

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNEM ÖZDEMİR

DANIŞMAN

Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

EKİM,2013

Bu tez çalışması 11.FEN.BİL.25 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

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

**Sinem ÖZDEMİR**

**DANIŞMAN  
Doç. Dr. Osman ÜNAL**

**YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**Ekim, 2013**

## TEZ ONAY SAYFASI

Sinem ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Kesme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğini 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.Osman ÜNAL

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

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 çalışmada;**

- 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 yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**08/10/2013**

**Sinem ÖZDEMİR**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

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

Sinem ÖZDEMİR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Osman ÜNAL

Bir yapının hatalı ve eksik projelendirilmesi, uygulama sırasında yapılan hatalar, yapı elemanlarında ortaya çıkan hasar ve zayıflık belirtileri, yapının zaman içinde kullanım amacının değişmesi nedeniyle taşıyıcı sistemde yapılan değişiklikler gibi birçok nedenle güçlendirme gerekliliği ortaya çıkabilir. Betonarme binaların onarım ve güçlendirme çalışmalarının da epoksi enjeksiyonu, çelik manto, betonarme manto ve betonarme perde ilavesi gibi yöntemler kullanılmaktadır. 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.

Bu tez çalışmasında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında betona sonradan kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yerleştirilen ankrajların kesme etkisi altında kalması durumunda, betonlama sırasında 40Φ kenetlenme boyuna sahip ankrajların yüksek kesme kapasitesine sahiptir. Aynı kesme kapasitesinin

sağlanabilmesi açısından kimyasal ankraj boy artışıının yeterli olamayacağı bu yüzden daha sık ankraj çubuğu konulmasının daha etkin olabileceği söylenbilir. Kimyasal ankraj yapılacak kesme etkisi altındaki betonarme elemanlarının istenilen düzeyde etkinliğinin sağlanabilmesi açısından beton sınıfının C12'nin üzerinde olması deneysel sonuçlar ışığında önerilebilir.

**2013, xii+54 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Aderans, kimyasal ankraj, betonarme kiriş, kesme kuvveti

## **ABSTRACT**

M.Sc Thesis

### THE INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF CHEMICALLY BONDED POST-INSTALLED IN CONCRETE FOR SHEAR FORCE EFFECTS

Sinem ÖZDEMİR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Osman ÜNAL

A building could require to be further reinforced depending on such reasons as wrong and incomplete project designing, mistakes made during application, signs of damages and weaknesses detected in the structural elements and modifications made due to changes in the intended use of building in the course of time. Techniques such as epoxy injection, steel jacket, reinforced concrete jacket and reinforced concrete shear wall addition are employed in the repair and retrofitting works of the reinforced concrete structures. Chemical anchorages are bond type anchorages made to a hole drilled subsequently in the cured concrete. Bonding the new reinforcements required for increasing the cross section of existing structural system elements or integrating new additional structural elements to the existing system, with chemical anchorages is the most employed technique in the strengthening of reinforced concrete structures. Chemical anchorages are frequently used due to the fact that they feature high adherence strength, and can be applied fast and easily as well as they can provide users with great flexibility during planning, design and application phases.

In this thesis study, mechanical properties of chemical anchorages attached subsequently to reinforced concrete have been determined under the effects of shear forces. As a result of experimental works, anchorages having  $40\Phi$  bonding length during concrete process have high shear capacity when anchorages attached subsequently to the concrete using chemical adhesives are under the effect of shear forces. One may say that more frequent anchorage bars are required in cases where

increasing the bonding length of chemical anchorage may not be sufficient in order to provide the same shear capacity. It may be recommended in consideration of the experimental results that concrete class must be above C12 in order to provide an efficiency at the required level in respect of the reinforced concrete elements under the effect of shear, to which chemical anchorage will be applied.

**2013,xii+54 pages**

**Key Words:** Adherence, chemical anchorage, concrete beam, reinforced



## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Osman ÜNAL'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Ali ERGÜN'e, desteğinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne deney numunelerinin hazırlanmasında katkıda bulunan üretici firma Kolsan A.ř.'ye, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

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

Sinem ÖZDEMİR

AFYONKARAHİSAR, 2013

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	5
2.1 Yapılan Çalışmalar .....	5
2.2 Aderans.....	9
2.2.1 Eğilme Aderansı .....	10
2.2.2 Kenetlenme Aderansı .....	10
2.2.3 Aderansın Nedenleri .....	12
2.2.4 Aderansa Etki Eden Değişkenler .....	13
2.2.5 Kimyasal Ankraj.....	14
2.2.6 Kimyasal Ankrajda Yük Aktarımı.....	15
2.2.7 Kimyasal Ankraj Dayanımını Etkileyen Parametreler .....	16
2.3 Kayma Etkileri .....	20
2.3.1 Basit Kirişte Kayma Etkileri.....	21

2.3.2 Betonarme elemanların kesme etkisindeki davranışı .....	23
3. MATERYAL ve METOT .....	25
3.1 Deneyde kullanılan numunelerin üretimi .....	26
3.1.1 Beton.....	32
3.1.2 Ankraj Çubukları .....	33
3.1.3 Kimyasal Yapıştırıcı .....	34
3.2 Deneyin Yapılışı.....	35
4. BULGULAR.....	39
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
6. KAYNAKLAR .....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	55

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$A_s$	Donatı kesit alanını
$C_0$	Katsayı
$C_1$	Katsayı
$f_{cd}$	Betonun tasarım basınç dayanımı
$f_{ck}$	Beton karakteristik basınç dayanımı
$f_{ctd}$	Betonun hesap çekme dayanımı
$f_{ctk}$	Betonun Karakteristik Çekme Dayanımı
$f_{yd}$	Donatının hesap akma dayanımı
$T$	Donatıdaki Çekme Kuvveti
$T_{max}$	Kesme Kuvveti
$T_x$	Kesme kuvveti
$T_y$	Kesme kuvveti
$\Delta M$	Betonarme elemanda oluşan moment
$\Delta_x$	Çubuk Uzunluğu
$\tau_b$	Aderans Gerilmesi
$\tau_{ort}$	Makaslama Gerilmeleri
$(\tau_{xz})_{ort}$	Ortalama Kayma Gerilmesi
$(\tau_{zy})_{ort}$	Ortalama Kayma Gerilmesi
$u$	Çubuğun Çevre Uzunluğu
$\ell_b$	Kenetlenme Boyu
$\emptyset$	Çubuğun Çapı
$\sigma_s$	Donatıdaki gerilme

### Kısaltmalar

---

ACI	American Concrete Institute
ASTM	Amerikan Malzeme Test Birliği
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
TS500	Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Aderans gerilme dağılımı.....	11
Şekil 2.2 Bulana uygulanan P yükü ve oluşan kesme kuvvetleri.....	20
Şekil 2.3 Dik kesitteki kesme kuvvetleri ve kayma gerilmeleri.....	21
Şekil 2.4 Basit kirişte eğilme momenti ve kesme kuvvetinin yayılışı.....	22
Şekil 2.5 Kesme Kuvveti Etkisindeki Eleman Davranışı ve Donatı Düzeni .....	23
Şekil 2.6 Kesme Kuvvetini Karşılama Etkili Donatılar .....	24
Şekil 3.1 Beton basınç dayanımı için üretilen standart küp, silindir ve prizma numuneler .....	27
Şekil 3.2 Kesme deney modeli için kiriş numuneleri.....	27
Şekil 3.3 Donatıların ortalama gerilme birim şekil değiştirme grafiği ( $\sigma$ - $\epsilon$ ).....	34
Şekil 3.4 Kesme deney modeli için yük düzeneği .....	37
Şekil 4.1 Ankaraj deneylerinin yapıldığı tarihteki beton numunelerinin mekanik özelliklerinin değişimi .....	41
Şekil 4.2 En düşük beton sınıfına göre dayanım oranları.....	41
Şekil 4.3 40Φ Mekanik Ankraj Boylular İçin $T_{max}$ Değişimleri.....	44
Şekil 4.4 Kimyasal ankrajlı 10Φ boylu donatılarda $T_{max}$ değişimleri .....	44
Şekil 4.5 Kimyasal ankrajlı 15Φ boylu donatılarda $T_{max}$ değişimleri.....	45
Şekil 4.6 En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 40Φ ankrajların kesme kuvvet oranları değişimleri.....	46
Şekil 4.7 En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 10Φ kimyasal ankrajların kesme kuvvet oranları değişimleri .....	46

- Şekil 4.8** En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 15Φ kimyasal ankrajların kesme kuvvet oranları değişimleri ..... 47
- Şekil 4.9** Aynı nitelikte beton grubu ve ankraj durumunda çap değişiminin kesme kuvvet oranları ..... 48
- Şekil 4.10** Aynı nitelikte beton grubu ve donatı çapı durumunda ankraj boyu değişiminin kesme kuvvet oranları ..... 49

## RESİMLER DİZİNİ

## Sayfa

<b>Resim 3.1</b>	Beton basınç dayanımı için üretilen standart küp, silindir ve prizma numuneler .....	28
<b>Resim 3.2</b>	Özel kalıp sisteminin hazırlanışı.....	29
<b>Resim 3.3</b>	Kiriş numunelerinin için hazırlanan kalıp sisteminin görünüşü .....	30
<b>Resim 3.4</b>	Kiriş parçalarının beton dökümü .....	31
<b>Resim 3.5</b>	Deney numunelerinin üretimi .....	31
<b>Resim 3.6</b>	Birleştirilmesi yapılmış deney numuneleri .....	32
<b>Resim 3.7</b>	Tez çalışmasında kullanılmak üzere hazırlanan donatı numuneleri .....	33
<b>Resim 3.8</b>	Tez çalışmasında kullanılan beton numuneler için çelik kılıflar .....	36
<b>Resim 3.9</b>	Kesmeye maruz bırakılan kiriş numuneler .....	38

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

<b>Çizelge 3.1</b> Kiriş numunelerini hazırlama bilgileri .....	29
<b>Çizelge 3.2</b> Üretici firmadan alınan beton özellikleri .....	32
<b>Çizelge 3.3</b> Tez çalışmasında kullanılan donatıların mekanik özellikleri.....	34
<b>Çizelge 3.4</b> Pattex CF 900 genel mekanik ve fiziksel özellikleri.....	35
<b>Çizelge 4.1</b> Amaçlanan beton sınıfı için üretilen numunelerin 28 günlük ortalama dayanım değerleri .....	40
<b>Çizelge 4.2</b> Üretilen numunelerin ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki ortalama dayanım değerleri .....	40
<b>Çizelge 4.3</b> Ankraj deneylerinin ortalama dayanım değerlerinin sonuçları değerleri....	43



## 1.GİRİŞ

Betonarme, betonun içine beraber çalışmayı sağlayacak donatıların yerleştirilmesi sonucu elde edilen bir malzemedir. Beton ve çelik çubukların uygun şekilde bir araya gelmesinden oluşan betonarmede, beton ve donatı çubuklarının özellikleri kadar bunların birbirlerinin zayıf taraflarını tamamlayacak şekilde bir araya getirilmeleri de önemlidir. Betonarmede genel olarak betonun görevi basınç, çeliğin görevi de çekme gerilmelerini karşılamaktır (Yılmaz, 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(Topçu ve Boğa, 2008).

Donatı ve beton arasında var olan bu bağ kuvvetleri nedeniyle donatıdaki gerilme, moment değişimine paralel olarak artar veya azalır. Aderans nedeniyle, büzülme ve sünme gibi betona ait deformasyonlar, donatıyı da etkiler (Ersoy,1985).

Düz yüzeyli çubuklarda aderans, yapışma ve sürtünmeye dayanmaktadır. Nervürlü çubukların aderansında sürtünme ve yapışma etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Nervürlü çubukların aderansı çubuk üzerindeki çıkıntılarının betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere, mekanik dış kuvvetleri denmektedir (Ersoy,1985).

Aderans gerilmeleri çelik ve beton arasındaki üç mekanizmayı içerir. Bunlar kimyasal yapışma, sürtünme ve mekanik kenetlenmedir. Başlangıçta aderans gerilmesi betonun hidratasyonu sonucu sertleşmiş çimento pastası ve çelik arasındaki zayıf kimyasal kenetlenmeden türemiştir. Sıyrılma olduğunda, sürtünmeler aderansa yardım etmiştir ve prensip olarak mesnetlenmeden veya beton ile dişli çubukların yüzeyindeki nervürlerin mekanik kenetlenmesinden aderans direnci ortaya çıkmıştır. Kimyasal yapışmanın etkisi küçüktür ve sürtünme kuvveti yapışma tükeninceye kadar gözükmez ve donatı ile beton arasında rölatif olarak yer değişme oluşur. Her iki mekanizma düz yüzeyli çubuklar için

önemlidir. Nervürlü çubuklarda betona gömülmüş donatıların nervürlerinin mekanik kenetlenmesi aderans gerilmesi-deformasyon davranışına hükmeder.

Nervürlü çubukların aderans dayanımı, öncelikle nervürlerin çevresini saran betona karşı gösterdikleri taşıma gücüne bağlıdır. Çubuk nervürü yüzü boyunca, çelik ve beton arasındaki sürtünme, nervüre göre rölatif kayma sonucu beton dışı önlemeye yardım etmekle aderans dayanımı geliştirmede önemli rol oynar. Sürtünmeden dolayı oluşan kuvvet, nervüre dik etki eden aderans taşıma bileşenine vektörel olarak eklenir. Bileşke aderans kuvvetinin düşey bileşeni ise, donatıyı çevreleyen betona dik etki eden radyal basınçtır. Yatay bileşen ise, etkin aderans dayanımıdır (Kürklü,2011).

Bir yapının hatalı ve eksik projelendirilmesi, uygulama sırasında yapılan hatalar, yapı elemanlarında ortaya çıkan hasar ve zayıflık belirtileri, yapının zaman içinde kullanım amacının değişmesi nedeniyle taşıyıcı sistemde yapılan değişiklikler gibi birçok nedenle güçlendirme gerekliliği ortaya çıkabilir. Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler sonrası mevcut yapı stoğu incelendiğinde, büyük bir kısmının 2007 DBYBHY öngörülen performans seviyelerinin gerçekleştiremediği ortaya çıkmaktadır. Yeterli performansa sahip olmayan bu yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Betonarme binaların onarım ve güçlendirme çalışmaların da epoksi enjeksiyonu, çelik manto, betonarme manto ve betonarme perde ilavesi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Epoksi enjeksiyonu yöntemi kolon, perde ve giriş elemanlarında oluşmuş olan çatlakların belli bir genişliği aşmadığı yapılarda betonun aderansının artırılması amacıyla epoksi enjeksiyonu kullanılabilir. Çelik ile mantolama yönteminde kolon ve giriş içinde olması gereken sargı donatısı, bantlar kullanılarak elemanın dışında sağlanır. Bu şekilde kolonun hem aksenal yük kapasitesi artırılır hem de daha yüksek süneklik elde edilir. Çelik manto, katlar arası süreklilik sağlanamadığı için kolonun eğilme kapasitesine bir katkı sağlamamaktadır. Ayrıca, sargı etkisini arttırabilmek amacıyla çelik veya karbon fiberli levhalar yapıştırılabilir. Betonarme mantolama yöntemi en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntem genellikle kolonlarda uygulanır. Bu yöntem ile kolonun hem aksenal yük kapasitesi hem de sünekliği artırılabilir. Manto içerisine yerleştirilen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanırsa, kolonun

eğilme kapasitesi de artar. Mevcut kolon ile yeni dökülecek manto betonunun aderansının yüksek olabilmesi için mevcut kolonun donatıları ortaya çıkıncaya kadar kabuk betonu kırılmalıdır.

Mevcut bir yapının depreme karşı güçlendirilmesi için sisteme sonradan eklenen betonarme elemanların mevcut taşıyıcı sistemle birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla donatı filizlerinin betona ekilmesini gerekir. Bu ekme işleminde farklı kimyasal reçineler kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan reçinelerin içerisinde ankraj epoksileri önemli bir yer tutmaktadır.

Epoksi, likit olarak uygulanan ve kuruduktan sonra suya, asitlere ve alkaliye dirençli bir madde haline gelen zaman içerisinde bu direncini yitirmeyen, kolay temizlenen, mekanik mukavemeti yüksek, bir çok alanda kullanılan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir.

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 Gürbüz vd.( 2007).

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların davranışı ASTM E488'e göre tanımlanan ya aksenal çekme ya da kesme etkisi altında incelenmiştir. Tez çalışmasında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tez kapsamında özel olarak tasarlanacak aparatlar arasına yerleştirilecek iki parçalı beton kiriş numunelerinin kesme etkisi oluşturacak yükleme durumunda kaldıraç özellikleri inceleyecek test türü uygulanmıştır. Uygulanan test türünde, mevcut beton dayanımı, ankraj edilen çeliğin özellikleri ve ankraj derinlikleri gibi parametreler incelenmiştir.

Deneysel çalışmaların uygulama alanındaki mevcut duruma bire bir uyum sağlaması için deneylerde Türkiye'deki mevcut yapıları temsil etmek üzere beton dayanımı 8, 12, 16 ve 20 Mpa olan betonlar kullanılmıştır. Ankraj çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm kullanılmış ve ankraj derinliği ise  $10\Phi$  ve  $15\Phi$  olarak alınmıştır.

Sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme davranışının belirlenmesinde ise, (Kumbasar, 1999) yapmış olduğu TÜBİTAK proje kapsamında kullanılan deney düzeneğinden yararlanıldı. Deneyler, çelik yükleme çerçevesi içerisinde oluşturulacak deney düzeneği ile gerçekleştirildi. Deney düzeneği, çelik profiller, levhalar ve bunların sabitlenmesi için yüksek mukavemetli bulonlardan oluşmaktadır. Deneyde kullanılacak kiriş elemanları iki parçalı kiriş olarak dökülmüştür. Bir parça mevcut betonu temsil edecek beton dayanımında diğer parça ise ilave edilecek yeni elemanın beton dayanımında olacak şekilde seçilmiştir. Parçalara betonlama sırasında düz düzeyli donatılar ankraj boyu derinliğinde yerleştirilip, prizini almaya başladıktan hemen sonra çekilerek kimyasal ankrajlar için boşluklar oluşturuldu. Bu boşlukların çapı, yerleştirilecek kimyasal ankrajlı donatının çapından 4 mm fazla olacak şekilde ayarlandı. Betonlar yeterli sertleşmeyi sağladıktan sonra epoksilerle kimyasal ankrajlar boşluklara yerleştirildi. Kimyasal ankrajlarla birleştirilen iki parçalı beton deney elemanları bir ucundan sabitlenerek diğer ucun birleşim noktasına kuvvet uygulanarak kimyasal ankrajlar kesmeye zorlandı.

Bu tez çalışması kapsamında farklı özellikteki betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özellikleri belirlenerek, malzeme değişimlerinin kesme kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2.LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda uluslararası alanda olduğu gibi ülkemizde de kimyasal ankrajlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, betonarme elemanlarının içerisinde farklı tiplerde kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak, beton dayanımı, ankraj çapı, ankraj derinliği gibi parametreler incelenmiştir.

Demir ve diğerleri (2009) yaptıkları çalışmada epoksi türünün ankraj performansına etkisini araştırmışlar. Yaptıkları çalışmada ankraj malzemesi olarak uygulamada yaygın biçimde kullanılan BÇI sınıfı donatı seçilmiştir. Donatıların betona eklenmesinde reçine bazlı iki farklı firmanın ürettiği epoksi kullanılarak numuneler üretilmiştir. Numunelere çekip-çıkarma (pull-out) testi uygulanmış, ankraj delik çapı ve ankraj gömme derinliğinin test sonuçlarına etkisi araştırılmıştır.

Test sonuçlarının istatistiksel analizi sonucuna göre; delik çapının donatı çapına yakınlığının sıyrılma direncini artırdığı görülmüştür. Ankrajların gömme derinliğinin sıyrılma direncine etkisinin olmadığı saptanmıştır. Farklı firmaların ürettiği epoksilerin birbirlerinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Özturan ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada kimyasal, harçlı ve mekanik ankrajların çekme ve kesme yükleri altındaki davranışları incelemiştir. Bu kapsamda yalın ve lif katkılı normal ve yüksek dayanımlı beton bloklar üzerine yerleştirilen kimyasal, harçlı ve genişleyen tip mekanik ankrajlar üzerinde toplam 130 adet deney yapılmıştır. Deney sonuçları, ankraj çapı ve ekme boyunun artışıyla ankraj göçme yükünün arttığını, betondaki çelik lif katkısının ankrajın daha sünek bir davranış göstermesine neden olduğunu, beton basınç dayanımındaki artışın ankraj yük taşıma kapasitesini arttırdığını, tekrarlı yükleme altında ankraj rijitliğinde azalma görüldüğünü göstermiştir.

Yılmaz ve diğeri (2010) kimyasal ankrajların dayanımını etkileyen faktörleri araştırmışlar. Çalışma kapsamında, kimyasal ankrajlarla ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalar derlenerek ankraj dayanımını etkileyen faktörler irdelenmiştir. Sonuç olarak ankraj dayanımını etkileyen faktörlerden bağlayıcı cinsi ve ankraj deliğinin temizlik durumunun diğeri göre daha baskın olduğu görülmüştür. Ekme boyunun ve beton sınıfının belli bir değere kadar etkili olduğu daha sonrasında ise dayanıma etkisinin sınırlı kaldığı gözlenmiştir.

Mazılıgüney (2007) yaptığı tez çalışmasında kimyasal ankrajlarda kopmalar beton, yapışkan-beton ara yüzeyi veya ankraj edilen malzemede oluşabileceğinden, kimyasal ankrajın nihai dayanımı beton dayanımı, ankraj edilen malzeme (bu çalışma için çelik) özellikleri ve ankraj derinliğinin etkileri birlikte değerlendirilerek tahmin edilebilir. Bu çalışmada her üç etken ve ankrajla ilgili mevcut tablo ve denklemlerin tahminleri saha testleriyle incelenmiştir. Çekme dayanımı çapraz ankraj kesit alanıyla başarısız yük bölünmesi tarafından hesaplanmıştır. Çekme dayanımı belirtilen ankrajların veriminden daha güçlüdür. Bağ kuvvetleri etkili gömme derinliği alınarak gerçek gömme derinliğinden 5mm daha kısa bulunmuştur.

Yılmaz ve diğeri (2011) yaptıkları çalışma kapsamında düşük basınç dayanımına sahip betonlara ekilen kimyasal ankrajların tersinir tekrarlı kesme yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. Çalışmada 5, 10 ve 16 MPa basınç dayanımına sahip betonlara ekilmiş 27 deneyden elde edilen deney 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. Elde edilen sonuçlar Türk Deprem Yönetmeliğinde güçlendirme ankrajları ile ilgili olarak verilen çok sınırlı düzeydeki hükümlerde revizyonlar yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Seyhan (2006) yaptığı tez çalışmasında kimyasal ankrajların davranışlarının incelemiş Türkiye'deki mevcut yapıları temsil etmek üzere seçilen düşük dayanımlı bir beton içerisine farklı tiplerde kimyasal yapıştırıcılar kullanıldığı, ankraj çapının, ankraj derinliğinin, donatı çapının ve ankraj deliklerinin hazırlanma yöntemlerinin değişken

olarak incelendiği kimyasal ankrajlara yönelik bir dizi deney yapılmıştır. Bu çalışmada beş farklı malzeme kullanılarak üretilmiş toplam 80 adet ankraj eksenel çekme yükleri altında denenmiştir. Ankrajların yapıldığı betonun deney sırasındaki basınç dayanımı 16 MPa olup her ankraj incelenen değişkenlere bağlı olarak birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Deney sonuçları her bir değişken için diğer değişkenler sabit tutularak ayrı ayrı değerlendirilerek değişkenlerin ankraj davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Gürbüz (2007) yaptığı tez çalışmasında 85 adet ankraj numunesinin çekip çıkarma deneyi yapmış, numunelerin yük–yer değiştirme ilişkileri, eksenel yük kapasiteleri ve göçme modlarını tespit etmiştir. Ankraj numunelerinin uygulandığı taban bloklarında Türkiye’deki mevcut betonarme binalardaki düşük beton kalitesini temsil edecek şekilde düşük dayanımlı beton kullanmıştır. İlgili çalışmada güçlendirme çalışmalarında uygulanabilecek farklı bir ankraj detayı olan kısmi bağlı ankrajlara yönelik kapsamlı araştırma yapılmıştır. Düşük dayanımlı betona yapılan kısmi bağlı ankrajlar, aynı bağlı ankraj derinliğine sahip tam bağlı ankrajlara kıyasla daha yüksek performans sergilemişlerdir.

Gürbüz ve diğerleri (2007) yaptıkları çalışma kapsamında farklı dayanımlarda iki tip beton blok içerisine, iki farklı tipte kimyasal yapıştırıcı kullanılarak, ankre edilen donatı çubukları üzerinde, ankraj derinliğinin (6Φ, 8Φ, 10Φ ve 12Φ) ve donatı çapının (16Φ ve 20Φ) değişken olarak incelendiği bir dizi çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Deneysel programda 24 adet ankraj numunesinin çekip çıkarma deneyleri yapılmış, numunelerin yük–yerdeğiştirme ilişkileri, eksenel yük kapasiteleri ve göçme biçimleri tespit edilmiştir. Ankraj numunelerinin uygulandığı taban bloklarında Türkiye’deki mevcut betonarme binalardaki düşük beton kalitesini temsil edecek şekilde iki farklı kalitede (basınç dayanımları 12 ve 16 MPa olan) düşük dayanımlı beton kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan deney düzenekleri göçme şeklinin beton konisi şeklinde oluşmasına izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Uygulamada sıkça kullanılan 10Φ ankraj derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına ulaşmadan erken göçme meydana geldiği gözlenmiştir.

Bu tez çalışması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda yapılan üçlü tez çalışma grubunun bir ayağını oluşturmaktadır. Tez çalışma konuları betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankajların aksel çekme, eğilme ve kesme etkileri altında mekanik özelliklerin incelenmesidir. Bu tez çalışması kapsamında daha önceki çalışmalarda incelenen parametreler burada bir araya getirilerek betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankajların, üçlü tez çalışma grubunun bir ayağı olan kesme etkileri altında davranışları incelenmiştir. Ayrıca direkt kesmeye çalışacak biçimde tez çalışması içerisinde özel olarak tasarlanmış deney düzeneğinden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında mevcut yapı stoğunda yer alan binaları temsil etmek amacıyla düşük dayanımlı beton sınıfı C8/12, C12/15, C16/20 ve C20/25 kullanılmıştır. Çalışmada ankraj çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm ve derinliği ise 10Φ ve 15Φ seçilmiştir. Ayrıca, kimyasal ankrajların kesme kapasitelerinin karşılaştırması amacıyla mekanik ankraj olarak nitelendirilen betonlama sırasında her bir parçaya 40Φ uzunluğunda donatılar yerleştirilerek teşkil edilen deney elemanları da üretilmiştir. Üretilen deney numuneleri üzerinde yapılan test sonrasında, betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özellikleri belirlenmiştir.



## 2.2 Aderans

Betonarme olarak tanımlanan, beton ve çelik çubuklardan oluşan elemanlar arasında kenetlenmeyi sağlayan kayma kuvvetlerine 'aderans' denir. Aderans kuvveti beton içindeki çubukların kaymasını önler, kenetlenmeyi sağlayarak beton ve çubukların beraber çalışmalarını sağlar(Kurt,2006).

Betonarmenin, betonla çeliğin beraber çalıştığı kompozit bir malzeme olduğu bilinmektedir. Betonarme yapılarda, beton ve donatının birlikte çalışması için betonun donatıya tam olarak yapışması gerekir. Çekme gerilmesi taşıyan donatının betondan sıyrılmaması için beton ile arasında en üst düzeyde yapışma olması, bir başka deyişle donatıdaki çekme kuvvetinin beton ve yapışma ile dengelenmesi gerekir. Bu işlem; donatının betona bağlanması, ankrajlama olarak tanımlanır. Onarım veya güçlendirme işlemi sırasında betonarme elemana konulacak ek donatıların iyi ankrajlanması çok önemlidir.

Aderans olayı betonarmenin en önemli faydalı özelliklerinden biridir. Bu suretle iki malzemenin beraberce kullanılması ve birbirini tamamlaması mümkün olur. Donatıda meydana gelen gerileme 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 düz yüzü ile çimento harcı arasındaki kimyasal yapışma sonucu ortaya çıktığı düşünülürse de, düşük zorlamalar bile bu yapışmayı çözer ve çubuk sıyrılır. Bu tür sıyrılmaların başlamasıyla sürtünme ve kayma etkisi ile oluşan aderans başlar.Sürtünmeden ortaya çıkan aderans donatı çubuğunun pürüzlülüğüne bağlıdır. Dikkatli incelendiğinde düz yüzeyli 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, adetansın kolayca çözümlmesine sebep olur(Tanyıldızı ,2006).

### 2.2.1 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 gerilmenin 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,1985).

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

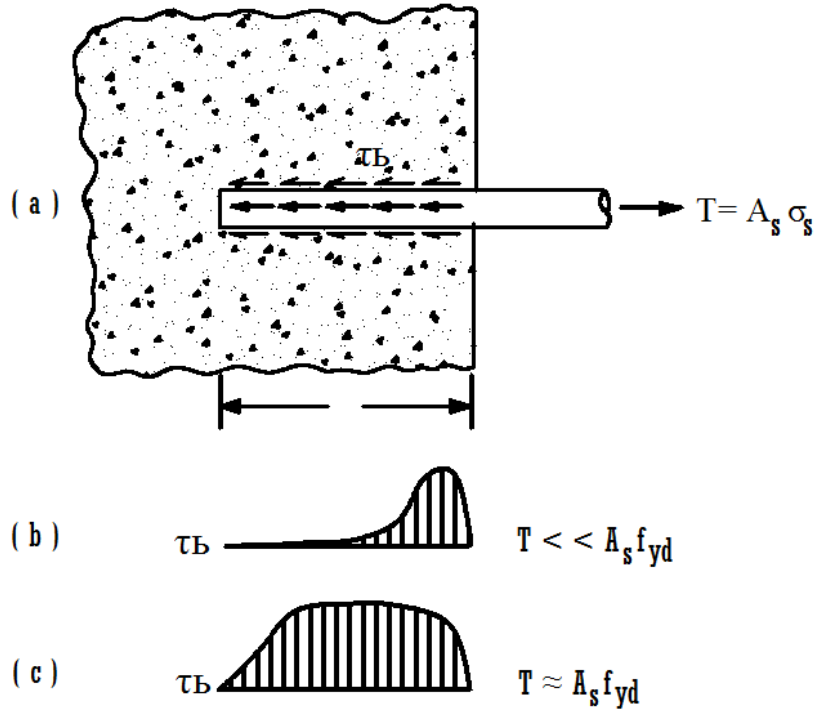
Yukarıdaki denklemde,  $\tau_b$  aderans gerilmesi, u ise çubuğun çevre uzunluğudur.  $\frac{\Delta M}{\Delta X} = V$  olduğundan, denklem (2.2) aşağıdaki gibi yazılabilir.

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

### 2.2.2 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 yarabilir. 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 2.1(a) beton bir kütleye 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,1985).



Şekil 2.1 Aderans gerilme dağılımı, Ersoy (1985)

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,1985).

$$\sum \tau b = T$$

$$\tau_b(\pi\phi)\ell_b = A_s f_{yd} = \frac{\pi\phi^2}{4} \quad (2.3)$$

$$\ell_b = \frac{f_{yd}}{4\tau_b} \phi$$

Denklemdaki  $\phi$ , 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 (2.4) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\ell_b = C_0 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \quad (2.4)$$

Denklem (2.4), kenetlenme boyunu veren temel denklemdir. Katsayı  $C_0$ 'ın deneysel olarak saptanması gerekir.

### 2.2.3 Aderansın Nedenleri

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

- a) Çelik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moleküller 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,1985).

#### **2.2.4.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 (1985)'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 veya nervürsüz oluşu
- d) Donatı çapı çap değiştiğinde kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Ayrıca, yarıma kırılmasında betonda oluşan çekme gerilmeleri de çapla orantılı olmaktadır.
- e) Aderans kenetlenme boyu ile değişir. 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 kütleyle 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. Puzzolanlı katkı maddeleri de aderansı olumsuz yönde etkileyebilir (Ersoy,1985).

### **2.2.5. 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 aksel 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 bağı olarak ankraj çekip çıkarma deneylerinde farklı göçme modlarına rastlanmaktadır (Gürbüz vd. 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 yapışma sağlarlar.

### **2.2.6 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 bağı 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 dış kuvvetleridir (donatı üzerinde bulunan nervürler nedeniyle oluşmaktadır.)(Gürbüz,2007).

### **2.2.7 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 kuru 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 kuru 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 baslar. Ankraj derinliği ile ankraj kapasitesi arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması, gerçekte ankraj derinliği boyunca oluşan kayma gerilmelerinin düzgün yayılı olmadığına 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.

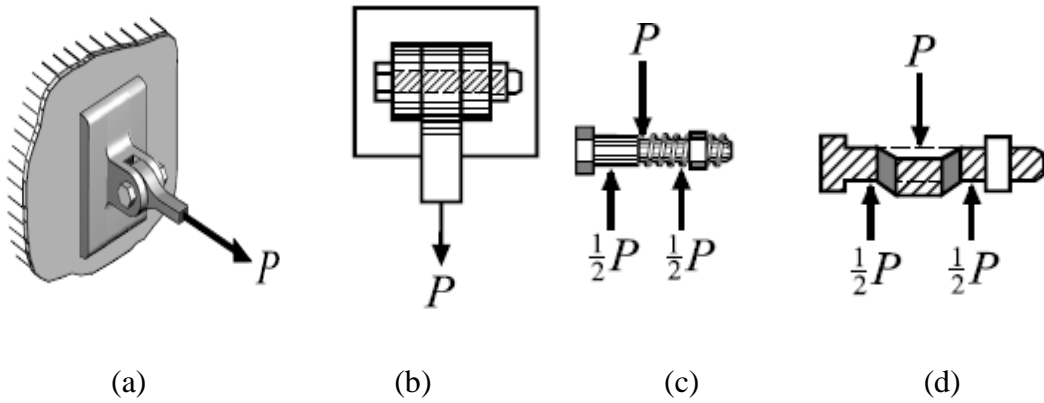
- j) Yükleme tipi ve hızı: Ankrajların kapasiteleri çekme, kesme ve eğilme etkileri altında farklıdır. Yüklemenin statik veya dinamik olması da kapasiteleri değiştirmektedir(Gürbüz 2007).

### 2.3 Kayma Etkileri

Kayma gerilmesi, kesmenin etkisiyle meydana gelir. Uygulamada sadece kesme kuvveti ile oluşan kayma gerilmesi problemleri sınırlıdır. Çünkü çubukta kesme kuvveti varsa, diferansiyel bağıntı,

$$T = \frac{dM}{dz} \quad (2.5)$$

göre eğilme momentide bulunmalıdır. Şekil 2.2(a) daki gibi P yükünün nasıl taşındığını incelenirse bağlantının karşıdan görünüşü için bulon şekil 2.2(b) taranarak çizilmiştir. SCD Şekil 2.2(c) deki gibidir. P yükü arttıkça bağlantı çeşitli biçimlerde zorlanır. Bunlardan bir tanesi Şekil 2.2(d) çizilmiş olan ve birbirine çok yakın aralıklarla uygulanmış kesme kuvvetinin bulon üzerindeki kesme (makaslama) etkisidir.

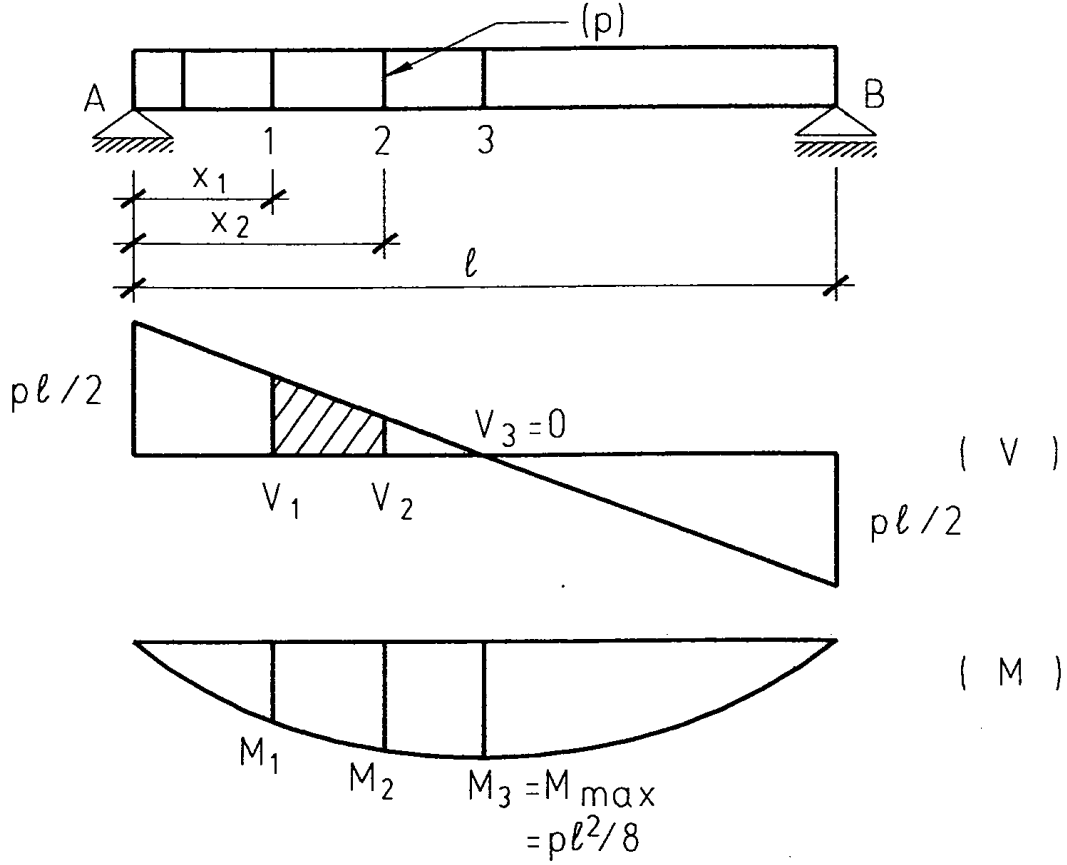


Şekil 2.2 Bulana uygulanan P yükü ve oluşan kesme kuvvetleri

Şekil 2.3deki, dik kesitte kesme kuvvetleri  $T_x$  ile  $T_y$  nin neden olduğu kayma gerilmeleri  $\tau_{zx}$  ile  $\tau_{yz}$  kesit düzlemi içindedir.



kesit tesirleinden doğan gerilmeler farklı nitelikte gerilmelerdir ve etkileri ayrı ayrı incelenebilir.



Şekil 2.4 Basit kirişte eğilme momenti ve kesme kuvvetinin yayılışı

Basit eğilme, açıklık boyunca tek kesitte vardır: bu örnekte  $x=l/2$ ;  $V=0$ ;  $M \neq 0$ . Ancak bu, herhangi bir kesit değildir. Momentin maksimum olduğu kesittir ve ileride görüleceği gibi, kiriş eğilme donatısı bu momente göre belirlenir. Benzer şekilde bu örnekte mesnet kesitlerinde,  $M=0$ ;  $V \neq 0$ , yani basit keme hali vardır; kesme kuvveti maksimumdur ve kirişin kayma donatısı bu değere göre hesaplanır.

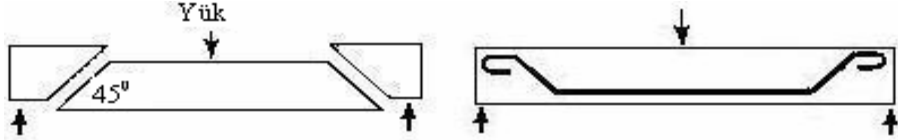
Mühendislik pratiğinde; kirişler önce basit eğilme etkisine göre hesaplanıp eğilme donatıları bulunur; daha sonra kesme kuvvetine göre gerekli kayma donatısı hesaplanır. Böylece kiriş eğilme ve kesme etkilerine dayanıklı hale gelir(Berktaş,2003).

### 2.3.2 Betonarme Elemanların Kesme Etkisinde Davranışı

Kesme kuvvetine maruz betonarme yapı elemanlarının dayanım hesabı kayma gerilmeleri esas alınarak yapılır. Aslında betonarmenin emniyeti açısından önemli olan bu kayma gerilmeleri değil, bunların oluşturduğu asal çekme ve basınç gerilmeleridir.

Betonun kayma ve basınç dayanımı çekme dayanımından yüksek olduğundan, basit kayma durumunda bile kırılma asal çekme gerilmeleri nedeniyle oluşur. Asal çekme gerilmeleri, kayma gerilmelerinin etkidiği yüzeye  $45^\circ$  lik açı yapan bir düzlem üzerinde etkiyeceğinden kırılma, asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan eğik bir çatlakla meydana gelir. Bu tür çatlama eğik çatlak olarak adlandırılabilir. Asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşan bu tür çatlaklar son derece tehlikelidir ve ani kırılma dediğimiz gevrek kırılmaya neden olabilirler.

Kayma donatısı bulunmayan elemanların kesme etkisinde kırılmaları bu tür ani ve gevrek olur. Bu tür kesme kırılması olduğunda, eleman eğilme kapasitesine ulaşamaz. Bu nedenle, kayma donatısı yerleştirilen betonarme elemanda, sözü edilen eğik çatlaklar kılcal düzeyde kalarak, elemanın eğilme kapasitesine erişmesini sağlayacaktır (Ersoy, 1987).



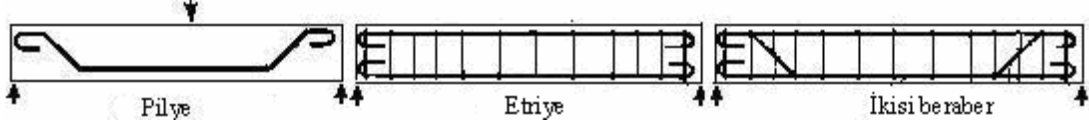
Şekil 2.5 Kesme Kuvveti Etkisindeki Eleman Davranışı ve Donatı Düzeni

Bu tekil yük kirişi aşağıya doğru iterken, mesnetlerdeki tepki kuvveti kirişi yukarıya doğru kaldırmaya çalışacaktır. Bu durumda çatlakların oluşabileceği düzlemlerde kesme kuvveti oluşacaktır.

Mevcut kesme kuvveti sebebiyle meydana gelecek gevrek kırılmayı önlemek için, elemana yerleştirilebilecek donatı düzenleri şekil 2.6'te gösterilmiştir. Buradaki donatıların kesmeye karşı etkisi sırasıyla artmaktadır.

Sekil 2.6'te gösterilen pilye olası çatlak yerleşimine dik doğrultuda yerleştirilmiş donatı düzenidir. Bu donatı tipi çatlak yön değiştirdiği zaman etkisiz olmaktadır. Şekil 2.6'te

gösterilen etriyelerde ise donatılan elemanın kesmeye karşı direnci oldukça iyidir. Şekil 2.6'da ikisinin beraber kullanımı kesme kuvvetinin karşılanmasında en etkili donatı düzeni olup, kesme kuvvetinin şiddetli olduğu yerlerde betonarme elemanın iyi davranış sergilemesinde fayda sağlar(Yılmaz,2006).



Şekil 2.6 Kesme Kuvvetini Karşılama Etkili Donatılar



### 3. MATERYAL VE METOD

Betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tez kapsamında özel olarak tasarlanmış aparatlar kullanılmıştır. Tez çalışmasındaki test düzeneği için sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme davranışının belirlenmesinde ise, (Kumbasar, 1999) yapmış olduğu TÜBİTAK proje kapsamında kullanılan deney düzeneğinden yararlanılmıştır. Bu projede deneyler, çelik yükleme çerçevesi içerisinde oluşturulan çelik profiller, levhalar ve bunların sabitlenmesi için yüksek mukavemetli bulonlardan oluşan deney düzeneğinden oluşmuştur.

Kumbasar (1999)'ın yapmış olduğu çalışmadan yararlanılarak hazırlanan deney düzeneği, çelik kılıflar arasına iki parçalı beton kiriş numunelerinin yerleştirilmesi, bir parçanın cihaza sabitlenmesi diğerinin boşta kalması şeklinde oluşturulmuştur. İki parçalı beton numuneleri deney parametrelerinin özelliklerine sahip donatı ve birleşim tekniği ile bir araya getirilmiştir. Tez çalışması kapsamında deneyde kullanılacak kiriş elemanları iki parçalı kiriş olarak dökülmüştür. Bir parça mevcut betonu temsil edecek beton dayanımında diğer parça ise ilave edilecek yeni elemanın beton dayanımında olacak şekilde seçilmiştir. Parçalara betonlama sırasında düz düzeyli donatılar ankraj boyu derinliğinde yerleştirilip, prizini almaya başladıktan hemen sonra çekilerek kimyasal ankrajlar için boşluklar oluşturulmuştur. Bu boşlukların çapı, yerleştirilecek kimyasal ankrajlı donatının çapından 4 mm fazla olacak şekilde ayarlanmıştır. Betonlar yeterli sertleşmeyi sağladıktan sonra epoksilerle kimyasal ankrajlar boşluklara yerleştirilmiştir. Kimyasal ankrajlarla birleştirilen iki parçalı beton deney elemanları boşta kalan parça üzerine kuvvet uygulanarak sabit parça ile birleşimi sağlayan ankraj donatıları kesme etkisi altında göçme durumuna getirilmiştir. Böylece, birleşimi sağlayan ankraj donatılarının kaldıraç etkisi altında kesme davranışlarını inceleyen test türü geliştirilmiştir. Uygulanan test türünde, mevcut beton dayanımı, ankraj edilen çeliğin özellikleri ve ankraj derinlikleri gibi parametreler incelenmiştir. Deneysel çalışmaların uygulama alanındaki mevcut duruma bire bir uyum sağlaması için deneylerde Türkiye'deki mevcut yapıları temsil etmek üzere amaç beton dayanımı 8, 12, 16 ve 20 Mpa olan betonlar kullanılmıştır. Ankraj çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm kullanılmış ve ankraj derinliği ise 10Φ ve 15Φ olarak alınmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda, öncelikle deney numunelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Deneylede, beton dayanımlarının belirlenmesi amacıyla her bir amaçlanan beton sınıfı için 6 adet standart silindir, küp ve prizma numuneleri ile kiriş deneyleri için 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  $\Phi$  ankraj boylu donatılar konularak iki parçalı kiriş numuneler de üretilmiştir.

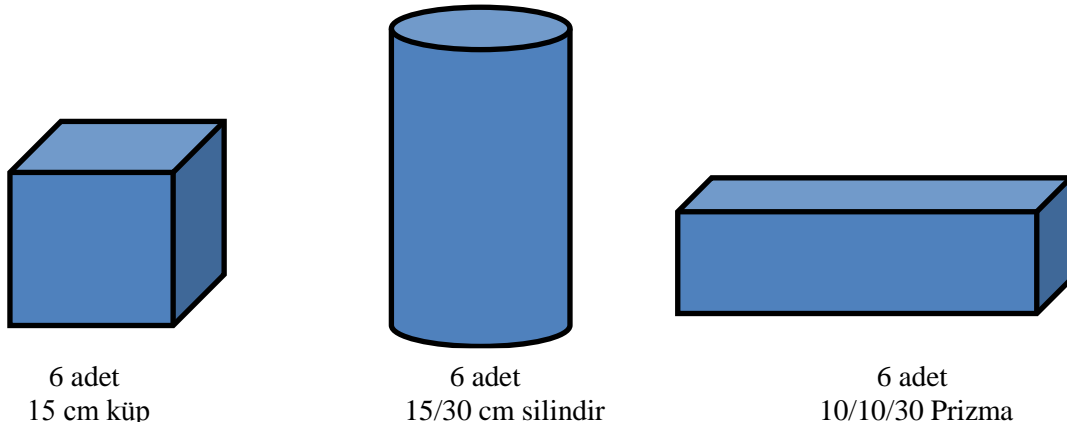
Kesme deneyinde iki parçalı olarak üretilen numunelerin bir parçası mevcut yapı stoğundaki betonu temsil edecek nitelikte beton dayanımı diğer parçası ise güçlendirme amaçlı olmak üzere ilave edilecek yeni elemanın beton dayanımı şeklinde seçilmiştir. Göçme durumunda kesme davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarından mevcut olan cihazlar, donanım ve ekipmanlar kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında farklı özellikteki betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özellikleri belirlenerek, malzeme değişimlerinin kesme kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmek amacıyla kesme deneyleri yapılmıştır. Testler sonrası elde edilen sonuçlara bağlı olarak, gerçek yapı davranışı içerisinde kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlanmasına çalışılmıştır.

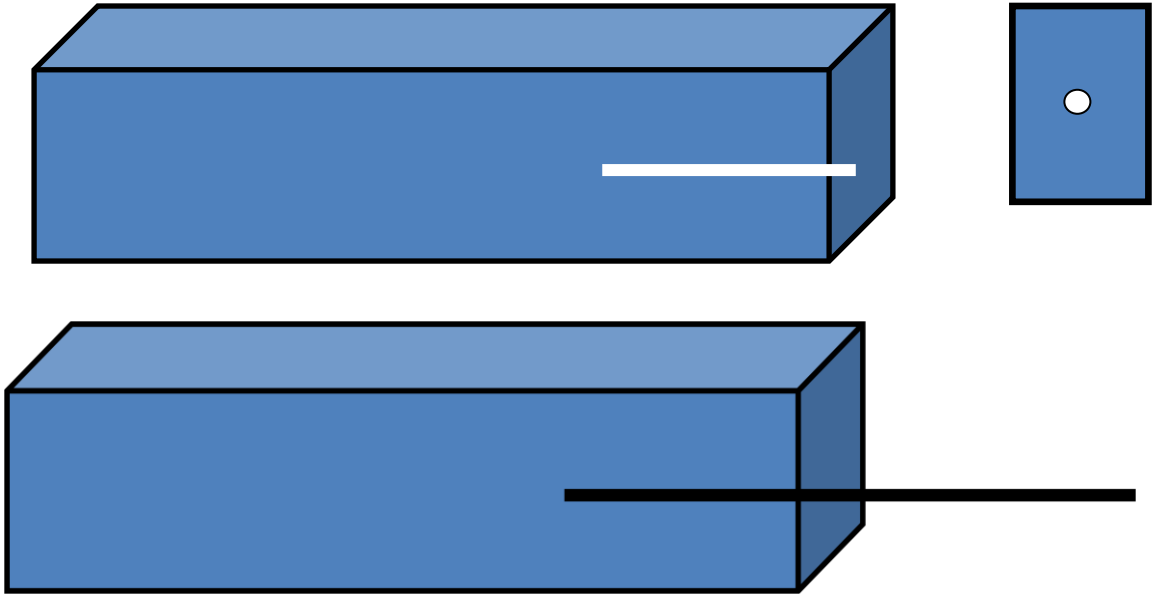
### **3.1 Deneyde Kullanılan Numunelerin Üretimi**

Yapılan tez kapsamında yapılacak deneysel çalışmalarda, öncelikle deney numunelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Deney çalışmalarında kullanılacak numunelerin malzeme sınıfı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda yapılan üçlü tez çalışma grubunun ortak özelliği olduğundan, beton üretimi ve

donatıları üç tez çalışmasında aynı işlem ve özellikle gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, amaçlanan beton dayanımlarının belirlenmesi amacıyla Şekil 3.1’de ve Resim 3.1’de gösterilen her beton sınıfı için 6 adet standart silindir, küp ve prizma numuneleri ile Şekil 3.2’de kesme 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 Kesme deney modeli için kiriş numuneleri



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

Kesme deney modelinde ankraj sistemlerin kesme 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 3.2’de verilen özel kalıp sistemleri kullanılmıştır. Bu kalıp sistemleri, çalışma grubunda eğilme etkilerini inceleyecek Belçika kiriş deney modeli ile aynı ve ortak kullanımlı olarak tasarlanmıştır. Deney kirişlerinin bir parçası olan amaçlanan beton sınıfı için 15/20 cm kesitli 100 cm uzunlukta 12 adet kiriş kalıbı hazırlanmıştır (Resim 3.3). Bu kirişlerin 4 tanesi içerisine 2 adet  $\Phi 12$  ve 2 adet  $\Phi 16$  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 uzunlukları, ankraj derinliğinin iki katı olarak alınmıştır.

**Çizelge 3.1** Kiriş numunelerini hazırlama bilgileri

Numune	
15/20 cm kesitli 100 cm uzunluklu kiriş, ankraj donatısı betonlama sırasında yerleştirilecek	$\Phi 12$ çap - 40 $\Phi$ (480 mm) uzunluk (toplam donatı uzunluğu 1010 mm)
	$\Phi 16$ çap - 40 $\Phi$ (640 mm) uzunluk (toplam donatı uzunluğu 1330 mm)
15/20 cm kesitli 100 cm uzunluklu kiriş, ankraj donatısı betonlama sonrasında epoksi ile yapıştırılacak	$\Phi 12$ çap - 10 $\Phi$ (120 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 290 mm)
	$\Phi 12$ çap - 15 $\Phi$ (180 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 410 mm)
	$\Phi 16$ çap - 10 $\Phi$ (160 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 370 mm)
	$\Phi 16$ çap - 15 $\Phi$ (240 mm) derinlik (toplam donatı uzunluğu 530 mm)



**Resim 3.2** Özel kalıp sisteminin hazırlanışı



**Resim 3.3** Kiriş numunelerinin için hazırlanan kalıp sisteminin görünüşü

Amaçlanan beton sınıfı için deney elemanlarının bir parçasını oluşturan beton elemanlarının üretimi kalıplar içerisine betonların dökümü yapılarak oluşturulmuştur (Resim 3.4). Betonlar dökülmeden önce kiriş kesitlerinin orta bölgesinde kalıplara açılan deliklerin kılavuzluğunda donatılar yerleştirilmiştir. Bu donatılar, kimyasal ankraj sistemlerinde düz yüzeyle donatılardan, mekanik ankraj sisteminde ise nervürlü donatılardan oluşmuştur. Birinci parçalar döküldükten sonra kalıplar sökülerek ikinci parçaların kalıpları oluşturulmuştur. Bu parçaların kalıplarına farklı dayanımlı beton dökülerek deney modelinin kiriş numuneleri hazırlanmıştır (Resim 3.5). Tasarım numunelerinin kalıpları ve donatıları hazırlandıktan sonra üretilecek betonların aynı karışımında 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 3.4** Kiriş parçalarının beton dökümü



**Resim 3.5** 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 3.6). 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 deney giriş numuneleri hazırlanmıştır.



**Resim 3.6** Birleştirilmesi yapılmış deney numuneleri

#### 4.1.1 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 (Kolsan,2013)

Kaynak	Agrega (Beyaz Taş Ocağı)			Afyon Çimsa CEM I 42,5 R	Uçucu Kül Kütahya	Sika RMC 315	Su/Çimento
	0/4 Kum (kg)	4/11 Kırma (kg)	11/22 Kırma (kg)	Çimento Miktarı (kg)	Mineral Katkı (kg)	Kimyasal Katkı (kg)	
Amaçlanan Beton Sınıfı							
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

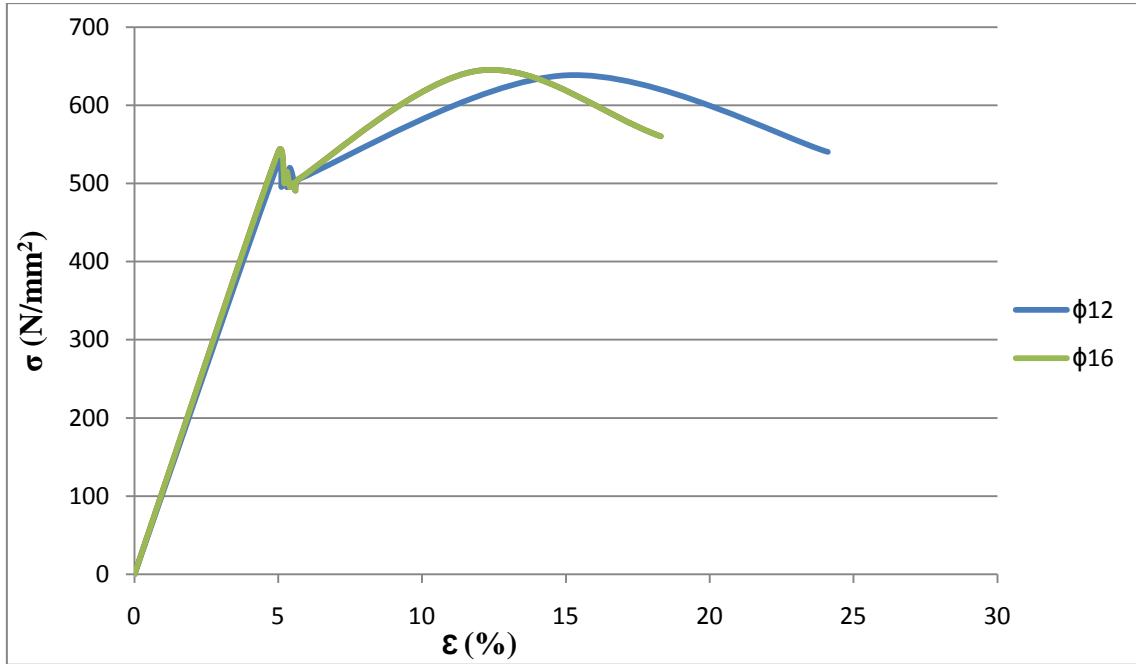
Tez kapsamında yapılan deneylerinde donatı sınıfı S420a, çapı 12 ve 16 mm olan donatı kullanılmıştır. Donatıların aynı mekanik özelliklere ve nervür yapısına sahip olması sağlanmıştır. Deney esnasında okunan çekme kuvvetleri, numunenin kesit alanına bölünerek program tarafından gerilme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca program tarafından yük yerdeğiştirme ilişkisinden donatının gerilme birim şekildeğiştirme grafiği ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) de elde edilebilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan donatı numunelerinin hazırlanışı resim 3.7’de ve bu donatılara ait mekanik özellikler ise çizelge 3.3’de gerilme birim şekil değiştirme grafiği ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) de şekil 3.3 verilmiştir.



**Resim 3.7** Tez çalışmasında kullanılmak üzere hazırlanan donatı numuneleri

**Çizelge 3.3** Tez çalışmasında kullanılan donatıların mekanik özellikleri (Altan,2013)

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	24.1	1.21
S420	Φ16	1	654	524.0	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	644.3	540.3	18.3	1.19



**Şekil 3.3** Donatıların ortalama gerilme birim şekil değıştirme grafiği ( $\sigma$ - $\epsilon$ )

### 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 kesme deneyi kiriş parçaları üretilmiştir.

Kesme etkisini oluşturmak için üretilen kiriş numunelerinin 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 boylu 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 boylu 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.

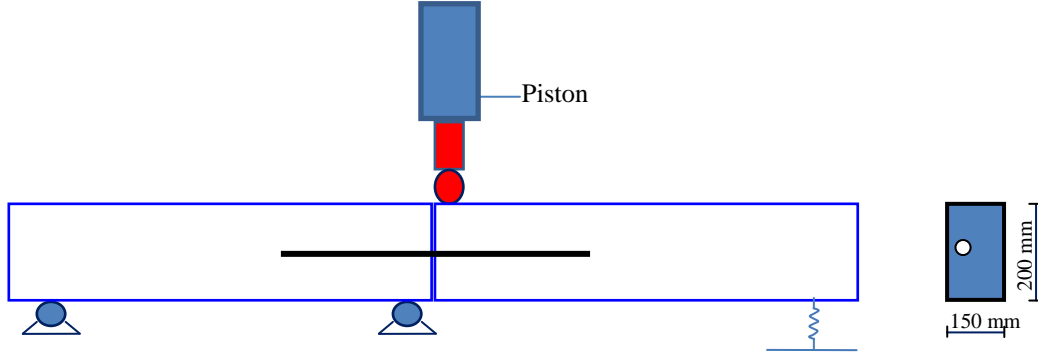
Kimyasal ankrajlı kirişlerde ankraj donatıları yerleştirilmek üzere delikler kompresör yardımıyla temizlenmiştir. Temizlenen kirişlerde konulan boşluklar içerisine epoksi türü kimyasal yapıştırıcılar sıkılarak ankraj donatıları kiriş numunelerine yerleştirilmiştir. Üretilen kiriş elemanlarının sadece kesme davranışını dikkate almak amacıyla özel olarak hazırlanan çelik çerçeve ve kılıf hazırlanmıştır (Resim 3.8).



**Resim 3.8** Tez çalışmasında kullanılan beton numuneler için çelik kılıflar

Ankrajlarla birleştirilen iki parçalı beton kiriş elemanlarının birinci parçası yükleme çerçevesi içerisinde rijit bir biçimde sabitlenmiş olup diğer uç boşta kalacak şekilde çıkmalı olarak yerleştirilmiştir. Boşta ucun yüksüz durumda desteklenmesi amacıyla uç kısmına strafor ile mesnetlenme oluşturulmuştur. Boşta kalan parça üzerine kuvvet

uygulanarak sabit parça ile birleşimi sağlayan ankraj donatıları kesme etkisi altında göçme durumuna getirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kesme deney modeli için yük düzeneği

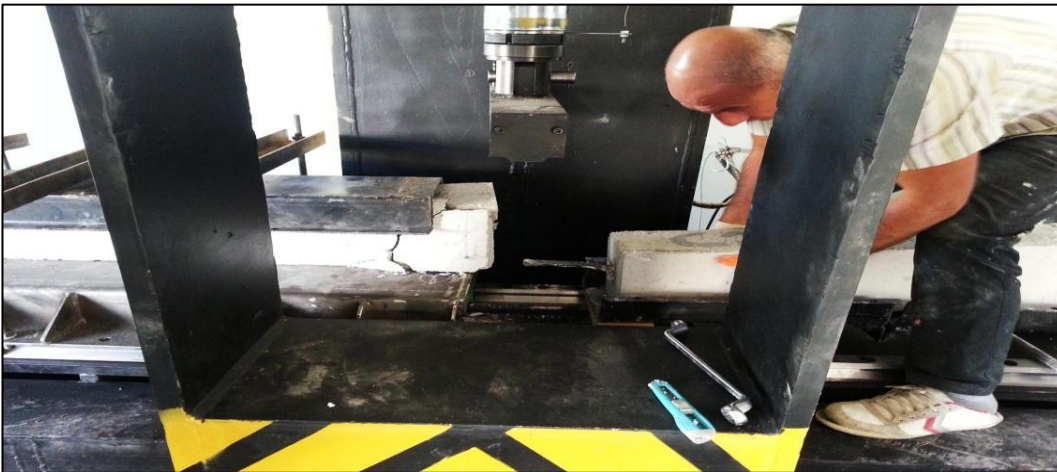
Üretilen numunelerin testi, kiriş elemanları için tasarlanmış yükleme çerçevesi ile yapılmıştır. Kılıflar içerisine yerleştirilen kiriş numunelerinin düşük dayanımlı olan birinci parçası mesnetler üzerine konularak çelik çerçevelerle rijit bir şekilde bağlanmıştır. Diğer parça mesnetlerin dışında çıkmalı olarak boşta bırakılmıştır. Kirişlerin birleşiminde boşta parçanın üzerine yük uygulanarak ankraj donatıları kesmeye zorlanmıştır (Resim 3.9 a-c). Kesme etkisi altında sıyrılma ve göçme durumuna getiren P kuvveti cihazdan okunarak, ankrajlı birleşimlerin kesme kapasiteleri bulunmuştur. Kiriş numunelerinin betonlama sırasında yerleştirilen mekanik bağlantılı ankraj donatıları ile beton sertleştikten sonra yerleştirilen kimyasal bağlantılı ankraj donatılarının mekanik davranışları belirlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

**Resim 3.9** Kesmeye maruz bırakılan kiriş numuneler

#### 4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında, betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda yapılan üçlü tez çalışma grubunun bir ayağı olan kesme etkileri altında davranışları incelenmiştir. İncelemede, 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 elemanları kullanılmıştır. Test düzeneği, direkt kesmeye çalışacak biçimde özel olarak tasarlanmış aparatlardan oluşmuştur. Çalışmada ankraj çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm ve derinliği ise 10Φ ve 15Φ seçilmiştir.

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 eksenel 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 (Altan,2013).

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

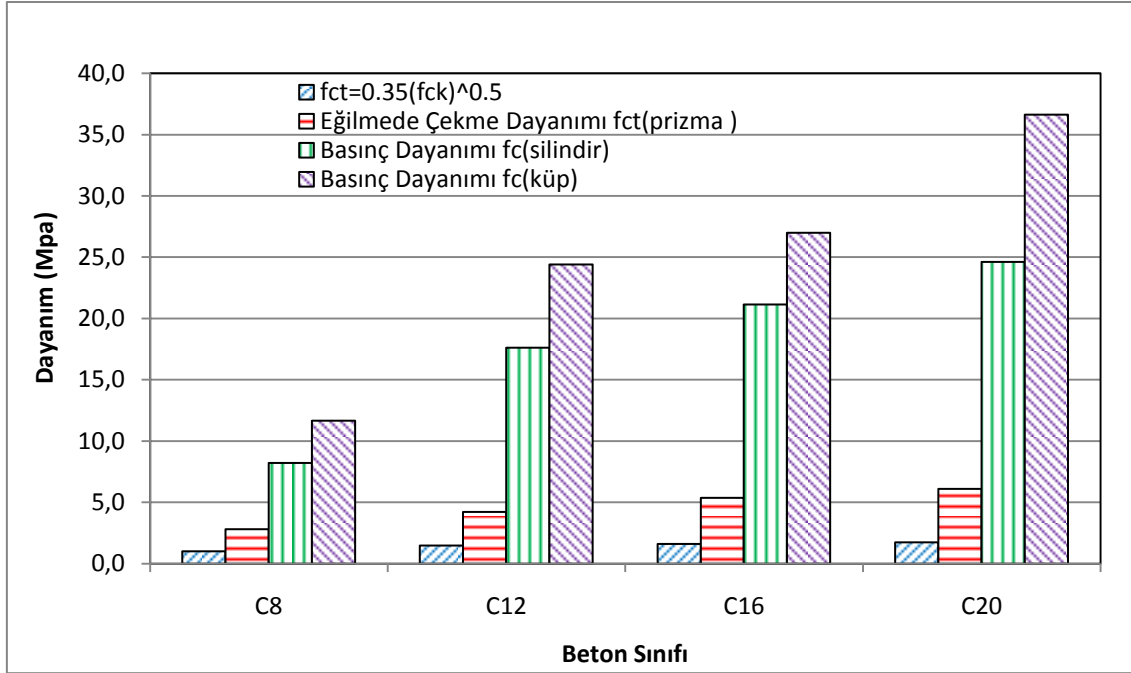
Çizelge 4.2’de amaçlanan beton sınıflarının kiriş ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki mekanik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Üretilen numunelerin ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki ortalama dayanım değerleri (Altan,2013).

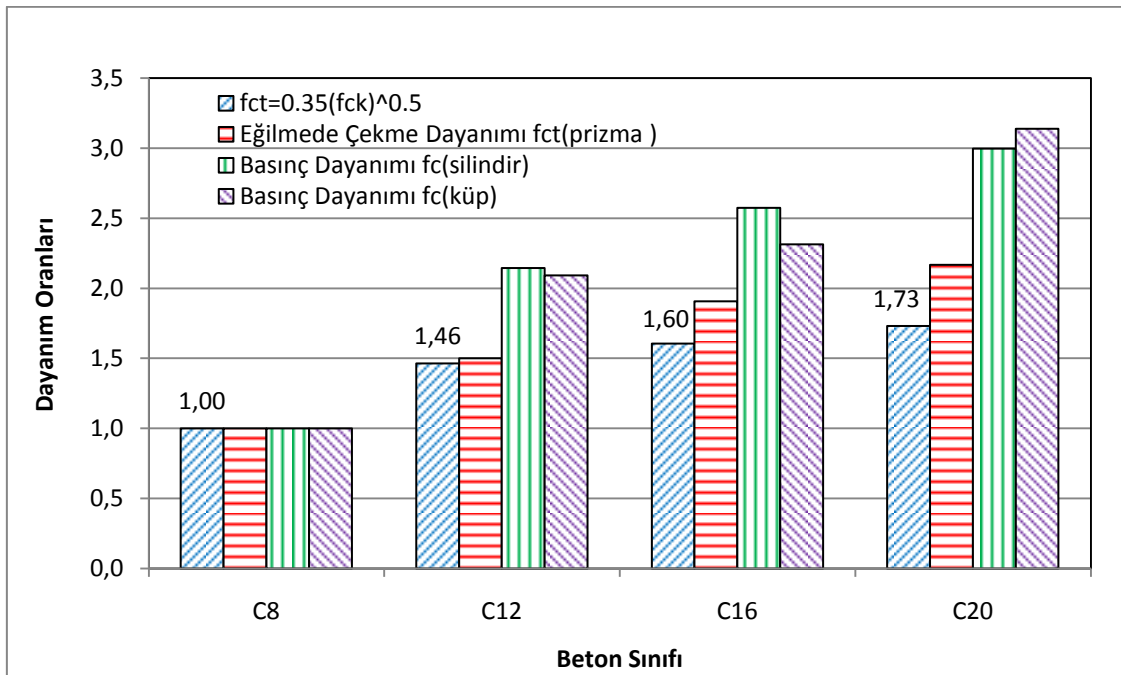
Beton sınıfı	C20	C16	C12	C8
Üretim Tarihi	20.04.2012	27.04.2012	27.04.2012	27.04.2012
Silindir Basınç Dayanımı $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	24.63	21.15	17.61	8.21
Küp Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	36.64	27.01	24.41	11.67
Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	6.11	5.38	4.23	2.82
Eksenel 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 40Φ ankraj boylu donatılarla ve epoksi yapıştırıcı kullanılarak sertleştikten sonra 10Φ ve 15Φ ankraj boylu donatılarla birleştirilmiştir. Birleştirilen kiriş deney elemanlarının bir parçası yükleme çerçevesi üzerinde bulunan mesnetlere rijit bir biçimde bağlanmıştır. Diğer parça ise mesnetlerden dışarıda çıkmalı bir vaziyette civatarla birleştirilmiş dört parçalı çelik kılıflar ile sarılarak boşa bırakılmıştır. Boşa kalan parça üzerine kuvvet uygulanarak rijit sabit parça ile birleşimi sağlayan ankraj donatıları kesme etkisi altında göçme durumuna getirilmiştir. Sıyırılma ve göçme durumuna getiren  $T_{max} = P$  kesme kuvveti cihazdan okunarak, ankrajlı birleşimlerin kesme kapasiteleri bulunmuştur. Her deney numunesi için elde edilen değerlerden maksimum kesme kuvveti her serideki iki numunenin ortalama değerleri alınarak toplu sonuçları çizelge 4.3’de verilmiştir.

Ayrıca, kesme kuvveti etkisi altında ankraj donatısında meydana gelen ortalama kayma gerilmeleri (makaslama) (4.2) bağıntısında verilen ifadelerle hesaplanarak çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

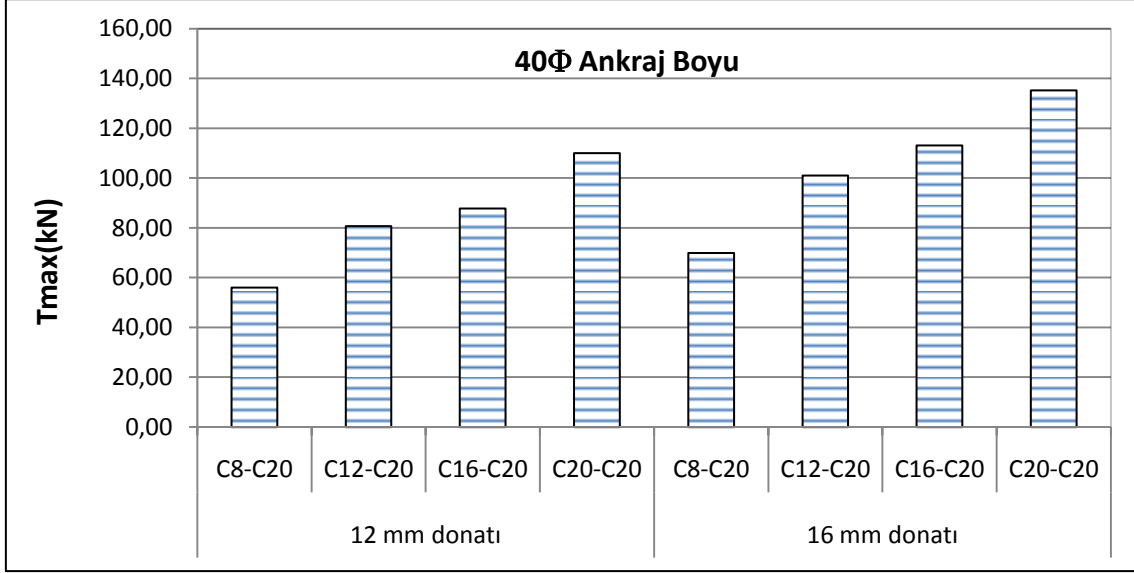
$$\tau_{ort} = \frac{T_{max}}{\pi d^2/4} \quad (4.2)$$

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

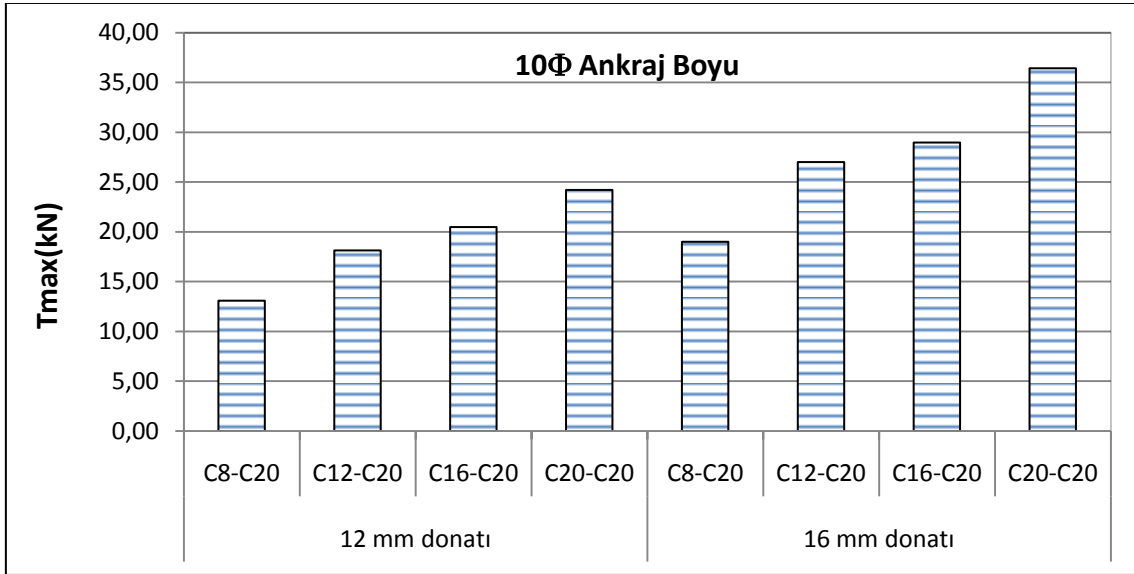
Beton Sınıfı	Ankraj Tipi	Donatı Çapı (mm)	Ankraj boyu	$T_{max}$ kuvveti (kN)	Kayma gerilmesi $\tau_{ort}$ (N/mm <sup>2</sup> )
C8-C20	Mekanik	12	40Φ (480 mm)	56.00	494.9
		16	40Φ (640 mm)	70.00	348.0
	Kimyasal	12	10Φ (120 mm)	13.09	115.7
		12	15Φ (180 mm)	15.32	135.4
		16	10Φ (160 mm)	19.00	94.5
		16	15Φ (240 mm)	22.50	111.9
C12-C20	Mekanik	12	40Φ (480 mm)	80.69	713.2
		16	40Φ (640 mm)	101.00	502.1
	Kimyasal	12	10Φ (120 mm)	18.14	160.3
		12	15Φ (180 mm)	21.79	192.6
		16	10Φ (160 mm)	27.00	134.2
		16	15Φ (240 mm)	31.50	156.6
C16-C20	Mekanik	12	40Φ (480 mm)	87.75	775.6
		16	40Φ (640 mm)	113.20	562.8
	Kimyasal	12	10Φ (120 mm)	20.48	181.0
		12	15Φ (180 mm)	24.23	214.2
		16	10Φ (160 mm)	28.95	143.9
		16	15Φ (240 mm)	33.43	166.2
C20-C20	Mekanik	12	40Φ (480 mm)	110.00	972.2
		16	40Φ (640 mm)	135.27	672.5
	Kimyasal	12	10Φ (120 mm)	24.20	213.9
		12	15Φ (180 mm)	28.62	253.0
		16	10Φ (160 mm)	36.43	181.1
		16	15Φ (240 mm)	43.59	216.7

Mekanik ve kimyasal bağlantılı farklı çap ve derinlikteki ankraj donatılarının kesme etkisi altında ankraj donatılarını kesme göçmesine zorlayan  $T_{max}$  kesme kuvvetlerinin farklı beton gruplarında beton dökümü sırasında her bir kiriş parçasına konulan 40Φ ankraj boylular için şekil 4.3, beton dökümünden sonra sertleşen betonlara yerleştirilen

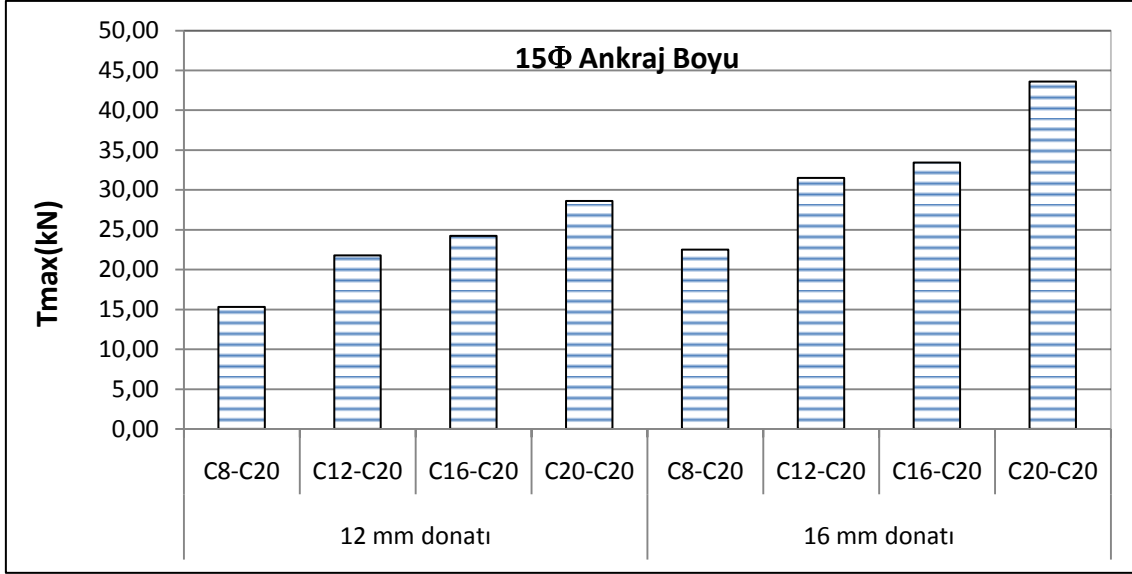
kimyasal ankrajlı 10Φ ankraj boylular için şekil 4.4 ve 15Φ ankraj boylular için şekil 4..5’de verilmiştir.



Şekil 4.3 40Φ mekanik ankraj boylular için T<sub>max</sub> değişimleri



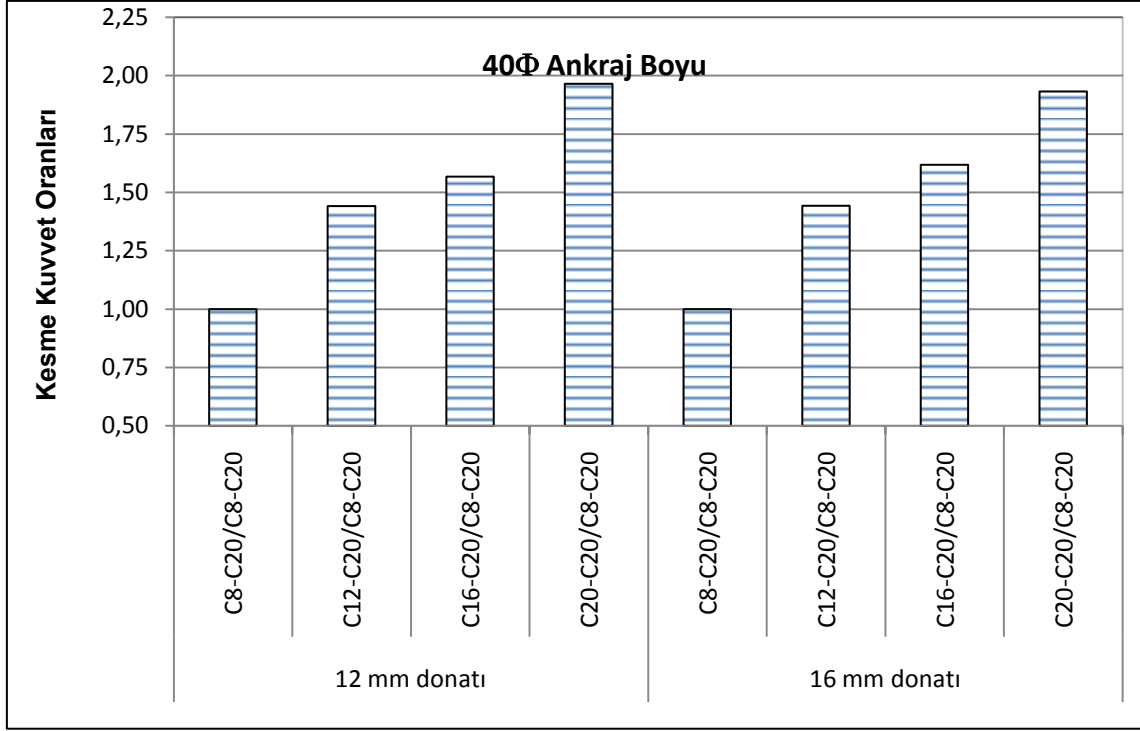
Şekil 4.4 Kimyasal ankrajlı 10Φ boylu donatılarda T<sub>max</sub> değişimleri



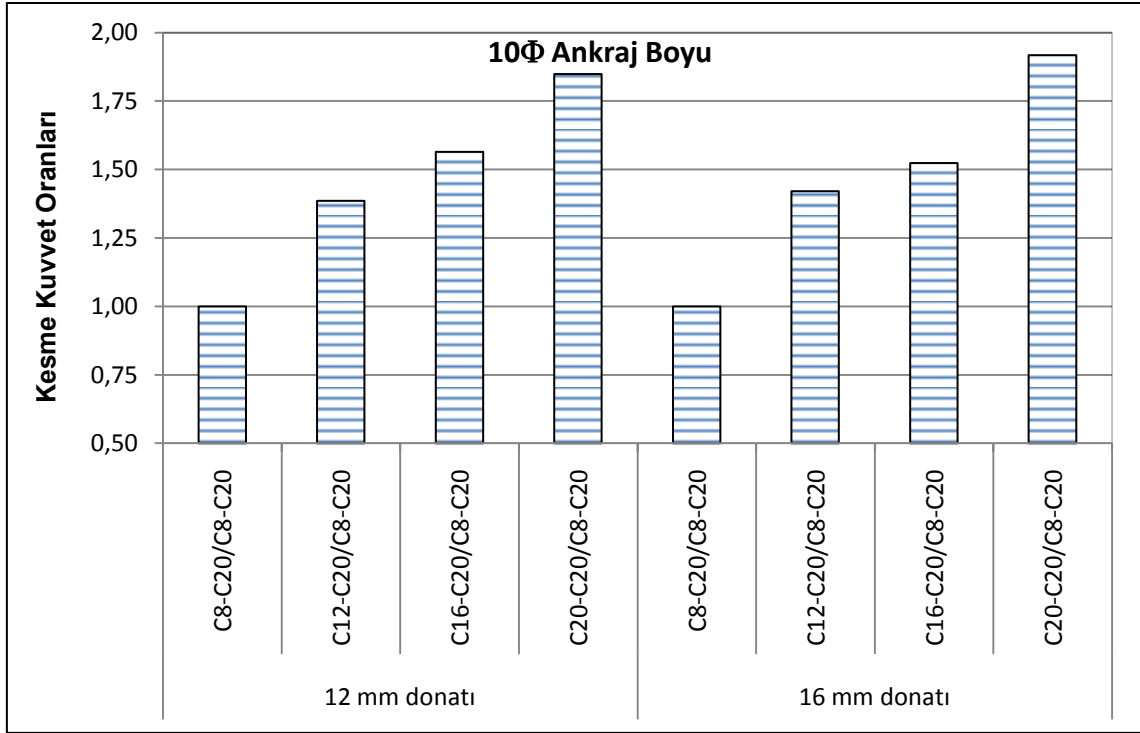
Şekil 4.5 Kimyasal ankrajlı 15Φ boylu donatılarda  $T_{max}$  değişimleri

Grafiklerden görüldüğü üzere donatı çapı ve donatı ankraj derinliği arttıkça donatıların sıyrılmasına ve betonun göçmesine neden olan kesme kuvvetleri  $T_{max}$  doğal olarak arttığı görülmektedir. Betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması,  $T_{max}$  kesme kuvvetlerinin beton sınıf gruplarında yaklaşık % 20 – 25 aralığında değişime neden olmuştur. Bu oran, donatıların kesit çapları oranı ile benzerlik göstermektedir.

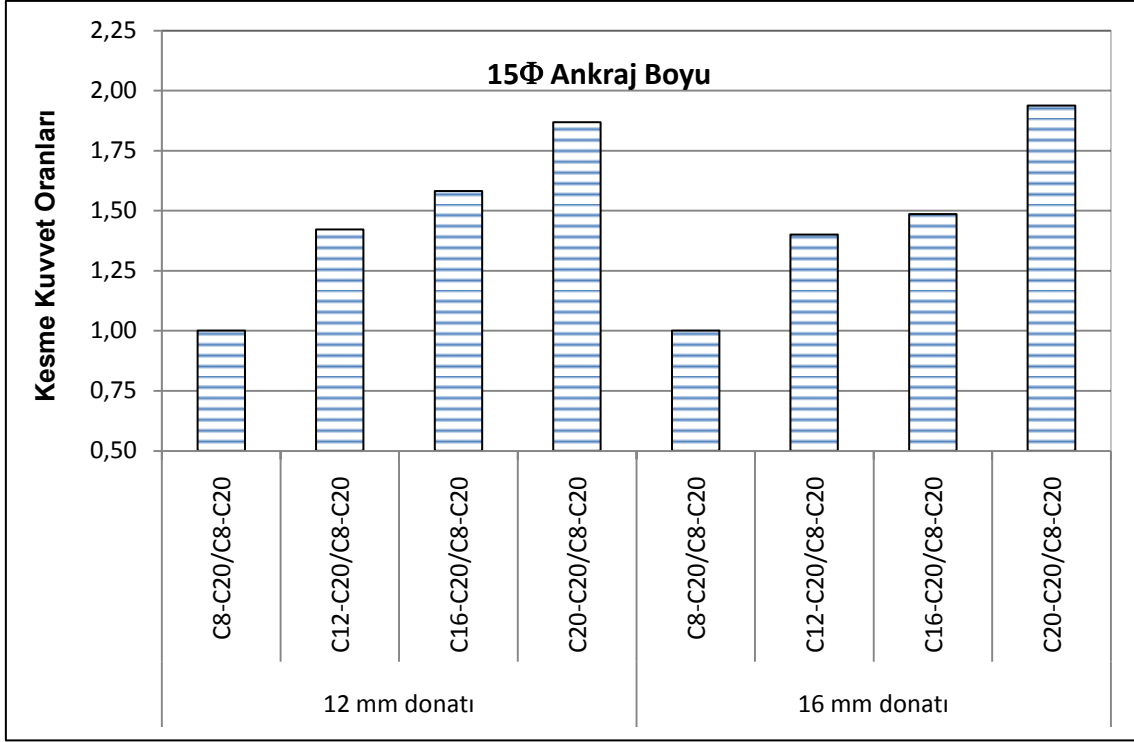
Deneysel çalışmada en düşük beton sınıfı olarak amaçlanan C8-C20 beton grubu kullanılarak yapılan ankrajlı bileşimlerin diğer beton dayanım gruplarında aynı donatı çapı ve derinliğinde  $T_{max}$  kesme kuvveti değerlerinin oranları hesaplanarak, kesme kuvveti oranlarının değişimleri ise 40Φ ankraj boylular için şekil 4.6, beton dökümünden sonra yerleştirilen kimyasal ankrajlı 10Φ ankraj boylular için şekil 4.7 ve 15Φ ankraj boylular için şekil 4.8’da verilmiştir.



**Şekil 4.6** En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 40Φ ankrajların kesme kuvvet oranları değişimleri



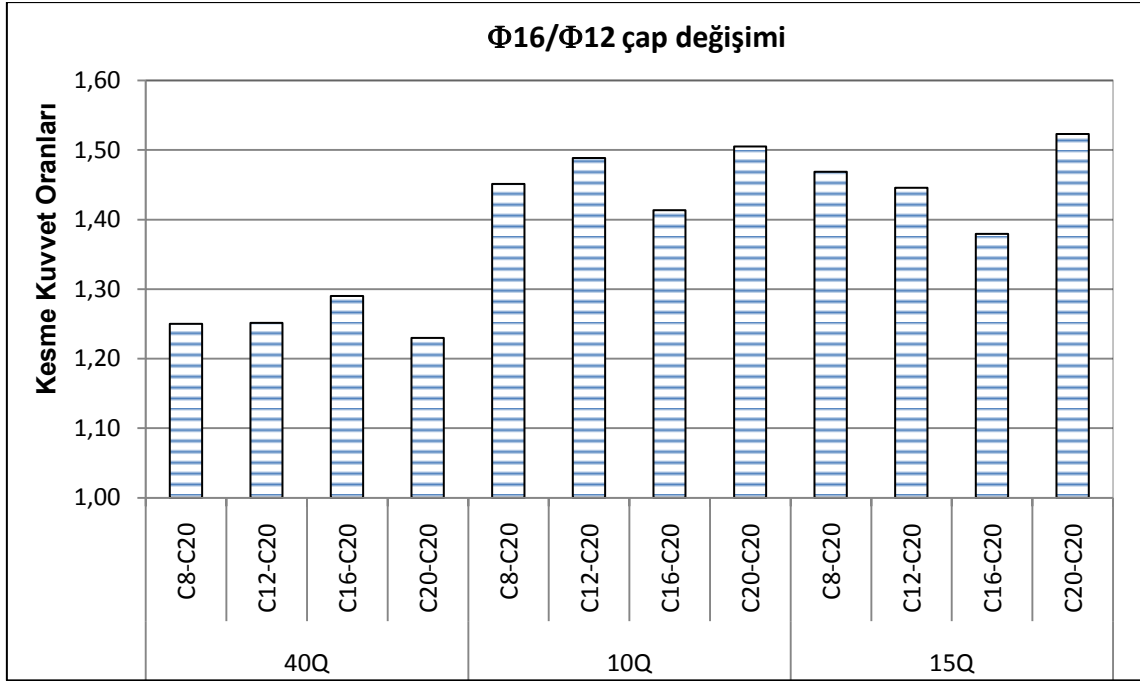
**Şekil 4.7** En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 10Φ kimyasal ankrajların kesme kuvvet oranları değişimleri



**Şekil 4.8** En düşük beton dayanım grubuna göre diğer beton sınıflarındaki 15Φ kimyasal ankrajların kesme kuvvet oranları değişimleri

Beton dayanım gruplarının sınıfı yükseldikçe kesme kuvvet oranlarının değişimleri betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında ve kimyasal ankrajlı birleşimlerde benzer özellik göstermektedir. Ankrajlı birleşimlerinin beton dayanım gruplarına göre kesme kuvvet oranlarının değişimleri birleşimdeki düşük beton basınç dayanımına göre TS 500/2000’de ifade edilen karakteristik çekme dayanımının değişimi ile paralellik gösterdiği görülmektedir.

Ankrajlı bileşimlerin aynı beton dayanım grubu ve ankraj bağlantı biçimlerinde 16 mm ve 12 mm çaplarına göre  $T_{max}$  kesme kuvveti değerleri oranlanarak değişimleri şekil 4.9’de verilmiştir.

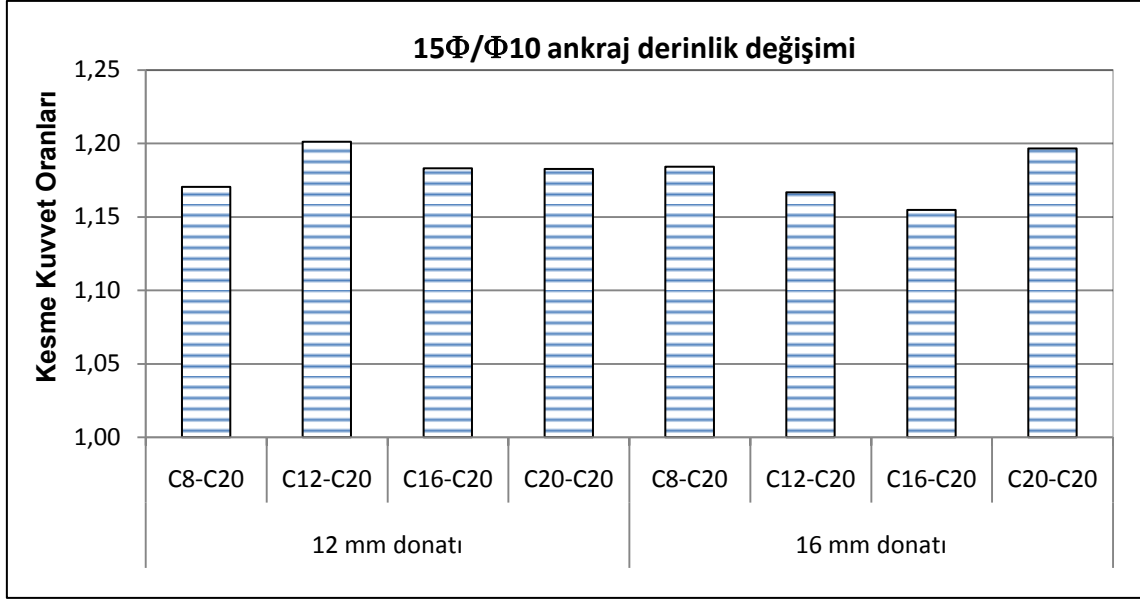


**şekil 4.9** Aynı nitelikte beton grubu ve ankraj durumunda çap değişiminin kesme kuvvet oranları

Donatıların sıyrılması ve kopması şeklinde gerçekteşecek göçme durumuna getirecek  $T_{max}$  kuvvetleri betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan  $40\Phi$  ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması durumunda ortalama % 25 artış göstermiştir. Bu artış, kimyasal ankrajlarda ise donatı çapının 12 mm den 16 mm çıkması durumunda ise  $10\Phi$  ve  $15\Phi$  ankraj boylarında % 45 değerlerine çıkmıştır.

Kimyasal ankrajlı bileşimlerin aynı beton dayanım grubu ve donatı çapı biçimlerinde ankraj boylarının  $10\Phi$ 'den  $15\Phi$ 'ye çıkması durumunda  $T_{max}$  kesme kuvveti değerleri oranlarının değişimleri şekil 4.10'de verilmiştir.





**Şekil 4.10** Aynı nitelikte beton grubu ve donatı çapı durumunda ankraj boyu değişiminin kesme kuvvet oranları

Ankraj boylarının 10Φ'den 15Φ'ye çıkması durumunda boydaki % 50 artışa karşılık kesme kuvveti taşıma kapasitelerindeki artış % 15-20 arasında kalmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 kesme kuvveti altında mekanik özellikleri belirlenmek üzere yapılan deneysel çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Beton dayanımı, donatı çapı ve donatı ankraj derinliği arttıkça donatıların sıyrılmasına ve betonun göçmesine neden olan  $T_{max}$  kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür.
- Beton dayanım gruplarının sınıfı yükseldikçe kesme kuvvet oranlarının değişimleri betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında ve kimyasal ankrajlı birleşimlerde benzer özellik göstermektedir.
- Ankrajlı birleşimlerinin beton dayanım gruplarına göre kesme kuvvet oranlarının değişimleri, birleşimdeki düşük beton basınç dayanımına göre TS 500/2000'de ifade edilen karakteristik çekme dayanımının değişimi ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir.
- Donatıların sıyrılması ve kopması şeklinde gerçekleşecek göçme durumuna getirecek  $T_{max}$  kuvvetleri betonlama sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olarak konulan 40Φ ankraj çubuklarında donatının 12 mm den 16 mm çıkması durumunda ortalama % 25 artış göstermiştir. Bu artış, kimyasal ankrajlarda ise donatı çapının 12 mm den 16 mm çıkması durumunda ise 10Φ ve 15Φ ankraj boylarında % 45 değerindedir.
- Ankraj boylarının 10Φ'den 15Φ'ye çıkması durumunda boydaki % 50 artışa karşılık kesme kuvveti taşıma kapasitelerindeki artış % 15-20 civarındadır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında betona sonradan kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yerleştirilen ankrajların kesme etkisi altında kalması durumunda, betonlama sırasında 40Φ kenetlenme boyuna sahip ankrajların yüksek kesme kapasitesine sahiptir. Aynı kesme kapasitesinin sağlanabilmesi açısından kimyasal

ankraj boy artışıının yeterli olamayacağı bu yüzden daha sık ankraj çubuğu konulmasının daha etkin olabileceği söylenebilir. Kimyasal ankraj yapılacak kesme 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. Mı ACI Committe 355.

Altan, F.(2013). Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyonkocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.

Berkay İ.(2003) Betonarme 1 Taşıma Gücü Ve Kesit Hesapları Maya Basın Yayın İstanbul.

Cook, R.A. And Kunz, R.C.,(2001). Behavair Of Chemically Bonded Anchors, *Asce Journal Of Structural Engineering*, **Vol. 119**, No.9,2744-2762.

DBYYHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Demir, İ., Şimşek, O. ve Yaprak, H. (2009). Epoksi Türünün Ankraj Performansına Etkisi. 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.

Ersoy, U.(1985). Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı. Evrim Yayın Evi 3.Basım Cilt 1. İstanbul.

Ersoy U., (1987), Betonarme- Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Basın Yayın Dağıtım, İstanbul.

Gürbüz, T., Seyhan, E., İlki A. ve Kumbasar, N. (2007). Güçlendirme Çalışmalarında Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışları. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

Gürbüz, T.( 2007). Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altındaki Davranışlarının İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,İstanbul.

Kolsan İnş. Otom. San. Tic. A.Ş. (2013), Beton Analiz Raporu.

Kumbasar N.ve İlki A., 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, G. (2011). Yüksek sıcaklıkta betonarme yapı elemanlarında donatının mekanik özelliklerinin değişiminin incelenmesi. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.

Omurtag, M. H.(2012). Mukavemet. Evrim Yayınevi,4. Baskı Cilt 1.

Özturan, T., Gesoğlu, M., Özel, M. ve Güneyisi, E. (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,İstanbul.

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.

TS500/2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Topçu, İ.B. ve Boğa, A.R. (2008). Betonarmede Donatı ve Beton Arasındaki Aderansa Korozyonun Etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, C.XXI, S.1.

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

Yılmaz, S., Çalışkan, Ö., Kaplan H. ve Kırac, N. (2010). Kimyasal Ankarajların Dayanımlarını Etkilen Faktörler. *Eskişehir Orhangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt:XXIII, sayı:1.

Yılmaz, S., Çalışkan Ö., Kaplan H.ve Kırac N.(2011). Düşük dayanımlı betonlarda ankraj kesme kapasitesinin hesaplanması. Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul 30 Mayıs-3 Haziran.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Sinem ÖZDEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi :Lüleburgaz/26.01.1985

Yabancı Dili :İngilizce

İletişim (Telefon/e-posta) :05547033471 sinemm\_39@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Lüleburgaz Atatürk Lisesi, 2002

Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2006-2010

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010-

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kd Beton Zemin Laboratuar Ve Kentsel Dönüşüm Hiz. San. Tic. Lti. Şti. (2012-2013)