

**BETONA SONRADAN YERLEŞTİRİLEN
KİMYASAL ANKRAJLARIN EKSENEL
ÇEKME ETKİLERİ ALTINDA MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma ALTAN
DANIŞMAN
Doç.Dr. Ali ERGÜN
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
Haziran, 2013

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETONA SONRADAN YERLEŞTİRİLEN KİMYASAL ANKRAJLARIN
EKSENEL ÇEKME ETKİLERİ ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Fatma ALTAN

**DANIŞMAN
Doç.Dr. Ali ERGÜN**

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**Haziran, 2013
TEZ ONAY SAYFASI**

Fatma ALTAN tarafından hazırlanan “Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 01/07/2013 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

| | | |
|---------------|--|------|
| Başkan | : Doç. Dr. Osman ÜNAL Afyon Kocatepe Üniv. Mühendislik Fakültesi | İmza |
| Üye | : Doç.Dr.Ali ERGÜN Afyon Kocatepe Üniv. Mühendislik Fakültesi | İmza |
| Üye | : Yrd. Doç Dr. Gökhan KÜRKLÜ Afyon Kocatepe Üniv. 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 tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/07/2013

Fatma ALTAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONA SONRADAN YERLEŞTİRİLEN KİMYASAL ANKRAJLARIN EKSENEL ÇEKME ETKİLERİ ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma ALTAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali ERGÜN

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler sonrası mevcut yapı stoku incelendiğinde, büyük bir çoğunluğunun performans seviyelerinin gerçekleştiremediği ortaya çıkmaktadır. Yeterli performansa sahip olmayan bu tür betonarme yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Taşıyıcı elemanların ve sistemin güçlendirilmesinde mevcut betonarme elemanlarla yeni elemanların birlikte uyum içerisinde çalışmasının sağlanmasında kimyasal ankrajların kullanımı gerekmektedir. Kimyasal ankrajların yüksek yapışma dayanımı, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları, güçlendirme çalışmalarının etkin ve güvenli uygulanabilirliğini sağlamıştır. 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.

Bu tez çalışmasında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme 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.

2013,xii+61 sayfa

Anahtar Kelimeler: Aderans, çekip çıkarma deneyi, kimyasal ankraj

ABSTRACT

M.Sc Thesis

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

Fatma ALTAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali ERGÜN

The majority of constructions of buildings in Turkey have not presented good performance after occurred earthquakes in the last decades. These structure buildings should be evaluated in terms of seismic safety and having insufficient seismic safety buildings have to retrofit. The retrofiting of structural system and structural elements has to use chemical anchors for integrating the existing reinforced concrete elements with the new elements. Chemical anchors have high adhesion strength, to be applied easily and quickly, effectively and strengthen the work of the applicability of security provided. The chemically bonded anchors post-installed in concrete exposed to load effects occurred the bending moments, axial and shear forces in retrofiting of concrete elements. Thus, it is important that the mechanical properties of chemical anchors should be investigated the behavior under bending moments, axial and shear forces.

In this study, the mechanical properties of chemically bonded anchors post-installed in concrete determined under the axial tension effect on the concrete elements. These results compared with the mechanical anchors have been placed during concreting. According to the study results, if the chemical anchors used enough diameters and enough depth, they acted better effective than mechanical anchors.

2013,xii+61 pages

Key Words: Adhesion, pull-out test, chemically bonded anchors

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali ERGÜN'e, deney numunelerinin hazırlanmasında katkıda bulunan üretici firma Kolsan A.Ő. 'ye, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

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

Fatma ALTAN

AFYONKARAHİSAR, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | iii |
| TEŞEKKÜR..... | iv |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ | v |
| ŞİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xi |
| RESİMLER DİZİNİ..... | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ..... | 4 |
| 2.1. Aderans..... | 9 |
| 2.1.1 Eğilme Aderansı | 9 |
| 2.1.2 Kenetlenme Aderansı | 10 |
| 2.1.2.1 Çekme Donatısının Kenetlenmesi | 12 |
| 2.1.2.2 Basınç Donatısının Kenetlenmesi | 13 |
| 2.1.3 Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması | 14 |
| 2.1.4 Uygulamada Aderans Sorunu..... | 17 |
| 2.1.5 Betona Uygulanan Ankrajlar..... | 18 |
| 2.1.5.1 Kimyasal Ankraj | 21 |
| 2.1.6 Göçme Mekanizmaları..... | 23 |
| 2.1.7 Çekip Çıkarma Deneyi..... | 27 |
| 2.1.8 Ankraj Mekanizmasına Etki Eden Faktörler..... | 28 |
| 2.1.8.1 Bağlayıcı Cinsi | 28 |
| 2.1.8.2 Ankraj Deliğinin Temizliği | 29 |

| | |
|--|----|
| 2.1.8.3 Ankraj Deliğinin Islaklığı | 29 |
| 2.1.8.4 Yüksek Sıcaklık ve Snme | 30 |
| 2.1.8.5 Ankraj Kenar Uzaklığı ve Ankrajlar Arası Uzaklık | 30 |
| 2.1.8.6 Ekme Boyunun Etkisi..... | 31 |
| 2.1.8.7 Beton Dayanımının Etkisi | 31 |
| 2.1.8.8 Ankraj apının Etkisi..... | 32 |
| 2.1.8.9 Kesme Yükleme Altında Kenar Göçmesi Gösteren Ankrajların Davranışı | 33 |
| 2.1.8.10 Kısa Kr Sresi | 33 |
| 2.1.8.11 Ankrajların Bağlılık Durumu | 34 |
| 3. MATERYAL METOD | 35 |
| 3.1 Deneyde Kullanılan Malzemelerin retimi | 36 |
| 3.1.1 Beton | 38 |
| 3.1.2 Ankraj ubukları..... | 39 |
| 3.1.3 Kimyasal Yapıştırıcı..... | 40 |
| 3.2 Deneyin Yapılışı..... | 40 |
| 4. BULGULAR | 44 |
| 5. SONUÇLAR | 57 |
| 6. KAYNAKLAR | 59 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|----------------------|--|
| τ_b | Aderans gerilmesi |
| u | Çubuğun çevre uzunluğu |
| Δ_x | Çubuk uzunluğu |
| T | Donatıdaki çekme kuvveti |
| ΔM | Betonarme elemanda oluşan moment |
| A_s | Donatı kesit alanı |
| σ_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 yükünü |
| 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 |
| d_0 | 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 Aderans gerilme dağılımı..... | 12 |
| Şekil 2.2 Eksenel çekip çıkarma deneyi..... | 16 |
| Şekil 2.3 Nervürlü donatı çekildiğinde oluşan kuvvet parametreleri..... | 17 |
| Şekil 2.4 Taze betona yapılan ankrajlar | 20 |
| Şekil 2.5 Bağ tipi ankrajlar..... | 21 |
| Şekil 2.6 Ankrajlarda oluşan farklı yüklemeler | 22 |
| Şekil 2.7 Donatının kopması. | 24 |
| Şekil 2.8 Donatının sıyrılması..... | 26 |
| Şekil 2.9 Çok sığ ankrajlarda konik göçme..... | 26 |
| Şekil 2.10 Sığ ankrajlarda konik göçme, potansiyel koni oluşumu | 26 |
| Şekil 2.11 Derin ankrajlarda karma göçme tipi..... | 26 |
| Şekil 2.12 Sıyrılma ara yüzünde ankrajların göçme tipleri..... | 27 |
| Şekil 2.13 Eksenel çekip çıkarma deneyinde düz yüzeyli çubuklarda sıyrılma, nervürlü çubuklarda ayrılma bölgeleri..... | 29 |
| Şekil 2.14 C14, C20 ve C25 beton dayanımlarında üç değişik malzemenin ankraj çapı- ankraj taşıma kuvveti ilişkisi..... | 34 |
| Şekil 3.1 Beton basınç dayanımı için üretilen standart küp, silindir ve prizma numuneler | 37 |
| Şekil 3.2 Epoksi ile yapıştırılmaların yapılacağı deney numunelerin hazırlanışı..... | 38 |
| Şekil 4.1 Ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki beton numunelerinin mekanik özelliklerinin değişimi..... | 47 |
| Şekil 4.2 En düşük beton sınıfına göre dayanım oranları..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.3 C8 betonunda mekanik bağlantılı $\Phi 12-10\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi | 48 |
| Şekil 4.4 C8 betonunda kimyasal bağlantılı $\Phi 12-10\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi..... | 48 |
| Şekil 4.5 C12 betonunda kimyasal bağlantılı $\Phi 12-10\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi..... | 49 |
| Şekil 4.6 C12 betonunda mekanik bağlantılı $\Phi 16-15\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi | 49 |
| Şekil 4.7 C16 betonunda kimyasal bağlantılı $\Phi 12-15\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi | 49 |
| Şekil 4.8 C16 betonunda mekanik bağlantılı $\Phi 16-10\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi | 50 |
| Şekil 4.9 C20 betonunda kimyasal bağlantılı $\Phi 12-10\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi | 50 |
| Şekil 4.10 C20 betonunda mekanik bağlantılı $\Phi 16-15\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi | 50 |
| Şekil 4.11 Amaçlanan C8 beton sınıfı için $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri..... | 53 |
| Şekil 4.12 Amaçlanan C12 beton sınıfı için $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri..... | 53 |
| Şekil 4.13 Amaçlanan C16 beton sınıfı için $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri..... | 54 |
| Şekil 4.14 Amaçlanan C20 beton sınıfı için $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri | 54 |
| Şekil 4.15 Kimyasal ankrajların mekanik ankrajlara göre $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri | 55 |
| Şekil 4.16 Ankraj derinliğini 15Φ 'nin 10Φ 'ye göre F_{\max} oranları değişimleri..... | 55 |
| Şekil 4.17 Ankraj derinliğini 15Φ 'nin 10Φ 'ye göre $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ oranları değişimleri..... | 56 |
| Şekil 4.18 Ankraj donatısının $\Phi 16$ 'nın $\Phi 12$ 'ye göre F_{\max} oranları değişimleri..... | 56 |

Şekil 4.19 Ankraj donatısının $\Phi 16$ 'nın $\Phi 12$ 'ye göre $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ oranları değişimleri..... 57

Şekil 4.20 En düşük beton sınıfına göre diğer beton sınıflarındaki ankrajların $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri..... 57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1 Betona yapılan ankraj tipleri | 20 |
| Çizelge 2.2 Ankraj ekme aralıkları ve kenar uzunlukları..... | 32 |
| Çizelge 3.1 Silindir numuneleri hazırlama bilgileri | 38 |
| Çizelge 3.2 Üretici firmadan alınan beton özellikleri | 39 |
| Çizelge 3.3 Tez çalışmasında kullanılan donatıların mekanik özellikleri..... | 40 |
| Çizelge 3.4 Pattex CF 900 genel mekanik ve fiziksel özellikleri..... | 41 |
| Çizelge 4.1 Amaçlanan beton sınıfı için üretilen numunelerin 28 günlük ortalama dayanım değerleri | 46 |
| Çizelge 4.2 Üretilen numunelerin ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki ortalama dayanım değerleri | 46 |
| Çizelge 4.3 Ankraj deneylerinin ortalama dayanım değerlerinin ortalama sonuçları.... | 52 |

RESİMLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Resim 3.1 Tez çalışmasında kullanılmak üzere hazırlanan donatı numuneleri | 40 |
| Resim 3.2 Tez çalışmasında kullanılan silindir numuneler | 42 |
| Resim 3.3 Ankraj yerleştirilmek üzere temizlenen silindir numuneler..... | 43 |
| Resim 3.4 Kimyasal yapıştırıcı sıkılan ve donatı yerleştirilen silindir numuneler | 43 |
| Resim 3.5 Çekip-çıkarma deneyi uygulanan silindir numune | 4 |

1.GİRİŞ

Beton gibi çekme dayanımı düşük bir malzemeden taşıyıcı sistemler oluşturmak, zor ve ekonomik olmayan çözümler gerektirir. Bu nedenle çekme gerilmeleri beton içine yerleştirilen ve çekme dayanımı yüksek başka bir malzeme tarafından karşılanır. Betonda çekme gerilmelerini karşılamak için çelik çubuklar 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).

Çelik ve betondan oluşan malzemenin betonarme olabilmesi için, iki malzemenin birbirine kaynaşmış olarak, 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 elemanda asal çekme gerilmeleri, betonun düşük olan çekme dayanımını geçtiği anda, beton bu gerilmelere dik yönde çatlayacaktır. Bu bölgeye yerleştirilmiş olan çelik çubukların varlığı, bu çatlamayı kesinlikle önleyemez. Çatlama betonla ilgili bir olaydır, çatlak oluşmasına donatının etkisi olmaz. Ancak, yeterli ve bilinçli yerleştirilmiş donatı, çatlakların genişlemesine engel olarak, kılcal düzeyde kalmasını sağlar.

Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme çalışmalarında, betona sonradan ilave edilmesi düşünülen donatıların birlikte çalışması için birbirine tam olarak yapışması gerekir. Betonarme kesit davranış modelinde olduğu gibi 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 (Demir, 2009). Onarım veya güçlendirme işleminin etkinliği ilave edilecek yeni betonarme elemanlarının mevcut elemanlara donatılar aracılığıyla iyi ankrajlanmasına bağlıdır.

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler sonrası mevcut yapı stoku incelendiğinde, büyük bir çoğunluğunu 2007 DBYBHY öngörülen performans seviyelerinin gerçekleştiremediği ortaya çıkmaktadır. Yeterli performansa sahip olmayan bu tür betonarme yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Güçlendirme çalışmalarında en çok tercih edilen yöntem, 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 aktarması olması gerekir. Örnek olarak çerçeve ortasına konulan perde duvarın çerçeve ile birlikte çalışması için kolonda açılan yuvalara donatılar ankre edilir. Ankraj donatıları perde ile kolonun birlikte çalışmaları için kesme kuvveti aktarımı sağlamakla görevlendirilmiştir. Taşıyıcı elemanların kuvvet aktarma işlemi ankrajlama ile yapılmaktadır. Ankrajlama da donatı, eksenini doğrultusunda çekme kuvveti taşır. Bu iyileştirme çalışmalarında, taşıyıcı elemanların ve sistemin güçlendirilmesinde mevcut betonarme elemanlarla yeni elemanların birlikte uyum içerisinde çalışmasının sağlanmasında kimyasal ankrajların kullanımı gerekmektedir. Kimyasal ankrajların yüksek yapışma dayanımı, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları, güçlendirme çalışmalarının etkin ve güvenli uygulanabilirliğini 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 eksikliklerin giderilmesi noktasında 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. 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.

Ayrıca, güçlendirme gereksinimi ortaya çıkan ve güçlendirilmesine karar verilen mevcut betonarme binalarda 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, 1987).

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların davranışı ASTM 488'e göre tanımlanan ya aksel çekme ya da kesme etkisi altında incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla test türü olarak çekip çıkarma deneyi (pull out) 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 10Φ olacak şekilde alınmıştır.

Bu tez çalışmasında betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme etkileri altında mekanik özelliklerinin belirlenerek, betonlama sırasında konulan mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile karşılaştırılması yapılmış olup tez sonrası elde edilen sonuçlara bağlı olarak, gerçek yapı davranışı içerisinde kimyasal ankrajların mekanik özelliklerinin daha iyi ortaya konulması sağlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

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. Aderans deneyleri arasında en eskisi, en yaygın olarak kullanılan ve en basit ve pratiği olan eksenel çekip çıkarma deneyidir. Bu deneyde tabandan mesnetlenmiş numune içerisine yerleştirilmiş donatı çubuğu serbest ucundan çekilip betondan çıkartılmaya çalışılır (Ersoy, 1985).

Altımtay (1977) yaptığı araştırmada Belçika aderans deney türünde gerekli değişiklikleri yaparak bu deney türünü daha gerçekçi bir duruma getirmiştir. Bunu yaparken üç tür çeliğin (Karabük, Metaş, Tor) aderans özellikleri ve kenetlenme boylarını da incelemiştir. Bu araştırmayı yaparken düz yüzeyli ve nervürlü çelikler için emniyetli bindirme boyunun saptanması ve bindirme ekinin ucunda bulundurulması zorunlu olan kancanın kaldırılıp kaldırılamayacağını saptamayı amaçlamıştır. Yaptığı deneyler sonucunda, Belçika aderans deney elemanında, ortadaki mafsaldan dolayı, aşırı sehim olduğunu gözlemlemiştir. Daha uygun bir aderans deney elemanı olarak çökmesi denetlenmiş eksenel çekip çıkarma deney elemanı önerilmiştir. Nervürlü çubuklar için düz yüzeyli çubuklara ait aderans gerilmelerinin % 100 arttırılabileceğini gözlemlemiştir. Bindirmeli ekli kirişlerde, yan çubukları 40 Φ merkez çubukları ise 35 Φ uzunlukta eklemek yeterli gözükmektedir. TS/500'ün zorunlu kıldığı gibi, nervürlü çubuklarda kanca kullanmak yarar yerine zarar getirmektedir. Genel olarak, her üç çubuk için, yan çubuklarda bindirmeli eklerden mümkün olduğu kadar kaçınmanın yerinde olacağını saptamıştır.

Yerlici ve diğerleri (1994), yaptıkları araştırmada yüksek dayanımlı beton elemanlarda, Türkiye genelinde kullanılan nervürlü donatı tipi için kenetlenme özelliklerini incelemiş ve sonuçlarını normal dayanımlı betonunki ile karşılaştırmışlardır. Araştırma, S420a çeliği ile donatılmış, yüksek ve normal dayanımlı, 42 beton eleman üzerinde yapılmış eksenel ve eksenel çekip çıkarma deneyi içermektedir. Burada, kenetlenme boyu, donatı çapı, beton örtü kalınlığı ve etriye miktarı değişkenler olarak alınıp, tatbik edilen

kuvvet ile elemanların çekilen ve serbest uçlarındaki donatı sıyrılmaları ölçülmüştür. Sonuçta, beklendiği gibi, yüksek dayanımlı betonlar, aderans davranışı bakımından, normal dayanımlılara göre, genelde üstün özellikler sergilemişlerdir. Yani, yüksek dayanımlı betonlarda gerekli kenetlenme boyunun daha kısa, oluşacak çatlaklardaki maksimum genişliğinde daha ufak olduğu görülmüştür. 20 mm veya daha ufak çapta donatısı olan yüksek dayanımlı betonlar için, donatı çapının 10 kat civarında bir kenetlenme boyunun, monotonik yükleme altında donatı akmasına yeteceği anlaşılmıştır. Kritik yük altındaki yüksek dayanımlı betonlarda aderans gerilme dayanımının uniform dağılmadığına dair ciddi ipuçları elde edilmiştir. Dolayısıyla, maksimum aderans gerilmeleri kenetlenme boyunca uniform dağılan normal dayanımlı betonlar için geliştirilmiş kenetlenme boyu formüllerini yüksek dayanımlı betonlar için doğrudan kullanılmanın sakıncalı olacağı kanısına varılmıştır. Deneylerin sonunda, beton örtü kalınlığının yüksek dayanımlı betonların davranışına yapacağı etkiyi saptamaya yetecek kadar veri elde edememişlerdir. Ancak, enine donatının, normal dayanımlı betonlarda aderans davranışını olumlu şekilde etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Özturan ve diğerleri (2004) betona sonradan yerleştirilen ankrājların statik çekme, tekrarlı çekme ve statik kesme yüklemesi altındaki yük-deplasman davranışları ile yük taşıma kapasitelerini ve göçme modlarını incelemişlerdir. Bu kapsamda yalın ve lif katkılı normal ve yüksek dayanımlı beton bloklar üzerine yerleştirilen kimyasal, harçlı ve genişleyen tip mekanik ankrājlar üzerinde toplam 130 adet deney yapmışlardır. Deney sonuçları, ankrāj çapı ve ekme boyunun artışıyla ankrāj göçme yükünün arttığını, betondaki çelik lif katkısının ankrājın daha sünek bir davranış göstermesine neden olduğunu, beton basınç dayanımındaki artışın ankrāj yük taşıma kapasitesini arttırdığını, tekrarlı yükleme altında ankrāj rijitliğinde azalma görüldüğünü göstermiştir.

Durmuş ve diğerleri (2006) yaptıkları araştırmada, Doğu Karadeniz Bölümü agregalarından biriyle üretilen yüksek başarılı (performanslı) ve geleneksel betonların değişik çaplardaki düz ve nervürlü donatılarla aderanslarını incelemişlerdir. Bu amaçla yüksek başarılı beton özellikleri ve beton-donatı aderansına ilişkin bazı bilgilerden sonra üretilen yüksek başarılı ve geleneksel betonların fiziksel ve mekanik özellikleri, bu betonlarla üretilen betonarme kirişler üzerinde gerçekleştirilen eğilmede aderans

deneyleri üzerinde durmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlar, üretilen yüksek başarılı beton-donatı aderansının geleneksel betonlarınkine göre çok daha yüksek olduğunu, donatı aderans boyunun azaltılabileceğini ve bu betonlarla inşa edilen yapıların tasarımı için bugün yürürlükte bulunan “TS 500 - Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”nın geçerli olmadığını da göstermiştir.

Gürbüz (2007) yaptığı tez çalışmasında 85 adet ankraj numunesinde 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.

Kaya (2007) yaptığı tez çalışmasında ankraj delik yüzeyinin uygulanan yüzey işlemlerine ilişkin temizlik, tozluluk durumlarına bağlı etkiler, önerilen uygulama detayı, standart ankraj detayı ve yalın sıyrılma göçmesine ilişkin yapışma dayanımının elde edildiği bir dizi deney yapmıştır. Kullanılan yapı kimyasalının yalın yapışma dayanımına ait bir grup deney yapmış bu yolla kimyasal yapıştırıcının karakteristiklerine ilişkin bir yöntem geliştirmeyi amaçlamıştır. Deneyler sırasında yapılan gözlemlerle, yüzey hazırlık işlemleri için ayrılan sürelerin tozların uzaklaştırılması için yeterli olduğu görülmüştür. Yüzey tozluluk durumları ankrajlar üzerinde çeşitli etkiler göstermiştir. Tozu atılmış yüzeylerde yapışma dayanımları, temiz yüzeylerdekilere yakın mertebededir. Tozu atılmış numunelere ilişkin hesaplanan yutulmuş enerji büyüklüklerine ilişkin değerler diğer tüm ankraj tiplerinden çok daha büyük çıkmıştır. Tozu atılmış yüzeylerde derin ankrajlarda sıyrılma göçmesi, sadece yapışma dayanımının aşılması şeklinde olmamaktadır. Sığ numunelerin davranışı ile beraber düşünüldüğünde; yapışma dayanımının aşılması ile birlikte başlayan, sıyrılma arakesitinde neredeyse yapışma dayanımı kadar gerilme oluşturan bir mekanik aderans söz konusudur. Kısmi bağlı ankrajlar aynı bağlı derinlikte; tam bağlı ankrajlara oranla

çok yüksek göçme dayanımlarına ulaşmışlardır. Laboratuvar şartları altında en uygun (optimum) sıcaklık aralığının altında kürlerini tamamlayan numunelerin malzeme deneylerinden elde edilen dayanımları daha düşük olmuştur.

Gürbüz ve diğerleri (2007) çalışmalarında 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 yapmışlardır. 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.

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.

Demir ve diğerleri (2009) yaptıkları çalışmada ankraj malzemesi olarak uygulamada yaygın biçimde kullanılan S220a sınıfı donatı seçmişlerdir. 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 ayrılma direncine etkisinin olmadığı saptanmıştır. Farklı firmaların ürettiği epoksilerin birbirlerinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Yılmaz ve diğerleri (2010) yaptıkları araştırmada kapsamında, kimyasal ankrajlarla ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalarını derleyerek ankraj dayanımını etkileyen faktörleri irdemişlerdir. Sonuç olarak ankraj dayanımını etkileyen faktörlerden bağlayıcı cinsi ve ankraj deliğinin temizlik durumunun diğerlerine göre daha baskın olduğunu görmüşlerdir. Ekme boyunun ve beton sınıfının belli bir değere kadar etkili olduğu daha sonrasında ise dayanıma etkisinin sınırlı kaldığını gözlemlemişlerdir.

Bu tez çalışması kapsamında daha önceki çalışmalarda incelenen parametreler burada bir araya getirilerek betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankajların aksel kuvvet altında davranışları incelenmiştir. 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. Üretilen deney numuneleri üzerinde yapılan çekip-çıkarma test sonrasında, betonarme elemanlara sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme etkileri altında mekanik özellikleri belirlenmiştir.

2.1 Aderans

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 (Karakoç, 1985). Donatı ve beton arasında var olan bu bağ kuvvetleri nedeniyle, donatıdaki gerilme moment değişimine paralel olarak değişir ve büzülme ve sünme gibi betona özgü deformasyonlar donatıyı da etkiler. Donatı beton aderansı korozyondan olumsuz şekilde etkilenir, ilerlemiş hasar durumunda aderans tamamen yok olur (Baradan vd, 2002). Betondaki donatı çeliğinin korozyonu betonda çatlaklara yol açar, oluşan bu çatlaklar betonun bozulmasını ve zararlı iyonların betona nüfus etmesini hızlandırır ve sonuçta yeni çatlaklar oluşur. Betondaki çelik donatının korozyonu çeliğin kesit alanını azaltır ve böylece beton yapıların dayanıklılık süresini etkilerler. Donatının korozyona uğraması ile betonarme elemanların performansında çeşitli kayıplar olur. Bunlar; pas payı tabakasının çatlamasına bağlı olarak donatının etkili kesit alanındaki azalmalar, kesit alanındaki azalmaya bağlı olarak donatıların mekanik performansındaki azalmalar ve donatılı betonların aderans performanslarındaki azalmalardır (Lee vd, 2002).

2.1.1 Eğilme Aderansı

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 Δ_x uzunluğundaki çubuk çevresindeki etkiyen aderans gerilmelerinin toplamı, çubuğun iki ucundaki çekme kuvvetleri farkına eşit olmalıdır (Tanyıldızı,2006).

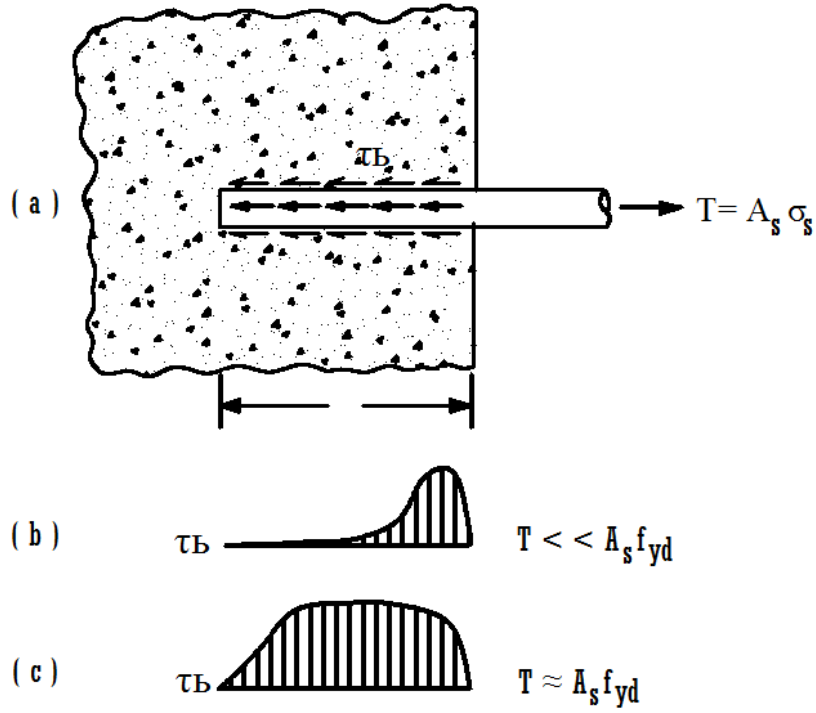
$$\tau_b(u)\Delta x = \Delta T = \frac{\Delta M}{Z} \quad (2.1)$$

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

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

2.1.2 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 kütleyle gömülen bir çubuk gösterilmiştir. Çubuğun τ_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 τ_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).

$$\sum \tau b = T \quad (2.3)$$

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

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

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 (2.4) aşağıdaki gibi yazılabilir.

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

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

2.1.2.1 Çekme Donatısının Kenetlenmesi

Çekmeye çalışan çubuklar için, gerilmenin maksimum olduğu noktanın her iki tarafında da yeterli kenetlenme sağlanmalıdır. Yeterli kenetlenme dört ayrı biçimde sağlanabilir.

- Düz kenetlenme. Çekme donatısı maksimum gerilmenin bulunduğu noktanın her iki tarafında da denklem (2.4) ile belirlenen kenetlenme boyu ℓ_b kadar uzatılmışsa, kenetlenme yeterlidir.
- Kanca ve fiyongla kenetlenme. Bazı durumlarda, donatıyı düz kenetlenmeyi sağlayabilecek kadar uzatmak mümkün olmaz. Bu gibi durumlarda, donatının ucunda kanca veya fiyong yapılarak, kenetlenme için gerekli düz çubuk parçası $\Delta \ell_b$ kadar azaltılabilir. $\Delta \ell_b$, kanca veya fiyong katkısıdır. Kanca veya fiyong bulunan durumlarda donatının düz parçasının uzunluğu, $\ell_b - \Delta \ell_b$ olmalıdır. Kancanın büküm açısı 90° ile 180° arasında değişebilir. Kanca ve fiyonglar, çapı $5\emptyset$ 'den aşağı olmayan (etride $2\emptyset$) bir merdane etrafında bükülmelidir. Ülkemizde maalesef büküm işinde gerekli itina gösterilmemekte ve donatı çubukları bir mengeneye tutturularak bükülmektedir. ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılan deneylerde, bu şekilde mengene ile bükülmüş, akma gerilmesi 420 MPa olması gereken çubukların, 1000 kgf/cm^2 'de kırıldığı gözlenmiştir. Şantiyeden sorumlu mühendislerin, bu ürkütücü sonuçları dikkate alarak kanca bükümünde gereken titizliği göstermeleri gerekir.
- Kaynaklanmış enine çubukla kenetlenme. Kenetlenmesi gereken çubuğa dik yönde kaynatılacak çubuklarla kenetlenme boyu azaltılabilir. Bu tür kenetlenmeye en tipik örnek, hasır donatıdır.

d) Mekanik kenetlenme. Kenetlenmesi gereken çubuğun ucuna, somun, çelik plaka veya başka parçalar kaynatılarak kenetlenme boyu kısaltılabilir. Bu tür kenetlenme için özel izin gerektiğinden, kenetlenmenin sağlıklı olduğu yeterli deneysel verilerle kanıtlanmalıdır (Ersoy,1985).

Beton dökümünde üst yüze yakın çubukların aderansının zayıfladığı bilinmektedir. Bu nedenle, üstteki çubukların kenetlenme boyu %40 arttırılmalıdır.

Donatı çubuğunda gerilmenin maksimum olduğu noktanın her iki tarafında da çubukların en az kenetlenme boyu kadar uzatılması gerekir. Çubuktaki gerilme, momentin maksimum olduğu veya bazı çubukların kesilip büküldüğü noktalarda oluşur. Bu kritik noktalar saptanırken, mesnet oturmaları, büzülme ve oluşabilecek eğik çatlaklar nedeni ile moment diyagramının sağa sola kaymaları göz önünde bulundurulmalıdır. Genelde moment diyagramının moment kolu z kadar kaydığını varsaymak yeterlidir. Sürekli kirişlerde çekme donatısının en az $1/3$ 'ü, moment sıfır noktasının ötesine, en az z veya $\ell_n / 16$ kadar uzatılmalıdır.

Basit mesnetli kirişlerin mesnedindeki moment, teorik olarak sıfırdır. Ancak oluşabilecek eğik bir çatlak nedeniyle mesnetteki çekme donatısındaki gerilme, $M_1=0$ yerine, mesnede z uzaklığındaki M_2 momenti ile orantılı olacaktır. Bu durumda donatının mesnet ötesine uzatılarak, gerekli kenetlenme boyunun sağlanması gerekir. Yeterli kenetlenme boyunun düz olarak sağlanmadığı durumlarda yatay kanca düzenlenmelidir (Ersoy,1985).

2.1.2.2 Basınç Donatısının Kenetlenmesi

Basınç çubukları yöresinde çekme çatlakları ve yerel çekme gerilmeleri olmadığından, bu tür donatı aderans açısından çekme çubukları kadar kritik değildir. Bu nedenle, yönetmeliklerde öngörülen kenetlenme boyu, genellikle çekme donatısı için öngörülene oranla daha küçüktür. Ayrıca, yapılan deneylerde basınç çubuklarındaki gerilmenin bir bölümünün, çubuk ucundaki yaslanma ile aktarıldığı görülmüştür. Basınç çubuklarında kanca yapıldığı takdirde yaslanma sırasında bir dışmerkezlilik oluşacağından, birçok yönetmelikte kanca yasaklanmıştır (Ersoy,1985).

2.1.3 Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması

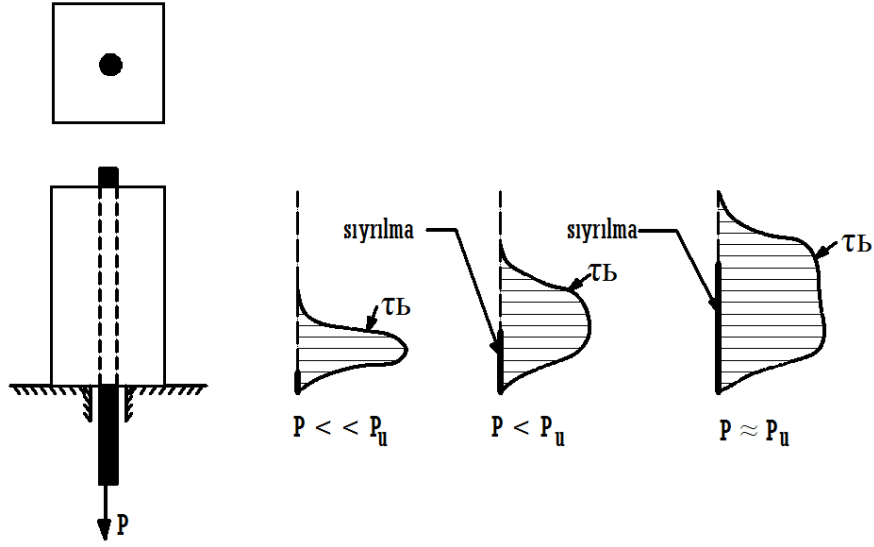
Aderans olarak adlandırılan beton ve donatı arasındaki bağın, üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir (Tanyıldızı,2006).

- a. Çelik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri: Bu yapışma çok düşük değerli olup zayıf yükler altında, çelik ve betonun birbirlerine göre çok küçük yer değiştirmeleri sonucunda kopar.
- b. Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri : Sürtünme kuvvetleri moleküsel kuvvetlerden çok daha önemlidir. Düz yuvarlak demirlerin aderansının hemen tamamı ikinci olarak ele alınan bu sürtünme kuvvetlerinden ileri gelmektedir.
- c. Donatı çubuğu ve beton arasındaki mekanik dış kuvvetleri: Bu olay aderansı geliştirilmiş çubuklarda ortaya çıkar. Seçilen yüzey biçimlerinin uygun olması halinde aderans önemli ölçüde artar.

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 çıkıntıların betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere, mekanik dış kuvvetleri denmektedir.

Bugüne kadar geliştirilen en basit aderans deneyi, Şekil 2.2 de gösterilen “eksenel çekip çıkarma” deneyleridir. Bu deneyde, alttan desteklenen bir beton silindir veya prizma numunesine gömülen çelik çubuk, uygulanan eksenel çekme kuvveti ile çekip çıkarılmaya çalışılmaktadır .

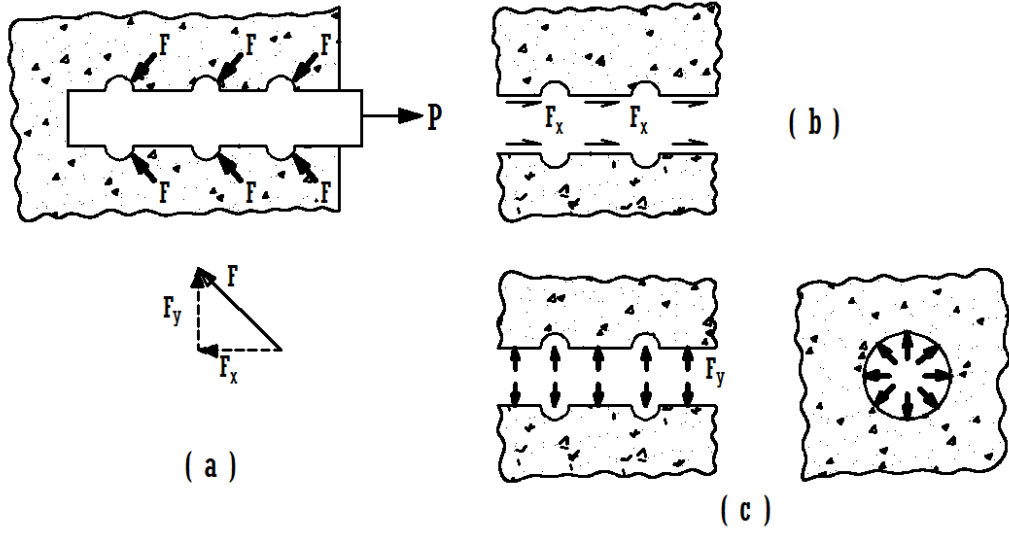
Sözü edilen aderans deneyi için düz yüzeyli çubuk kullanıldığında, kenetlenme boyu yeterli ise donatı akmakta, yetersiz ise, çubuk betondan sıyrılarak çıkmaktadır (Ersoy,1985).



Şekil 2.2 Aksel çekip çıkarma deneyi, Ersoy (1985)

Aderans deneyinde nervürlü çubuk kullanıldığında gözlenen davranış, düz yüzeyle çubukla yapılan deneylerden oldukça farklıdır. Nervürlü çubuğun yeterli aderans boyuna sahip olduğu durumlarda donatı akmakta, kenetlenme boyunun yetersiz olduğu durumlarda ise, çubuğu saran beton kütle, oluşan radyal çatlaklar nedeniyle yarılmaktadır.

Nervürlü çubuğa sahip numunede gözlenen yarılmamanın nedenlerini kısaca irdelemekte yarar vardır. Şekil 2.3(a) da gösterildiği gibi, nervürlü donatı çekildiğinde, nervürlerin eğimli yüzeyleri betona yaslandığından, o noktalarda eğik kuvvetler oluşmaktadır. Aderansı sağlayan da bu kuvvetlerdir. Yaslanma noktasında oluşan bu eğik kuvvetler, Şekil 2.3 (b) ve (c) de gösterildiği gibi, iki bileşene ayrılabilir. F_x olarak gösterilen bileşen, iki nervür arasında kalan beton diş kesip kırmaya çalışır. Eğer nervürler arasında yeterli uzaklık varsa bu tür bir kırılmanın oluşması oldukça zordur. Piyasadaki donatı çubuklarının çoğu bu koşul göz önünde bulundurularak imal edilmiştir.



Şekil 2.3 Nervürlü donatı çekildiğinde oluşan kuvvet parametreleri, Ersoy (1985)

F_y olarak gösterilen bileşke, çubuk yuvası çevresince betona radyal kuvvetler uygular. Şekil 2.3 (c) den görüleceği gibi, bu durumda beton, içinde basınçlı sıvı veya gaz taşıyan kalın çeperli bir boru gibi davranmaya zorlanır. F_y kuvvetlerinin betonda oluşturacağı çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımını aştığı takdirde, F_y kuvveti yönünde radyal çekme çatlakları oluşur ve bu çatlaklar yarılmaya neden olur. Yukarıda tanımlanan kırılma mekanizması, yarıma kırılmasında; donatı çapının, beton kalınlığının ve betonun çekme dayanımının en etkili parametreler olduğunu göstermektedir (Ersoy,1985).

Aderans birçok değişkenle etkilenmektedir. Aderans dayanımında, kesme-aderans etkileşimi ve boyut etkisi çok önemli rol oynadıklarından dolayı aderans dayanımını etkileyebilecek değişkenler Şener (2006)'da detaylı olarak açıklanmıştır. Bunlar;

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

- d) Donatı çapı. Çap değıştikçe kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değışmektedir. Ayrıca, yarıma 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. Puzzolanlı katkı maddeleri de aderansı olumsuz yönde etkileyebilir (Şener,2006).

2.1.4 Uygulamada Aderans Sorunu

Bu yüzyılın başından bundan yirmi yıl öncesine kadar, yönetmeliklerde eğilme aderansına büyük önem verilmiş ve tasarımda bu tür aderansın kontrolü zorunlu kılınmıştır. Son yirmi, yirmi beş yıldır yapılan deneysel araştırmalar, eğilme aderansını belirleyen denklem (2.1) in birçok durumda aderans için güvenilir bir ölçü olmadığı göstermiştir. Bunun temel nedenleri, aderans gerilmelerinin çubuk boyunca büyük değişim göstermesi ve çatlamanın donatıda yerel gerilme farkları doğurmasıdır.

Denklem (2.1) in aderansa tam bir ölçü olamayacağını kanıtlamak için çeşitli örnekler verilebilir.

Momentin sabit olduğu bölgelerde, kesme sıfır olacağından, denklem (2.1) ye göre aderans gerilmeleri de sıfır olmalıdır. Hâlbuki deneylerde yapılan ölçümler, bu bölgede ihmal edilemeyecek büyüklükte aderans gerilmeleri oluştuğunu göstermektedir. Momentin sabit olduğu bu bölgede, çatlaktaki ve çatlak arasındaki donatı gerilmelerinin farklı olması nedeni ile aderans gerilmelerinin oluşması doğaldır. Bu durumda denklem (2.1) anlamsız kalmakta ve uygulayıcıyı yanıltıcı sonuçlara götürebilmektedir.

Yapılan deneyler, yeterli kenetlenmenin sağlandığı durumlarda aderansın sorun yaratmadığını göstermektedir. Bu nedenle, çağdaş yönetmeliklerde eğilme aderansına yer verilmemekte, aderans sorunu salt kenetlenme sorunu olarak ele alınmaktadır.

Yeterli aderansı sağlamak için gerekli kenetlenme boyu, denklem (2.4) den çıkarılabilir. Bu durumda denklemdeki C_0 katsayısını deneysel verilerden ampirik olarak saptamak gerekir. Çağdaş yönetmeliklerde izlenen yol budur. Denklem (2.4) den elde edilen kenetlenme boyu “temel kenetlenme boyu” olarak adlandırılır ve çeşitli durumlarda gereken kenetlenme boyu, bu boy temel alınarak belirlenir. Burada unutulmaması gereken nokta, denklem (2.4) in aderansı etkilediği bilinen bazı değişkenleri içermemesi ve denklemin ortalama bir aderans gerilmesine göre çıkarılmış olmasıdır. Bu nedenlerle denklem (2.4) den elde edilen temel kenetlenme boyu l_b ’ nin yaklaşık bir değer olduğu unutulmamalıdır (Ersoy,1985).

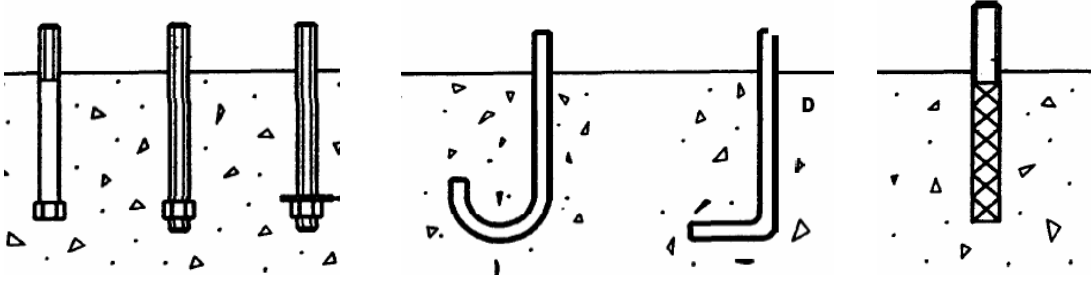
2.1.5 Betona Uygulanan Ankrajlar

Amerika Beton Enstitüsünü (ACI) betona yapılan ankrajları; betonlama esnasında yapılan (cast-in-place anchors) ve sertleşmiş betona sonradan yapılan ankrajlar (postinstalled anchors) olmak üzere çizelge 2.1’de gösterildiği gibi iki ana gruba ayırmaktadır (ACI 1991).

Çizelge 2.1 Betona Yapılan Ankraj Tipleri

| | | |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Taze Betona Yapılan Ankrajlar | | |
| Sertleşmiş Betona Yapılan Ankrajlar | Bağ Tipi Ankrajlar | |
| | Mekanik Ankrajlar | Kimyasal Bağlı Ankrajlar |
| | | Harçlı Ankrajlar |
| Genişler Ankrajlar | | |

Şekil 2.4 de verilen taze betona yapılan ankrajların tasarımında sünek davranış göstermeleri amacıyla beton güç tükenmesine ulaşmadan ankraj donatısının akması istenmektedir (ACI 1991).



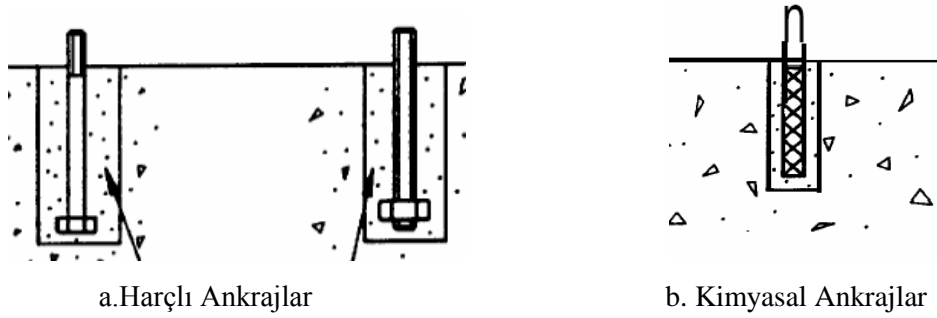
Şekil 2.4 Taze Betona Yapılan Ankrajlar, Özkul vd.(2001)

Sertleşmiş betona sonradan yapılan ankraj elemanları daha çok onarım ve restorasyon işlerinde kullanılmakta ve uygulamacıya geniş olanaklar sağlamaktadır. Bu tür ankrajlar; betona açılan silindirik şeklindeki deliğe yerleştirilen ve genişleyerek betona sürtünme kuvvetleri yolu ile yük aktaran elemanlar ve betona açılan deliğe yerleştirildikten sonra delik cidarı ile arasındaki boşluk bağlayıcı bir malzeme ile doldurulan elemanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Bağlayıcı malzeme açısından da bağlayıcısı polimer esaslı olanlar ve çimento esaslı döküm harçlı olanlar olmak üzere farklı ankraj türlerine rastlanılabilir. Polimer, epoksi ankraj çubuklarında kullanılan en yaygın bağlayıcı maddedir. Bunun dışında poliester ve vinilester de bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Reçine belli oranda sertleştirici polimer ile karıştırıldıktan sonra deliğe enjekte edilir. Döküm harçları kumlu olabilirler. Açılan deliklerin iyi bir şekilde doldurmaları ve ankraj elemanını sarmaları için bunların yeterli kıvama sahip olmaları gerekir (Özkul *et al.* 2001).

Betona sonradan yerleştirilen ankrajlarda çekip çıkarma kapasitesi, önceden taze betona yerleştirilen ankrajlardan %10 daha düşüktür (Yılmaz vd, 2010) .

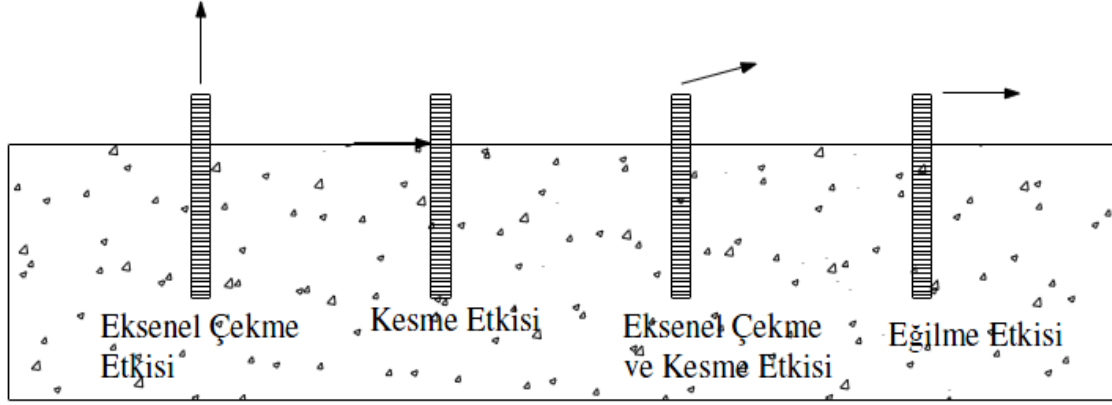
Sertleşmiş betonda sonradan açılan deliğe yapılan ankrajlar; kendi içlerinde mekanik ve bağ tipi ankrajlar olarak tekrar ikiye ayrılırlar (Şekil 2.5). Mekanik ankrajlar etkisi altında oldukları yükü ankraj deliği boyunca oluşan mekanik sürtünme ve kilitlenme mekanizmaları ile betona aktarırlar; kimyasal 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 (Özkul *et al.* 2001).



Şekil 2.5 Bağ tipi ankrajlar (Özkul *et al.* 2001)

Güçlendirme amaçlı kullanılan kimyasal ankrajların tasarımı aşamasında farklı yükleme tipleri (eksenel çekme, kesme, eğilme) altında ankraj davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Şekil 2.6' de ACI 355 de tanımlanan ankrajların etkisinde kaldığı yükleme tipleri verilmiştir (Özkul *et al.* 2001).



Şekil 2.6 Ankrajlarda oluşan farklı yüklemeler

2.1.5.1 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 dış 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/cm² 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.

2.1.6 Göçme Mekanizmaları

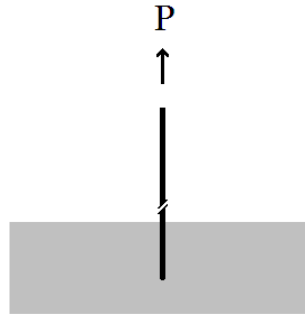
Eksenel çekme yükleri altında ankrajların davranışları incelendiğinde genel olarak beş farklı göçme tipi gözlenmektedir (ACI 1991). Bu tipler;

- Ankraj çubuğunun kopması
- Ankraj çubuğunun sıyrılması
- Betonun çatlaması / yarılması
- Betonun konik kopması
- Serbest kenarlara / birbirlerine yakın olan ankrajların betondan konik olarak kopması

Ankraj donatısının kopması; görece küçük çaplı donatı kullanımı, yüksek dayanımlı beton ve derin ankrajlarda; ankrajın taşıyabileceği çekme kuvveti ile, donatının kopma dayanımının aşılması ile gerçekleşir. Bu göçme tipi, ankrajın göçme yükünün üst sınırını belirler. Şekil 2.7 de, (2.5) denkleminde ifade edilen, donatının kopması ile gerçekleşen göçme biçimi görülmektedir (Kaya, 2007).

$$P_u = A_s \times f_{su} \quad (2.5)$$

Burada P_u , ankrajın göçme yükünü; A_s , donatı kesit alanını; f_{su} , donatı çeliğinin kopma dayanımını ifade etmektedir.



Şekil 2.7 Donatının kopması, Kaya (2007)

Delik cidarında yapışma dayanımının aşılması ile sıyrılma gerçekleşir. Sıyrılma yükü; kullanılan kimyasal ve betonun özelliklerine ve birbirleri ile etkileşimine bağlıdır. Malzemenin yapışma dayanımının düşük olmasının yanı sıra; malzemenin kötü kürlenmesi, yüzey hazırlıklarının eksik yapılması gibi durumlarda da sıyrılma görülür. Sıyrılma göçmelerinde büyük çatlaklarla karşılaşılmaz. Ayrıca ankraj derinliğinin üst kısmında, kimyasal ile betona yapıştırılmamış serbest bağlı bölgesi bulunan, kısmi bağlı ankrajlarda da sıyrılma gözlemlenmektedir. Şekil 2.8’ de sıyrılma göçmesine ilişkin bir şekil verilmiştir. Yapışma dayanımının derinlik boyunca düzgün yayılı olduğu varsayımı ile, sıyrılmaya ilişkin göçme yükü (2.6) denkleminde verilmiştir (Kaya, 2007).

$$P_u = A_{\text{ank}} \tau_{\text{yap}} \quad (2.6)$$

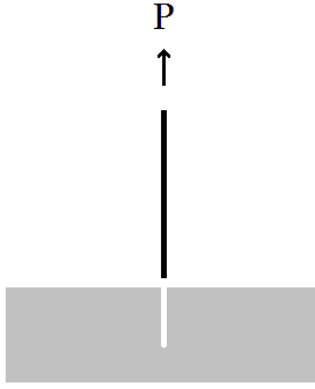
Burada A_{ank} , çalışan ankraj yüzeyinin alanını ifade etmektedir. τ_{yap} , ankraj yüzeyi boyunca eşdeğer düzgün yayılı yapışma dayanımıdır. Getirilen yaklaşıma ve malzeme ile ankrajın ara yüzlerindeki sıyrılma durumlarına göre delik çapı ya da donatı çapına göre hesaplanmaktadır. Yeterli yapışma dayanımının oluşmaması sonucu görülen sıyrılma mekanizmalarında; delik çapının, ankraj kesit alanına esas teşkil ettiği söylenebilir. Sıyrılmanın donatı ara yüzünde veya kimyasal kesitinde gerçekleştiği durumlarda, ankraj yüzey alanının donatı çapı ile gösterilmesi uygun olacaktır. Deneysel verilerle elde edilen yapışma dayanımı değerleri ile hesap yaparken, daha küçük olan donatı çapı ile çalışılması güvenli tarafta kalacaktır. Ankraj kesit alanı (2.7) denklemi ile hesaplanır.

$$A_{\text{ank}} = \pi r h_{ef} \quad (2.7)$$

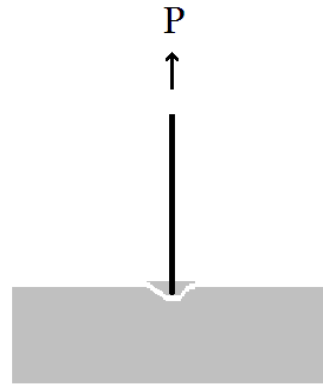
h_{ef} ankrajın kimyasal yapıştırıcı ile bağlanmış derinliğini, r delik çapını ifade etmektedir.

Malzeme ara yüzlerinin yeterli yapışmayı sergilediği durumlarda göçme, ankraj eksenine yapışık bir beton parçasının kopması ile gerçekleşir. Artan yüklerle genişleyen kılcal çatlaklar birleşerek betonun koparak ayrılmasına sebep olur. Yalnızca bir beton

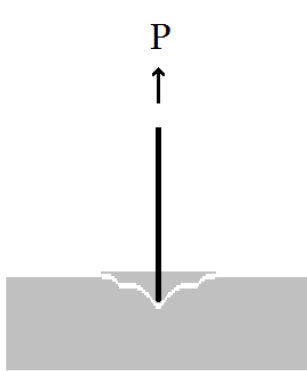
konisi ile göçme durumu görece sığ ankrajlarda görülür. Şekil 2.9 sığ ankrajlarda, konik kopmayı göstermektedir. Yalnız konik kopma; malzemelerin birbirleriyle olan etkileşimine bağlı olarak oluşacak potansiyel koni yüksekliğine kadar görülür. Daha derin ankrajlarda; ankraj boyunca sığ bir koni ve koninin devamında sıyrılma bölgesinden oluşan, konik göçme ve sıyrılmanın birlikte gerçekleştiği karma göçme tipi gözlenir. Şekil 2.10 da potansiyel koni oluşarak, sadece konik kopan bir numune resmedilmektedir. Şekil 2.11 daha derin ankrajlarda göçmenin, ankraj boyunca potansiyel koni yüksekliğinden sonra sıyrılma ile de olduğunu göstermektedir. Kılcal çatlakların koniyi işaret eden bir kırılma yüzeyi oluşturması ile yapışma dayanımına çalışan boyu aniden kısalan ankrajda, yapışma dayanımının yük altında ani aşılması ile konik kopma ve sıyrılma aynı anda gerçekleşir (Kaya, 2007).



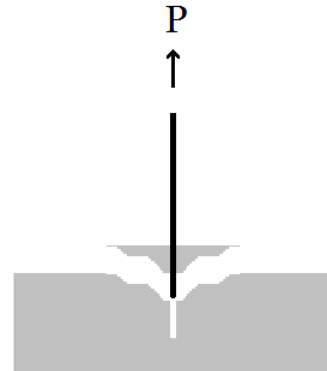
Şekil 2.8 Donatının Sıyrılması



Şekil 2.9 Çok Sığ Ankrajlarda Konik Göçme

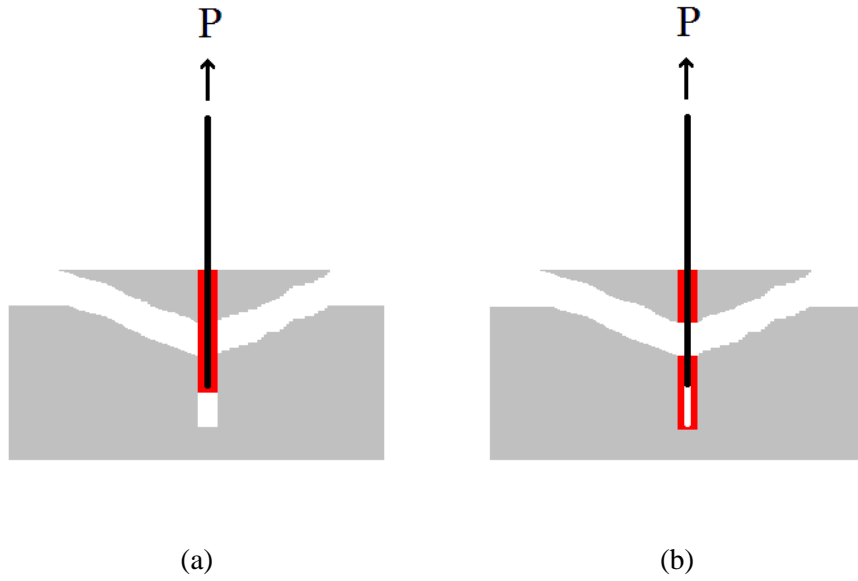


Şekil 2.10 Sığ Ankrajlarda Konik Göçme,
Potansiyel Koni Oluşumu



Şekil 2.11 Derin Ankrajlarda Karma
Göçme Tipi

Kullanılan malzemelerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak; karma göçme tiplerinde sıyrılma bölgesi boyunca ve yalnız sıyrılma tipi göçmelerde ankraj alanı boyunca; sıyrılma kimyasal ile beton ya da kimyasal ile donatı ara yüzünde gerçekleşebilir. Şekil 2.12’ de yapı kimyasalı ile beton ara yüzündeki yapışma dayanımının (a) ve yapı kimyasalı ile donatı ara yüzündeki yapışma dayanımının (b) aşılması ile farklı ara yüzlerde oluşan sıyrılma biçimleri görülmektedir (Kaya, 2007).



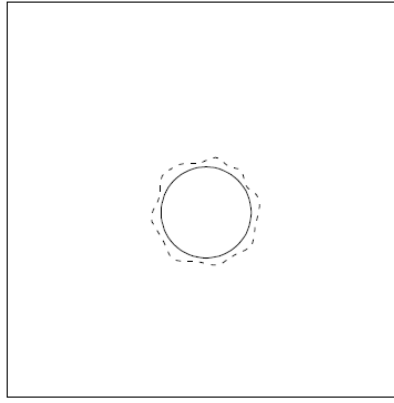
Şekil 2.12 Sıyrılma ara yüzüne ankrajların göçme tipleri, (a) Kimyasal ile beton arasında aderansın yitirilmesi ile, (b) Kimyasal ile donatı arasında aderansın yitirilmesi ile

Yapılan çalışmalarda; ankrajlar kesitlerinde beton elemanda, çekme yüklerine bağlı göçmelerin mutlaka gerçekleştiği görülmüştür. Eksenel çekme deneyleri sırasında kesitte oluşan kılcal çatlaklar; düşük yüklerde dar tepe açıları ile yüksek yüklerde geniş tepe açıları ile oluşmaktadır. Yükleme sırasında kesitte çatlakların adım adım oluştuğu düşünüldüğünde, plastik şekil değiştirmeler yapmaya daha düşük yüklerde başlayan düşük dayanımlı betonlarda kılcal çatlaklar, düşük yüklerde dar tepe açıları ile başlayacak, yük arttıkça çekme bölgesinde daha geniş tepe açısıyla çatlaklar oluşacaktır. Göçme yüküne kadar adım adım çatlak kesitte, çatlak yüzeylerinin birleşmesiyle oluşan çekme konisinin yan yüzeyi, düşük dayanımlı betonlarda bu sebeple içbükey bir hal alacaktır. Yüksek dayanımlı betonlarda ise çekme konilerinin görece daha nizami, düzgün yanal yüzeylerle koptuğu görülmüştür (Gürbüz, 2007).

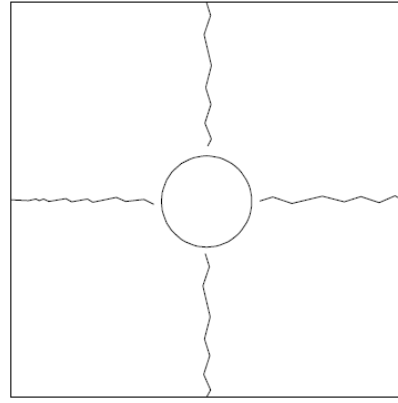
Aynı şekilde McVay (Pruckner and Gjordv 2004) tam bağı kimyasal ankrajların çekme davranışını modellediği çalışmasında yaptığı deneylerde; çekme konisinin tabanları çakışık, iç içe girmiş iki koniden oluştuğunu gözlemlemiş, daha geniş açılarla daha sığ oluşan ikincil konilerin, ankraj yüzeyinde yapışma dayanımının aşılması ile başlayan, yapıştırıcı kimyasalın rijit hareketi ile oluştuğunu varsaymıştır. Beton kesitinin yetersiz olduğu ya da ankrajların birbirlerine ya da kenarlara yakın olduğu durumlarda betonun yarılmaya gözlenir. Bu şekilde bir göçme mekanizmasının azami yükü, aynı değişkenlere sahip ama daha kalın bir kesitte ya da uzak aralıklardaki ankrajların oluşturacağı koni göçme yüklerinden genellikle daha küçüktür. Burada göçme yükünü kontrol eden etken, beton plağın eğilme kapasitesidir. Görülen göçme mekanizmaları temelde aynı prensipler etrafında sınıflandırılmakla beraber, yapılan deneylerin özel koşulları dikkate alındığında, bazı göçme durumlarının kimi çalışmalarda ihmal edildiği ya da gözlenmediği görülmüştür. Göçme yüküne ilişkin yaklaşımlar getirmeden önce, göçme mekanizmalarının ve bu mekanizmaların ortam üzerindeki etkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir (Seyhan, 2006).

2.1.7 Çekip Çıkarma Deneyi

En basit aderans deneyi ‘eksenel çekip çıkarma’ deneyleridir. Sözü edilen aderans deneyi için düz yüzeyli çubuk kullanıldığında kenetlenme boyu yeterli ise donatı akmakta, yetersiz ise çubuk betondan sıyrılarak çıkmaktadır Şekil (2.13a). Aderans deneyinde nervürlü çubuk kullanıldığında gözlenen davranış, düz yüzeyli çubukla yapılan deneylerden çatlak genişliği az, çatlak sayısı çok, sıyrılmada azdır. Nervürlü çubuğun yetersiz aderans boyuna sahip olduğu durumlarda ise, çubuğu saran beton kütle, oluşan radyal çatlaklar nedeni ile yarılıp çubuklar ayrılarak çıkmaktadır Şekil (2.13b).



a)Çekip çıkarmada sıyrılma göçmesi



b) Çekip çıkarmada ayrılma göçmesi

Şekil 2.13 Eksenel çekip çıkarma deneyinde düz yüzeyli çubuklarda sıyrılma (a), nervürlü çubuklarda ayrılma bölgeleri (b), Şener (2006)

Ayrılma göçmesi özellikle nervürlü büyük çaplı numunelerde betonun düz çubuklarda pürüzlü yüzeye, nervürlü çubuklarda nervürlere yaslanması sonucu oluşmaktadır. Yaslanma ile oluşan çevresel basınç iç basınç doğurur ve çevredeki betonun çekme gerilmesi ile bu iç basınç dengelenir. Bu gerilmeler beton çekme dayanımını asarsa radyal ayrılma çatlakları oluşarak aniden (gevrek) aderans kaybolmasına neden olur (Şener 2006).

2.1.8 Ankraj Mekanizmasına Etki Eden Faktörler

2.1.8.1 Bağlayıcı Cinsi

Kimyasal ankrajlarda elde edilen yapışma dayanımı kimyasal yapıştırıcının niteliklerine bağlıdır. Her kimyasalın farklı yapışma dayanımı vardır. Kullanılan yapıştırıcının betona yapışma dayanımı, çeliğe yapışma dayanımı ve mekanik özellikleri (çekme ve basınç dayanımları) ankraj performansını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Bağlayıcı sisteminin aderans dayanımı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Genel olarak epoksi esaslı bağlayıcıların esterlerden daha yüksek aderans sağladığı kaydedilmiştir (Yılmaz et al. 2010).

2.1.8.2 Ankraj Deliğinin Temizliği

Açılan deliğin yeterince temizlenmemesi birçok üründe ankraj dayanımının düşmesine yol açmaktadır. Bu düşüş büyük bir aralıkta değişmekte ve ortalama olarak temizlenmiş durumdaki dayanımın % 71'ine ulaşılabil-diği belirtilmiştir. Vakumlu temizlemenin diğer yöntemlere göre daha üstün olduğu kaydedilmiştir. Bağlayıcılar uygulanırken yüzey kalitesi çok önemlidir. Beton yüzeyler temiz ve sağlam olmalı, yağ, gres, çimento şerbeti ve zayıf yapışmış parçacıklardan arındırılmalıdır. Yüzey birikmiş sudan, oynak parçacıklardan ve yapışmaya engel olan mevcut kaplamalardan arındırılmalıdır. Temizlenmemiş numunelerde, ankrajın aksenal yük kapasitesi temizlenmiş ankrajlara oranla %40'lara varan düşüş göstermiştir. Yüzey temizliği işlemi yapılmamış numunelerde kimyasal yapıştırıcı delik duvarında yeteri kadar yapışma yüzeyi oluşturamamakta ve düşük yük seviyelerinde yapışma dayanımını kaybederek sıyrılmaktadır (Yılmaz et al. 2010).

2.1.8.3 Ankraj Deliğinin Islaklığı

Islak ankraj delikleri dayanımı bir ölçüde düşürürken su altı uygulamalarında daha büyük düşüşler elde edilmiştir. Su altında kapsül ankrajların daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Cook ve Konz (2001), yaptıkları çalışmada nemli yüzeylere yapılan ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı, kuru ve temiz yüzeylerde bulunan referans yapışma dayanımlarının ortalama %77'si ve ıslak yüzeylerde oluşan yapışma dayanımının ise referans dayanımının ortalama %43'ü kadar olduğunu gözlemlemiştir. Nemli ve ıslak ankraj deliklerine uygulanan ankrajlarda aksenal yük kapasitelerinde düşüş gözlenmiştir. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının kürünü tamamlayabilmesi için gereken ortam şartlarının nemli yüzeylerde sağlanamaması kimyasal yapıştırıcının oluşturduğu kimyasal bağın gücünü düşürmektedir. Nemli yüzeylere uygulanan ankrajların göçme yükleri %30 oranında azalmıştır (Yılmaz et al. 2010).

2.1.8.4 Yüksek Sıcaklık ve Sünme

Yüksek sıcaklıkta ankraj dayanımı genel olarak düşmektedir, ancak yüksek sıcaklık altında oluşan sünme davranışı daha da önemlidir. Sık sıcaklık değişimi betonda çatlamalara neden olacağından ankraj dayanımını düşürebilmektedir. 43 °C sıcaklığa maruz kalmış kimyasal ankrajlarda bağ dayanımı %25'lere varan değişim göstermiştir (Yılmaz et al. 2010).

2.1.8.5 Ankraj Kenar Uzaklığı ve Ankrajlar Arası Uzaklık

Ankraj serbest kenara yakın ise taban betonunun çatlayarak yarılması nedeniyle göçme oluşabilir. Ankraj aksenal çekme altında beton oluşan göçme nedeniyle kapasitesine erişiyorsa betonda oluşan çatlaklar yanındaki komşu ankrajların kapasitelerini de etkileyecektir. Ankrajlar arası yeterli mesafe bırakılmadığında oluşan çatlaklar komşu ankrajların kapasitelerini düşürebilmektedir. Kenar göçmelerinin veya oluşacak beton konilerinin birbirini etkilemelerini önlemek amacıyla ASTM E 488'de ankraj ekme aralıkları ve kenar uzaklıkları verilmiştir (Çizelge 2.2). Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde derin ankrajlar için verilen alt sınırların yeterli olduğu gözlenirken, tablodaki değerlerin sığ derinlikteki ankrajlar için arttırılması gerektiği görülmüştür (Yılmaz et al. 2010).

Çizelge 2.2 Ankraj ekme aralıkları ve kenar uzunlukları, (Baradan et al. 2002)

| Ekme Boyu (ℓ_d) | Kimyasal Ankrajlar | |
|---|--------------------------|---|
| | İki Ankraj Arası Uzaklık | Kenara ve Yükeme Çevresine Olan Uzaklık |
| <6d ₀ (sığ) | 2 ℓ_d | 1 ℓ_d |
| 6 d ₀ -8 d ₀ (standart) | 1.5 ℓ_d | 1 ℓ_d |
| >8 d ₀ (derin) | 1 ℓ_d | 0.75 ℓ_d |

* d₀: ankraj çapı, ℓ_d : ekme boyu

2.1.8.6 Ekme Boyunun Etkisi

Ankrajların yük taşıma kapasitelerini etkileyen diğer bir parametre ise ankraj ekme boyudur. Göçme yükü ekme boyuyla birlikte artarken bu artışın her zaman doğrusal olmadığı gözlenmiştir. 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 olmadığına göstergesidir. Diğer yandan nihai kuvvetin doğrusal olarak çelik çubuğun gömme derinliğine ve çapına bağlı olduğuna dair çalışmalarda bulunmaktadır. Yüksek dayanımlı betonda 12 cm ekme boyundaki ankrajların deneyleri beton koni göçmesi ile sonlandığı halde çeliğin kopma yüküne yakın taşıma kapasitelerine ulaşılmıştır. Bu durum normal dayanımlı betonlara ekilen ankrajlar için geçerli değildir ve ekme boyu 12 cm den 16 cm ye derinleştğinde göçme yükü yaklaşık % 18 oranında artmıştır.

12 mm çapındaki ankrajlar ise hem normal hem de yüksek dayanımlı betonlarda 4, 6 ve 8 cm derinliklerde ekme boyu ile doğrusal artan göçme yüklerine ulaşmışlardır. Seyhan(2006), derin ankrajlarda sıyrılmadan önce donatının büyük oranda pekleştiği ve ardından ani göçme ile göçtüğünü gözlemlemiştir (Yılmaz vd, 2010).

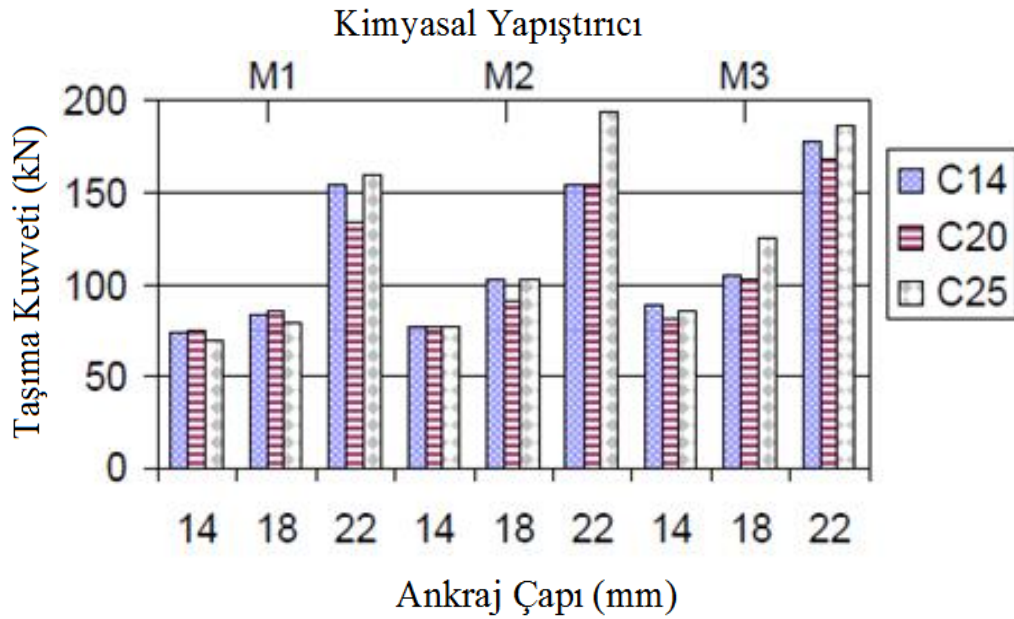
2.1.8.7 Beton Dayanımının Etkisi

Ankraj göçme yükünü etkileyen önemli faktörlerden birisi de beton basınç dayanımıdır. Kimyasal ankrajların nihai kapasitesi beton basınç dayanımı ile arttıkça yükselmektedir. Sığ ankrajlar incelendiğinde yüksek dayanımlı betondaki kimyasal ve harçlı ankrajların göçme yüklerinin normal dayanımlı betondakilerden % 30 oranında daha büyük olduğu görülmektedir. 12 cm ekme boylarında ise kimyasal ankrajlarda yukarıda verilen oran korunurken, harçlı ankrajlarda her iki betondaki göçme yükleri birbirlerine yakındır. Kimyasal ankrajlar genel olarak beton koni göçmesi göstermiş ve göçme yükleri beton dayanımından etkilenmiştir. 16 cm ekme boyunda kimyasal ankraj deneyleri çelik kopması ile sonlandığı için beton dayanımındaki artıştan pek fazla etkilenmemişlerdir.

Kimyasal ankraj çekme kapasitesine betonda oluşan göçme nedeniyle ulaşıyorsa betonun çekme dayanımı ankraj kapasitesini etkilemektedir (Yılmaz vd, 2010).

2.1.8.8 Ankraj Çapının Etkisi

Ankraj çapının artması aderans gerilmelerinin oluştuğu yüzey alanının artmasını veya azalmasını sağlayarak, ankraj kapasitesini etkilemektedir. Özkul vd. (2001) çalışmalarında 3 farklı ankraj çapında çalışmışlar ve çapı büyük olan donatıların taşıyabildiği kuvveti daha büyük bulmuşlardır (ACI 1991). C14, C20 ve C25 beton sınıflarında; 3 farklı kimyasal yapıştırıcı (M1, M2 ve M3) ile 14, 18 ve 22 mm ankraj çaplarında çalışmalar yapmışlardır. Şekil 2.14’ de C14, C20 ve C25 beton dayanımlarında üç değişik malzemenin ankraj çapı – ankraj taşıma kuvveti ilişkisi görülmektedir (Yılmaz et al. 2010).



Şekil 2.14 C14, C20 ve C25 beton dayanımlarında üç değişik malzemenin ankraj çapı – ankraj taşıma kuvveti ilişkisi (Yılmaz et al. 2010)

Yapılan çalışmalarda, ankraj çapının büyümesi aderans gerilmelerinin oluştuğu yüzey alanının artmasına neden olarak, ankraj kapasitesinin yükseldiğini gözlemlemişlerdir 6 ve 8 cm ekme boylarındaki 12 mm ve 16 mm çaplı kimyasal ankrajların normal ve yüksek dayanımlı betonlardaki göçme yüklerini karşılaştırmışlardır. 6 cm derinliğe

ekilen ankrajlar incelendiğinde normal ve yüksek dayanımlı yalın betonlarda ankraj çapının artmasıyla göçme yükü artmakta olup bu artış normal dayanımlı betonda daha küçüktür. Benzer davranış 8 cm derinliğe ekilen ankrajlar için de geçerlidir. Burada da yine çapın büyümesi ankraj göçme yükünün artmasını sağlamış ve bu artışın yüksek dayanımlı yalın ve lifli betonlarda daha etkili olduğu gözlenmiştir. Cook, (1993) beton basınç dayanımı 5-10 MPa düzeyinde bulunan betonlara epoksi ile ankrajlar ekilerek tersinir tekrarlı kesme yüklemesine maruz bırakılmışlardır. Bu çalışmanın neticesinde donatı çapının artması ile kesme dayanımının arttığı ancak bu artışın alan artışı ile orantılı artmadığı görülmüştür. Bu sebeple, büyük çaplı donatılarda erişilen nihai gerilme değerlerinin düştüğü gözlenmiştir (Yılmaz et al. 2010).

2.1.8.9 Kesme Yükleme Altında Kenar Göçmesi Gösteren Ankrajların Davranışı

Kesme yüklemesi altında kenar göçmesine neden olan en önemli etken ankrajın kenar mesafesidir. Kesme yüklemesinde kenar göçmesi gösteren ankrajların göçme yüküne ankraj tipinin, ekme boyunun ve betona çelik lif katılmasının belirgin bir etkisi gözlenmemektedir. 8 cm ekme boyundaki harçlı ankrajlarda daha yüksek göçme yükü gözlenirken, kimyasal ankrajlarda 16 cm ekme boyunda daha yüksek göçme yükü görülmüştür. Kimyasal ankrajlarda kenar göçme yükü ekme boyuyla artış gösterirken, harçlı ankrajlarda azalma gözlenmiştir.

Ankrajların statik kesme yükleri altındaki davranışlarına kenar mesafesi, ankraj çapı ve beton dayanımının etkileri olduğu görülmüştür. Ueda ve arkadaşları monolitik kesme yüklemesi altındaki ankraj bulonlarının, kritik kenar uzunluğunun 150 ile 170 mm arasında değiştiğini göstermişlerdir (Yılmaz et al. 2010).

2.1.8.10 Kısa kür süresi

Kısa kür süresinde (24 saat) ankrajların yapışma dayanımlarının ortalama %88'ini kazandığı görülmüştür (Yılmaz et al. 2010).

2.1.8.11 Ankrajların bağlılık durumu

Gürbüz vd (2007) yaptıkları çalışmada, tam bağlı ankrajların çekip çıkarma deneylerinde koni oluşumuyla göçmenin oldukça ani ve gevrek olduğunu gözlemlemişlerdir. Tam bağlı ankraj numunelerinin tümünde aksenal çekme deneylerinde göçme, donatı akma gerilmesine ulaşmadan gerçekleşmiştir. Kısmi bağlı ankraj numunelerinin tümünde sıyrılma ile göçme gerçekleşmiştir. Ankraj derinliğinin st bölümünde serbest bırakılan bölge beton konisi oluşumunu engellemiştir. Kısmi bağlı ankrajlar daha sünek davranış ve daha yüksek göçme dayanımları göstermişlerdir (Yılmaz et al. 2010).

3. MATERYAL VE METOD

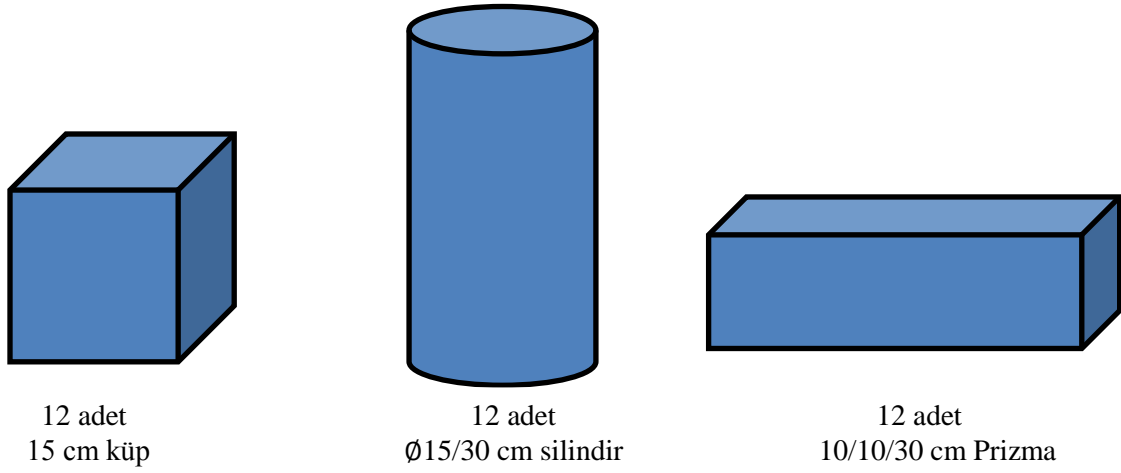
Aderans deneyleri arasında en eskisi, en yaygın olarak kullanılan ve en basit ve pratiği olan aksel çekip çıkarma deneyidir. Yapılan tez çalışmasında, tabandan mesnetlenmiş silindir numune içerisine yerleştirilmiş donatı çubuğu serbest ucundan çekilerek betondan çıkartılmaya çalışılmıştır. Çekip çıkarma deneyinde, (Kürklü, 2011) tarafından yapılan doktora tez çalışmasında aderans deneylerinde kullanılan hidrolik üniversal çekme test cihazı üzerinde tasarlanmış özel düzenden yararlanılmıştır. Özel olarak tasarlanmış rijit kafes, cihazın alt çenesine mesnetlenerek içerisine betonlama sırasında donatı yerleştirilen Ø15/30 cm silindir numuneler ile sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlı Ø15/30 cm silindir beton numuneler konulmuştur. Rijit kafes çerçevesinin üst levhasındaki yarıktan çıkan ankraj donatısı cihazın üst çenesine bağlanarak alt ucun serbest, üst ucun aksel F yükü etkisinde çekilerek, çekip-çıkarma(pull out) deneyi yapılmıştır. Bu durumda, göçme durumuna kadar uygulanan yük ve yerdeğiştirme değerleri alınarak, betonlama sırasında konulan mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların davranış etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan beton dayanım sınıfları C8, C12, C16, C20 olarak amaçlanmıştır. Amaçlanan beton dayanım sınıfının seçiminde Türkiye'deki mevcut yapılarının özellikleri ve gerçek durumları rol oynamıştır. Deneysel çalışmada, beton dayanımları 8, 12, 16 ve 20 Mpa, ankraj çelik cinsi S420a, ankraj donatı çapı 12 ve 16 mm ve ankraj derinliği ise 10Φ ve 15Φ olacak şekilde parametreler seçilmiştir. Uygulanacak test türünde incelenecek parametreler, mevcut beton dayanımı, ankraj edilen çeliğin özellikleri ve ankraj derinlikleri olarak alınmıştır. Deneylerde, Yapı Eğitimi bölümünde bulunan hidrolik üniversal çekme test cihazı kullanılmıştır.

Tez kapsamında dikkate alınacak değişkenlerin betonlama sırasında konulan mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların aksel çekme etkisi altında davranışını ayrıntılı biçimde ele alınarak, kuramsal bilgiler ışığı doğrultusunda deneysel çalışmalarla gerçek yapı davranışının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunulacaktır.

3.1 Denejde Kullanılan Malzemelerin Üretimi

Yapılan tez çalışması kapsamında uygulanacak deneysel çalışmalarda, öncelikle deney numunelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Denejlerde, amaçlanan beton dayanımlarının belirlenmesi amacıyla Şekil 3.1’de gösterilen her beton sınıfı için 12 adet standart silindir, küp ve prizma numuneleri ile eksenel çekip çıkarma deneyinde kullanılacak 8, 12, 16 ve 20 Mpa amaçlanan dayanımlı Ø15/30 cm silindir numuneler üretilmiştir.



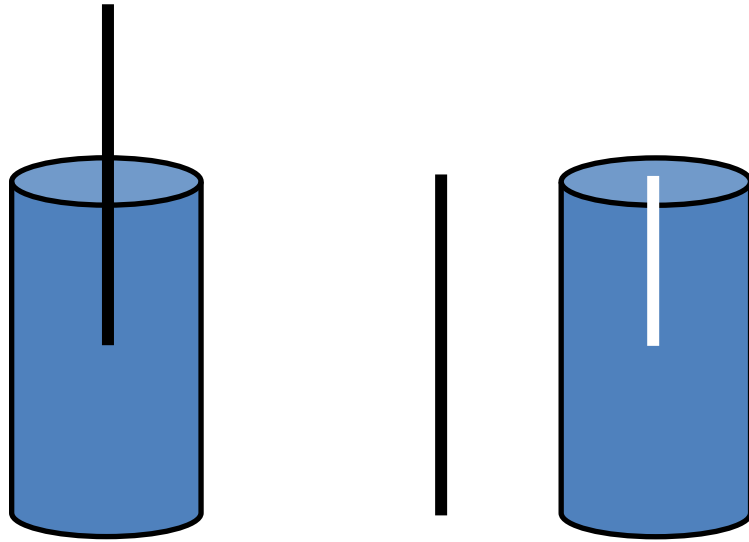
Şekil 3.1 Beton basınç dayanımı için üretilen standart küp, silindir ve prizma numuneler

Eksenel çekme deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan numuneler çizelge 4.1’ de gösterildiği gibi her beton sınıfı için donatısı betonlama sırasında 15x30 silindir içerisine yerleştirilen 12 adet ve donatısı betonlama sonrasında Ø15/30 silindir içerisine epoksi ile yapıştırılmak üzere 12 adet olmak üzere toplam 24 adet hazırlanmıştır. Amaçlanan her beton sınıfı için (C8, C12, C16 ve C20) çizelge 4.1’de detayları verilen numunelerden üçer adet üretilmiştir.

Çizelge 3.1 Silindir numunelerini hazırlama bilgileri

| Numune | |
|--|---------------------------------|
| 15x30 silindir donatı betonlama sırasında yerleştirilecek | Φ12 çap - 10Φ (120 mm) derinlik |
| | Φ12 çap - 15Φ (180 mm) derinlik |
| | Φ16 çap - 10Φ (160 mm) derinlik |
| | Φ16 çap - 15Φ (240 mm) derinlik |
| 15x30 silindir donatı betonlama sonrasında epoksi ile yapıştırılacak | Φ12 çap - 10Φ (120 mm) derinlik |
| | Φ12 çap - 15Φ (180 mm) derinlik |
| | Φ16 çap - 10Φ (160 mm) derinlik |
| | Φ16 çap - 15Φ (240 mm) derinlik |

Epoksi ile yapıştırılacak numune hazırlanmasında düz yüzeyle donatılar kullanılmıştır. Üretim esnasında beton silindir kalıplara yerleştirildikten sonra düz yüzeyle donatılar silindirin orta bölgesine yerleştirilerek beton prizini alana kadar bekletilmiş, prizini aldıktan sonra düz yüzeyle donatılar çekilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Epoksi ile yapıştırmaların yapılacağı deney numunelerin hazırlanışı

Üretimden 90 gün sonra ankraj yerleştirilmek üzere açılan delikler epoksi türü kimyasal yapıştırıcı ile farklı boy ve çaptaki ankraj donatıları numunelere yerleştirilmiştir.

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 (Kolsan, 2013)

| Kaynak | Agrega (Beyaz Taş Ocağı) | | | Afyon Çimsa CEM I 42.5 R | Uçucu Kül Kütahya | Sika RMC 315 | |
|---------|--------------------------|-----------------|------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| | 0/4 Kum (kg) | 4/11 Kırma (kg) | 11/22 Kırma (kg) | Çimento Miktarı (kg) | Mineral Katkı (kg) | Kimyasal Katkı (kg) | Su/Çimento |
| 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 aksel 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 (σ - ϵ) de elde edilebilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan donatı numunelerinin hazırlanışı resim 3.1’de ve bu donatılara ait mekanik özellikler ise çizelge 3.3’de verilmiştir.



Resim 3.1 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 ²) | Akma Muk. (N/mm ²) | Kopma Uzaması (%) | Rm/Re |
|-------------|-----|-----------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------|
| S420 | Φ12 | 1 | 546.00 | 495.84 | 9.8 | 1.10 |
| | | 2 | 545.00 | 433.40 | 26.1 | 1.26 |
| | | 3 | 524.00 | 408.70 | 25.5 | 1.28 |
| | | Ortalama | 538.33 | 445.98 | 20.46 | 1.21 |
| S420 | Φ16 | 1 | 654.00 | 524.00 | 17.6 | 1.25 |
| | | 2 | 649.00 | 545.30 | 19.3 | 1.19 |
| | | 3 | 635.00 | 546.00 | 17.9 | 1.16 |
| | | 4 | 639.00 | 546.00 | 18.2 | 1.17 |
| | | 5 | 651.00 | 409.00 | 18.9 | 1.59 |
| | | 6 | 646.00 | 408.00 | 18.6 | 1.59 |
| | | Ortalama | 645.66 | 496.38 | 18.42 | 1.32 |

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 ² |
| Gerilme mukavemeti (ASTM 638) | > | 10 N/mm ² |
| Eğilme mukavemeti (ASTM 790) | > | 16 N/mm ² |
| Elastisite modülü | | 3034 N/mm ² |
| Karışım yoğunluğu | | 1.65 g/cm ³ |

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 çekip çıkarma deneyinde kullanılacak Ø15/30 cm silindir numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan silindir numunelerin resimleri resim 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.2 Tez çalışmasında kullanılan silindir numuneler

Eksenel çekme deneyi için amaçlanan ortalama basınç dayanımları 8, 12, 16 ve 20 Mpa dayanımlı hazır beton ile $\emptyset 15/30$ cm silindir numuneler üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda toplamda 96 adet $\emptyset 15/30$ cm silindir numuneler kullanılmıştır. Bunlardan 48 adet silindir numune içerisine ankraj donatı çelik cinsi S420a, çapı 12 ve 16 mm ve derinliği ise 10Φ ve 15Φ olan nervürlü donatılar betonlama sırasında silindir merkezinde yerleştirilmiştir. Diğer 48 adetinde ise sonradan epoksi ile donatı yerleştirilmek üzere betonlama sırasında silindir merkezinde ankraj donatı çapından 4 mm kadar genişlikli boşluklar oluşturulmuştur. Boşlukların oluşturulmasında düz donatılı çubuklar kullanılmıştır. Düz donatılı çubuklar, çapı 12 mm ankraj için 16 mm, çapı 16 mm için ise 20 mm seçilmiştir. Burada, düz yüzeyleli donatılarının ankraj çubuklarından 4 mm daha kalın seçilmesinin amacı epoksi kalınlığından kaynaklanmıştır. Düz yüzeyleli donatılar betonlama sırasında betona yerleştirilerek, beton prizini almaya başladıktan hemen sonra çıkartılarak ankraj çubuklarının yerleşimi için boşluklar oluşturulmuştur. Üretimden 90 gün sonra resim 3.3'de gösterildiği şekilde ankrajlar yerleştirilmek üzere delikler kompresör yardımıyla temizlenmiştir. Temizlenen

silindir üzerindeki deliklere epoksi türü kimyasal yapıştırıcılar sıkılarak ankraj donatıları numunelere yerleştirilmiştir (Resim 3.4).



Resim 3.3 Ankraj yerleştirilmek üzere temizlenen silindir numuneler



Resim 3.4 Kimyasal yapıştırıcı sıkılan ve nervürlü donatı yerleştirilen silindir numuneler

Ankraj yerleştirilen silindir numunelere pull out (ekip-çıkarma) deneyi uygulanmıştır. Özel olarak tasarlanmış rijit kafeste, cihazın alt çenesine mesnetlenerek içerisine hazırlanan deney numuneleri konulmuştur. Deney numuneleri, betonlama sırasında yerleştirilen donatılar bulunan silindirler ile sertleşmiş betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlı donatılar bulunan $\text{Ø}15/30$ cm silindir beton numuneleri oluşmuştur. Numunelerin ankraj donatısı, rijit kafes çerçevesinin st levhasındaki yarıktan çıkarak cihazın st çenesine bağlanmış olup alt ucu serbest kalmıştır (Resim 3.5). st u, eksenel F yükü etkisinde çekilerek ankraj çubuğunun betondan ayrılması sağlanmıştır. Cihazın programı sayesinde sıyrılma ve göçme durumuna kadar uygulanan yük ve yerdeğiştirme değerleri alınarak, silindir numunelere betonlama sırasında yerleştirilen mekanik bağlantılı ankraj donatıları ile beton sertleştikten sonra yerleştirilen kimyasal bağlantılı ankraj donatılarının mekanik davranışları belirlenmiştir.



Resim 3.5 çekip-çıkarma deneyi uygulanan silindir numune

4. BULGULAR

Farklı beton sınıflarında, farklı donatı çapı ve derinliğinde değişkenlerin dikkate alındığı betonlama sırasında beton içerisine yerleştirilen ve mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile beton sertleştikten sonra epoksi malzeme kullanılarak yerleştirilen kimyasal bağlantılı ankrajların aksenal çekme etkisi altında davranışını ayrıntılı biçimde ortaya konulması amacıyla kapsamlı deneyler yürütülmüştür.

Bu tez çalışmasında, amaçlanan beton dayanımlarına göre davranışlar dikkate alınacağından, farklı tarihlerde üretilen betonların mekanik deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, 15 cm'lik küp ve Ø15/30 cm'lik silindir numunelerinin basınç dayanımı ve 10x10x30 cm'lik prizma numunelerinin eğilmede çekme dayanım deneyleridir. 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 mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı için kullanmak üzere çekip-çıkarma 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.

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

Çizelge 4.1’de amaçlanan beton sınıflarının 28. günlük mekanik özellikleri verilmiştir.

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

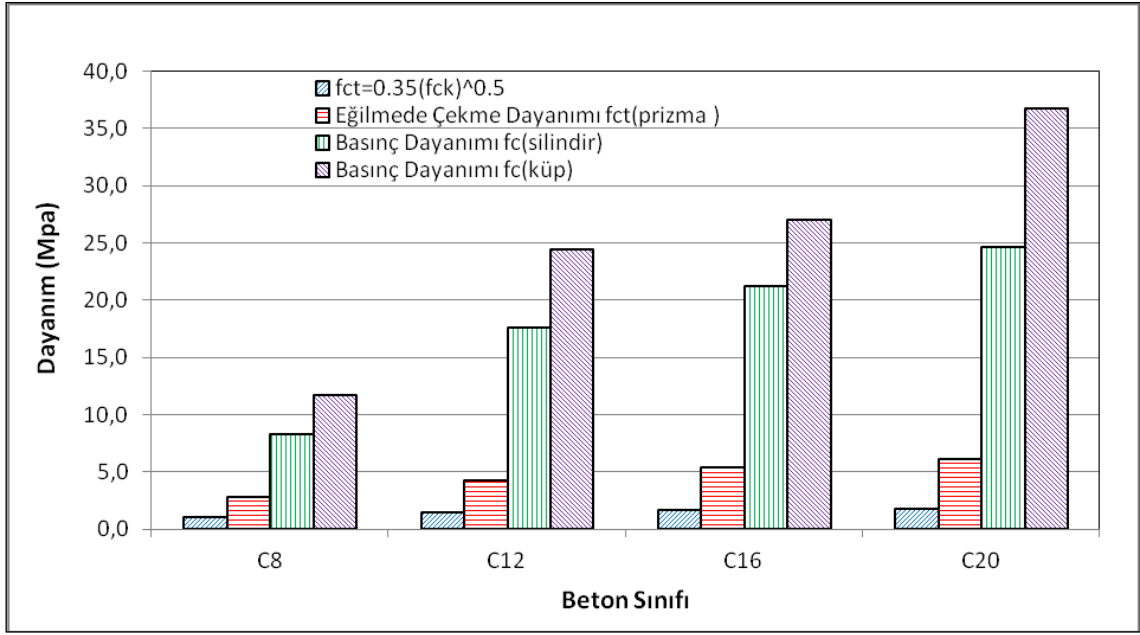
| Beton sınıfı | C20 | C16 | C12 | C8 |
|--|-------|-------|-------|------|
| Silindir Basınç Dayanımı f_{ck} (N/mm ²) | 23.13 | 15.70 | 12.63 | 7.16 |
| Küp Basınç Dayanımı (N/mm ²) | 32.82 | 21.38 | 17.64 | 8.21 |
| Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²) | 5.35 | 5.41 | 4.29 | 2.19 |
| Eksenel Çekme Dayanımı f_{ctk} (N/mm ²) | 1.68 | 1.38 | 1.24 | 0.93 |

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

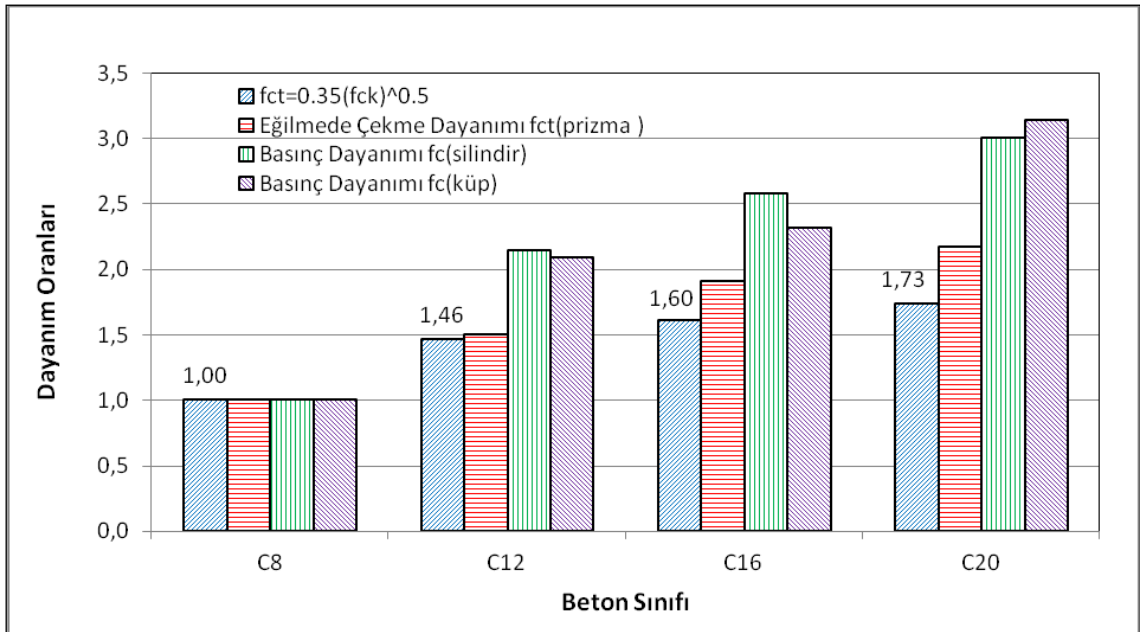
Çizelge 4.2 Üretilen numunelerin ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki ortalama dayanım değerleri

| Beton sınıfı | C20 | C16 | C12 | C8 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Silindir Basınç Dayanımı f_{ck} (N/mm ²) | 24.63 | 21.15 | 17.61 | 8.21 |
| Küp Basınç Dayanımı (N/mm ²) | 36.64 | 27.01 | 24.41 | 11.67 |
| Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²) | 6.11 | 5.38 | 4.23 | 2.82 |
| Eksenel Çekme Dayanımı f_{ctk} (N/mm ²) | 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.

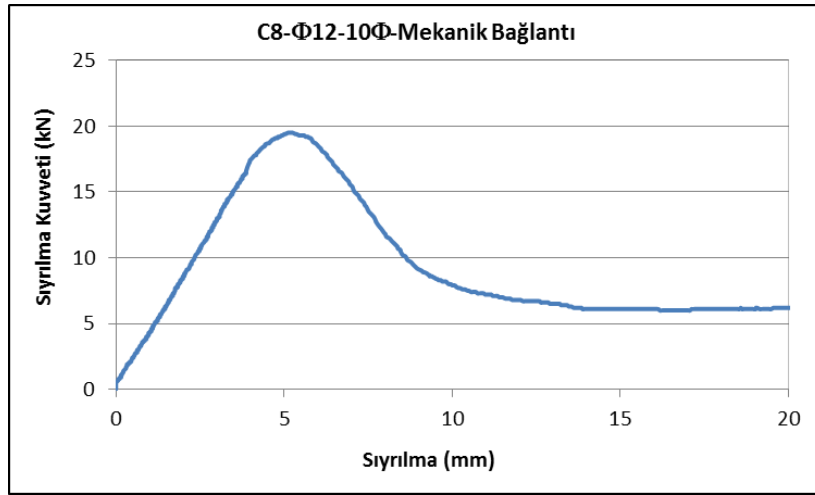


Şekil 4.1 Ankraj deneylerinin yapıldığı tarihteki beton numunelerinin mekanik özelliklerinin değişimi

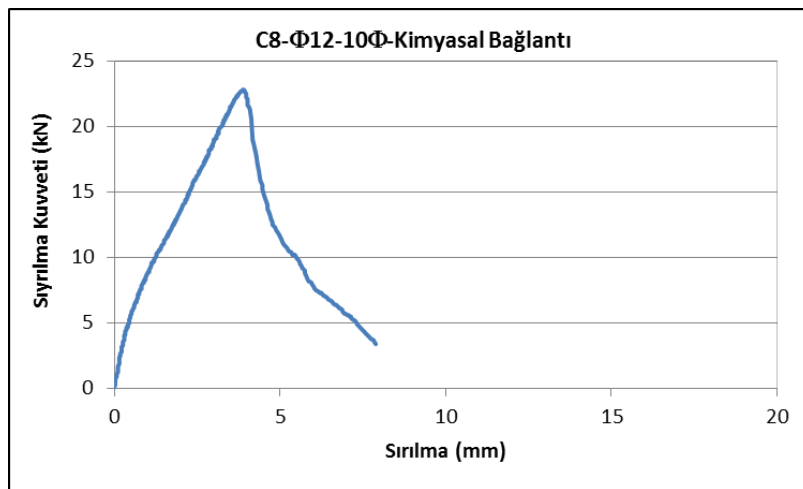


Şekil 4.2 En düşük beton sınıfına göre dayanım oranları

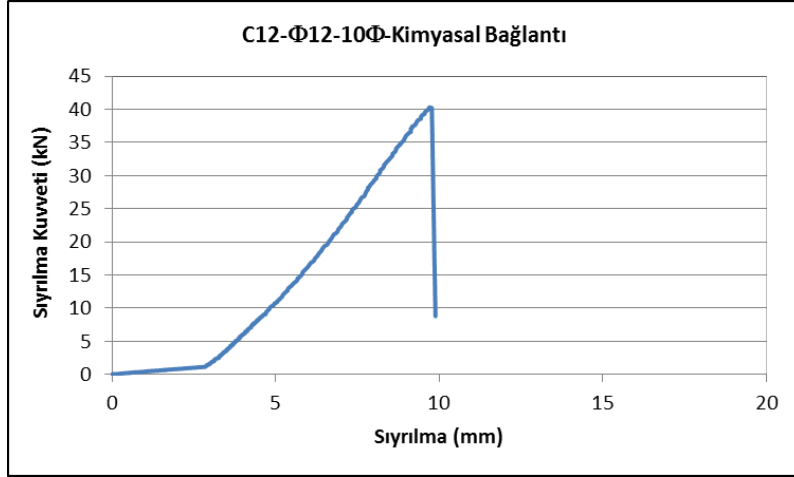
Beton özellikleri belirlenen silindir numunelere pull out (çekip-çıkarma) deneyi uygulanmıştır. Numunelerin ankraj donatısı, rijit kafes çerçevesinin üst levhasındaki yarıktan çıkarak cihazın üst çenesine bağlanarak, eksenel F yükü etkisinde çekilmiştir. Ankraj çubuğunun betondan sıyrılmaya ve göçme durumuna kadar uygulanan yük ve yerdeğiştirme değerleri üniversal çekme cihazının programı sayesinde elde edilmiştir. Deneyler, betonlama sırasında yerleştirilen donatıları bulunan silindirler ile sertleşmiş betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlı donatıları bulunan $\text{Ø}15/30$ cm silindir beton numuneleri üzerinde uygulanmıştır. Farklı beton, farklı donatı, farklı derinlik ve farklı aderans bağlantıları için numunelerin bazıları için yük ve yerdeğiştirme örnekleri şekil 4.3-4.10'da verilmiştir.



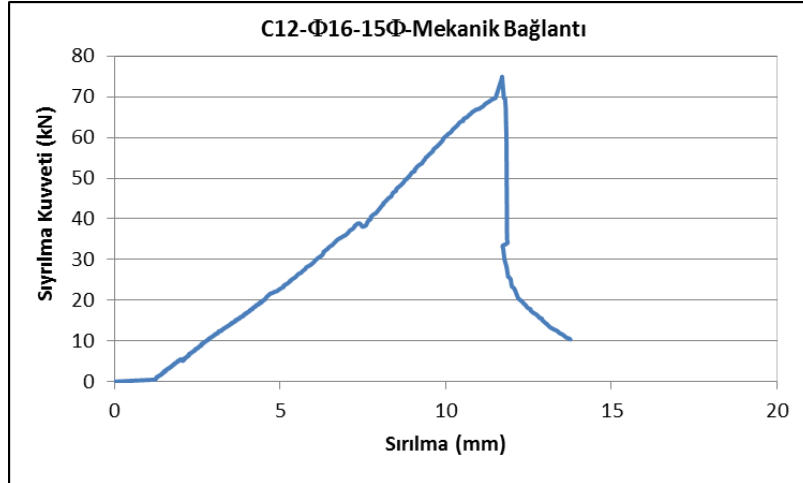
Şekil 4.3 C8 betonunda mekanik bağlantılı $\text{Ø}12-10\text{Ø}$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi



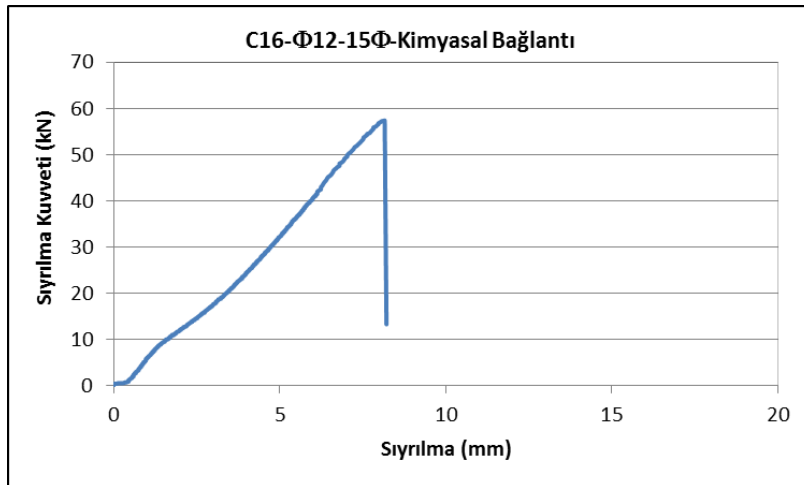
Şekil 4.4 C8 betonunda kimyasal bağlantılı $\text{Ø}12-10\text{Ø}$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi



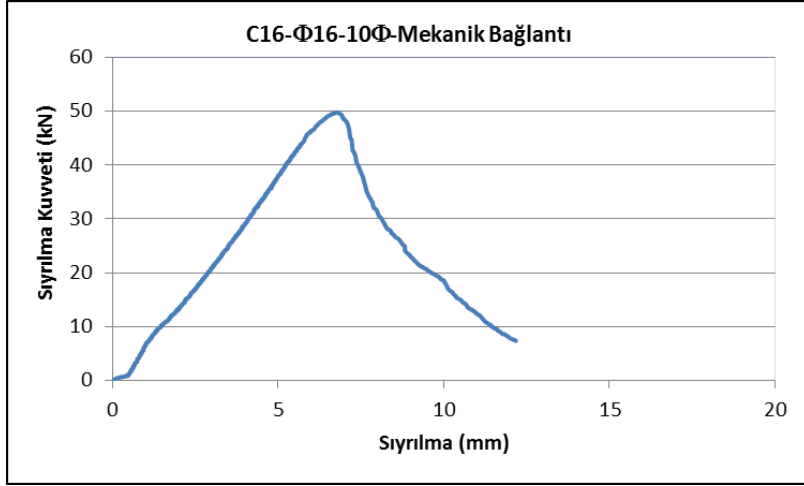
Şekil 4.5 C12 betonunda kimyasal bağlantılı $\Phi 12-10\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi



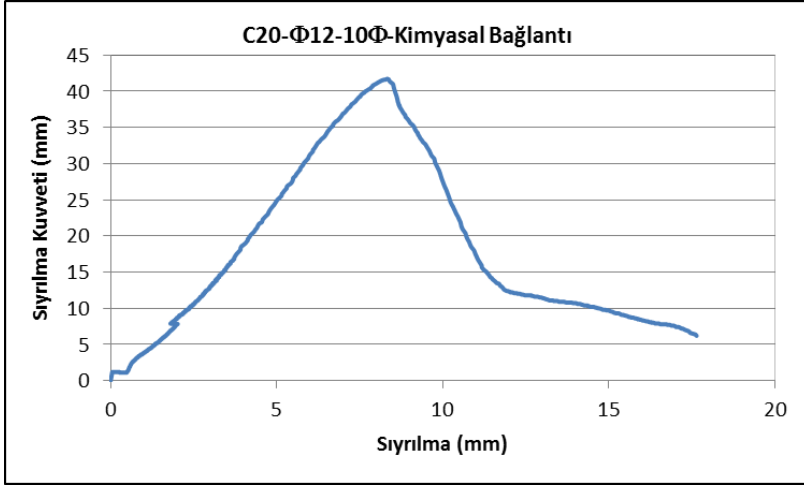
Şekil 4.6 C12 betonunda mekanik bağlantılı $\Phi 16-15\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi



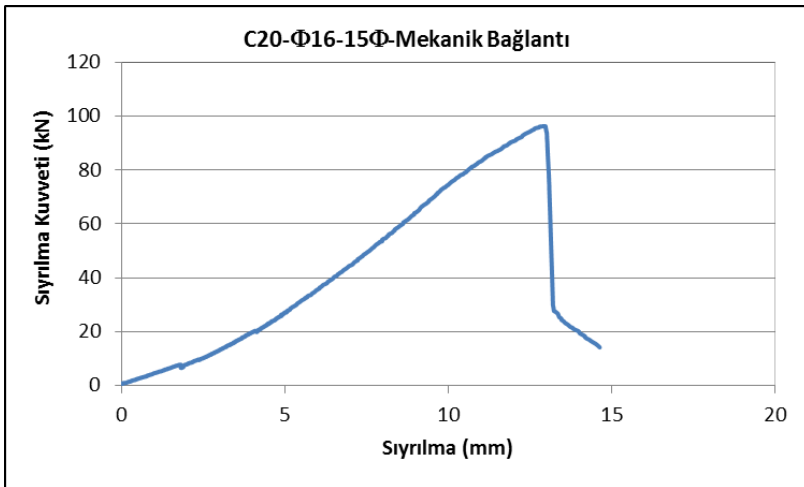
Şekil 4.7 C16 betonunda kimyasal bağlantılı $\Phi 12-15\Phi$ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.8 C16 betonunda mekanik bağlantılı Φ16-10Φ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.9 C20 betonunda kimyasal bağlantılı Φ12-10Φ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.10 C20 betonunda mekanik bağlantılı Φ16-15Φ ankrajının yük – yer değiştirme eğrisi

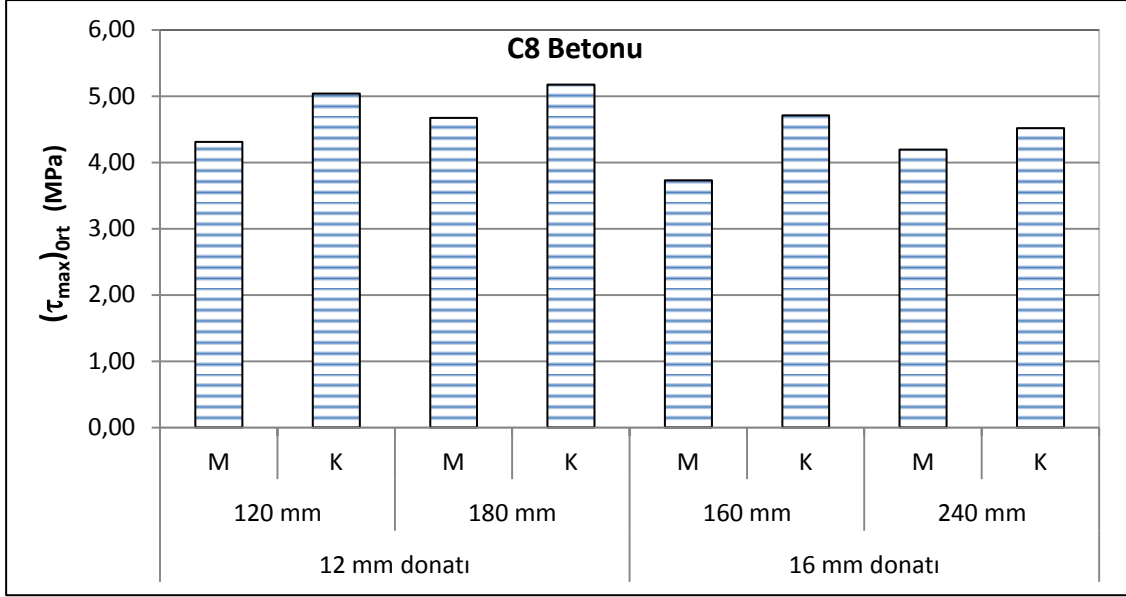
Her seri içerisinde yer alan deney numunesinin ankraj donatıları çekilerek sıyırma kuvveti ve bu kuvvete karşılık gelen sıyırma değerleri elde edilmiştir. Her deney numunesi için elde edilen değerlerden maksimum sıyırma kuvveti ve bu kuvvete karşılık gelen sıyırma miktarları belirlenmiş ve her serideki üç numunenin ortalama değerleri alınarak toplu sonuçları çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelgede ayrıca maksimum sıyırma kuvveti altında oluşan bağıntı (4.2)’ye göre hesaplanan ortalama aderans gerilmesi (τ_{ort}) değerleri de verilmiştir.

$$\tau_{ort} = \frac{F_{max}}{\pi dl} \quad (5.2)$$

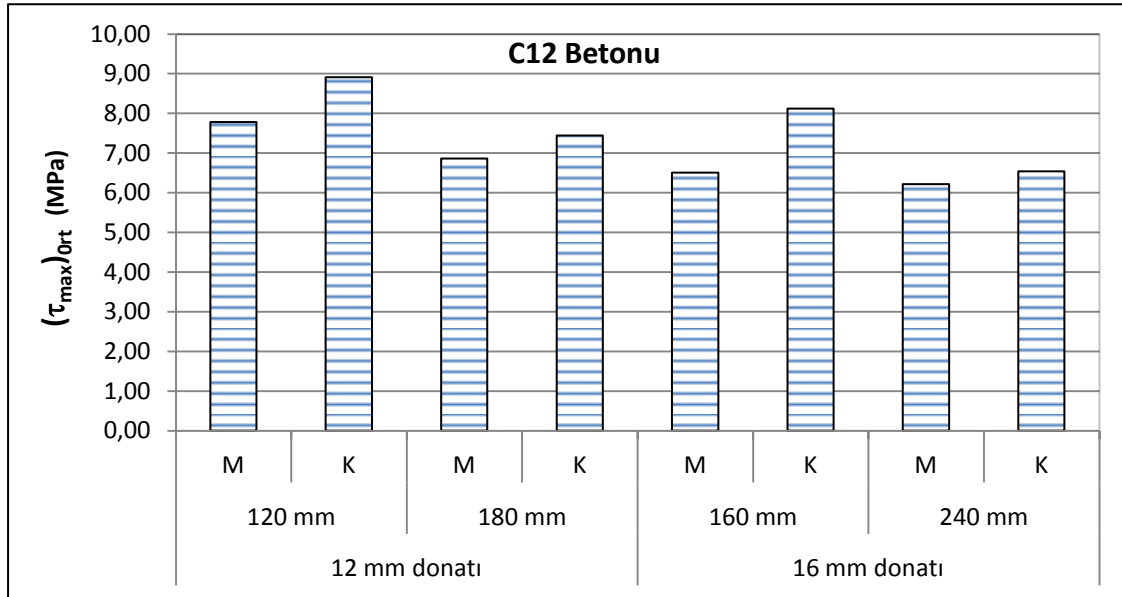
Çizelge 4.3 Ankraj deneylerinin ortalama dayanım değerlerinin ortalama sonuçları

| Amaçlanan Beton Sınıfı | Donatı Çapı | Donatı Derinliği (mm) | Aderans Tipi | F_{max} (kN) | τ_{ort} (N/mm ²) | δ (mm) |
|------------------------|-------------|-----------------------|--------------|----------------|-----------------------------------|---------------|
| C8 | 12 | 120 (10 Φ) | Mekanik | 19.50 | 4.31 | 5.23 |
| | | | Kimyasal | 22.80 | 5.04 | 3.88 |
| | | 180 (15 Φ) | Mekanik | 31.70 | 4.67 | 7.16 |
| | | | Kimyasal | 35.10 | 5.17 | 6.08 |
| | 16 | 160 (10 Φ) | Mekanik | 30.00 | 3.73 | 5.47 |
| | | | Kimyasal | 37.90 | 4.71 | 7.76 |
| | | 240 (15 Φ) | Mekanik | 50.60 | 4.19 | 9.54 |
| | | | Kimyasal | 54.50 | 4.52 | 9.54 |
| C12 | 12 | 120 (10 Φ) | Mekanik | 35.20 | 7.78 | 8.14 |
| | | | Kimyasal | 40.30 | 8.90 | 9.70 |
| | | 180 (15 Φ) | Mekanik | 46.55 | 6.86 | 9.59 |
| | | | Kimyasal | 50.50 | 7.44 | 6.03 |
| | 16 | 160 (10 Φ) | Mekanik | 52.30 | 6.50 | 7.29 |
| | | | Kimyasal | 65.30 | 8.12 | 8.95 |
| | | 240 (15 Φ) | Mekanik | 74.95 | 6.21 | 11.41 |
| | | | Kimyasal | 78.90 | 6.54 | 8.38 |
| C16 | 12 | 120 (10 Φ) | Mekanik | 34.90 | 7.71 | 5.57 |
| | | | Kimyasal | 41.00 | 9.50 | 7.38 |
| | | 180 (15 Φ) | Mekanik | 48.45 | 7.14 | 8.03 |
| | | | Kimyasal | 51.93 | 7.65 | 12.06 |
| | 16 | 160 (10 Φ) | Mekanik | 52.00 | 6.19 | 6.80 |
| | | | Kimyasal | 64.87 | 8.06 | 9.29 |
| | | 240 (15 Φ) | Mekanik | 71.70 | 5.94 | 11.17 |
| | | | Kimyasal | 77.67 | 6.44 | 13.56 |
| C20 | 12 | 120 (10 Φ) | Mekanik | 38.45 | 8.50 | 8.56 |
| | | | Kimyasal | 45.20 | 9.99 | 12.21 |
| | | 180 (15 Φ) | Mekanik | 50.40 | 8.90 | 12.22 |
| | | | Kimyasal | 57.00 | 8.40 | 41.52 |
| | 16 | 160 (10 Φ) | Mekanik | 59.10 | 7.35 | 9.72 |
| | | | Kimyasal | 73.30 | 9.11 | 14.60 |
| | | 240 (15 Φ) | Mekanik | 80.30 | 6.65 | 13.65 |
| | | | Kimyasal | 86.60 | 7.18 | 14.48 |

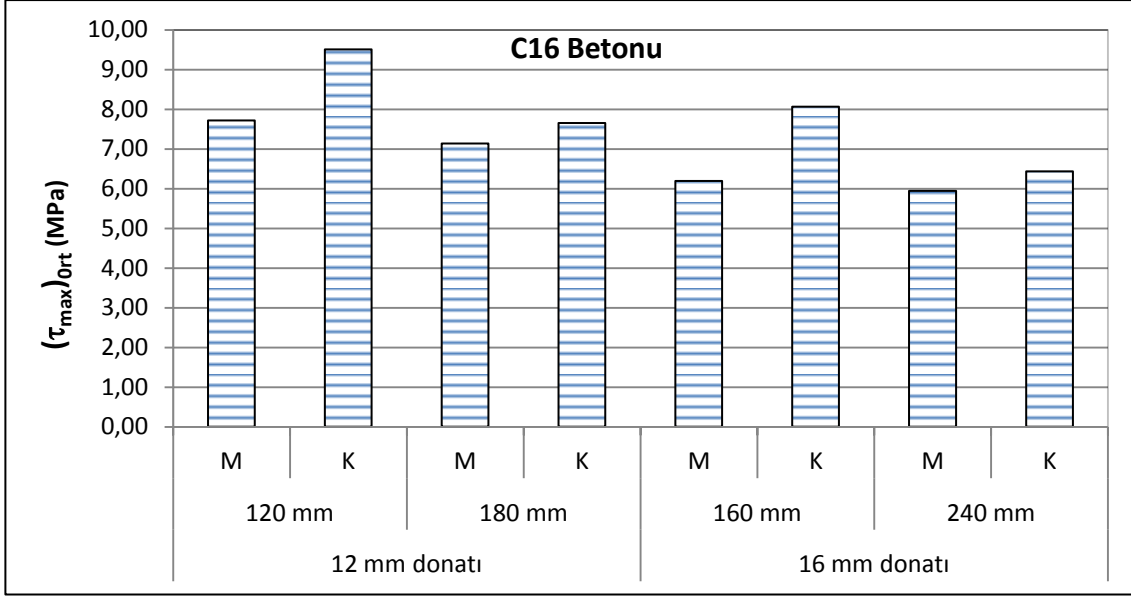
Mekanik ve kimyasal bağlantılı farklı çap ve derinlikteki ankraj donatılarının ortalama maksimum aderans gerilmelerinin (τ_{max})_{ort} değişimleri amaçlanan C8 beton sınıfı için şekil 4.11, C12 beton sınıfı için şekil 4.12, C16 beton sınıfı için şekil 4.13 ve C20 beton sınıfı için şekil 4.14’de verilmiştir.



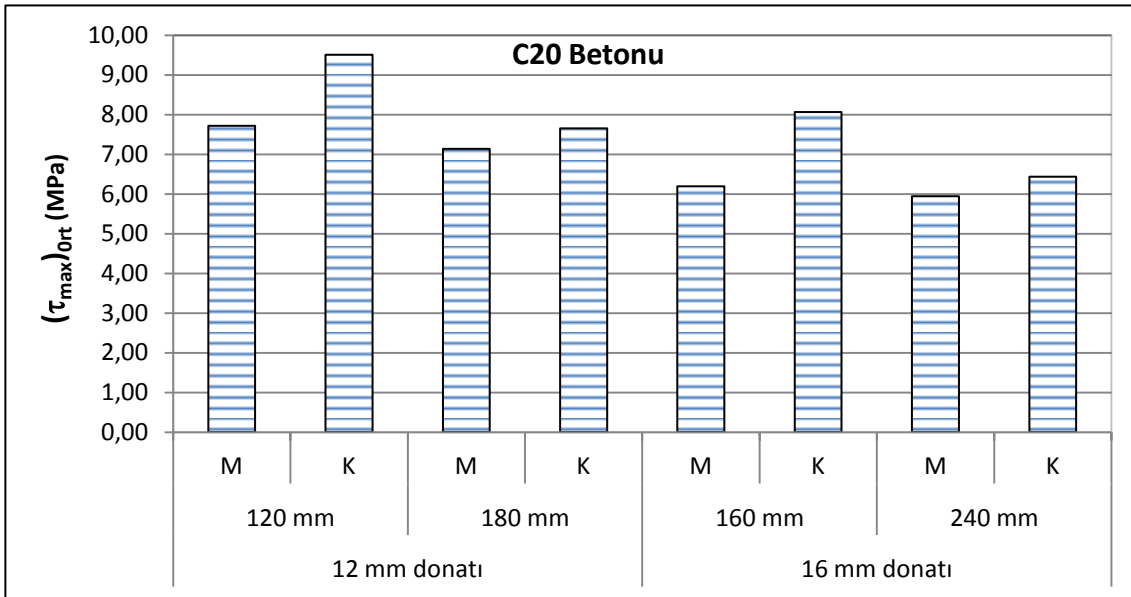
Şekil 4. 11 Amaçlanan C8 beton sınıfı için $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri



Şekil 4. 12 Amaçlanan C12 beton sınıfı için $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri

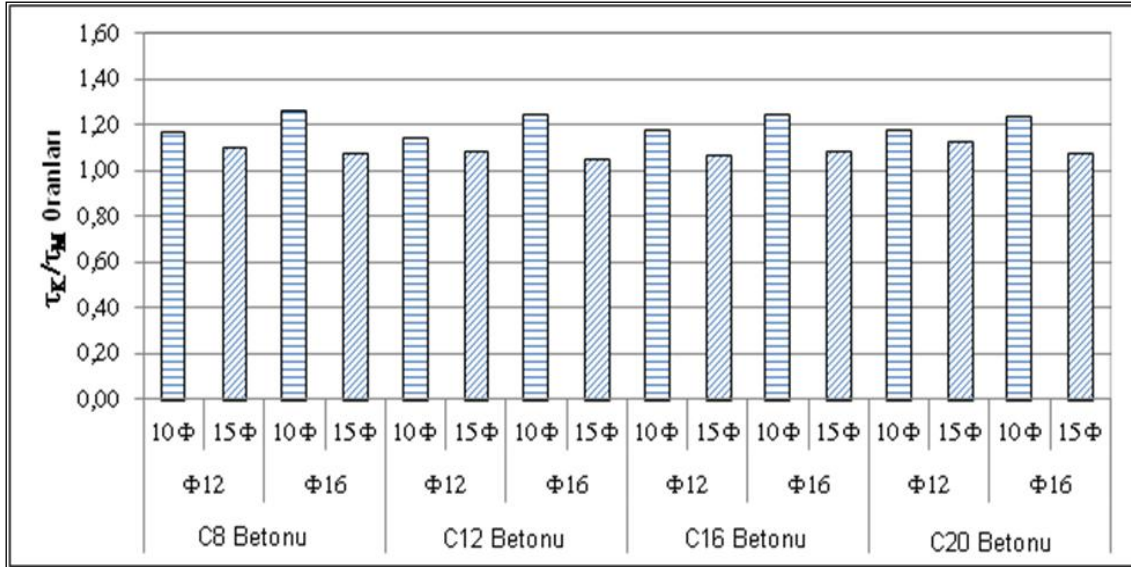


Şekil 4.13 Amaçlanan C16 beton sınıfı için $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri



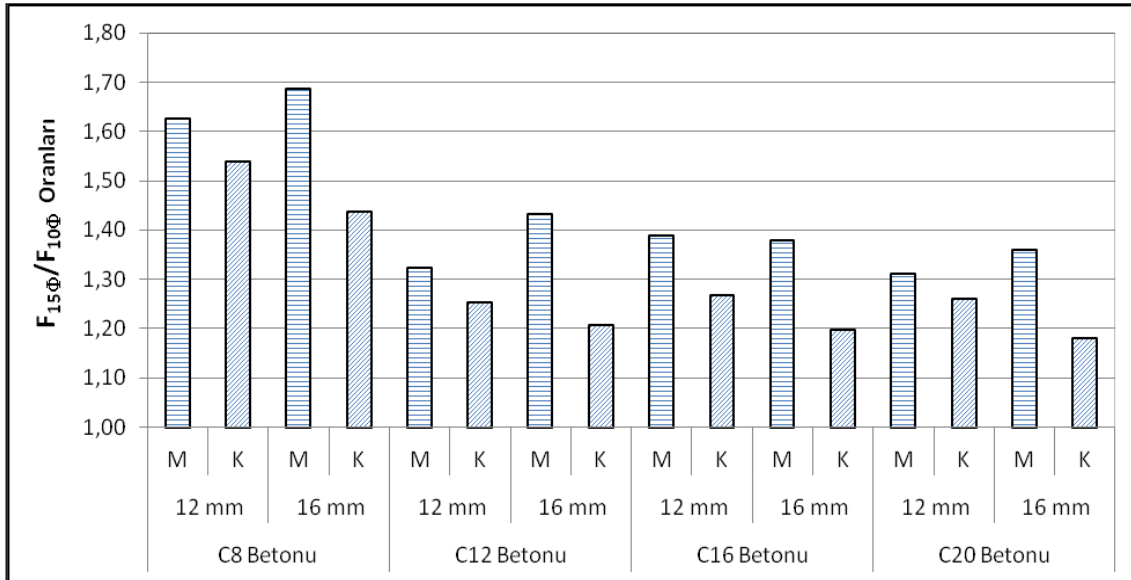
Şekil 4.14 Amaçlanan C20 beton sınıfı için $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri

Ankraj deney sonuçlarına göre aynı niteliklere sahip beton ve ankraj donatısının mekanik ve kimyasal bağlantı biçimlerinin ortalama aderans gerilmelerinde yaptığı değişimleri ise şekil 4.15’de verilen grafikte ortaya konulmuştur.

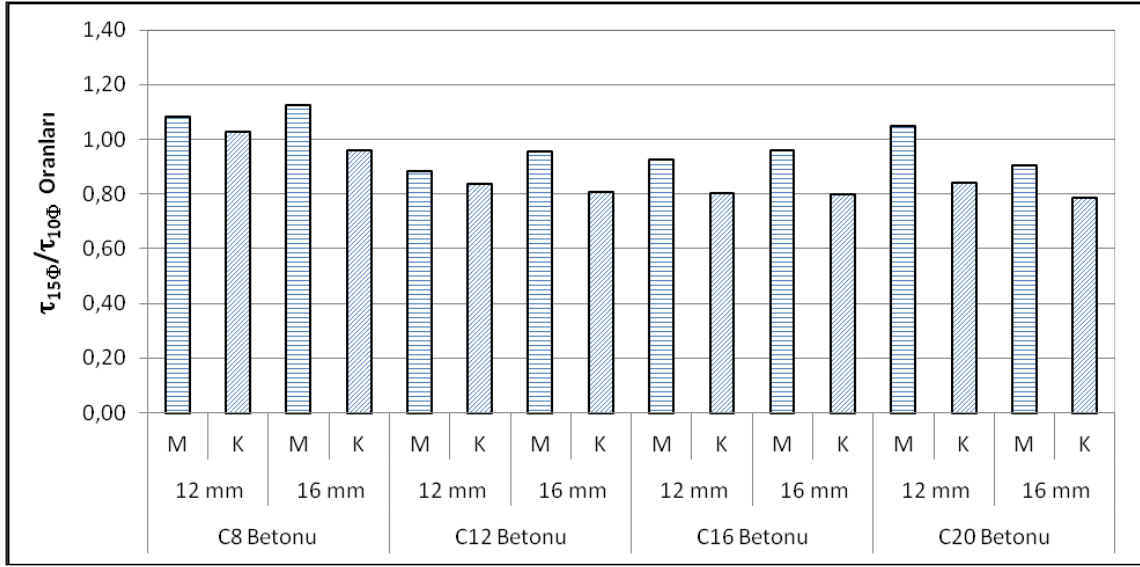


Şekil 4. 15 Kimyasal ankrajların mekanik ankrajlara göre $(\tau_{max})_{ort}$ değişimleri

Ankraj deney sonuçlarına göre aynı niteliklere sahip beton ve bağlantı biçimlerinde ankraj derinliği 15Φ'nin 10Φ'ye göre maksimum sıyırma kuvvetlerinin (F_{max}) oranları değişimleri şekil 4.16'da, ortalama aderans gerilmeleri $(\tau_{max})_{ort}$ oranlarının değişimleri şekil 4.17'de gösterilmiştir.

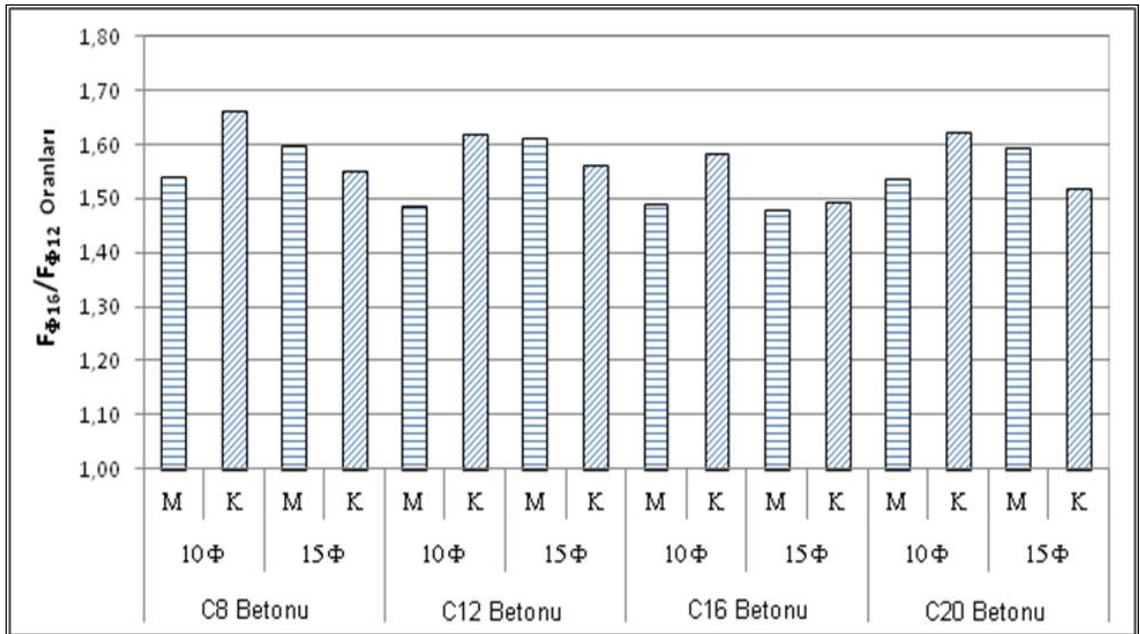


Şekil 4. 16 Ankraj derinliğini 15Φ'nin 10Φ'ye göre F_{max} oranları değişimleri

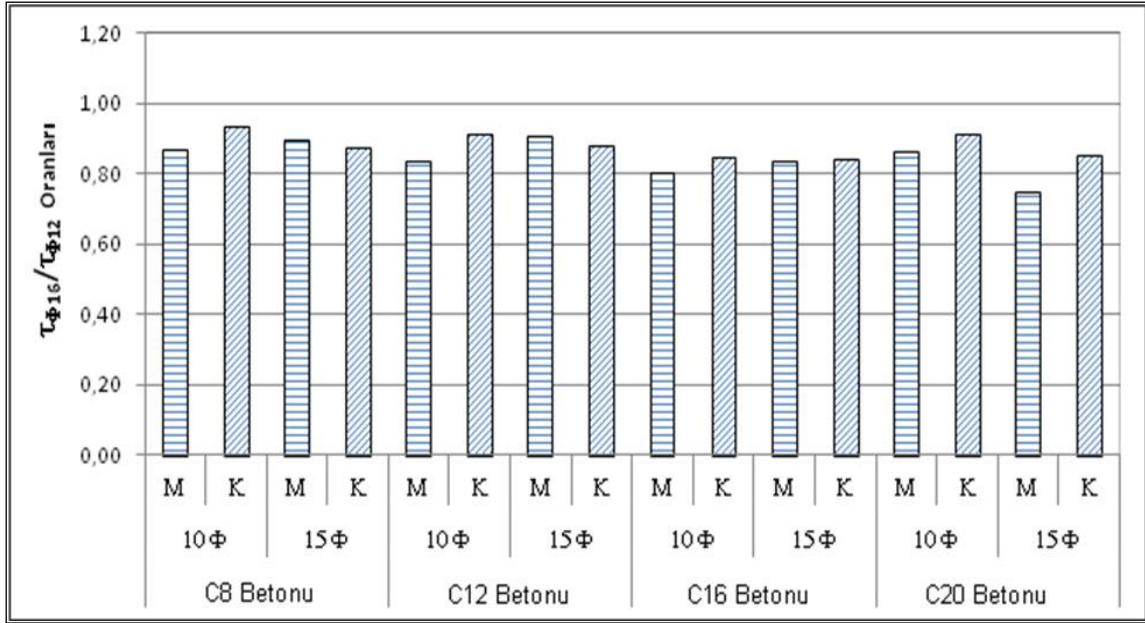


Şekil 4. 17 Ankraj derinliğini 15Φ'nin 10Φ'ye göre $(\tau_{max})_{ort}$ oranları değişimleri

Beton sınıfı ve bağlantı biçimleri aynı olan ankraj sistemlerinde donatı çapı $\Phi 16$ ve ankraj derinliğinin çapa bağlı olarak 10Φ(160 mm), 15Φ(240 mm) olan ankraj sisteminin, çap $\Phi 12$ derinlik 10Φ(120 mm), 15Φ(280 mm) olan ankraj sistemlerine göre maksimum sıyrma kuvvetlerinin (F_{max}) oranları değişimleri Şekil 4.18'de, ortalama aderans gerilmelerinin $(\tau_{max})_{ort}$ oranlarının değişimleri Şekil 4.19'da verilmiştir.

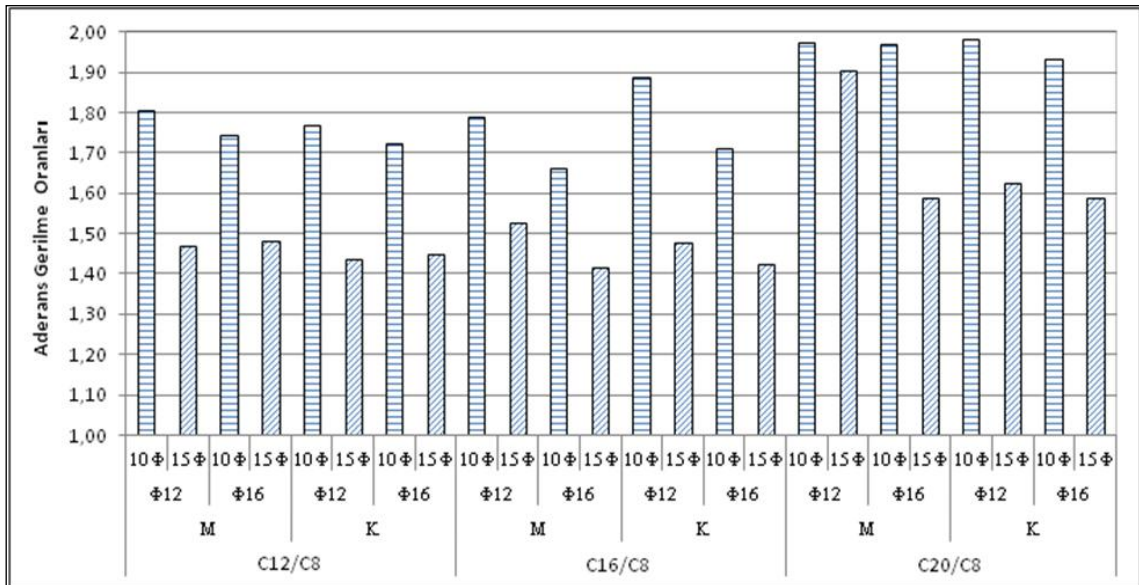


Şekil 4. 18 Ankraj donatısının $\Phi 16$ 'nın $\Phi 12$ 'ye göre F_{max} oranları değişimleri



Şekil 4. 19 Ankraj donatısının Φ16'nın Φ12'ye göre $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ oranları değişimleri

Deneysel çalışmada en düşük beton sınıfı olarak amaçlanan C8 betonu kullanılarak üretilen ankraj numunelerine göre diğer beton sınıflarında aynı donatı çapı, derinliği ve bağlantı türü ile üretilen ankraj numunelerinin aksenal çekme altındaki ortalama aderans gerilmelerinin $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 En düşük beton sınıfına göre diğer beton sınıflarındaki ankrajların $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ değişimleri

5. SONUÇLAR

Farklı beton sınıflarında üretilen silindir numunelerin içerisine betonlama sırasında konulan mekanik bağlantı olarak nitelendirilen ankrajlar ile betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altında mekanik özellikleri belirlenmek üzere yapılan deneysel çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Beton kalitesi arttıkça $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ ortalama aderans gerilmeleri de artmıştır. Bu artış ankraj sistemlerinin bağlı olduğu numunelerin beton sınıfı C8'den C12'ye çıktığında $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ ortalama aderans gerilmeleri %60 artarken C12'den, C16 ve C20 sınıflarına geçişlerdeki artış daha az olmuştur. Buradan C12 beton sınıfının altında ankraj sistemlerinin performansının yetersizliği ortaya çıkmaktadır.
- En düşük beton sınıfı olarak amaçlanan C8 betonu kullanılarak üretilen ankraj numunelerine göre diğer beton sınıflarında aynı donatı çapı, derinliği ve bağlantı türü ile üretilen ankraj numunelerinin eksenel 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. Bu ilişkiden aderans gerilmeleri üzerinde tüm parametrik değişimler içerisinde betonun eksenel çekme dayanımının etkili olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Betona sonradan epoksi olarak adlandırılan kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yerleştirilen ankrajların aderans etkinliği, aynı niteliklere sahip fakat betonlama sırasında numunenin içerisine konulan ve mekanik bağlantılı olarak kabul edilen ankrajlardan daha iyi olmuştur. Kimyasal ankrajlar, betonlamada yerleştirilen ankrajlara göre ankraj derinliği 10Φ durumunda $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ ortalama aderans gerilmelerinde yaklaşık %20, 15Φ durumunda yaklaşık %10 artış göstermiştir.
- Ankraj derinliğinin artması doğal olarak eksenel çekme kuvvetinde artış göstermesine karşılık ortalama aderans gerilmelerinde benzer artış görülmemektedir. Ankraj derinliği 10Φ olan numuneler 15Φ 'ye çıkartıldığında maksimum sıyrılma kuvveti mekanik bağlantılı ankraj sistemlerinde yaklaşık %44, kimyasal bağlantılılarda %30 artış göstermiştir. Buna karşılık, ankraj derinliğinin artışı $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ ortalama aderans gerilmelerinde mekanik bağlantılı

ankraj sistemlerinde bir değişiklik göstermezken, kimyasal bağlantılı ankraj sistemlerinde %15 yakın düşüşler gözlenmiştir. Kimyasal ankrajların aderansı daha kısa ankraj derinliklerinde daha iyi etkinlik göstermektedir. Kimyasal ankraj sisteminde epoksi ara yüzeyinden dolayı donatının nervür etkisi kaybolduğundan mekanik bağlantılı ankrajlara göre derinlik artışının etkisi olmamaktadır.

- Ankraj donatılarının donatı çapı $\Phi 12$ ankraj derinliğinin çapa bağlı olarak derinlik $10\Phi(120 \text{ mm})$, $15\Phi(280 \text{ mm})$ den çap $\Phi 16$ ve derinlik $10\Phi(160 \text{ mm})$, $15\Phi(240 \text{ mm})$ çıkması her iki bağlantılı durumda maksimum sıyrılma kuvvetini yaklaşık %50 oranında artırmış ama $(\tau_{\max})_{\text{ort}}$ ortalama aderans gerilmelerinde ankraj derinliği değişiminde olduğu üzere her iki bağlantı biçiminde yaklaşık %15 mertebesinde azalmalara neden olmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında betona sonradan kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yerleştirilen ankrajlar, betonlama sırasında konulan donatıların oluşturduğu mekanik bağlantılı ankraj sisteminden daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu aderans etkinliğinin donatı çapının 10 katı kadar derinlikte daha iyi olduğu söylenebilir. Kimyasal ankraj yapılacak betonların beklenen faydanın sağlanabilmesi açısından beton sınıfının C12 üzerinde olması deneysel sonuçlar ışığında önerilebilir.

6. KAYNAKLAR

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

Altımtay, E. (1977). Türkiye’de Kullanılan Betonarme Çeliklerin Özellikleri Ve Aderans Üzerine Bir Araştırma. ODTÜ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu. MAG-383

Baradan, B., Yazıcı, H ve Un, H. (2002). Betonarme Yapılarda Kalıcılık. Ecem Ofset Matbaacılık. 282s.

Cook, R, A., Kunz, R.C., (2001). Factors Influencing Bond Strength of Adhesive Anchors, ACI Structural Journal

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

DBYBHY 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Demir, İ., Şimşek, O. Ve Yaprak, H. (2009). Epoksi Türünün Ankraj Performansına Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS’09).

Durmuş, A., Dahil, H. ve Arslan, M.E. (2006). Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon. Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 441-2006/1

Ersoy, U. (1985). Betonarme Temel İlkeler Ve Taşıma Gücü Hesabı. Evrim Yayınevi 3. Basım Cilt 1.

H. S. Lee, t. Noguchi And F. Tomosawa. (2002). "Evaluation Of The Bond Properties Between Concrete And Reinforcement As A Function Of The Degree Of Reinforcement Corrosion", Cement And Concrete Research, vol.32, pp. 1313-1318.

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

Gürbüz, T., Seyhan, E., İlki A. ve Kumbasar, N. (2007). Güçlendirme Çalışmalarında Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışları. 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

Karakoç, C. (1985). Aderans Mekanik Etkileşim Olayı, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi.

Kaya, Y. (2007). Yapıların Güçlendirilmesi Uygulamalarında Kullanılabilecek Kısmi Bağlı Ankraj Detayı Ve Yüzey Temizliği Koşulları Altında Ankrajların Eksenel Çekme Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kolsan İnş. Otom. San. Tic. A.Ş. (2013)

Kürklü G. (2011) "Korozyon ve Yüksek Sıcaklık Durumunun Betonarme Çeliklerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi". AKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 182 Sayfa.

- 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
- Özkul, H. Mutlu, M. ve Sağlam, A.R. (2001). Beton Ankrajları. Teknik Bülten Sayı 4.
- 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
- Pruckner, F. And Gjorv, O.E. (2004). Effect Of Cacl₂ And Nacl Additions On Concrete Corrosivity. Cement And Concrete Research. vol.34, pp. 1209-1217.
- Seyhan, E.C. (2006). Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şener, H.D. (2006). Aderans Eki Deneyinde Göçme Biçimleri Ve Çatlak Dağılımları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tanyıldızı, H. (2006). Beton Tipi Ve Donatı Boyutlarının Beton Ve Çelik Yüzeyleri Arası Dayanıma Etkisinin Kür Şartları Altında İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı.
- Yerlici, V., Ersoy, U, Özturan, T., Karakoç, C. ve Aşkar, G.A. (1994). Yüksek Dayanımlı Beton Elemanlarda Donatı Kenetlenme Özelliklerinin İncelenmesi. TÜBİTAK-İNTAG 509 Nolu Araştırma Raporu
- Yılmaz, S. Çalışkan, Ö. Kaplan, H. ve Kırac, N. (2010). Kimyasal Ankrajların Dayanımını Etkileyen Faktörler. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXIII, sayı:1.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatma ALTAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 12.05.1988
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 05312952866 / fatmaaltannn@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara-Mamak Battal Gazi Endüstri Meslek Lisesi, 2004
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : İr-Tur Mimarlık LTİ. ŞTİ. (2004-2005)
Hurma İnşaat LTİ. ŞTİ. (2009-2013)