrajlarda, donatı-epoksi ara yüzündeki veya beton epoksi ara yüzündeki tutunmayı sağlayan kayma gerilmelerine aderans denir. Kimyasal ankrajlarda aderansın bileşenleri; sürtünme kuvveti, kimyasal bağ kuvveti ve ankraj donatısının üzerinde bulunan nervürler nedeniyle oluşan mekanik diş kuvveti olarak sayılabilir. Beton sınıfına, kullanılan kimyasal tipine, ankraj geometrisine ve ankraj donatısı dayanımına bağlı olarak ankraj çekip çıkarma deneylerinde farklı göçme modlarına rastlanmaktadır (Gürbüz et al. 2007).

Çimento esaslı malzemeler; yüksek mukavemetlerin arandığı başlıca inşaat işlerindeki teknik uygulamalarda güvenli çözümler üretmek için yetersiz kalmaktadırlar. Buna karşılık, epoksi esaslı ürünler çok daha üstün vasıflı olmalarının yanı sıra, inşaat sanayinde daha geniş kullanımlı ve tercih edilen, yapısal güçlendirme, tamir, dolgu ve yapıştırma malzemelerini oluştururlar. Epoksi ve benzeri reçineler beton çatlaklarının doldurulmasında ve ince çelik elemanlar betona yapıştırmak için kullanılabilir. Epoksi Ankraj beton zeminin istenilen çapta matkap ile monte edilecek demir uzunluğunun yüzde 30 oranında delinmesine denir. Delik içerisinde kalan tozlar vakum yoluyla uzaklaştırılır. Epoksi malzeme delik içine dökülür veya uygun aparat ile enjekte edilir. Nervürlü filiz demiri kir ve yağdan arındırılmış bir şekilde harç içerisine gömülür ve sabitlenmesi için bir süre beklenir. Epoksi Ankraj bu şekillerde yapılır ve meydana gelir.

Epoksi reçineleri yapıştırma özellikleri çok iyi olan sentetik reçinelerdir. Bunların çekme gerilmeleri 50-110 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişir. Kopma birim uzamaları % 15-50 arasında olabilmektedir. Suya, aside ve alkaliye dirençleri çok iyidir. Zamanla özellikleri yitirmezler. Çatlağa doldurulmuş epoksi yapıştırıcısı, çatlağın yarattığı süreksizlik ortamını sürekli duruma dönüştürür. Çatlağın her iki yüzünü çatlak boyunca sürekli olarak birbirlerine bağlar ve gerilme birikimlerini önler. Sentetik reçineler kimyasal moleküler yapıya sağlarlar.

### **2.3.6 Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı**

Kimyasal ankrajlarda donatı ile betonun ara yüzünde bulunan kimyasal yapıştırıcı donatının betona tutunmasını sağlamaktadır. Ankrajlar üzerlerindeki çekme yüklerini monte edildikleri betona ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri vasıtasıyla aktarırlar. Kimyasal ankrajlarda, donatı-epoksi arayüzündeki veya beton-epoksi ara yüzündeki tutunmayı sağlayan kayma gerilmelerine aderans denir. Kimyasal ankrajlarda aderansın beş bileşeni;

- a) Epoksi ile beton arasındaki sürtünme
- b) Epoksi ile çelik arasındaki sürtünme
- c) Epoksi ile beton arasında oluşan kimyasal bağ
- d) Epoksi ile çelik arasındaki kimyasal bağ
- e) Çelik üzerindeki mekanik diş kuvvetleridir (donatı üzerinde bulunan nervürler nedeniyle oluşmaktadır.) (Gürbüz,2007).

### 2.3.7 Kimyasal Ankraj Davranışını Etkileyen Parametreler

Cook 2001 yılında kimyasal ankrajlarda yapışma (bağ) dayanımını etkileyen parametreler üzerinde ayrıntılı araştırma yapmıştır. Çalışma kapsamında yapılan çekip çıkarma deneylerinde 12 farklı üreticiden 20 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanmıştır. Çalışmada kullanılan kimyasallar; kullanıcının karıştırarak hazırladığı, ester-bileşenli, kapsüllü, enjeksiyon tipi gibi farklı özelliklerde seçilmiştir. Uygulanan her bir farklı ankraja ait referans yapışma dayanımını elde edebilmek için tutulu çekme deneyleri yapılmıştır (confined tests). Referans deneyleri en uygun şartlar altında, temiz ve kuru ankraj deliğine ekilmiş, oda sıcaklığında kürü tamamlanmış numunelerde yapılmıştır. Yapışma dayanımının üzerinde etkileri araştırılan çevresel etmenler, ankrajın uygulanması esnasında oluşan etkiler (ankraj deliği yüzey koşulları, toz ve nem etkisi, taban betonunun dayanımı) ve ankraj ekimi sonrasında oluşan etkiler (kısa kürlenme süresi, sıcaklık etkisi) olmak üzere temel olarak iki gruba ayrılmıştır.

#### Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ankraj ekimi esnasında oluşan farklı çevresel şartlar:

**Nem Etkisi:** Ankraj deliği açıldıktan sonra delikler su ile doldurulmuştur, 7 gün ıslak tutulmuştur. Ankrajın epoksi ile ekimi delik içindeki su boşaltıldıktan sonra yapılmıştır. Ekim yapıldıktan sonra herhangi bir müdahale yapılmadan 7 gün kür süresi sonrasında ankrajın çekimi yapılmıştır.

**Islaklık Etkisi:** Bu uygulamada nemli ankrajlar için yapılan hazırlıklar tekrarlanmış fakat ankraj ekimi esnasında delik içinde bulunan su boşaltılmamıştır. Su ile dolu olan ankraj deliğine epoksi ile ekim yapılmıştır.

**Toz Etkisi:** Ankraj deliklerinin bir delici yardımıyla hazırlanması esnasında ufalanan betonun oluşturduğu tozlar delikten atılmamıştır.

**Farklı Beton Kalitesi:** Biri düşük dayanımlı olmak üzere iki farklı kalitede beton kullanılmıştır. Taban betonlarının 28 günlük basınç dayanımları 17.2MPa ve 37.9 MPa dır.

#### Ankraj servis süresi boyunca oluşabilecek çevresel şartlar:

**Kısa kür süresi:** Ankraj çekimleri kür süresi tamamlanmadan, ekim yapıldıktan 24 saat sonra gerçekleştirilmiştir.

**Sıcaklık:** Sıcaklık etkisinin ankraj dayanımında oluşturduğu değişikliğin incelenmesi amaçlı oda sıcaklığında ve 43°C derecede olmak üzere iki farklı Sıcaklıkta ankraj çekim deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu uygulanan 20 farklı kimyasal yapıştırıcının çoğunun yapışma dayanımlarında, ankraj uygulanan delik yüzeyinin nemli, ıslak ve tozlu olması sonucu ciddi düşüşler gözlenmiştir. 20 farklı ürünün referans yapışma dayanımlarının ortalaması ise 15.4 MPa olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları derlendiğinde nemli yüzeylere yapılan ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı, kuru ve temiz yüzeylerde bulunan referans yapışma dayanımlarının ortalama %77'si ve ıslak yüzeylerde oluşan yapışma dayanımı ise referans dayanımının ortalama %43'ü kadar olmuştur. Islak yüzeylerde dayanım kaybı beklendiği gibi nemli yüzeylere oranla daha fazla olmuştur. Ankraj deliklerinin ıslak olması ankraj performansını gerek mekanik gerekse kimyasal olarak etkilemiştir. Ankraj deliği yüzeyindeki kılcal boşluklarda kalan su epoksinin betona temasını azaltmış, kimyasal yapıştırıcı-beton ara yüzeyinde mekanik sürtünmede düşüş olmuştur. Delik cidarında kalan su aynı zamanda kimyasal ile beton arasında oluşan kimyasal bağ kuvvetlerini de etkilemektedir. 20 farklı kimyasaldan dördünün nem toleransı yüksek çıkmış ve kimyasalların nemli yüzeylerdeki performansı kuru yüzeylere göre artmıştır. Tozlu yüzeylerde kimyasal yapıştırıcı-beton ara yüzeyinde yapışmanın sürekli oluşmaması bağ kuvvetini azaltmıştır. Tozlu deliklere yapılan ankrajlarda yapışma dayanımı referans yapışma dayanımının %71'i gibi olmuştur.

Kısa kür süresinde (24 saat) ankrajların yapışma dayanımlarının ortalama %88'ini kazandığı görülmüştür. Çalışma esnasında kullanılan 20 farklı kimyasaldan 15'i iki farklı sıcaklık etkisi altında (oda sıcaklığı ve 43°C) denenmiştir. Ürünlerden ester bileşenli olan üç tanesinin 43°C'deki dayanımı, referans dayanımına göre artış göstermiş, diğer ürünlerde ise bazıları dayanım kaybederken bazılarının dayanımı artmıştır. Sık sıcaklık değişimi betonda çatlamalara neden olacağından ankraj dayanımını düşürebilmektedir. Beton dayanımındaki artışın yapışma dayanımları üzerindeki etkisi çok önemli olmasa da, ufak artışlar sağlamıştır.

Ankrajlarla ilgili yapılan incelemeler sonucu ankraj dayanımını etkileyen diğer faktörler şunlardır;

- a) **Ankraj çubuğunun dayanımı (çekme dayanımı):** Kimyasal ankraj çekme kapasitesine ankraj çubuğunun kopması veya akması nedeniyle ulaşıyorsa ankraj çubuğunun çekme dayanımı ankraj kapasitesini etkilemektedir.

- b) **Taban betonu basınç dayanımı:** Cook'un yaptığı çalışmasında ; basınç dayanımı 20 MPa olan betona uygulanan ankrajlarla dayanımı 40 MPa olan betona uygulanan ankrajlardaki bağ kuvvetleri kıyaslanmış ve beton dayanımındaki artışın oluşan bağ kuvvetini de arttırdığını gözlemlenmiştir. Fakat beton dayanımı 60 MPa üzerine çıktığında bağ kuvvetinde hafif düşüş olmuştur. Bunun iki nedeni olabilir. Birinci neden, betonun basınç dayanımındaki artış elastisite modülünün artmasını sağlamış böylece beton epoksi ara yüzündeki gerilme dağılımını farklılaştırmış ve kesme gerilmelerinin değerleri ara yüzde yükselmiştir. İkinci sebep ise beton özelliğindeki değişimin epoksi ile arasında olan kimyasal yapışmayı etkilemiştir.
- c) **Taban betonunun çekme dayanımı:** Kimyasal ankraj çekme kapasitesine betonda oluşan göçme nedeniyle ulaşıyorsa betonun çekme dayanımı ankraj kapasitesini etkilemektedir.
- d) **Kimyasal yapıştırıcının türü ve özellikleri:** Kimyasal ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı kullanılan kimyasala bağlıdır. Her kimyasalın farklı yapışma dayanımı vardır (vinylester, epoksi). Kullanılan yapıştırıcının betona yapışma dayanımı, çeliğe yapışma dayanımı ve mekanik özellikleri (çekme ve basınç dayanımları) ankraj performansını etkilemektedir.
- e) **Ankraj derinliği:** Ankraj derinliği arttıkça ankrajın kapasitesi artmaktadır. Fakat bu ilişki doğrusal değildir. Belli bir ankraj derinliğinden itibaren derinlikteki artışın ankraj kapasitesine olan etkisi azalmaya başlar. Ankraj derinliği ile ankraj kapasitesi arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması, gerçekte ankraj derinliği boyunca oluşan kayma gerilmelerinin düzgün yayılı olmadığını göstergesidir.
- f) **Ankraj çubuğu çapı:** Ankraj çapının artması aderans gerilmelerinin olduğu yüzey alanının artmasını veya azalmasını sağlayarak, ankraj kapasitesini etkilemektedir.
- g) **Ankraj delik çapı:** Kimyasal yapıştırıcı ile beton ara yüzeyinin genişlemesini sağlar ve bu yüzeyde oluşan bağ gerilmelerini ve ankraj kapasitesini etkiler.
- h) **Ankrajın serbest kenardan olan uzaklığı:** Ankraj serbest kenara yakın ise taban betonunun çatlayarak yarılması nedeniyle göçme oluşabilir.



- i) **Ankraj arası mesafe:** Ankraj eksenel çekme altında betonda oluşan göçme nedeniyle kapasitesine erişiyorsa betonda oluşan çatlaklar yanındaki komşu ankrajların kapasitelerini de etkileyecektir.
- j) **Yükleme tipi ve hızı:** Ankrajların kapasiteleri çekme, kesme ve eğilme etkileri altında farklıdır. Yüklemenin statik veya dinamik olması da kapasiteleri değiştirmektedir(Gürbüz 2007).

### 3. MATERYAL VE METOD

Çekip çıkarma deneylerinin eğilmeye çalışan bir elemandaki gerçek durumu yansıtmayacağı inancı ile kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Bu deneylerden en yaygın olarak kullanılanı Belçika deneyidir (Ersoy, 2000). Bu deney düzeneğinde tam ortasının üstünden mafsallı olarak bağlanan, altından ise sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajın bulunduğu beton kiriş, çelik yükleme çerçevesi içerisinde paralel P yükü altında sabit moment etkisinde eğilmeye zorlanacak ve bu eğilme momenti etkisi altında donatılar ya sıyrılacak ya da kopacaktır. Yapılan tez çalışmasında, betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eğilme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Belçika deneyleri olarak anılan test türü uygulanmıştır.

Bu testlerde, mevcut beton dayanımı, ankraj edilen çeliğin özellikleri ve ankraj derinlikleri incelenen parametreler olmuştur. Deneysel çalışmaların uygulama alanındaki mevcut duruma bire bir uyum sağlaması için deneylerde alınan parametreler, Türkiye'deki mevcut yapıları temsil etmek üzere 8, 12, 16 ve 20 Mpa olmak üzere beton dayanımları amaçlanmış olup, ankraj çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm ve derinliği ise 10Φ ve 15Φ olmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalarda, öncelikle deney numunelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, beton dayanımlarının belirlenmesi amacıyla her bir amaçlanan beton sınıfı için 6 adet standart silindir, küp ve prizma numuneleri ile Belçika kiriş deneyinde iki parçalı, her birisi 15 cm genişlikli, 20 cm yükseklikte ve 100 cm uzunlukta beton kiriş numuneleri üretilmiştir. Üretimden 90 gün sonra ise beton kirişlere epoksi türü kimyasal yapıştırıcılar ile hazırlanan ankraj donatıları numunelere yerleştirilmiştir. Kimyasal ankrajların etkinliğinin karşılaştırılmak amacıyla betonlama sırasında her bir parçaya 40 Φ ankraj boylu donatılar konularak iki parçalı kiriş numuneler de üretilmiştir.

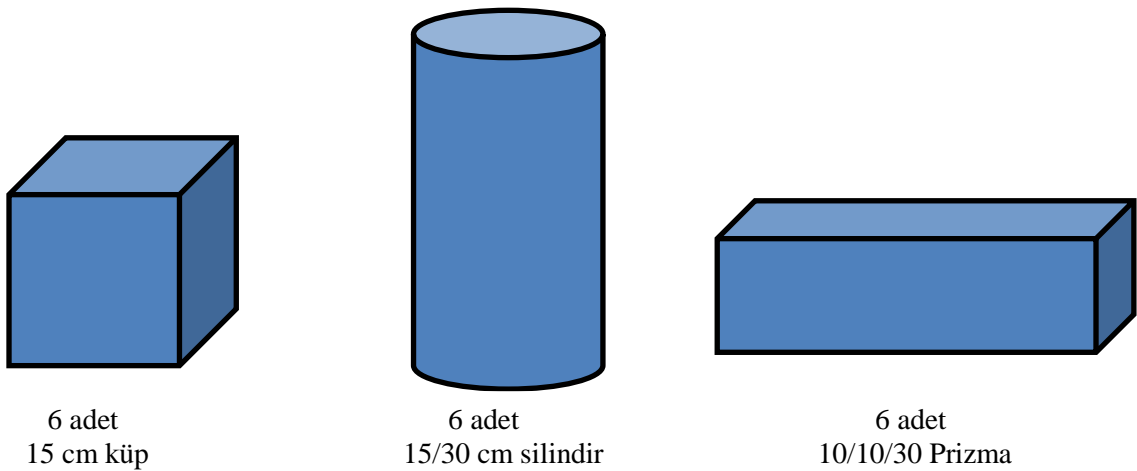
Belçika kiriş deneyinde iki parçalı olarak üretilen numunelerin bir parçası mevcut yapı stoğundaki betonu temsil edecek nitelikte beton dayanımı diğer parçası ise güçlendirme amaçlı olmak üzere ilave edilecek yeni elemanın beton dayanımı şeklinde seçilmiştir.

Göçme durumunda eğilme davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarından mevcut olan cihazlar, donanım ve ekipmanlar kullanılmıştır.

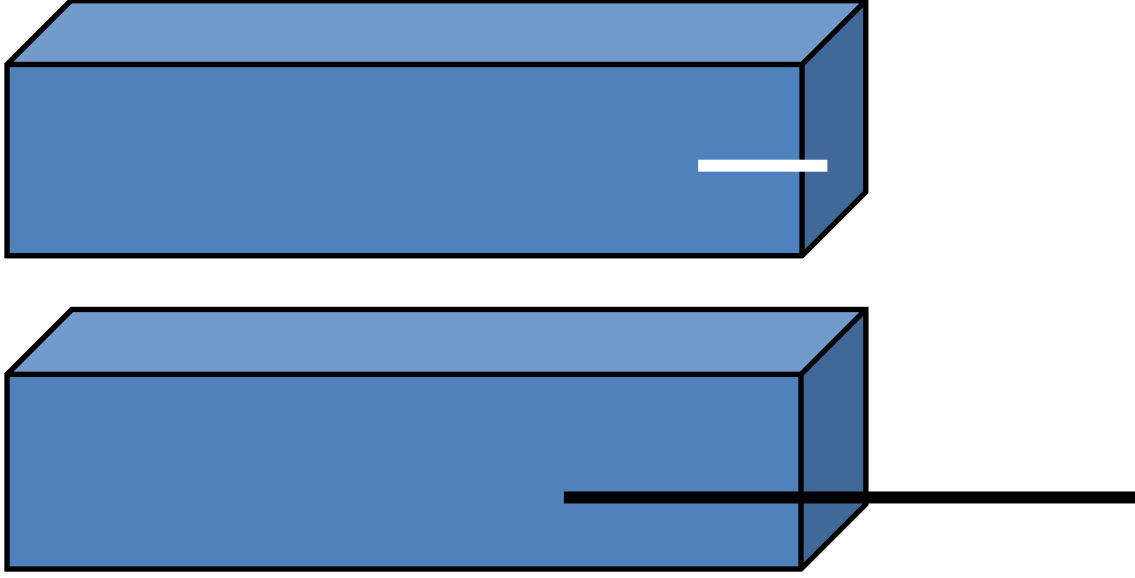
Tez çalışması kapsamında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eğilme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanacak testler sonrası elde edilen sonuçlara bağlı olarak, gerçek yapı davranışı içerisinde kimyasal ankrajların eğilme etkileri altında mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

### 3.1 Deneyde Kullanılan Numunelerin Üretimi

Yapılan tez çalışması kapsamında uygulanacak deneysel çalışmalarda, öncelikle deney numunelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, amaçlanan beton dayanımlarının belirlenmesi amacıyla Şekil 3.1’de gösterilen her beton sınıfı için 6 adet standart silindir, küp ve prizma numuneleri ile Şekil 3.2’de Belçika kiriş deneyinde kullanılacak iki parçalı, her birisi 15 cm genişlikli, 20 cm yükseklikte ve 100 cm uzunlukta boşluklu ve betonlama sırasında donatısı bulunan beton kiriş numuneleri üretilmiştir.



Şekil 3.1 Beton basınç dayanımı için üretilen standart küp, silindir ve prizma numuneler



**Şekil 3.2** Belçika kiriş deney modeli için kiriş numuneleri

Belçika kiriş deney modelinde ankraj sistemlerin eğilme davranışını incelemek amacıyla hazırlanan numuneler, çizelge 3.1’ de gösterildiği gibi her beton sınıfı için donatısı betonlama sırasında 15/20 cm kesitli 100 cm uzunluktaki kirişe yerleştirilen 32 adet ve donatısı betonlama sonrasında 15/20 cm kesitli 100 cm uzunluktaki kiriş içerisine epoksi ile yapıştırılmak üzere 64 adet olmak üzere toplam 96 adettir. Amaçlanan her beton sınıfı için (C8, C12, C16 ve C20) çizelge 3.1’de detayları verilen numunelerden ikişer adet üretilmiştir. Kiriş numunelerinin üretiminde Resim 3.1’de verilen özel kalıp sistemleri kullanılmıştır. Öncelikle, Belçika kiriş deney modelinin bir parçası olan amaçlanan beton sınıfı için 15/20 cm kesitli 100 cm uzunlukta 12 adet kiriş kalıbı hazırlanmıştır (Resim 3.2). Bu kirişlerin 4 tanesi içerisine 2 adeti  $\Phi 12$  ve 2 adeti  $\Phi 16$  donatı için 40  $\Phi$  ankraj boylu donatılar yerleştirilmiştir. 2 adet  $\Phi 12$  için 10  $\Phi$ , 2 adet  $\Phi 12$  için 15  $\Phi$ , 2 adet  $\Phi 16$  için 10  $\Phi$  ve 2 adet  $\Phi 16$  için 15  $\Phi$  ankraj boylu olmak üzere 8 adet kiriş içerisine betonlama sonrasında kimyasal ankrajların yerleşimini kolaylaştırmak amacıyla konulacak ankraj donatı çapından 4 mm daha kalın düz yüzeyli donatılar konularak, betonun priz sonrasına yakın bir süre içinde çekilerek boşluk oluşturulmuştur. İki kirişi birleştirecek ankraj donatılarının uzunluklarında, iki kiriş parçası arasında konulacak 50 mm boşluk da dikkate alınmıştır.

**Çizelge 3.1** Kiriş numunelerini hazırlama bilgileri

Numune	
15/20 cm kesitli 100 cm uzunluklu kiriş ankraj donatısı betonlama sırasında yerleştirilecek	Φ12 çap - 40Φ (480 mm) uzunluk (toplam donatı uzunluğu 1010 mm)
	Φ16 çap - 40Φ (640 mm) uzunluk (toplam donatı uzunluğu 1330 mm)
15/20 cm kesitli 100 cm uzunluklu kiriş ankraj donatısı betonlama sonrasında epoksi ile yapıştırılacak	Φ12 çap - 10Φ (120 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 290 mm)
	Φ12 çap - 15Φ (180 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 410 mm)
	Φ16 çap - 10Φ (160 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 370 mm)
	Φ16 çap - 15Φ (240 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 530 mm)



**Resim 3.1** Özel kalıp sisteminin hazırlanışı



**Resim 3.2** Kiriş numunelerinin için hazırlanan kalıp sisteminin görünüşü

Amaçlanan beton sınıfı için Belçika kiriş deney modelinin bir parçasını oluşturan kirişler üretmek için kalıplar içerisine betonların dökümü yapılarak deney numuneleri üretilmiştir (Resim 3.3). Betonlar dökülmeden önce kirişlerin alt bölgesinde alt kenardan 50 mm yukarda kalıplara açılan deliklerin kılavuzluğunda donatılar yerleştirilmiştir. Kirişlerin bağlantısında mekanik olarak ankraj sistemini oluşturmak için betonlama sırasında konulacak ve beton içerisinde sürekli kalacak donatıların ortasına 50 mm kalınlığında strafor konularak kirişler arasındaki boşluğun oluşturulması sağlanmıştır. Birinci parçalar döküldükten sonra kalıplar sökülerek ikinci parçaların kalıpları oluşturulmuştur. Bu parçaların kalıplarına farklı dayanımlı beton dökülerek Belçika kiriş deney modelinin kiriş numuneleri hazırlanmıştır (Resim 3.4). Tasarım numunelerinin kalıpları ve donatıları hazırlandıktan sonra üretilecek betonların aynı karışımda ve bir partide dökülebilmesi için hazır beton kullanılmıştır. Üretim tarihlerinde tranmikserlerle hazır beton tesislerinden gelen betonlar kalıplara dökülmüş ve yerleştirilmiştir. Bu arada üretilen numuneler ilk 7 gün su ile sulanarak kür koşulları yerine getirilmiştir.



**Resim 3.3** Kiriş parçalarının beton dökümü



**Resim 3.4** Belçika kiriş deney numunelerinin üretimi

Epoksi kullanılarak kimyasal ankrajlarla birleştirilecek parçalara beton dökümü sırasında ankraj çubuğunun yerleşimi için konulan düz yüzeyle donatılar beton prizini aldıktan sonra sarsmadan çekilmiştir (Resim 3.5). Üretimden 90 gün sonra iki kiriş parçasını bileştirmek amacıyla hazırlanan farklı boy ve çaptaki ankraj donatıları numunelere açılan deliklere epoksi türü kimyasal yapıştırıcı ile yerleştirilmiştir. Böylece Belçika kiriş deney model numuneleri hazırlanmıştır.



**Resim 3.5** Birleştirilmesi yapılmış Belçika kiriş deney numuneleri

### **3.1.1 Beton**

Yapılacak deneysel çalışmalarda üretilecek numunelerin kendi içerisinde kalite bakımından niteliğinin sağlanması amacıyla hazır beton kullanılması tercih edilmiştir. Kolsan A.Ş. tarafından sağlanan farklı sınıflarda betonlar numunelerin üretiminde kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan farklı beton sınıflarının karışım bilgileri Çizelge 3.2’de verilmiştir.



**Çizelge 3.2** Üretici firmadan alınan beton özellikleri

Kaynak	Agrega (Beyaz Taş Ocağı)			Afyon Çimsa CEM I 42,5 R	Uçucu Kül Kütahya	Sika RMC 315	Su/Çimento
	Amaçlanan Beton Sınıfı	0/4 Kum (kg)	4/11 Kırma (kg)	11/22 Kırma (kg)	Çimento Miktarı (kg)	Mineral Katkı (kg)	
C 8/10	1067	381	440	135	50	1.550	1.35
C 12/15	1074	313	549	170	50	2.280	0.95
C 16/20	1034	287	576	200	50	3.080	0.84
C 20/25	945	302	625	240	50	3.120	0.70

### 3.1.2 Ankraj Çubukları

Tez kapsamında yapılan aksenal çekme deneylerinde donatı sınıfı S420a, çapı 12 ve 16 mm olan donatı kullanılmıştır. Donatıların aynı mekanik özelliklere ve nervür yapısına sahip olması sağlanmıştır. Deney esnasında okunan çekme kuvvetleri, numunenin kesit alanına bölünerek program tarafından gerilme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca program tarafından yük yerdeğiştirme ilişkisinden donatının gerilme birim sekildeğiştirme grafiği ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) de elde edilebilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan donatı numunelerinin hazırlanışı resim 3.6'da ve bu donatılara ait mekanik özellikler ise çizelge 3.3'de verilmiştir.



**Resim 3.6** Tez çalışmasında kullanılmak üzere hazırlanan donatı numuneleri

**Çizelge 3.3** Tez çalışmasında kullanılan donatıların mekanik özellikleri

Çelik Cinsi	Çap	Numune No	Çekme Muk. (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Muk. (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)	Rm/Re
S420	Φ12	1	646	530.8	20.8	1.22
		2	645	530.4	26.1	1.22
		3	624	518.7	25.5	1.20
		Ortalama	638.3	526.7	23.1	1.21
S420	Φ16	1	654	523.0	17.6	1.25
		2	649	545.3	19.3	1.19
		3	635	546.0	17.9	1.16
		4	639	546.0	18.2	1.17
		Ortalama	643.3	540.3	18.3	1.19

### 3.1.3 Kimyasal Yapıştırıcı

Ankrajların üretiminde kullanılan ve ankrajın performansını doğrudan etkileyen temel malzemelerden biri de kullanılan kimyasal yapıştırıcıdır. Kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri ankrajın kapasitesini ve göçme tipini doğrudan etkilemektedir. Epoksi reçinelerinin yüksek çekme ve basınç dayanımlarına sahip olması, betona ve çeliğe yüksek aderans sağlaması ve kolay uygulanabilir olmaları onları avantajlı hale getirir.

Yapılan tez çalışmasında yüksek performans sağlanması ve verimli sonuçlar elde edilmesi amacıyla; filiz ekme, restorasyon ve yapısal güçlendirme ve mantolama işlerinde ankraj uygulamalarında rahatlıkla kullanılan Pattex CF 900 (kimyasal dübel epoksi akrilat) epoksi kullanılmıştır. Genel fiziksel özellikleri ise çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Pattex CF 900 genel mekanik ve fiziksel özellikleri

Özellik	Değerler
Basınç mukavemeti (ASTM 695) >	56 N/mm <sup>2</sup>
Gerilme mukavemeti (ASTM 638) >	10 N/mm <sup>2</sup>
Eğilme mukavemeti (ASTM 790) >	16 N/mm <sup>2</sup>
Elastisite modülü	3034 N/mm <sup>2</sup>
Karışım yoğunluğu	1.65 g/cm <sup>3</sup>

### 3.2 Deneyin Yapılışı

Tez için yapılan deneysel çalışmalarda, öncelikle deney numunelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, beton dayanımlarının belirlenmesi amacıyla her beton sınıfı için 6 adet standart silindir, küp ve prizma numuneleri ile Belçika deneyi kiriş parçaları üretilmiştir.

Basit eğilme etkisini oluşturmak için üretilen Belçika kiriş modellerinin amaçlanan ortalama basınç dayanımları 8, 12, 16 ve 20 Mpa olmuştur. Deneysel çalışmalarda toplamda 96 adet 15/20 cm kesitli 100 cm uzunlukta kiriş numuneler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan iki parçalı kirişin bir parçası 8, 12, 16 ve 20 Mpa ve bunlarla birleşecek diğer parçaları ise 20 Mpa olarak tasarlanmıştır. Böylelikle, model kirişler C8-C20, C12-C20, C16-C20 ve C20-C20 beton sınıfı olarak dört farklı grup tasarımında oluşturulmuştur. Her bir beton sınıfı gruplama içerisinde, iki çeşit birleştirme tekniği kullanılmıştır. Birinci teknikte mekanik ankraj sistemli birleştirme esas alınmıştır. Bu birleştirmede,  $\Phi 12$  ve  $\Phi 16$  donatı çapı için betonlama sırasında kiriş parçasına 40  $\Phi$  ankraj boyu donatılar yerleştirilmiştir. Diğer teknikte ise kimyasal ankraj sistemli birleştirme yapılmıştır. Bu birleştirmede ise kiriş parçaları üretiminden 90 gün sonra betonlama sırasında oluşturulan boşluklara  $\Phi 12$  ve  $\Phi 16$  donatı çapları için 10  $\Phi$  ve 15  $\Phi$  ankraj boyu donatılar epoksi yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilmiştir. Böylece iki parçalı kiriş kimyasal ankrajlarla sonradan bir araya getirilmiştir. Aynı cinsli deney numunelerinden iki adet üretilmiştir. Her bir beton sınıfı grubu içerisinde 4 adeti mekanik ankrajlı 8 adeti ise kimyasal ankrajlı birleşimli olmak üzere 12 adet kiriş oluşturulmuştur.

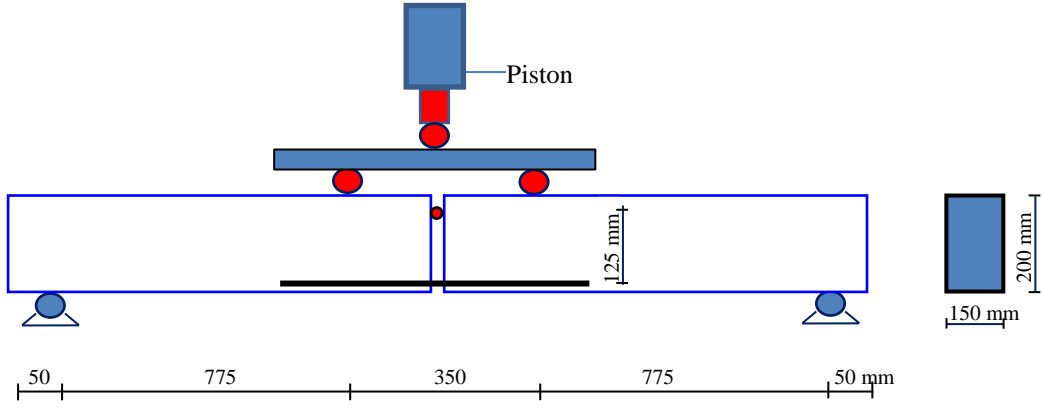
Kimyasal ankrajlı kirişlerde ankraj donatıları yerleştirilmek üzere delikler kompresör yardımıyla temizlenmiştir. Temizlenen silindir üzerindeki deliklere epoksi türü kimyasal yapıştırıcılar sıkılarak ankraj donatıları numunelere yerleştirilmiştir.

Üretilen kiriş elemanlarının sadece eğilme davranışını dikkate almak amacıyla özel olarak hazırlanan çelik kılıflar hazırlanmıştır (Resim 3.7). Birleştirilmiş kiriş parçaları, deney sırasında kesme ve beton içerisinde bulunacak donatı uçlarında aşırı gerilme yığılmasından kaynaklanacak kırılmaları engellemek amacıyla hazırlanan çelik kılıflarla tamamen sarılmış ve sıkıştırılmıştır.



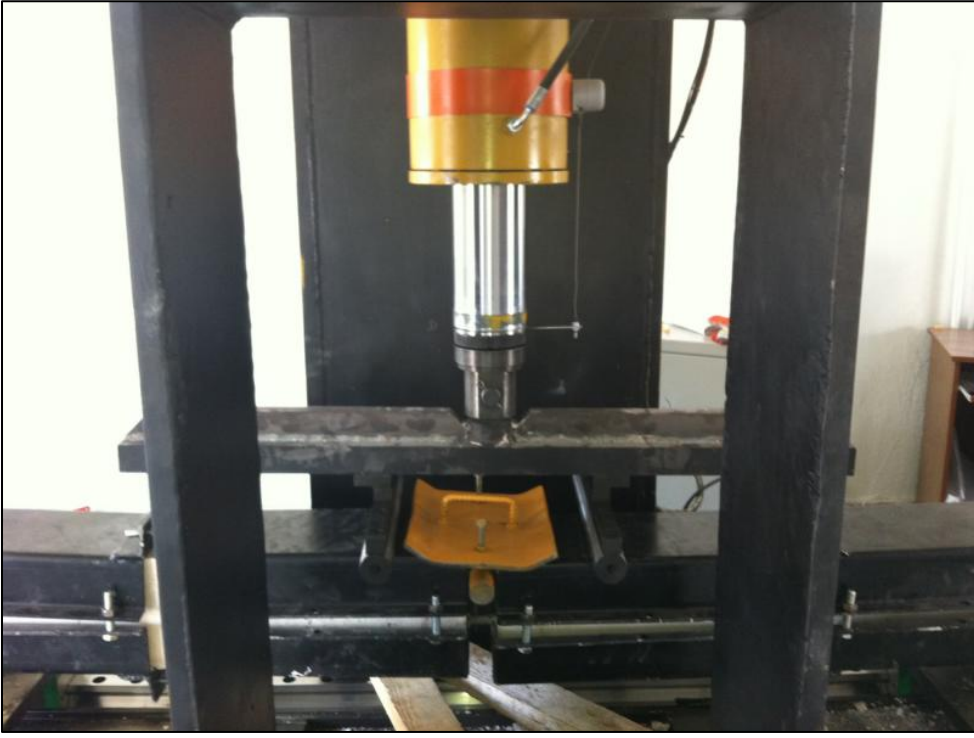
**Resim 3.7** Deney sırasında kullanılan çelik kılıflar

Hazırlanan kiriş elemanları dört noktalı basit eğilmeye maruz bırakılmıştır. Kiriş numunelerinin orta bölgesinde sabit moment bölgeleri oluşturmak amacıyla dört noktalı basit eğilme durumu seçilmiştir (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3** Belçika kiriş deney modeli için dört noktalı basit eğilme düzeneği

Üretilen numunelerin testi kiriş elemanları için tasarlanmış yükleme çerçevesi ile yapılmıştır. Kılıflar içerisine yerleştirilen kiriş numuneleri mesnetler üzerine konularak, ara boşluğa mafsal görevini görecektir silindirik parçalar yerleştirilmiştir. Daha sonra kiriş üzerine iki noktadan yük uygulanarak iki parçalı olarak birleştirilen kiriş numuneleri eğilmeye çalıştırılmıştır. Böylece sabit moment etkisi altındaki bölgede yer alan ankraj çubukları çekme kuvvetlerine maruz kalarak göçme durumuna getirilmiştir (Resim 3.8 a-b). Sıyırılma ve göçme durumuna uygulanan  $P$  kuvveti cihazdan okunarak, ankraj donatılarındaki çekme kuvvetleri  $F$  değerleri hesaplanmıştır. Kiriş numunelerinin betonlama sırasında yerleştirilen mekanik bağlantılı ankraj donatıları ile beton sertleştikten sonra yerleştirilen kimyasal bağlantılı ankraj donatılarının mekanik davranışları belirlenmiştir.



(a)



(b)

**Resim 3.8** Eğilmeye maruz bırakılan kiriş numuneler

#### 4. BULGULAR

C8-C20, C12-C20, C16-C20 ve C20-C20 beton sınıflı olarak dört farklı grupta oluşturulan iki parçalı kirişlerin betonlama sırasında beton içerisine yerleştirilen ve mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile beton sertleştikten sonra epoksi yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen kimyasal bağlantılı ankrajlarla birleştirilmesi sonrası oluşturulan deney elemanlarının basit eğilme altında davranışları incelenmiştir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler beton dayanımı, donatı çapı ve donatı derinliği olmuştur.

Bu tez, betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmaların bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu amaçla kurulan çalışma grubu, betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme, eğilme ve kesme etkileri altında davranışlarını ayrı ayrı incelemek amacıyla üç farklı tez çalışmasıyla incelemeleri gerçekleştirmiştir. Farklı tezlerde kullanılan malzeme ortak ve benzer özellik göstermesi gerekmektedir. Bundan dolayı kullanılan beton malzemelerin niteliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen deneylerin sonuçları da ortak olmuştur. Amaçlanan beton dayanımlarının belirlenmesi amacıyla yürütülen mekanik deneyler, 15 cm'lik küp ve 15/30 cm'lik silindir numunelerinin basınç dayanımı ve 10x10x30 cm'lik prizma numunelerinin eğilmede çekme dayanım deneylerinden oluşmuştur. Amaçlanan beton sınıfı için üretilen beton numunelerin mekanik özellikleri iki farklı tarihte yapılan deneylerden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, karakteristik beton sınıfının belirlenmesi amacıyla 28. günlük diğeri ise ankrajların basit eğilme etkisini incelemek amacıyla yapılan Belçika kiriş deneylerinin yapıldığı tarihtir. Basınç ve eğilmede çekme dayanım değerleri için üretilen numunelerin altı tanesinin test sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Ayrıca, betonun karakteristik çekme dayanımı TS 500/2000 de ifade edilen ve (4.1) bağıntısında verilen değerleri basınç dayanımlarına göre belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de amaçlanan beton sınıflarının 28. günlük mekanik özellikleri verilmiştir.

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (4.1)$$

**Çizelge 4.1** Amaçlanan beton sınıfı için üretilen numunelerin 28 günlük ortalama dayanım değerleri

Beton sınıfı	C20	C16	C12	C8
Üretim Tarihi	20.04.2012	27.04.2012	27.04.2012	27.04.2012
Silindir Basınç Dayanımı $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	23.13	15.70	12.63	7.16
Küp Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	32.82	21.38	17.64	8.21
Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	5.35	5.41	4.29	2.19
Eksenel Çekme Dayanımı $f_{ctk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.49	2.17	1.96	1.35

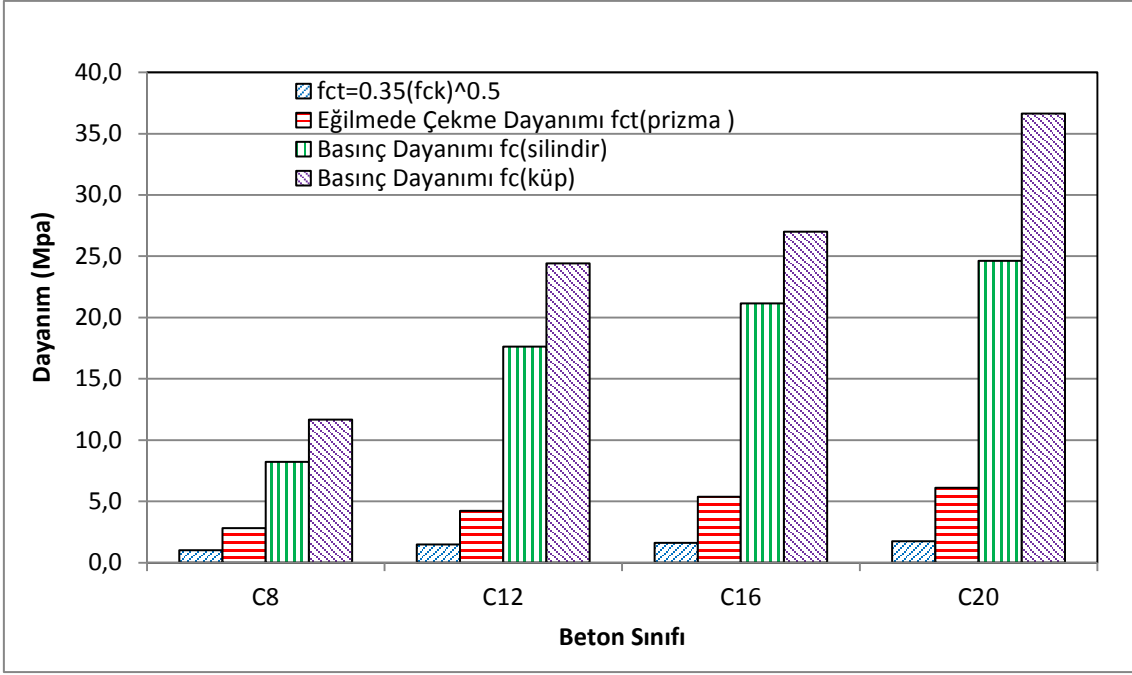
Çizelge 4.2’de amaçlanan beton sınıflarının kiriş ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki mekanik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Üretilen numunelerin ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki ortalama dayanım değerleri

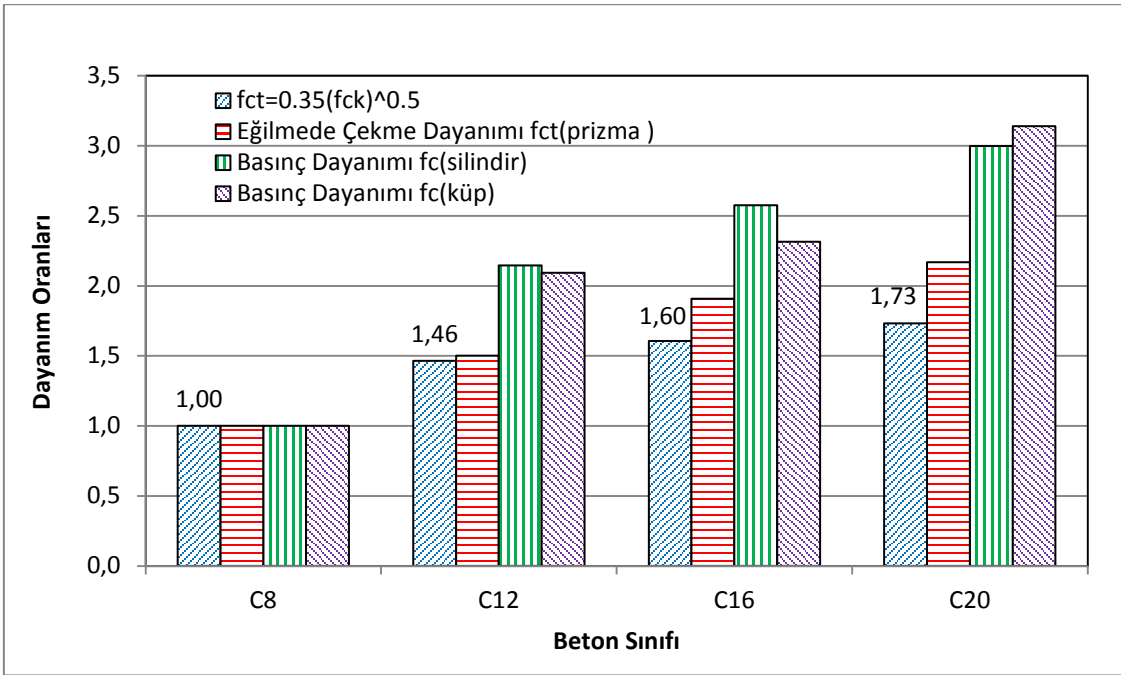
Beton sınıfı	C20	C16	C12	C8
Üretim Tarihi	20.04.2012	27.04.2012	27.04.2012	27.04.2012
Silindir Basınç Dayanımı $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	24.63	21.15	17.61	8.21
Küp Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	36.64	27.01	24.41	11.67
Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	6.11	5.38	4.23	2.82
Eksenel Çekme Dayanımı $f_{ctk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.74	1.61	1.47	1.00

Amaçlanan beton sınıflarının ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki mekanik özelliklerinin değişimleri ise şekil 4.1’de verilen grafikte gösterilmiştir. Ayrıca, deneysel çalışmada kullanılan en düşük beton sınıfına göre diğer beton sınıflarının dayanım oranlarının değişimleri şekil 4.2’de gösterilmiştir.



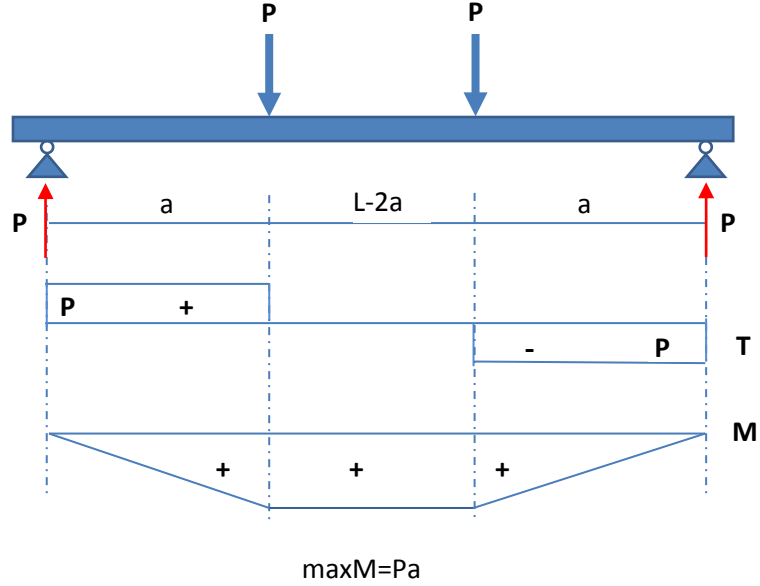


Şekil 4.1 Ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki beton numunelerinin mekanik özelliklerinin değişimi

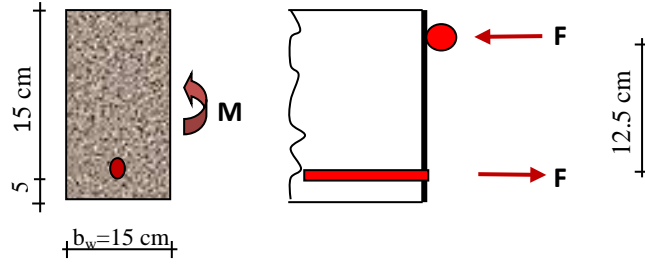


Şekil 4.2 En düşük beton sınıfına göre dayanım oranları

Farklı beton dayanımındaki kirişler parçaları, C8-C20, C12-C20, C16-C20 ve C20-C20 beton sınıflı olarak betonlama sırasında kiriş parçasına konulan  $40\Phi$  ankraj boyulu donatılarla ve epoksi yapıştırıcı kullanılarak  $10\Phi$  ve  $15\Phi$  ankraj boyulu donatılarla birleştirilmiştir. Birleştirilen kiriş deney elemanları üzerine dört parçalı çelik kılıflar bir kiriş parçasına diğer kiriş parçasına da yine dört parçalı çelik kılıflar civatalarla birleştirilerek beton kirişler için çelikten yapılan rijit bir kılıf oluşturulmuştur. Bu şekilde çelik kılıf kılıflar içerisinde bulunan kirişler yükleme çerçevesi içerisine konularak dört noktali basit eğilmeye maruz bırakılmıştır. Sabit moment etkisi altındaki bölgede yer alan ankraj çubukları çekme kuvvetlerine maruz kalarak göçme durumuna getirilmiştir. Sıyırılma ve göçme durumuna uygulanan  $P$  kuvveti cihazdan okunarak, ankraj donatılarındaki çekme kuvvetleri  $F$  değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.3’de dört noktali basit eğilme durumunda iki farklı noktadan uygulanan eşit  $P$  kuvveti altında oluşan iç kuvvetlerin değişimi, Şekil 4.4’de ise sabit moment altındaki bir kesitte donatıda oluşan  $F$  çekme kuvveti gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Dört noktali eğilme durumuna ait yük-iç kuvvet ilişkisi



**Şekil 4. 4** Sabit moment altında donatıda oluşan çekme kuvveti

Şekil 4.3’de deney düzeneği verilen kiriş numuneler üzerine iki farklı noktadan uygulanan eşit P kuvveti altında orta bölgede oluşan sabit eğilme momenti;

$$M = 0.775xP \quad (4.2)$$

ifadesiyle hesaplanır. Sabit moment bölgesinde yer alan bir kesitte M eğilme mometi etkisinde donatıda oluşan F çekme kuvveti ise;

$$F_{\max} = \frac{M}{0.125} \quad (4.3)$$

bağıntısıyla bulunur.

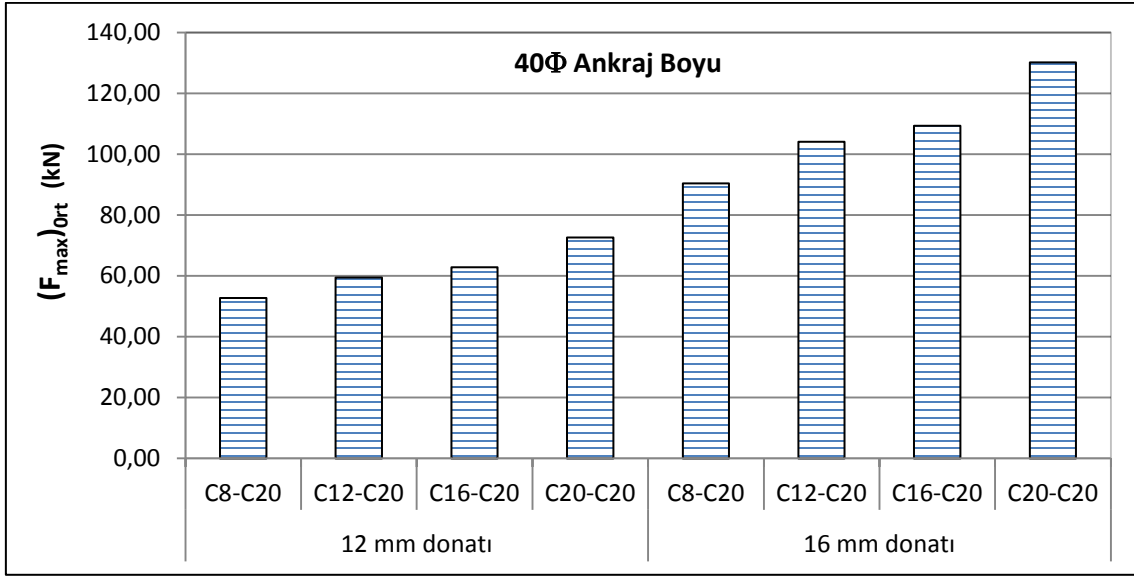
Her beton dayanım grubu içerisinde yer alan kiriş numunelerinin ankraj donatıları basit eğilme etkisiyle çekilerek donatıdaki sıyrma kuvvetleri elde edilmiştir. Her deney numunesi için elde edilen değerlerden maksimum sıyrma kuvveti her serideki iki numunenin ortalama değerleri alınarak toplu sonuçları çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelgede ayrıca maksimum sıyrma kuvveti altında oluşan bağıntı (4.3)’e göre hesaplanan ortalama aderans gerilmesi ( $\tau_{ort}$ ) değerleri de verilmiştir.

$$\tau_{ort} = \frac{F_{\max}}{\pi dl} \quad (4.4)$$

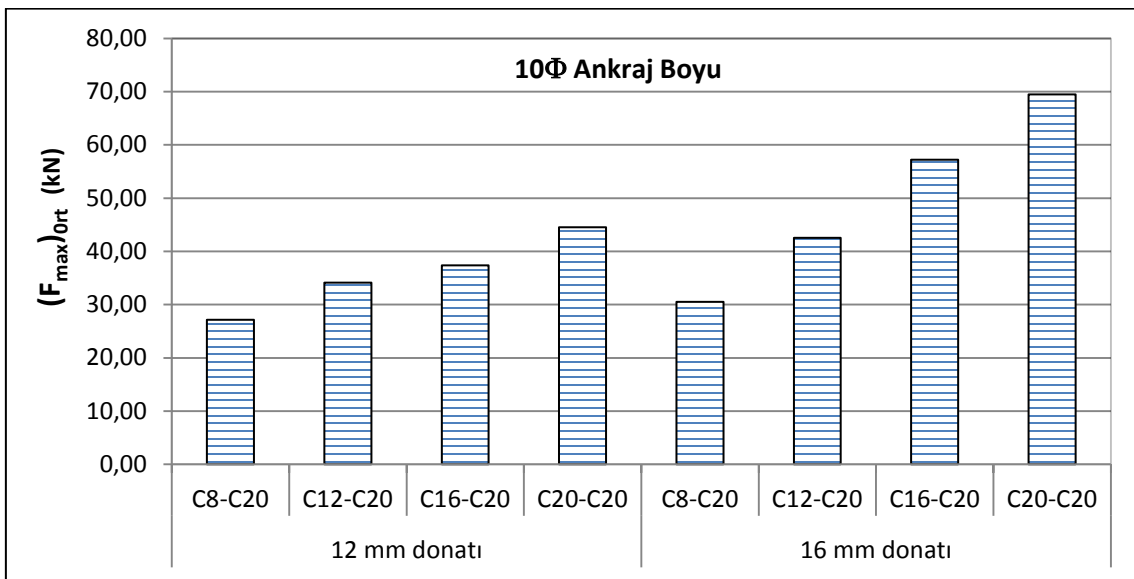
**Çizelge 4.3** Ankraj deneylerinin ortalama dayanım değerlerinin ortalama sonuçları

Beton Sınıfı	Ankraj Tipi	Donatı Çapı (mm)	Ankraj boyu	P kuvveti (kN)	Moment (kNm)	Donatıda		
						$F_{max}$ Çekme Kuvveti (kN)	$\tau_{ort}$ Aderans Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ Normal Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )
C8-C20	Mekanik	12	40Φ	8.50	6.59	52.70	3.49	465.78
		16	40Φ	14.58	11.30	90.37	4.49	449.30
	Kimyasal	12	12Φ	4.38	3.39	27.14	6.00	239.88
		12	18Φ	6.07	4.70	37.62	5.54	332.49
		16	16Φ	4.92	3.81	30.50	3.79	151.65
		16	24Φ	7.01	5.43	43.46	3.60	216.08
C12-C20	Mekanik	12	40Φ	9.59	7.44	59.49	3.94	525.76
		16	40Φ	16.79	13.01	104.07	5.17	517.38
	Kimyasal	12	12Φ	5.50	4.26	34.10	7.53	301.39
		12	18Φ	7.69	5.96	47.69	7.03	421.53
		16	16Φ	6.86	5.31	42.52	5.28	211.37
		16	24Φ	9.60	7.44	59.52	4.93	295.91
C16-C20	Mekanik	12	40Φ	10.13	7.85	62.83	4.17	555.35
		16	40Φ	17.64	13.67	109.37	5.44	543.73
	Kimyasal	12	12Φ	6.02	4.67	37.32	8.25	329.88
		12	18Φ	8.25	6.39	51.15	7.53	452.08
		16	16Φ	9.22	7.15	57.16	7.10	284.20
		16	24Φ	12.65	9.80	78.43	6.50	389.92
C20-C20	Mekanik	12	40Φ	11.71	9.08	72.63	4.81	641.93
		16	40Φ	21.00	16.28	130.20	6.47	647.30
	Kimyasal	12	12Φ	7.18	5.56	44.52	9.84	393.45
		12	18Φ	10.12	7.84	62.71	9.24	554.28
		16	16Φ	11.20	8.68	69.44	8.63	345.23
		16	24Φ	15.20	11.78	94.24	7.81	468.52

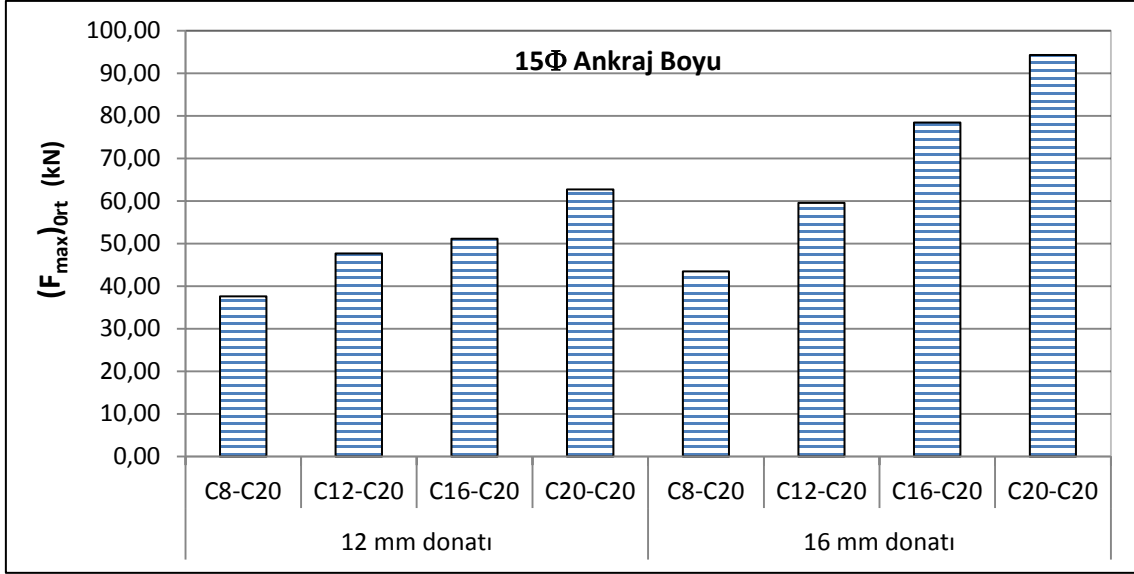
Mekanik ve kimyasal bağlantılı farklı çap ve derinlikteki ankraj donatılarının basit eğilme etkisi altında ankraj donatılarında meydana gelen  $F_{max}$  çekme kuvvetlerinin farklı beton gruplarında beton dökümü sırasında her bir kiriş parçasına konulan  $40\Phi$  ankraj boylular için şekil 4.5, beton dökümünden sonra sertleşen betonlara yerleştirilen kimyasal ankrajlı  $10\Phi$  ankraj boylular için şekil 4.6 ve  $15\Phi$  ankraj boylular için şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.5  $40\Phi$  mekanik ankraj boylular için  $F_{max}$  değişimleri



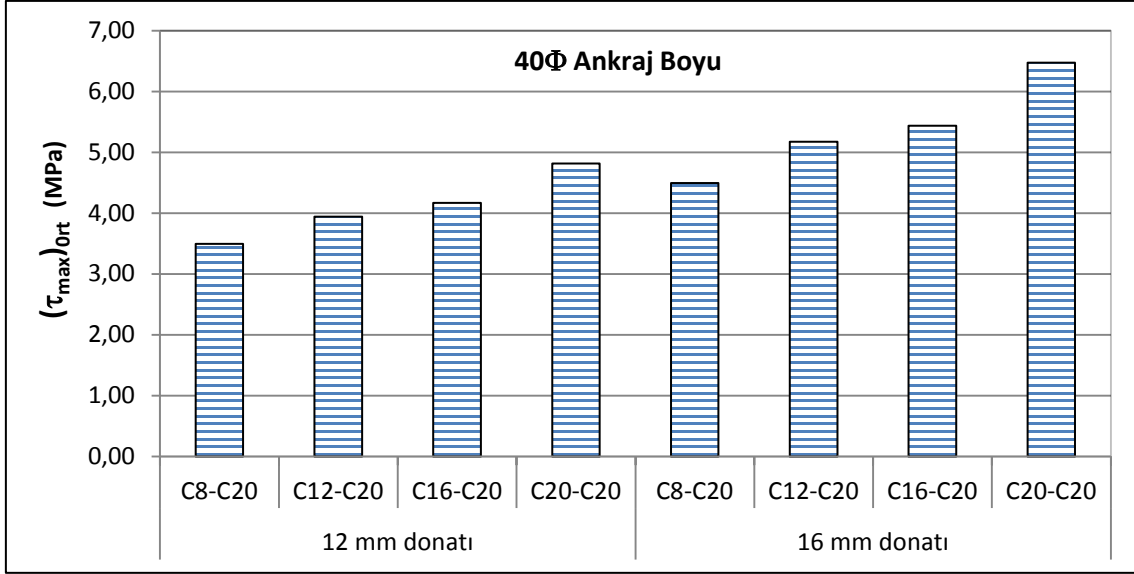
Şekil 4.6 Kimyasal ankrajlı  $10\Phi$  boylu donatılarda  $F_{max}$  değişimleri



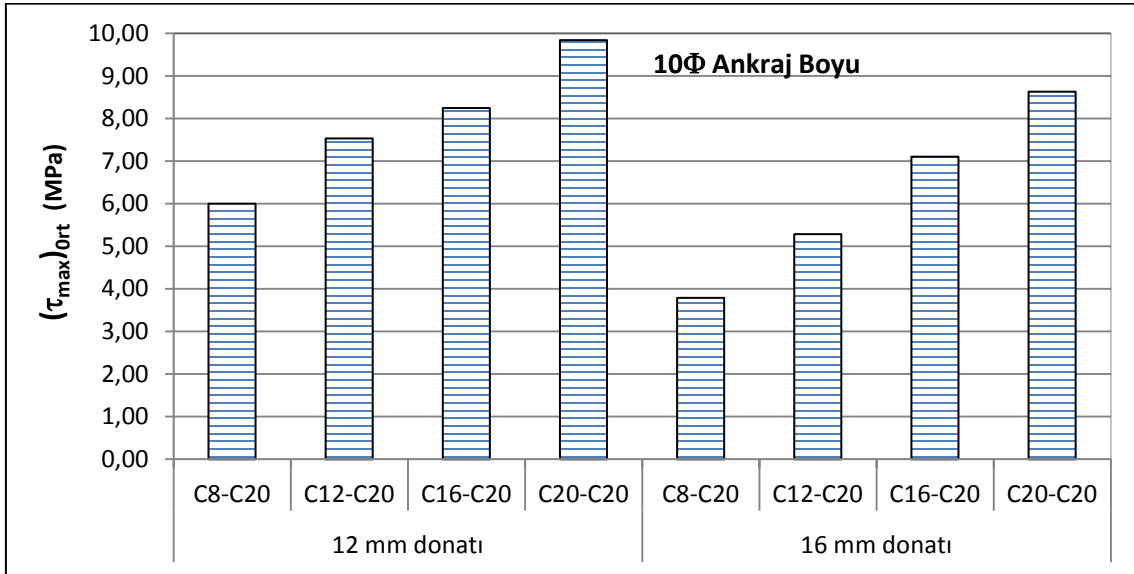
Şekil 4.7 Kimyasal ankrajlı 15Φ boylu donatılarda  $F_{max}$  değişimleri

Grafiklerden görüldüğü üzere donatı çapı ve donatı ankraj derinliği arttıkça donatıların sıyrılması ve kopması şeklinde gerçekleşecek göçme durumuna getirecek  $F_{max}$  kuvvetinin doğal olarak arttığı görülmektedir. Betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması,  $F_{max}$  çekme kuvvetlerinin beton sınıf gruplarında yaklaşık % 70 – 80 aralığında değişime neden olmuştur. Bu oran, donatıların kesit alanları oranı ile benzerlik göstermektedir. Kimyasal ankrajlı birleşimlerde ise beton dayanım grubuna göre değişim göstermekte, 40Φ ankraj çubuklarında olduğundan daha az artış görülmektedir.

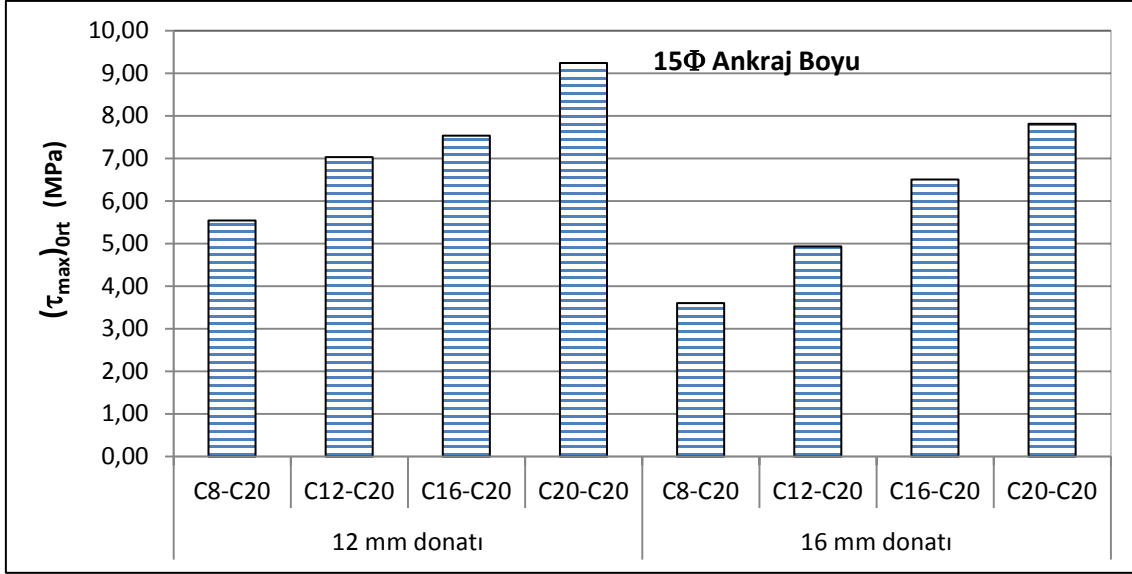
Mekanik ve kimyasal bağlantılı farklı çap ve derinlikteki ankraj donatılarının basit eğilme etkisi altında ankraj donatılarında meydana gelen ortalama maksimum aderans gerilmelerinin  $(\tau_{max})_{ort}$  değişimleri 12 ve 16 mm donatı çaplarına ve amaçlanan beton sınıf grubuna göre; 12 ve 16 mm donatılar için 40Φ ankraj boylular için şekil 4.8, beton dökümünden sonra kimyasal ankrajlı 10Φ ankraj boylular için şekil 4.9 ve 15Φ ankraj boylular için şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.8 40Φ mekanik ankraj boylular için  $(\tau_{max})_{ort}$  değişimleri



Şekil 4.9 Kimyasal ankrajlı 10Φ boylu donatılarda  $(\tau_{max})_{ort}$  değişimleri

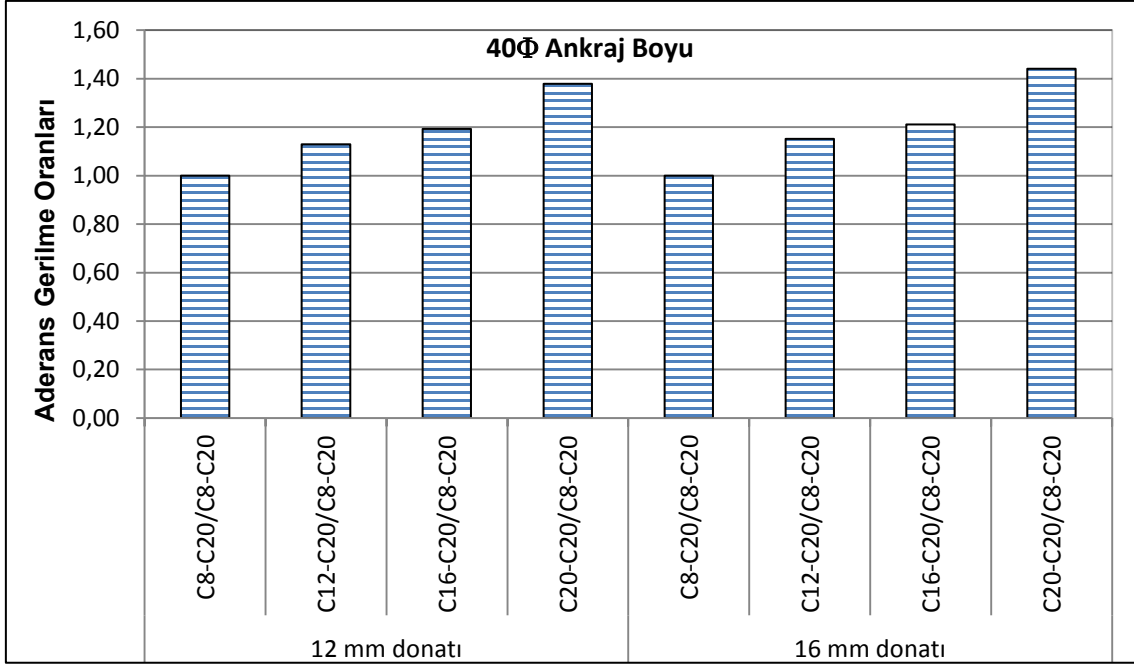


Şekil 4.10 Kimyasal ankrajlı 15Φ boylu donatılarda  $(\tau_{max})_{ort}$  değişimleri

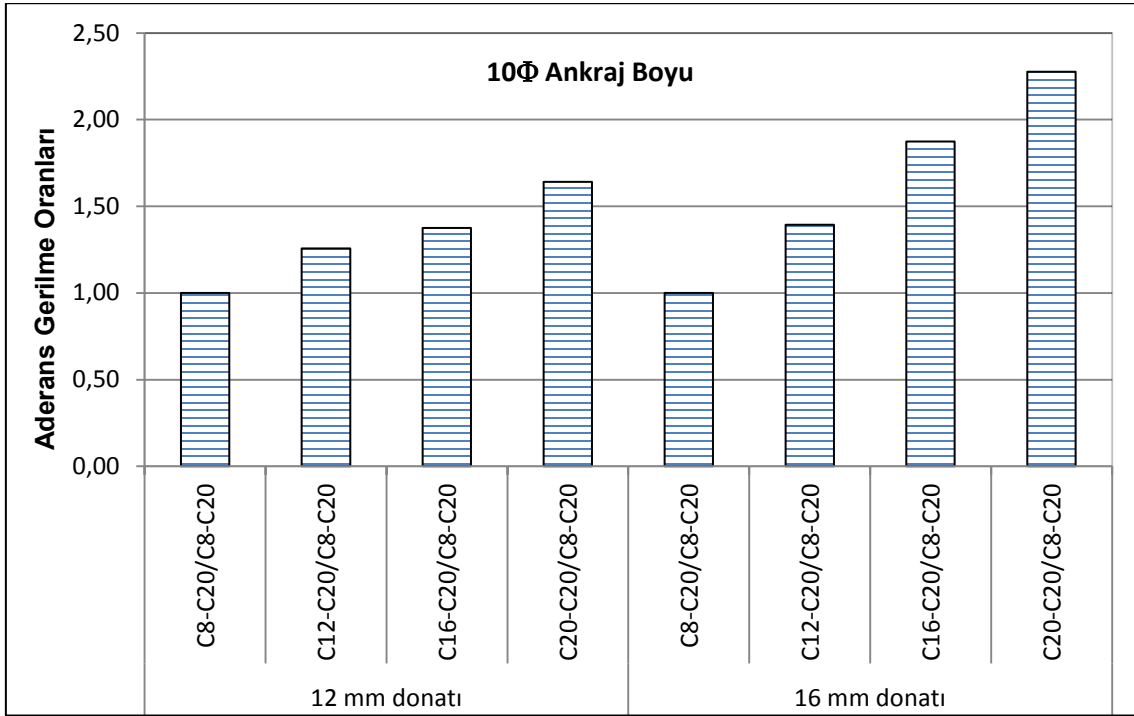
Donatıların sıyrılması ve kopması şeklinde gerçekleşecek göçme durumuna getirecek  $F_{max}$  kuvvetlerine göre hesaplanan  $(\tau_{max})_{ort}$  gerilmelerinin betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması durumunda beklenen artış görülmektedir. Bu artış aynı beton gruplarında 12 mm den 16 mm çıkması durumunda yaklaşık % 30 seviyesindedir. Bu oran,  $(\tau_{max})_{ort}$  hesaplanmasında kullanılan donatı çaplarının oranları ile aynıdır. Fakat kimyasal ankrajlarda ise donatı çapının 12 mm den 16 mm çıkması  $(\tau_{max})_{ort}$  gerilmelerinde azalmalara neden olmuştur. Beton dayanım grubu düşük olan serilerde azalmalar daha fazla olmuştur. Kimyasal ankrajlı birleştirmelerde, donatı çapı artışının  $F_{max}$  çekme kuvvetlerinde sağladığı artış,  $(\tau_{max})_{ort}$  aderans gerilmelerinde görülmemektedir. Donatı çapı küçük olan kimyasal ankrajlı birleştirmelerde aderans gerilmeleri daha yüksek olduğundan yapışmanın etkinliği daha iyi olduğu görülmektedir.

Deneysel çalışmada en düşük beton sınıfı olarak amaçlanan C8-C20 beton grubu kullanılarak yapılan ankrajlı bileşimlerin diğer beton dayanım gruplarında aynı donatı çapı ve derinliğinde  $(\tau_{max})_{ort}$  değerlerinin oranları hesaplanarak, aderans gerilme oranlarının değişimleri ise 40Φ ankraj boylular için şekil 4.11, beton dökümünden sonra yerleştirilen kimyasal ankrajlı 10Φ ankraj boylular için şekil 4.12 ve 15Φ ankraj boylular için şekil 4.13’de verilmiştir.

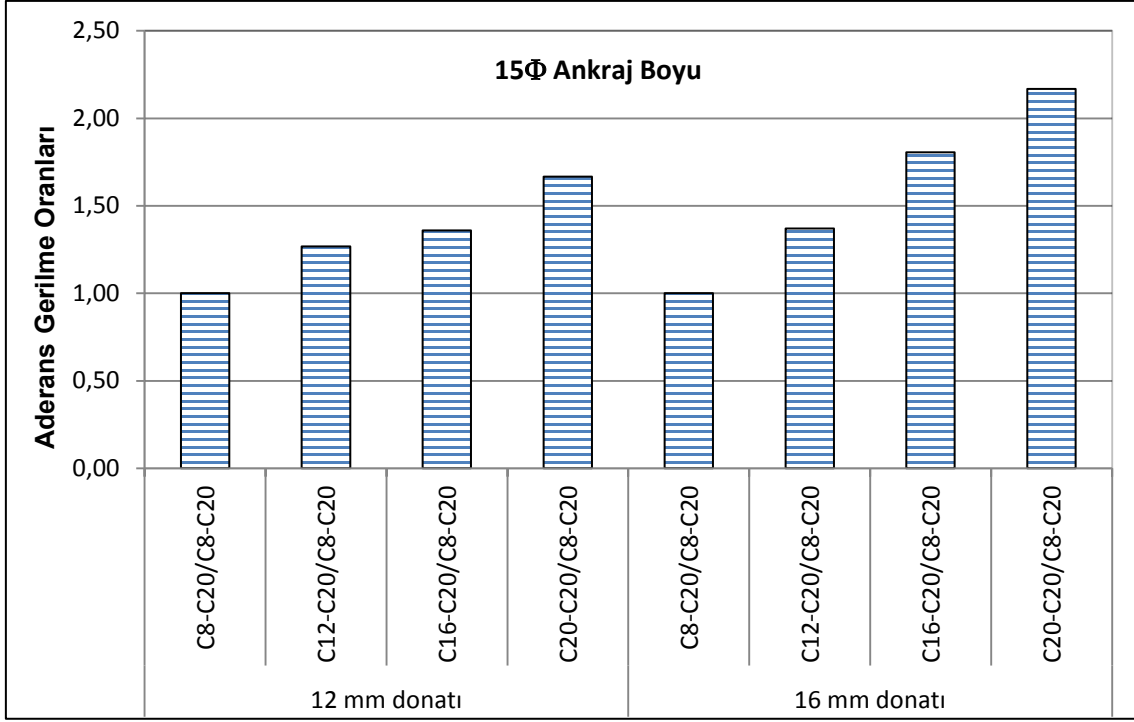




**Şekil 4.11** En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 40Φ ankrajların aderans gerilme oranları değişimleri



**Şekil 4.12** En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 10Φ kimyasal ankrajların aderans gerilme oranları değişimleri



**Şekil 4.13** En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 15Φ kimyasal ankrajların aderans gerilme oranları değişimleri

Beton dayanım gruplarının sınıfı yükseldikçe aderans gerilme oranlarının değişimleri betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında daha az olurken, kimyasal ankrajlı birleşimlerde ise daha fazla olmaktadır. 40Φ ankraj çubuklarında nervür etkisinden dolayı göçme betonun parçalanması şeklinde olduğundan aderans gerilmeleri beton dayanımı arttıkça betonun mekanik özellikleri ile ilişkili bir artış görülemez. Fakat beton sertleştikten sonra yerleştirilen kimyasal ankrajlarla oluşturulan birleşimlerinin beton dayanım gruplarına göre oranlarının değişimleri 12 mm çaplılarda birleşimdeki düşük beton basınç dayanımına göre TS 500/2000’de ifade edilen karakteristik çekme dayanımının değişimi ile 16 mm çaplılarda ise birleşimdeki düşük beton eğişimde çekme dayanımının değişimi ile paralellik gösterdiği görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

C8-C20, C12-C20, C16-C20 ve C20-C20 beton sınıflı olarak dört farklı grupta oluşturulan iki parçalı kirişlerin betonlama sırasında beton içerisine yerleştirilen ve mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile beton sertleştikten sonra epoksi yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen kimyasal bağlantılı ankrajlarla birleştirilmesi sonrası oluşturulan kiriş elemanlarının basit eğilme altında mekanik özellikleri belirlenmek üzere yapılan deneysel çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması,  $F_{max}$  çekme kuvvetlerinin beton sınıf gruplarında yaklaşık % 70 – 80 aralığında değişimine neden olmuştur. Bu oran, donatıların kesit alanları oranı ile benzerlik göstermektedir. Kimyasal ankrajlı birleşimlerde ise beton dayanım grubuna göre değişim göstermekte, 40Φ ankraj çubuklarında olduğundan daha az artış görülmektedir.
- $(\tau_{max})_{ort}$  gerilmelerinin betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması durumunda yaklaşık % 30 seviyesin bir artış oluşmuştur. Bu artış oranı,  $(\tau_{max})_{ort}$  hesaplanmasında kullanılan donatı çaplarının oranları ile aynıdır.
- Betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlar yapılan birleşimlerde ise donatı çapının 12 mm den 16 mm çıkması  $(\tau_{max})_{ort}$  gerilmelerinde azalmalara neden olmuştur. Beton dayanım grubu düşük olan serilerde azalmalar daha fazla olmuştur. Kimyasal ankrajlı birleştirmelerde, donatı çapı artışının  $F_{max}$  çekme kuvvetlerinde sağladığı artış,  $(\tau_{max})_{ort}$  aderans gerilmelerinde görülmemektedir. Donatı çapı küçük olan kimyasal ankrajlı birleştirmelerde aderans gerilmeleri daha yüksek olduğundan yapışmanın etkinliği daha iyi olduğu görülmektedir.
- Beton dayanım gruplarının sınıfı yükseldikçe  $(\tau_{max})_{ort}$  aderans gerilme oranlarının değişimleri betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında daha az olurken, kimyasal ankrajlı birleşimlerde ise daha fazla olmaktadır. 40Φ ankraj çubuklarında nervür etkisinden dolayı göçme betonun parçalanması şeklinde olduğundan aderans gerilmeleri beton dayanımı artıkça betonun mekanik özellikleri ile ilişkili bir artış görülemediği görülmüştür.

- Beton sertleştikten sonra yerleştirilen kimyasal ankrajlarla oluşturulan birleşimlerinin beton dayanım gruplarına göre  $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$  aderans gerilme oranlarının değişimleri 12 mm çaplılarda birleşimdeki düşük beton basınç dayanımına göre TS 500/2000’de ifade edilen karakteristik çekme dayanımının değişimi ile paralellik göstermektedir. 16 mm çaplılarda  $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$  aderans gerilme oranlarının değişimleri ise kimyasal ankrajın kullanıldığı iki parçalı kirişten düşük beton dayanımlı olanın eğilmede çekme dayanımının değişimi ile benzerlik sergilemektedir.
- Aynı çalışma grubu içerisinde yer alan ve Altan (2013) yapmış olduğu tez çalışmasında aksel çekme altında ankrajların mekanik özelliklerinin incelenmesinde, beton sınıflarına göre aynı donatı çapı, derinliği ve bağlantı türü ile üretilen ankraj numunelerinin aksel çekme altındaki  $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$  ortalama aderans gerilmelerinin değişimleri betonun basınç dayanımına göre TS 500/2000’de ifade edilen karakteristik çekme dayanımının değişimi ile paralellik göstermektedir. Ankraj donatılarının çapı  $\Phi 12$  mm’den  $\Phi 16$  mm çıkması mekanik ve kimyasal bağlantılı durumda  $F_{\max}$  maksimum sıyrılma kuvvetini yaklaşık %50 oranında artırmış ama  $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$  ortalama aderans gerilmelerinde yaklaşık %15 mertebesinde azalmalara neden olmuştur.
- Eğilme etkisinde kalan ankrajlarda donatı çapı küçüldükçe aksel çekme etkisindeki davranışlar etkin olurken donatı çapı arttıkça basit eğilme etkisindeki davranışlar ön plana çıkmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında betona sonradan kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yerleştirilen ankrajların eğilme etkisi altında kalması durumunda, betonlama sırasında  $40\Phi$  kenetlenme boyuna sahip ankrajlarla aynı etkileri elde edebilmek açısından donatı çapı küçük derinliği ise en az mekanik kenetlenme boyu gereksiniminin yarısı kadar bir derinlikte kullanılmasının yeterli olabileceği söylenebilir. Kimyasal ankraj yapılacak eğilme etkisi altındaki betonarme elemanlarının istenilen düzeyde etkinliğinin sağlanabilmesi açısından beton sınıfının C12’nin üzerinde olması deneysel sonuçlar ışığında önerilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

ACI (1991). State-Of- The-Art-Report On Anchorage To Concrete. Acı 355.1r-91, American Concrete Institute. Detroit. MI ACI Committe 355.

Altan (2013), Betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme etkileri altında mekanik özelliklerinin incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.

ASTM E 488-96 Standard test methods for strength of anchors in concrete and masonry elements, (Reapproved 2003) Annual Book of ASTM Standards, *American Society for Testing and Materials, Philadelphia.*

Berktaş İ., (2003), Betonarme 1- Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları, Medya Basın Yayın Dağıtım, İstanbul.

Cook R.A. (1993). Behavior Of Chemically Bonded Anchors, *Asce Journal Of Structural Engineering*, vol. **119**, No. 9, 2744-2762.

Demir vd.,(2009), Epoksi Türünün Ankraj Performansına Etkisi , 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük (Demir et al.2009).

DBYYHY 07, Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.

Ersoy U., (2000), Betonarme- Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Basın Yayın Dağıtım, İstanbul.

Gürbüz T., (2007), Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların aksel çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Kolsan İnş. Otom. San. Tic. A.Ş. (2013) Beton analiz raporu

- Kumbasar ve İlki , (1999), Betonarme elemanların tekrarlı yükler altında doğrusal olmayan davranışı, Tübitak Projesi, Proje no. İntag-559, İstanbul.
- Kurt, B. (2006). Betonarme Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kürklü , (2011), Yüksek sıcaklıkta betonarme yapı elemanlarında donatının mekanik özelliklerinin değişiminin incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Afyonkarahisar.
- Mazılıgüney, L. (2007). Tensile Behavior Of Chemically Bonded Post-Installed Anchors In Low-Strength Reinforced Concretes. The Degree of Master of Science, Middle East Technical University
- Özturan vd.,(2004), Kimyasal, Harçlı ve Mekanik Ankrajların Çekme ve Kesme Yükleri Altındaki Davranışları1 *İMO Teknik Dergi*, 2004, 3105-3124, Yazı 208(Özturan et.al 2004).
- Gesoğlu, M. vd. (2004). Kimyasal, Harçlı ve Mekanik Ankrajların Çekme ve Kesme Yükleri Altındaki Davranışları. *İMO Teknik Dergi*. 3105-3124, yazı 208
- Seyhan E.C., (2006), Kimyasal ankrajların davranışlarının İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- TS500/2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1984.
- Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, (2006), Betonarme Demiri ve Beton Arasındaki Aderans Dayanımına Mineral Katkıların Etkisi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi* Science and Eng. J of Fırat Univ. 18 (3), 351-357, 2006
- Tanyıldızı, H. (2006), Beton Tipi ve Donatı Boyutlarının Beton ve Çelik Yüzeleri Arası Dayanıma Etkisinin Kür Şartları Altında İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, T. (2006), Betonarme Yapılarda Tasıyıcı Sistem ve Donatı Düzenleme ilkeleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz vd., (2010), Kimyasal ankrajların dayanımını etkileyen faktörler, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt:XXIII, Sayı:1, (et al.2010)

Yılmaz vd.,(2011), Düşük dayanımlı betonlarda ankraj kesme kapasitesinin hesaplanması, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran, 2011, İstanbul

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Merdan Törehan TURAN  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : ANKARA/28.08.1986  
**Yabancı Dili** : İngilizce, Rusça, Azerice  
**İletişim (Telefon/e-posta)** : 0532 441 46 39 torehann@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

**Lise** : Ankara Yenimahalle Anadolu Teknik Lisesi/2004 - Elektronik  
**Lisans** : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2006-2010 – Yapı Öğretmenliği  
**Yüksek Lisans** : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2010- – Yapı Eğitimi ABD  
**Yüksek Lisans** : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2013- – İnşaat Mühendisliği ABD

### Çalıştığı Kurumlar (Kurum, Ay ve Yıl)

Knauf A.Ş. (Temmuz 2013 - )  
Oti Holding (Nisan 2013 – Mayıs 2013 )  
Astra Yapı ve İşletmeciliği San. Ve Tic. A.Ş. (Ocak 2013 – Mart 2013 )  
Oti Holding (Mayıs 2012 – Ekim 2013 )