



T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**DÜŞÜK DAYANIMLI BETONLARDA ANKRAJ EĞİKLİK AÇISININ BETON KONİ  
HASARINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESRA KOCAMAN

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT ARAS

BİLECİK, 2026

10791379

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**DÜŞÜK DAYANIMLI BETONLARDA ANKRAJ EĞİKLİK AÇISININ BETON KONİ  
HASARINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESRA KOCAMAN

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT ARAS

BİLECİK, 2026

10791379

## BEYAN

“Düşük dayanımlı betonlarda ankraj eğiklik açısının beton koni hasarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazım aşamasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, [Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehberine](#) uygun olarak tez/dönem projemi hazırladığımı, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel etik kurallarına uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, çalışmamın herhangi bir kısmının başka bir tez/dönem projesi olarak sunulmadığını, aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

**Esra KOCAMAN**

.././20..

**İmza:**

## **ÖN SÖZ**

Bu tez yeterlik çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Dr. Murat ARAS'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Beni bugünlere getiren babam Cengiz KOCAMAN, annem Zeynep KOCAMAN, ablam Merve KOCAMAN'a sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

**Esra KOCAMAN**

**2026**

## ÖZET

Bu tez kapsamında, taze betona eğik açılarla gömülü betonarme donatıların ve sonradan sertleşmiş betona ekilen kimyasal ankrajların çekme dayanımları farklı parametreler ile deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında deney numuneleri, 12 mm çapında ankrajların, taze ve sertleşmiş düşük dayanımlı donatısız beton (C12/15) bloklara, farklı gömme derinliğinde (5Ø ve 10Ø) ve farklı eğiklik açılarında ( $0^0$ ,  $15^0$  ve  $30^0$ ) olacak şekilde üretilmiştir. Ayrıca kimyasal ankrajlarda, kenar mesafe etkisinin çekme dayanımı üzerinde etkisinin incelenmesi için kenara 60 mm, 100 mm ve 140 mm (merkez) mesafede ankrajlar oluşturulmuştur. 6 adet taze betona gömülü ankraj, 12 adet kimyasal ankraj ve 6 adet kenar ankraj olmak üzere toplam 24 adet deney numunesi üretilmiştir. Deneysel program çekip-çıkarma deneylerinden oluşmaktadır. Deney düzeneği, merkezi ankraj donatısı olan ve beton koni sınırları çapı 100 mm ve 200 mm dairesel boşluklu çelik platformdan oluşmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda yük-deplasman eğrileri, eksenel yük kapasiteleri ve göçme modları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, sığ kimyasal ankrajlarda beton koni sınırı arttıkça eksenel çekme kuvveti artarken derin ankrajlarda ise bu etki gözlenmemiştir. Ankraj eğiklik açısı arttıkça eksenel çekme kuvvetinin azaldığı, kenar mesafesi arttıkça eksenel çekme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Ankraj, Kimyasal ankraj, Beton Koni, Ankraj Eğiklik Açısı

## ABSTRACT

In this thesis, the tensile strengths of inclined embedded reinforced concrete reinforcement and chemical anchors embedded in subsequently hardened concrete were investigated with different parameters. The experimental specimens were produced with 12mm diameter anchors embedded in fresh and hardened unreinforced concrete (C12/15) blocks at different embedment depths ( $5\phi$  and  $10\phi$ ) and inclination angles ( $0^\circ$ ,  $15^\circ$ , and  $30^\circ$ ). Additionally, to investigate the effect of edge action on tensile strength in chemical anchors, anchors were created at distances of 60mm, 100mm, and 140mm (center) from the edge. A total of 24 experimental specimens were produced: 6 cast-in anchors, 12 chemical anchors, and 6 near-edge anchors. The experimental program consisted of pull-out tests. The specimens were constructed, each containing a steel platform with circular voids and concrete cone boundaries of 100mm and 200mm diameters, serving as the central anchor reinforcement. Load-displacement curves, ultimate load capacities, and failure modes were obtained from the experiments. Analysis of the shallow chemical anchor specimens results showed that the tensile load increased as the concrete cone boundary increased, while this effect was not observed in deep chemical anchors. It was also found that the tensile load decreased as the inclination angle increased, and the tensile load increased as the edge distance increased.

**Keywords:** Anchor, Chemical Anchor, Concrete Cone, Inclination Angle

## İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	5
2. BETON YAPILARDA ADERANS.....	6
2.1. Beton-Donatı Aderansı ve Kenetlenme Boyu Arasındaki İlişki.....	6
2.2. Aderans DeneYleri.....	6
2.2.1. Çekip Çıkarma Deneyi.....	6
2.2.2. Kiriş DeneYleri.....	7
2.3. Betonun Basınç ve Çekme Dayanımının Belirlenmesi.....	9
2.3.1. Basınç Dayanımı.....	9
2.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı .....	10
2.3.3. Eğilmede Çekme Dayanımı .....	11
3. ANKRAJ ÇEŞİTLERİ .....	13
3.1. Sertleşmiş Betona Uygulanan Ankrajlar .....	13
3.2. Taze Betona Uygulanan Ankrajlar.....	14
3.3. Çekme Etkisi Altındaki Ankrajların Göçme Tipleri .....	15
3.4. Kimyasal Ankrajların Çekme Etkisinde Gösterdiği Davranış Modelleri.....	15
3.4.1. Beton Koni Modelleri.....	16
4. MATERYAL VE METOT .....	23
4.1. Malzeme .....	23
4.2. Numunelerin Hazırlanması .....	25

4.3. Ankrajların Ekilme Geometrisi .....	27
4.4. Ankraj Ekimi .....	28
4.5. Çekme Deneyi .....	29
4.6. Parametreler .....	30
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	32
5.1. Taze Beton Ankraj Sonuçları.....	32
5.2. Kimyasal Ankraj Deney Sonuçları .....	36
5.2.1. L5ΦA0K140 .....	36
5.2.2. L5ΦA15K140 .....	38
5.2.3. L5ΦA30K140 .....	39
5.2.4. L10ΦA0K140.....	40
5.2.5. L10ΦA15K140 .....	41
5.2.6. L10ΦA30K140.....	43
5.2.7.L10ΦA0K60/K100/K140 .....	44
5.2.8. L10ΦA15K60/K100/K140 .....	45
5.2.9. L10ΦA30K60/K100/K140 .....	46
6. SONUÇLAR .....	51
KAYNAKÇA .....	52

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 4.1.</b> Deney numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları (MPa).....	24
<b>Tablo 4.2.</b> Deney numunesi beton malzeme (1 m <sup>3</sup> ) karışım oranları.....	24
<b>Tablo 4.3.</b> S420a ankraj donatı çubukları mekanik özellikleri.....	25
<b>Tablo 4.4.</b> Kimyasal yapıştırıcı mekanik özellikleri.....	25
<b>Tablo 4.5.</b> Taze beton ankraj deney isimlendirmesi.....	31
<b>Tablo 4.6.</b> Kimyasal ankraj ile hazırlanan numune deney isimlendirmesi.....	32

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Eksenel Çekip Çıkarma Deneyinde Düz Yüzeyle Çubuklarda Sıyrılma (a), Nervürlü Çubuklarda Ayrılma Bölgeleri (b).....	7
Şekil 2.2. Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan Texas Çıkmalı Kiriş Deney Düzenegi.....	8
Şekil 2.3. Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan İngiliz Standardı Deney Düzenegi.....	8
Şekil 2.4. Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deney Düzenegi.....	8
Şekil 2.5. Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan Hollanda Deneyi Düzenegi.....	9
Şekil 2.6. Küp Şekilli Numuneler İçin Sabitleme Düzenegi.....	11
Şekil 2.7. Eğilmede Çekme Deney Numunesi Yükleme Düzenekleri.....	12
Şekil 3.1. Sertleşmiş Betona Uygulanan Ankrajlar.....	13
Şekil 3.2. Taze Betona Uygulanan Ankrajlar.....	13
Şekil 3.3. Kimyasal Bağlı Ankrajlar.....	14
Şekil 3.4. Harçlı Ankrajlar.....	14
Şekil 3.5. Taze Betona Uygulanan Ankrajlar.....	15
Şekil 3.6. (a) Ankraj Donatısının Sıyrılması, (b) Çok Sığ Ankrajlarda Konik Göçme, (c) Sığ Ankrajlarda Konik Göçme, Potansiyel Koni Oluşumu, (d) Derin Ankrajlarda Karma Göçme Tipi.....	15
Şekil 3.7. Koni Modeli.....	17
Şekil 3.8. CCD Koni Modeli.....	17
Şekil 3.9. Düzgün Yayılı Bağ Modeli.....	18
Şekil 3.10. Elastik Bağ Teorisi.....	18
Şekil 3.11. Öngörülen Göçme Alanı.....	21
Şekil 4.1. Deney Numunesi Basınç Testi.....	23

Şekil 4.2. Deney Numunesi Hazırlanırken Kullanılan Çimento, Agregası Ve Su Görselleri.....	24
Şekil 4.3. Beton Numune Hazırlanması Ve Donatı Yerleşimi.....	26
Şekil 4.4. Taze Beton Ankraj Deney Numunelerinin Şematik Gösterimi.....	26
Şekil 4.5. Donatı Ankrajların Beton Bloklara Kimyasal Yapıştırıcı İle Ekilmesi.....	27
Şekil 4.6. Kimyasal Ankraj Deney Numunelerinin Şematik Gösterimi.....	27
Şekil 4.7. Farklı Eğiklik Açılımları İle Beton Bloklara Delik Açılması.....	28
Şekil 4.8. Açılan Deliklerin Hava Basıncı İle Temizlenmesi.....	28
Şekil 4.9. Beton Bloklara Ankraj Donatısının Kimyasal Yapıştırıcı İle Ekilmesi.....	29
Şekil 4.10. Farklı Kenar Mesafelerinde Beton Bloklara Açılan Delikler.....	29
Şekil 4.11. Deney Düzenekleri.....	30
Şekil 5.1. L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	32
Şekil 5.2. L10ΦA15 Deney Numunesine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	33
Şekil 5.3. L10ΦA30 Deney Numunesine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	33
Şekil 5.4. L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Görseller.....	34
Şekil 5.5. L10ΦA15 Deney Numunelerine Ait Görseller.....	34
Şekil 5.6. L10ΦA30 Deney Numunelerine Ait Görseller.....	35
Şekil 5.7. Taze Beton Ankrajlarına Ait Nihai Eksenel Çekme Kuvvetleri.....	36
Şekil 5.8. Bağ Dayanım Üst Ve Alt Deplasman Değerleri.....	36
Şekil 5.9. L5ΦA0K140 Deney Numunesine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	37
Şekil 5.10. L5ΦA0K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	37
Şekil 5.11. L5ΦA15K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	38
Şekil 5.12. L5ΦA15K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	39
Şekil 5.13. L5ΦA30K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	40
Şekil 5.14. L5ΦA30K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	40
Şekil 5.15. L10ΦA0K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	41

<b>Şekil 5.16.</b> L10ΦA0K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	<b>41</b>
<b>Şekil 5.17.</b> L10ΦA15K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	<b>42</b>
<b>Şekil 5.18.</b> L10ΦA15K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	<b>42</b>
<b>Şekil 5.19.</b> L10ΦA30K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	<b>43</b>
<b>Şekil 5.20.</b> L10ΦA30K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	<b>44</b>
<b>Şekil 5.21.</b> L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	<b>45</b>
<b>Şekil 5.22.</b> L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	<b>45</b>
<b>Şekil 5.23.</b> L10ΦA15 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	<b>46</b>
<b>Şekil 5.24.</b> L10ΦA15 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	<b>46</b>
<b>Şekil 5.25.</b> L10ΦA30 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı.....	<b>47</b>
<b>Şekil 5.26.</b> L10ΦA30 Numunelerine Ait Deney Görselleri.....	<b>47</b>
<b>Şekil 5.27.</b> Eksenel Çekme Kuvveti Sonuçları.....	<b>48</b>
<b>Şekil 5.28.</b> Kimyasal Dayanım Üst Ve Alt Deplasman Değerleri.....	<b>48</b>
<b>Şekil 5.29.</b> Kimyasal Dayanım Kenar Mesafe Eksenel Çekme Kuvveti İlişkisi.....	<b>49</b>
<b>Şekil 5.30.</b> Eğiklik Açısı Yük İlişkisi.....	<b>50</b>

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

$F_c$ : Beton Basınç Dayanımı

$P$ : Kırılma Yüğü (N)

$A$ : Numune Kesit Alanı ( $\text{mm}^2$ )

$f_{ct}$ : Yarmada çekme dayanımı, MPa,

$F$ : En büyük yük, N,

$L$ : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisinin uzunluğu, mm,

$d$ : Numunenin seçilen en kesit ölçüsü, mm.

$f_{cf}$ : Eğilmede çekme dayanımı, MPa,

$F$ : En büyük yük, N,

$L$ : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm,

$d_1, d_2$ : Numunenin en kesit boyutları, mm

$f_c$ : Beton standart silindir basınç dayanımı

$c_{a,min}$ : ankrajın kenara en yakın mesafesi

$\psi_{ed,N}$ : serbest kenara olan uzaklık azaltma katsayısı

$\psi_{c,N}$ : çatlama ve çatlamamış beton azaltma katsayısı

$N_p$ : nominal sıyrılma kapasitesi

$f'_c$ : belirlenen beton basınç dayanımı

$d_o$ : ankraj donatı çapı

$e_h$ : uygulanan ankraj tipine göre değişen katsayı

$\psi_{c,p}$ : betondaki çatlak durumu için azaltma katsayısı

$P_u$ : ankraj çekme kapasitesi

$h_{ef}$ : efektif ankraj derinliği

$\alpha$ : ankrajlar arası mesafe

$\alpha_{krit}$ : ankrajlar arası kritik mesafe

$\tau$ : epoksi kayma gerilmesi

$G$ : kayma modülü

$\gamma$ : birim kayma yer değiştirmesi

$l_b$ : ankraj bağlı derinliği

$\tau_{max}$ : epoksi en yüksek yapışma dayanımı

$n$ = ankraj sayısı

$f_{uta}$ : kopma dayanımı

$A_{se}$ : etkili kesit alanı

$A_{Nc}$ : beton öngörülen göçme alanı

$A_{Nco}$ :  $1.5h_{ef}$  kenar mesafesindeki ankraj için öngörülen göçme alanı

$N_b$ : nominal beton göçme dayanımı

$N_{cb}$ : beton koni kapasitesi

$f_{cc}$ : beton kp basınç dayanımı

$d_h$ : ankraj delik apı

$A_c$ : koni yüzey alanı

$f_{ct}$ : alan boyunca çekme gerilmeleri

$P_k$ : Çekme kapasitesi

## 1. GİRİŞ

Temel ihtiyaçlar arasında bulunan barınma ihtiyaç, İnşaat Mühendisliğinin temelini oluşturmaktadır. Yapılar, taşıyıcı sistem malzeme özelliklerine göre yığma, ahşap, çelik ve betonarme yapılar olarak ayrılmaktadır.

Hızla artan Dünya nüfusu, yapı stokunun da hızla artmasına neden olmaktadır. Ülkemizin deprem kuşağında bulunması ve barınma ihtiyaçının yıllar içinde artması depreme dayanıklı ve hızlı inşa edilebilir yapılara olan talebi artırmaktadır.

Günümüzde, barınma ihtiyaçının büyük bir çoğunluğu betonarme yapılarla karşılanmaktadır. Beton, uygun şartlarda üretildiğinde basınç mukavemeti oldukça yüksek fakat çekme mukavemeti düşüktür. Beton malzemesinin bu dezavantajından dolayı çelik donatı ile birlikte kullanılma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Betonarmenin en temel prensibi ise beton ile donatının tam kenetlenmesidir. Beton ile donatı arasındaki aderans ise yükleme durumu, donatı çapı, donatı gömme derinliği, ortam koşulları (nem, sıcaklık, korozyon vb.) gibi parametrelerden etkilenmektedir (Çetinkaya, 2022). Ayrıca ortam koşullarının değişmesi, yeterli paspayı bırakılmaması, eksik ve hatalı imalatların yapılması gibi olumsuz koşullar donatının korozyona uğramasına ve beton-donatı aderansının olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir. Bu durum, yapı ve yapısal elemanın betonarme özelliğini yerine getiremeyip yaşam alanları ve dolayısıyla insanların yaşamlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

### 1.1. Literatür Özeti

Hüsem, M. ve Durmuş, A. (1995), yaptıkları çalışmada, hafif beton-donatı aderansı ile normal beton-donatı aderansını çekip-çıkarma deneyi ile karşılaştırarak incelemişlerdir. Hafif beton üretimi için Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan hafif agregaları kullanmışlardır. Deney numunesi beton blokları, 150x250 mm boyutlarında hazırlanmış olup, ankraj derinliği 30Ø olarak belirlenmiştir. Ø8, Ø10, Ø12 ve Ø14 nervürsüz donatı çubukları ile gerçekleştirilen deney sonucunda, hafif beton donatı aderansının, normal beton donatı aderansından yaklaşık %35 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Arslan (2007), hafif beton ile normal betonun donatı ile olan aderansını standart Belçika mafsalı kiriş deneyi ile karşılaştırmıştır. 8, 10, 12 ve 14 mm çapında donatılar kullanarak üç ayrı deney serisi gerçekleştirmiştir. İlk seride; ankraj boyu 20Ø olan donatılar ile normal beton deneyleri, ikinci seride; ankraj boyu 20Ø olan donatılar ile hafif beton deneyleri, üçüncü seride; 25Ø olan donatılar ile hafif beton deneyleri uygulamıştır. Deney

sonuçlarında Ø8 donatıya sahip normal ve hafif beton numunelerinde sıyrılma gözlenmeden donatının koptuğu tespit edilmiştir. Ø10, Ø12 ve Ø14 donatıya sahip deney numunelerinin sıyrılma değerleri ölçölerek kaydedilmiştir. Hafif beton donatı aderansının normal beton donatı aderansına göre daha düşük sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Gürbüz (2007), ankraj derinliği, ankraj deliklerinin temizlenmesi, nemin etkisi ve farklı ankraj uygulamalarının değişkenlik göstermesi ile beton donatı aderansına etkisini araştırmak üzere 85 adet çekip çıkarma deneyleri yapmıştır. Ø16 çapında ankraj donatısı ve S420a çeliği kullanılmıştır. Ankraj derinliği testini uygulamak için 6Ø, 8Ø, 10Ø ve 12Ø derinliğinde tam bağlı ankrajlar kullanılmıştır. 6Ø potansiyel koni yüksekliği ile kısmi bağlı ankrajlarda beton konisi oluşumu engellenmiştir. Kısmi bağlı ankrajlar için ankraj derinlikleri 4Ø, 6Ø, 8Ø ve 10Ø olarak seçilmiştir. Sonuç olarak, kısmi bağlı ankraj testlerinde numunelerin hepsinde sıyrılma görölümüş olup, tam bağlı ankraj testlerinde koni oluşumu ile ani göçme gerçekleştiği görölümüştür. 6Ø, 8Ø, 10Ø ve 12Ø ankraj derinliğine sahip tam bağlı ankrajların derinlikleri arttıça eksenel çekme kapasitelerinin arttığı görölümüştür.

Özen (2010), düşük ve normal dayanımlı betonlarda epoksi esaslı kimyasal ankrajların çekme davranışını incelemek amacıyla, 5.9, 10.9, 17, 25, 35.6 MPa basınç dayanımına sahip betonarme temellere S420a ve S420b donatılarından oluşan 337 adet ankraj ekmiş ve çekme testleri yapmıştır. Derinlikleri, 10Ø, 15Ø ve 20Ø, kenar mesafeleri 10Ø, 15Ø, 20Ø olarak uygulanmıştır. Sonuç olarak, kenara yakın ekilen ankraj donatıları akma dayanımına ulaşmadan beton hasarı oluşmuş, kenar mesafesinin en az 15Ø olması gerektiği belirtilmiştir.

Aydoğan (2015), ankraj derinliği, ankraj kenar mesafesi, ankraj çapı gibi değişkenler ile ankrajların çekme kapasitesini çekip-çıkarma deneyi ile belirlemiştir. Beton basınç dayanımı 27 MPa, ankraj donatısı S420a olarak seçilmiştir. Ankrajlar, ankraj çapının 5Ø, 10Ø, 15Ø ve 20Ø değerlerindeki derinliklerde uygulanmıştır. Kenar mesafeleri yine ankraj çapının 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katı olarak belirlenmiştir. Donatı kapasitesi, beton koni kapasitesi ve sıyrılma kapasitesi formüller ile belirlenerek bu değerlerden en küçük değer ankraj kapasitesi olarak seçilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, çapın arttıça ankraj çekme kapasitesine etkisinin de arttığı görölümüş, kenar mesafeleri değişkenleri için 15Ø ankraj derinliğine kadar çekme kapasitesinin arttığı görölümüştür.

elik (2018), yaptığı çalışmada, mevcut iki adet yığma binanın güçlendirme ankrajlarının çap ve ankraj derinliğine bağlı çekme ve kesme performanslarını deneysel olarak incelemiştir. İki adet kesme levhası ve iki adet çekme levhası hazırlayarak 3 farklı yığma yapıda 21 adet ve 36 adet çekme testi uygulamıştır. Hazırlanan levhalar, duvar yüzeyi ile

hidrolik kriko arasına yerleştirilmiş olup ankrajların maksimum çekme ve kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, ankraj derinliğindeki artışın ankraj çapındaki artışa oranla kesme kuvvetini daha fazla artırdığını belirtmiştir.

Arslan T, ve Arslan M.E. (2018), Ø10, Ø12, Ø14 donatı çapları kullanılarak farklı kenetlenme boyları (100 mm, 150 mm, 200 mm) ile oluşturulan beton numuneleri üzerinde beton-donatı aderansını incelemiştir. 9 adet numune üzerinde mafsalı kiriş deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, donatı çapı ve kenetlenme boyunun beton-donatı aderansı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Çapı küçük olan donatıların kenetlenme boyu değişmeksizin gerilme değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonuçları göstermiştir ki, kenetlenme boyunun artması sıyrılmaları azaltmış, beton-donatı aderansını artırmıştır.

M. F. Sansak (2019), ankrajların çekme kapasitelerini belirleyici testler yapmıştır. Taze beton ve sertleşmiş beton üzerinde yapmış olduğu çekip çıkarma deneyleri için galvanizli ve galvanizsiz ankrajlar kullanmıştır. Ø12 ve Ø14 ankrajlar kullanılmış olup, ankraj derinliği 15 cm olarak seçilmiştir. Kullanılan beton numunelerin basınç dayanımları 32 MPa olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, ankraj çapının artması ile ankraj dayanımının %14'lük bir artış gösterdiği belirtilmiştir. Kimyasal ankraj uygulamasının taze betonda ankraj uygulamasına göre dayanımı %35 kadar düşürdüğü belirtilmiştir. Ayrıca, galvaniz kaplı ankrajların galvaniz kaplı olmayan ankrajlara göre dayanımı artırdığı belirtilmiştir.

Müsevitoğlu (2019), yapmış olduğu çalışmada çekme etkisi altındaki kimyasal ankrajların davranışlarını inceleyebilmek için beton sınıfı, donatı çapı, ankraj derinliği, ankraj delik çapı gibi değişkenlere bağlı olarak 108 tane ankraj numunesi üzerinde çekip-çıkarma deneyleri yapmıştır. Sonuç olarak, ankraj derinliği, beton sınıfı ve donatı çapının artması ile ankrajların yük taşıma kapasitelerinin arttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda ankraj delik temizliğinin ankraj eksenel çekme kapasitesi üzerinde önemli derecede etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Yavuz (2021), donatılı betonlarda korozyon inhibitörü kullanarak oluşabilecek korozyonu ve aderansı araştırmıştır. 15x15x15 cm boyutlarında küp betonarme numuneleri, karışımda kullanılan çimento ağırlığının %1'i oranında kalsiyum nitrat bazlı korozyon inhibitörü kullanarak üretmiştir. Üretmiş olduğu numunelere 7, 28, 90 ve 180 gün boyunca 20±2°C'de tatlı ve tuzlu su kürü uygulamıştır. Aderans testi için çekip-çıkarma deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, korozyon inhibitörlü numunelerin aderansının korozyon inhibitörsüz numunelerin aderansından daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Ayrıca 7

günlük tuzlu su kürü uygulanmış numunelerin aderansının, tatlı su kürü uygulanmış numunelerin aderansından daha yüksek sonuçlar verdiği belirtilirken, 28 günlük dayanımda bu durumun tam tersinde sonuçlar olduğu belirtilmiştir.

Çetinkaya (2022), hazırlamış olduğu tez çalışmasında, zeolit (klinoptilolit ve analsim) katkılı çimentolar içeren betonda donatı korozyonunun aderans performansına etkisini araştırmıştır. Deneyler, korozyonlu ve korozyonsuz olmak üzere iki seri halinde gerçekleştirilmiştir. 150x150x150 mm boyutlarında beton numuneler üretilerek içerisine Ø20 nervürlü donatı 15 cm ankraj boyu olacak şekilde yerleştirilmiştir. Çekme deney aleti kullanılarak aderans deneyi gerçekleştirilmiş ve aderans kuvvetleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, zeolit katkı içeren çimentolar ile üretilmiş numunelerin korozyona karşı daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir.

Kam (2023), yaptığı çalışmada, çelik lifli betonlarda, eğiklik açısının çekme dayanımına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Eğiklik açılarını, lif hacim oranlarını ve ankraj gömme derinliklerini değişkenler olarak ele almıştır. Box-Behnken deneysel tasarım yaklaşımını kullanarak 17 adet deneme noktası belirlemiştir. C30/37 beton sınıfı ve 8 mm çapında S420 betonarme demiri kullanmıştır. Epoksi akrilat esaslı iki bileşenli yapıştırıcı ile ankrajlama işlemi yapmıştır. Numuneleri 350x350x250 mm ebatlarında hazırlamıştır. Numuneler üzerinde yaptığı çekme testleri sonucunda yük-deplasman eğrilerini, maksimum çekme kuvvetlerini ve kırılma şekillerini belirlemiştir. Sonuç olarak, eğiklik açısı arttıkça çekme dayanımında azalma olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca lif hacim oranının eğik doğrultulu ankraj çekme dayanımına etkisinin sınırlı düzeyde kaldığını belirtmiştir.

Zıvralı (2024), mevcutta bulunan betonarme bir binanın kolonlarına kimyasal ankraj yöntemi ile 72 adet donatı ankrajlayarak çekip-çıkarma deneyleri gerçekleştirmiştir. Ø10, Ø12, Ø14 ve Ø16 çapında donatılar kullanılarak 5, 10 ve 15 cm gömme derinlikleri ile altı gruplar halinde oluşturulmuş donatılar ile yapılan deneyde her grupta bulunan 6 adet numunenin 3 adedi tam sıyrılmalı, 3 adedi kısmi sıyrılmalı olacak şekilde deneyler uygulanmıştır. Aynı zamanda mevcut kolon beton karot numuneleri alınarak beton sınıfı belirlenmiştir. Sonuç olarak, ankraj derinliği arttıkça ankraj çekme kuvvetinin de arttığı gözlemlenmiştir. C25'den daha düşük dayanıma sahip beton sınıfları için donatı çapı daha düşük olan Ø10 ve Ø12 gibi ankrajların kullanılmasının yükün dağıtılması ve ankraj çevresindeki gerilmelerin azaltılması gibi hususlarda daha olumlu sonuçlar vereceği öngörülmüştür.

## 1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı, taze ve sertleşmiş betona farklı eğiklik açıları (0°, 15°, 30°) ile gömülen 12 mm çapında donatıların; gömme derinliği (5Ø, 10Ø), kenar mesafesi (60mm, 100 mm ve 140 mm) ve beton koni sınır alanlarının (100 mm ve 200 mm dairesel alan) aksenal çekme dayanımına etkisini araştırmaktır.

Literatür incelendiğinde yapılan aderans çalışmalarının birçoğunun kimyasal ankrajlar üzerinde yapıldığı gözlemlenmiştir. Ankraj gömme derinliği, ankraj çapı, ankraj boyu, ankraj kenar mesafesi, kullanılan donatı sınıfı, kullanılan beton sınıfı, katkılı beton, nervürlü ve nervürsüz donatı gibi değişkenler ile hazırlanan numuneler ile çekip-çıkarma deneyleri gerçekleştirilmiş, çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma ortamının koşullarına, çalışan işçilerin iş yeteneğine, işin durumuna göre, ankraj uygulanması gereken yapı elemanının geometrik şekline bağlı olarak farklı ankraj delik açıları kullanılabilir (0° den farklı delik açıları).

Bu nedenlerden dolayı bu tez çalışması literatüre, taze beton ve sertleşmiş beton ankrajların farklı parametreler etkisinde aderans kapasitelerini inceleyerek katkı sunmaktadır.

## 2. BETON YAPILARDA 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). Betonarme bir yapı elemanının doğru performans sergileyebilmesi için, beton ve donatının matris içinde birbirine kenetlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu kenetlenme, kesme gerilmelerinin etkisiyle sağlanır ve beton ile donatı arasındaki bağ, kesme kuvvetleri sayesinde oluşur. Bu kuvvetler, aderans olarak adlandırılır (Koç, 2024).

### 2.1. Beton-Donatı Aderansı ve Kenetlenme Boyu Arasındaki İlişki

Betonarme yapı elemanları, beton ile donatının kenetlenmesi ile oluşan elemanlardır. Beton ile donatı aderansı oluşabilmesi için uygun kenetlenme boyunun sağlanması gerekmektedir. Donatı akma dayanımında iken donatının betondan sıyrılarak ayrılmadığı boy kenetlenme boyu olarak açıklanabilir. Aderansın devamlı sağlanabilmesi için aderansı olumsuz etkileyen faktörler göz önüne alınarak tedbirler alınmalıdır. Aderansı etkileyen parametreler farklı deneyler ile belirlenebilmektedir. Bunlardan bir tanesi çekip çıkarma deneyidir.

Literatürde yapılan bazı deneysel çalışmalar göstermiştir ki, beton sınıfı ve donatı çapı sabit olan deneylerde kenetlenme boyu arttıkça aderans artmaktadır. Kenetlenme boyu yetersiz olan numunelerde donatı akma dayanımına varmadan beton-donatı aderansı yok olmuş ve donatıda sıyrılma gözlemlenmiştir.

Yine benzer çalışmalar da görülmüştür ki, kenetlenme boyu eşit olan numunelerin donatı çapları değiştirildiğinde çapı büyük olan donatıların beton-donatı aderansı, çapı küçük olan donatıların beton-donatı aderansından daha düşüktür.

### 2.2. Aderans Deneyleri

#### 2.2.1. Çekip Çıkarma Deneyi

Aderans testlerinin en basiti eksenel çekip çıkarma deneyidir. Bu deneylerde düz yüzeyli bir çelik çubuk kullanıldığında, kenetlenme boyu yeterli ise donatı akarken, yetersiz ise çubuk betondan sıyrılarak çıkar (Şekil 2.1a). Nervürlü betonarme donatılarıyla yapılan aderans deneyinde ise düz yüzeyli çubuklara kıyasla daha az çatlak genişliği, daha fazla çatlak sayısı ve daha az sıyrılma gözlemlenir. Nervürlü çubuğun aderans boyu yetersiz olduğunda,

beton kütlesi radyal çatlaklar oluştuğu için yarılr ve çubuk betondan ayrılarak çıkar (Şekil 2.1b)(Altan,2013).



**Şekil 2.1.** Eksenel Çekip Çıkarma Deneyinde Düz Yüzeyle Çubuklarda Sıyrılma (a), Nervürlü Çubuklarda Ayrılma Bölgeleri (b) (Altan, 2013)

### 2.2.2. Kiriş Deneyleri

Çekip-çıkarma deneyleri eğilme etkisi altındaki bir kiriş veya betonarme elemanın beton-donatı aderansını gerçek ve tam anlamıyla ortaya koyamamaktadır. Bu nedenle farklı kiriş deneyleri ortaya çıkmıştır (Ersoy, 1998).

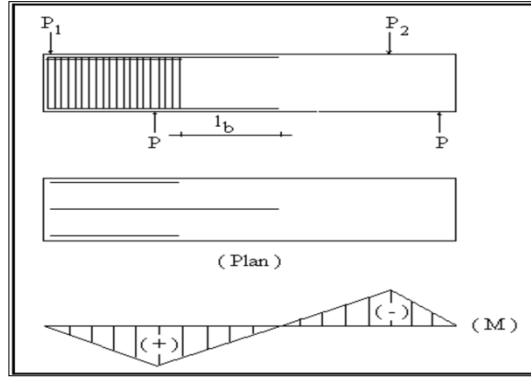
Bu deneyler;

- 1) Texas Çıkmalı Kiriş Deneyi
- 2) İngiliz Standardı Deneyi
- 3) Hollanda Deneyi
- 4) Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyleri

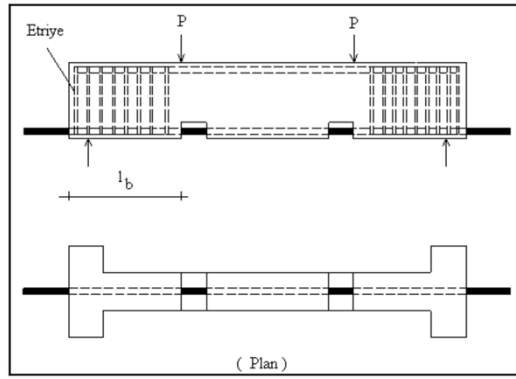
olarak sıralanabilir.

Texas Çıkmalı Kiriş deneyinin en büyük dezavantajı, kenetlenme boyunun incelendiği donatının geniş bir beton kütlenin içerisinde gömülmüş olmasıdır (Şekil 2.2).

İngiliz Standardı Deneyinde ise numuneler kesme kırılmalarına karşı etriye donatıları ile tasarlanmaktadır (Şekil 2.3). Etriyeler aderansı etkilediğinden kenetlenme boyu tam anlamıyla doğru sonuçlar vermemektedir (Ersoy, 1998; Dahil, 2001).

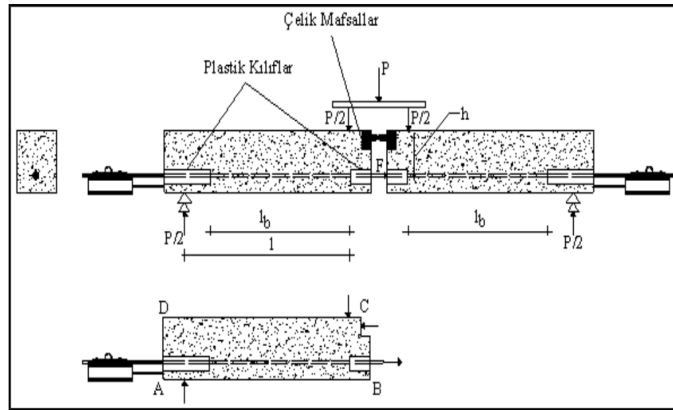


**Şekil 2.2.** Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan Texas Çıkmalı Kiriş Deney Düzeneği (Arslan, 2007)



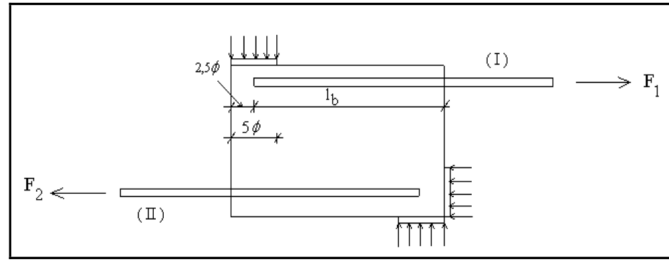
**Şekil 2.3.** Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan İngiliz Standardı Deney Düzeneği (Arslan, 2007)

Bir diğer kiriş deneyi olan Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyinde kirişin ortasında mafsal bulunmaktadır. Mafsal kullanılmadaki amaç donatıda oluşacak F kuvvetini doğru hesaplayabilmektir (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4.** Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deney Düzeneği (Arslan, 2007)

Yükleme ve çalışma açısından Belçika Mafsallı Kiriş Deneyine benzerlik gösteren Hollanda Deneyi, Şekil 2.5’de (I) ve (II) ile gösterilmiş olan donatılara çeşitli yüklemeler yapılarak iki farklı değer elde edilen deney düzeneğidir (Arda, 1968).



**Şekil 2.5.** Donatı-Beton Aderansının Belirlenmesi İçin Kullanılan Hollanda Deneyi Düzeneği (Arslan, 2007)

### 2.3. Betonun Basınç ve Çekme Dayanımının Belirlenmesi

Betonun aksenal basınç yükü altında kırılmamak için gösterdiği direnç, beton basınç dayanımı olarak tanımlanır. Basınç dayanımı, betonun en büyük mekanik dayanımıdır. Ayrıca beton, zamanın bir fonksiyonudur ve dayanımı zamanla değişmektedir (Postacıoğlu 1969). Betonun basınç dayanımını, kullanılan malzemelerin özellikleri ve karışım miktarları etkilemektedir. Dolayısıyla beton elde edilirken kullanılan malzemelerin karakteristik özellikleri bilinmesi gerekmektedir.

Beton, çekme etkisi altında şekil değiştirme ve kırılmalara maruz kalır. Betonun çekme dayanımı, bu maruziyetlere karşı gösterdiği direnç kapasitesi olarak tanımlanır. Betonda çekme kuvvetleri, betonun maruz kaldığı basınç ve eğilme kuvvetleri sonucu oluşmaktadır. Eğilme kuvvetleri, basit kiriş üzerinde eğilme momenti ve kesme kuvveti oluşturur. Oluşan eğilme momenti kiriş tarafsız eksen üzerinde basınç, altında ise çekme ve kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Eğik düzlem üzerinde oluşan eğik çatlaklar çekme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme çatlakları olarak adlandırılır.

#### 2.3.1. Basınç Dayanımı

Beton malzemesi en çok basınç dayanımı üzerinden testlere tabii tutulmaktadır. Beton basınç dayanım testleri, diğer dayanım testlerinden uygulama anlamında daha kolaydır. Betonarme yapı tasarımlarında betonun eğilme, yorulma ve çekme gibi yüklere maruz kalmadığı varsayılarak basınç dayanımı dikkate alınır. Betonun basınç dayanımı, diğer dayanımlar hakkında bilgi verebilmektedir.

Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler;

- Su/çimento Oranı
- Çimento Özellikleri
- Karışım Suyu Özellikleri
- Agregat Özellikleri
- Karma, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma uygulamaları
- Kür koşulları

### **Betonun Basınç Deneyinin Yapılışı ve Basınç Dayanımının Belirlenmesi**

15x30 cm silindir veya 15x15x15 cm küp numune kalıplarına beton numuneler yerleştirilir. Beton prizini aldıktan sonra, kalıptan çıkarılır. Numuneler 28 gün 23±2° sıcaklığa sahip kür havuzlarında bekletilir.

Kür havuzundan çıkarılan numuneler pres makinesine yerleştirilerek üniform basınç yükü ile yüklenir. Uygulanan yük 0.14-0.35 N/mm<sup>2</sup>s olması gerekmektedir. Basınç dayanımı, kırılma yükünün basınç uygulanan kesit alanına bölünmesi ile hesaplanır;

$$F_c = P/A \quad (F.1)$$

F<sub>c</sub>: Beton Basınç Dayanımı

P: Kırılma Yükü (N)

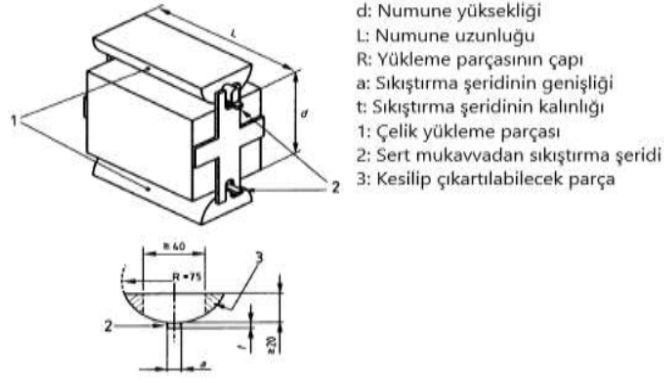
A: Numune Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)

### **2.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı**

Çekme deneylerinin bir diğeri yarmada çekme deneyidir. TS EN 12390-6'ya göre yapılan yarmada çekme deneyi, uygulama olarak normal çekme deneylerine göre daha kolay gerçekleştirilebilir. Çekme dayanımını etkileyen faktörlerden biri olan deney numunesinin şekil ve boyutları dikkate alınmalıdır.

Küp numuneler, silindir numunelere göre yarmada çekme dayanımını %10 artırmaktadır. 10 cm boyutlu küp numunelerinin yarmada çekme dayanımı, 15 cm boyutlu küp numunelerin yarmada çekme dayanımından daha yüksektir. Silindir numune boyutlarının yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir olduğu belirtilmiştir.

TS EN 12390-6' da referans yöntem olarak silindir numuneler ile yapılan deneyler önerilmiştir. Fakat uygulama olarak küp ve prizma şeklinde numunelerde kullanıldığı için küp numune detayları da verilmiştir (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6.** Küp Şekilli Numuneler İçin Sabitleme Düzenegi (Arslan, 2007)

Yarmada çekme deneyinde yük yükleme hızı, 0.04 MPa/s ile 0.06 MPa/s arasında sabit gerilme hızı sağlanacak şekilde ayarlanmaktadır.

Yarmada çekme dayanımı, Denklem 1'de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$f_{ct} = \frac{2.F}{\pi.L.d} \quad (D.1)$$

$f_{ct}$ : Yarmada çekme dayanımı, MPa,

F: En büyük yük, N,

L: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisinin uzunluğu, mm,

d: Numunenin seçilen en kesit ölçüsü, mm.

### 2.3.3. Eğilmede Çekme Dayanımı

Eğilmede çekme dayanımı, eğilmede çekme deneyi sırasında ulaşılan en yüksek yük değeri belirlenerek hesaplanmaktadır. Eğilmede çekme deneyi TS-EN 12390-5'e göre gerçekleştirilmektedir.

Eğilmede çekme deneyi iki farklı şekilde uygulanmaktadır;

- 1) İki noktadan yükleme
- 2) Orta noktadan yükleme

Orta noktadan yükleme yapılarak gerçekleştirilen deney sonuçları, iki noktadan yükleme yapılarak gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre %13 daha yüksek değerler ortaya çıkarmaktadır.

Deney yükleme düzenekleri Şekil 2.7’de verilmiştir. Orta noktadan yükleme yapılan deneylerde eğilme dayanımı, aşağıda verilen Denklem 2 ’de kullanılarak hesaplanır;

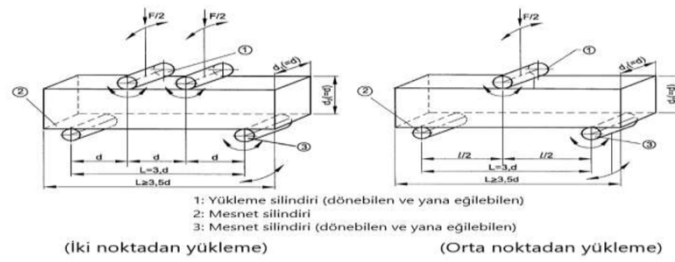
$$f_{cf} = \frac{3.F.L}{2.d_1.d_2^2} \quad (D.2)$$

$f_{cf}$ : Eğilmede çekme dayanımı, MPa,

F: En büyük yük, N,

L: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm,

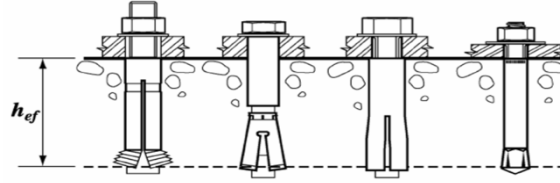
$d_1, d_2$ : Numunenin en kesit boyutları, mm



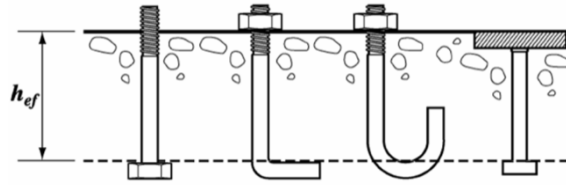
Şekil 2.7. Eğilmede Çekme Deney Numunesi Yükleme Düzenekleri (Arslan, 2007)

### 3. ANKRAJ ÇEŞİTLERİ

ACI 318'e göre (Amerikan Beton Kurumu) beton ankrajlar; sertleşmiş betona uygulanan ankrajlar, taze betona uygulanan ankrajlar olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Sertleşmiş Betona Uygulanan Ankrajlar (ACI 318, 2005)



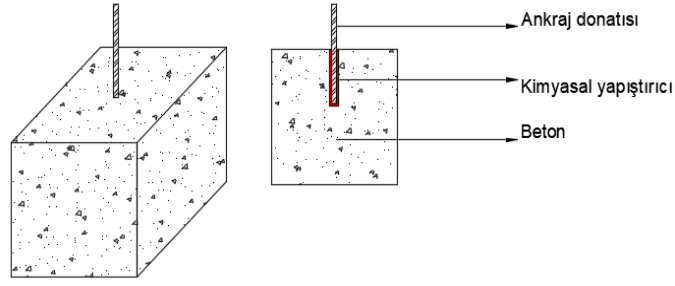
Şekil 3.2. Taze Betona Uygulanan Ankrajlar (ACI 318, 2005)

#### 3.1. Sertleşmiş Betona Uygulanan Ankrajlar

Sertleşmiş betona matkap yardımıyla açılan deliğe kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ekilen donatı ankrajları ikiye ayrılır;

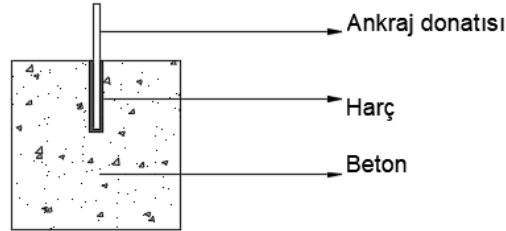
- Bağ Tipi Ankrajlar
- Mekanik Ankrajlar

Bağ tipi ankrajlar, kimyasal bağlı ankrajlar ve harçlı ankrajlar olarak iki grupta incelenmektedir. Kimyasal bağlı ankrajlar, mevcut sertleşmiş betonda ankraj boyu kadar açılmış olan deliğe kimyasal yapıştırıcı doldurulması ve ankrajın yerleştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır (Şekil 3.3). Kimyasal yapıştırıcının görevi, ankraj ile beton arasında aderans sağlamaktır.



**Şekil 3.3.** Kimyasal Bağlı Ankrajlar

Harçlı ankrajlar ile yapılan uygulamada ise kimyasal yapıştırıcı yerine harç kullanılır (Şekil 3.4).

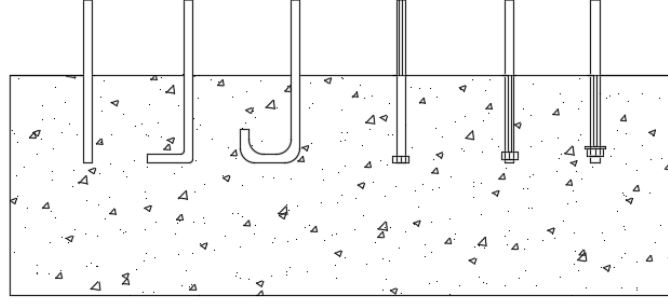


**Şekil 3.4.** Harçlı Ankrajlar

Mekanik ankrajlar, üzerine aldıkları yükleri mekanik sürtünme ve kilitleme mekanizmaları ile betona aktarır.

### **3.2. Taze Betona Uygulanan Ankrajlar**

Taze betona uygulanan ankrajlar, çoğunlukla beton elemanlara döküm esnasında donatı elemanı eklenmesiyle oluşturulur. Taze betona uygulanan ankraj tasarımında dikkate alınması gereken birincil etmen betonun güç kaybı yaşamadan önce çelik donatının akmasına izin verilerek sünek bir performans göstermesidir (Özen, 2010) (Şekil 3.5).



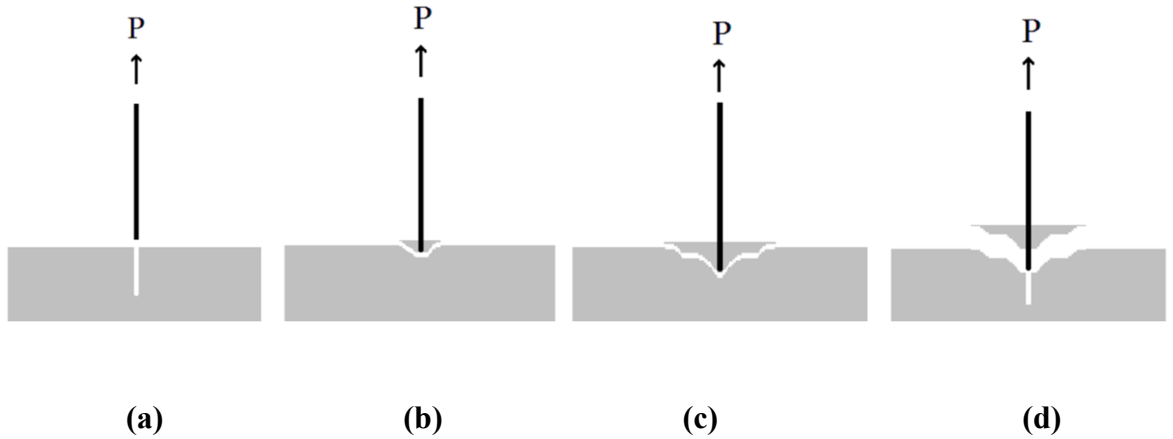
Şekil 3.5. Taze Betona Uygulanan Ankrajlar (Özen, 2010)

### 3.3. Çekme Etkisi Altındaki Ankrajların Göçme Tipleri

Çekip çıkarma deneylerinde ortaya çıkan göçme tipleri şunlardır;

- Ankraj donatısının kopması
- Ankraj donatısının sıyrılması
- Beton koni kopması
- Beton koni kopması ile sıyrılmanın beraber gerçekleşmesi
- Betonun yarılması

Şekil 3.6'da göçme tipleri verilmiştir.



Şekil 3.6. (a) Ankraj Donatısının Sıyrılması, (b) Çok Sığ Ankrajlarda Konik Göçme, (c) Sığ Ankrajlarda Konik Göçme, Potansiyel Koni Oluşumu, (d) Derin Ankrajlarda Karma Göçme Tipi (Gürbüz, 2007)

### 3.4. Kimyasal Ankrajların Çekme Etkisinde Gösterdiği Davranış Modelleri

Literatüre bakıldığında ankraj dayanımını belirlemek için birçok model oluşturulduğu görülmektedir. Bu modellerden yaygın olarak kabul görenler aşağıda verilmiştir.

### 3.4.1. Beton Koni Modelleri

Eligehausen tarafından 1984 yılında önerilen ilk model, yalnızca konik göçmenin görüldüğü ankraj uygulamalarını içermektedir. Konik göçmenin gözlemlendiği ankraj kapasiteleri aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$P_u = 0.92h_{ef}^2\sqrt{f_c} \quad (D.3)$$

$P_u$ : Ankraj çekme kapasitesi

$f_c$ : Beton standart silindir basınç dayanımı

$h_{ef}$ : Efektif ankraj derinliği

Ankraj çekme kapasitesi modelinde betonun çekme dayanımı, beton basınç dayanımının karekökü fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

Eligehausen, konik göçmede oluşmuş koninin geometrik özelliklerini şu şekilde tarif etmiştir; koni yüksekliği ankraj derinliğinin %60 ile %70'i arasında, koni tepe açısı  $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$  arasındadır.

Göçme konilerinin çakıştığı durumlar için aşağıdaki formül oluşturulmuştur.

$$P_u = X_a P_{u,max} \quad (D.4)$$

$$X_a = 0.5\left(1 + \frac{\alpha}{\alpha_{krit}}\right) \leq 1 \quad (D.5)$$

$\alpha$ : ankrajlar arası mesafe

$\alpha_{krit}$ : ankrajlar arası kritik mesafe

Amerikan Beton Enstitüsünün hazırlamış olduğu ACI 349-97 yönetmelik eklerinde ankraj tasarım ilkeleri bulunmaktadır. ACI 349 'da yer alan  $45^\circ$  koni modeli hesap kolaylığı açısından yaygın olarak kullanılmıştır (Şekil 3.7).

ACI 349'da yer alan  $45^\circ$  koni modelinde betonda oluşan çekme gerilmeleri sabit kabul edilmiştir.

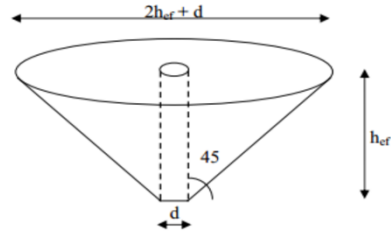
$$P_k = f_{ct} A_c \quad (D.6)$$

$$A_c = \frac{(2h_{ef} + d_h)\pi}{2} h_{ef} \approx \pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \quad (D.7)$$

$A_c$ : koni yüzey alanı

$f_{ct}$ : alan boyunca çekme gerilmeleri

$P_k$ : çekme kapasitesi



**Şekil 3.7.** Koni Modeli (ACI 349)

45° koni modeli için çekme kapasitesi aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$P_k = 0.96 \sqrt{f_c \pi h_{ef}^2} \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \quad (D.8)$$

$f_{cc}$ : beton küp basınç dayanımı

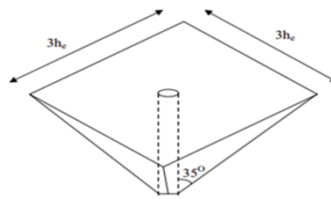
$h_{ef}$ : efektif ankraj derinliği

$d_h$ : ankraj delik çapı

CCD modeline göre göçme yüzeyi taban açısı 35° olan kare piramit olarak modellenmiştir (Şekil 3.8).

$$P_c = k \sqrt{f_{cc}} h_{ef}^{1.5} \quad (D.9)$$

Denklemde bulunan k katsayısı ankraj tipine bağlı olarak farklı değerler alabilmektedir. Kimyasal ankrajlardaki ankraj bağ gerilmeleri için iki farklı model elde edilmiştir.

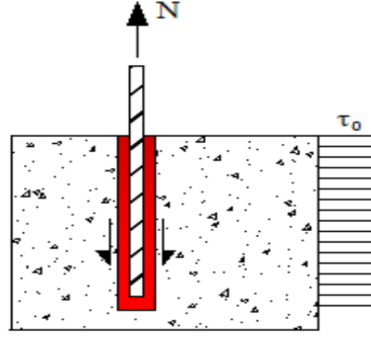


**Şekil 3.8.** CCD Koni Modeli

### **Düzgün Yayılı Bağ Modeli**

Bu bağ modelinde bağ gerilmelerinin derinliğe bağlı olarak değişiklik göstermediği, sabit kaldığı kabulü yapılmaktadır (Şekil 3.9).

$$N_u = \tau_0 \pi d h_{ef} \quad (D.10)$$

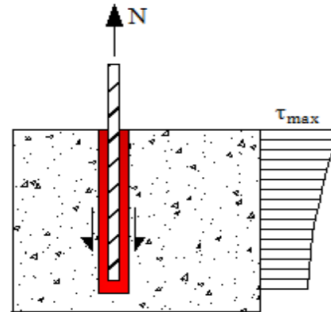


**Şekil 3.9.** Düzgün Yayılı Bağ Modeli

Literatüre bakıldığında bu modelin sığ derinlikte uygulanmış ankrajlarda deney verilerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Beton konisinin derinliği hakkında bilgi vermeyen bu model derin uygulama alanına sahip ankraj tipleri için düşük değerler vermektedir.

### Elastik Bağ Teorisi

Cook (1993), elastik bağ teorisini kullanarak kimyasal ankrajlarda oluşan bağ gerilmelerini modellemiştir (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10.** Elastik Bağ Teorisi

Ankraj donatısının şekil değiştirme enerjisi ;

$$\pi_{tr} = \frac{l}{2} \int_0^l \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot dz \quad (D.11)$$

$\varepsilon = \frac{dw}{dz}$ ,  $\sigma = E \cdot \varepsilon = w \cdot E$  olarak ifade edilirse ankraj donatısının şekil değiştirme enerji formülü;

$$\pi_{tr} = \frac{l}{2} \int_0^l E \cdot A(w)^2 dz \quad (D.12)$$

Kimyasal yapıştırıcı şekil değiştirme enerji formülü ;

$$\pi_a = \frac{1}{2} \int_0^1 k \cdot w^2 dz \quad (D.13)$$

Dış kuvvet iş formülü;

$$\pi_e = -Pw(l) \quad (D.14)$$

Toplam Enerji Formülü;

$$\pi_{tr} = \frac{1}{2} \int_0^1 E \cdot A(w')^2 dz + \frac{1}{2} \int_0^1 k \cdot w^2 dz - Pw(l) \quad (D.15)$$

Toplam enerji türevi;

$$w'' = \frac{k}{E \cdot A} w = 0 \quad (D.16)$$

Epoksi kayma rijitliği;

$$k = \tau \cdot \pi \cdot d \quad (D.17)$$

$$\tau = \gamma G, \gamma = \frac{1}{t} \quad (D.18)$$

$\tau$ : epoksi kayma gerilmesi

$G$ : kayma modülü

$\gamma$ : birim kayma yer değiştirmesi

$$k = \frac{G\pi d}{t} \quad (D.19)$$

$$w'' - \frac{G\pi d}{tEA} w = 0 \quad (D.20)$$

Bu diferansiyel denklemler çözüldüğünde;

$$w(z) = c_1 e^{\lambda z} + c_2 e^{-\lambda z} \quad (D.21)$$

$\lambda = \sqrt{\frac{G\pi d}{tEA}}$  belirlendiğinde ve sınır koşullar yerleştirilirse;

$$w(z) = \left(\frac{P}{EA\lambda}\right) \frac{\cosh(\lambda z)}{\sinh(\lambda l)} \quad (D.22)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{G\pi d}{tEA}} = \frac{4G\pi d}{tE\pi d^2} = \frac{4G}{tEd} \quad (D.23)$$

$\lambda'$ 'dan beton kesme rijitliği ve ankraj rijitliği elde edilirse;

$$\lambda' = \lambda \sqrt{d} = \sqrt{\frac{4G}{tE}} \quad (D.24)$$

$$w(l) = \frac{t\lambda_{max}}{G} \quad (D.25)$$

P denklemden çekildiğinde;

$$P = \left(\frac{\pi\tau_{max}d^{1.5}}{\lambda'}\right) \tanh\left(\frac{\lambda'}{\sqrt{d}}\right) \text{ elde edilir.} \quad (D.26)$$

Kısmi bağlı ankrajlar için epoksinin en büyük yapışma dayanımına bağlı olarak bir formül oluşturulmuştur.

$$P = \pi \tau_{max} l_b d \quad (D.27)$$

$l_b$ : ankraj bağlı derinliği

$\tau_{max}$ : epoksi en yüksek yapışma dayanımı

Beton göçme konisi ve sıyrılma sonuçlarının beraber gözlemlendiği modeller için iki mekanizmanın da birlikte olduğu kabul edilirse oluşan denklem;

$$P = P_{koni} + P_{sıyrılma} \quad (D.28)$$

şeklinde elde edilir.

Sıyrılma ve beton konisi bir arada görüldüğünde, farklı koni modelleri ve sıyrılmanın etkisini dikkate alan çeşitli bağ modelleri kullanılabilir. Elgehausen'in koni modeli ile düzgün yayılı bağ modelinin bir arada değerlendirilmesiyle çekme kapasitesi şu şekilde ifade edilebilir.

$$P_u = 0.92 h_k^2 \sqrt{f_c} + \pi \tau d (h_{ef} - h_k) \quad (D.29)$$

Cook (1993), koni derinliğini şu şekilde ifade etmiştir;

$$\frac{dP_u}{dh_k} = 0, h_k = \frac{\pi \tau d}{1.84 \sqrt{f_c}} \quad (D.30)$$

Her iki bağ modelinin karşılaştırılması durumunda kimyasal ankrajlar için beton konisinin derinliğinin sığ olduğu durumlarda düzgün yayılı bağ modeline dayalı olarak aksenal çekme kapasitesi tahmin edilebilir. Ankrajın gömülme derinliğinin artması, betonda koni ve sıyrılma göçme tipi ile karşılaşma olasılığını artırmaktadır. Ankraj kapasitelerinin hesaplamalarında ACI 318'deki formüllerin kullanılması, deneysel dayanım değerlerine göre daha tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlayabilmektedir.

ACI 318'de donatı kopma dayanımı;

$$N_{sa} = n A_{se} f_{uta} \quad (D.31)$$

$n$ : ankraj sayısı

$f_{uta}$ : kopma dayanımı

$A_{se}$ : etkili kesit alanı

$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \left( d_a - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2 \quad (D.32)$$

Tekil ankraj beton koni kapasitesi;

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \psi_{ed,N} \psi_{C,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (D.33)$$

Ankraj grubu için beton koni kapasitesi;

$$N_{cbg} = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{C,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (D.34)$$

3.  $h_{ef}$  kadar birbirine yakın olan ankrajların grup halinde çalıştığı kabul edilmiştir.

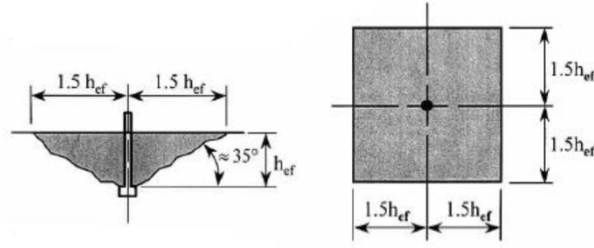
$A_{Nc}$ : beton öngörülen göçme alanı

$A_{Nco}$ :  $1.5h_{ef}$  kenar mesafesindeki ankraj için öngörülen göçme alanı

$N_b$ : nominal beton göçme dayanımı

$N_{cb}$ : beton koni kapasitesi

Belirli bir kenar mesafe için öngörülmuş olan göçme alanı etkin gömme derinliği ile ifade edilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Öngörülen Göçme Alanı

$$A_{Nco} = (2 \times 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef}) = 9h_{ef}^2 \quad (D.35)$$

Kimyasal ankrajlarda nominal beton göçme dayanımı, bir katsayı değerine bağlı olarak hesaplanabilir.

$$N_b = 3.9\lambda_a\sqrt{f'_c}h_{ef}^{5/3} \quad (D.36)$$

Formüldeki katsayılar kenar mesafe durumuna göre belirlenmelidir.

$$c_{a,min} \geq 1.5h_{ef} \text{ ise } \psi_{ed,N} = 1 \quad (D.37)$$

$$c_{a,min} < 1.5h_{ef} \text{ ise } \psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}} \quad (D.38)$$

$c_{a,min}$ : ankrajın kenara en yakın mesafesi

$\psi_{ed,N}$ : serbest kenara olan uzaklık azaltma katsayısı

$\psi_{c,N}$ : çatlamış ve çatlamamış beton azaltma katsayısı

Kimyasal ankrajlarda;

$$c_{a,min} \geq c_{ac} \text{ ise } \psi_{cp,N} = 1 \quad (D.39)$$

$$c_{a,min} \leq c_{ac} \text{ ise } \psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \quad (D.40)$$

ACI 318'e göre sıyrılma kapasitesi;

$$N_p = 0.9f'_c e_h d_o \quad (D.41)$$

$N_p$ : nominal sıyrılma kapasitesi

$f'_c$ : belirlenen beton basınç dayanımı

$d_o$ : ankraj donatı çapı

$e_h$ : uygulanan ankraj tipine göre değişen katsayı

$$N_{pn} = \psi_{c,p} N_p \quad (\text{D.42})$$

$\psi_{c,p}$ : betondaki çatlak durumu için azaltma katsayısı ifade edilir.

#### 4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 12 mm çaplı S420a ankrajlar, 0° (düşey), 15°, 30° eğiklik açıları ile gömme derinliği 5Ø ve 10Ø olacak şekilde C12/15 beton sınıfına sahip olan 30x30x30 cm ölçülerinde beton bloklara gömülmüştür. Çalışma kapsamında, 6 adet taze beton ankrajı ve 18 adet sertleşmiş betona sonradan ekilen kimyasal ankraj olmak üzere toplam 24 adet deney numunesi üretilmiştir. Ayrıca standart çekip-çıkarma deneylerinden farklı olarak beton koni sınırları, çapı 100 mm ve 200 mm olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır.

##### 4.1. Malzeme

Beton numune muhtevasında TS EN 1997-1 standardına uygun CEM II 42,5R portland çimentosu, TS 706 EN 12620 standardına uygun agregalar ve su yer almaktadır. Numunelerin basınç dayanımı 15x15x15 cm ölçülerinde hazırlanmış olan 3 adet küp numune üzerinde yapılan basınç testi sonucunda belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında basınç deneyi gerçekleştirilen numune görseli Şekil 4.1'de verilmiştir. Deney numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları Tablo 4.1'de sunulmuştur. Kullanılan malzeme görselleri Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney Numunesi Basınç Testi

**Tablo 4.1.** Deney Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımları (MPa)

Beton Yaşı	C12/15		
	I	II	III
28 Günlük	17	17,65	16,25



**Şekil 4.2.** Deney Numunesi Hazırlanırken Kullanılan Çimento, Agrega ve Su Görselleri

Deney numunesi hazırlanırken kullanılan malzemelerin karışım oranları Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Deney Numunesi Beton Malzeme (1 m<sup>3</sup>) Karışım Oranları

Malzeme	kg/m <sup>3</sup>
0-4 mm	741
5-12 mm	619
12-22 mm	451
CEM II 42.5 R	246
Su	172

Ankraj çubukları nervürlü S420a sınıfına ait olup mekanik özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** S420a Ankraj Donatı Çubukları Mekanik Özellikleri

Çap (mm)	Akma Dayanımı (MPa)	Ortalama Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
12	473	473	577	582	30
	470		578		28
	475		582		29

Kullanılan kimyasal yapıştırıcı özellikleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Kimyasal Yapıştırıcı Mekanik Özellikleri

Malzeme Yapısı	Bileşen	Yoğunluk (kg/l)	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
Epoksi	İki	1.8	83

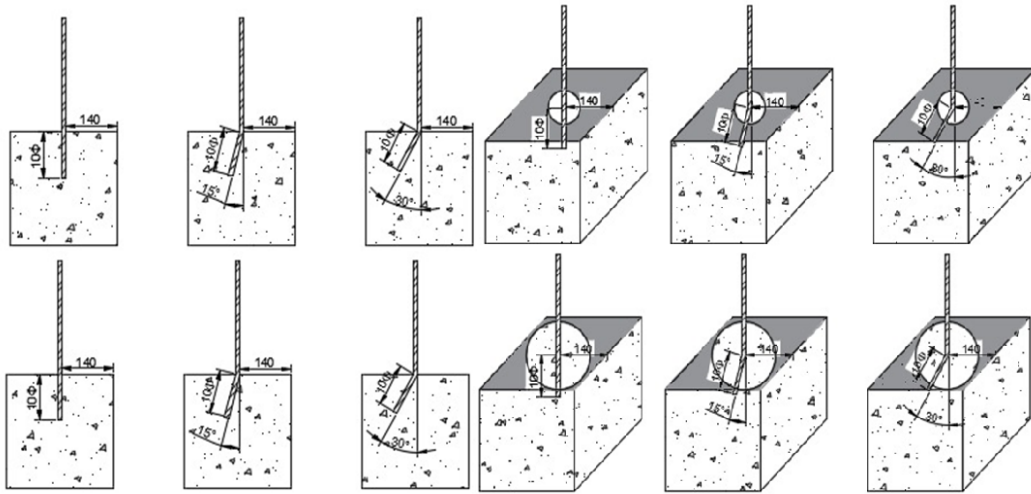
#### 4.2. Numunelerin Hazırlanması

Deney numuneleri, taze beton ankraj ve kimyasal ankraj uygulamaları olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında taze beton ankrajları için Tablo 4.2’de verilen karışım oranlarına göre malzemelerin kuru karışımı hazırlanmıştır. Kuru karışım betoniyerde karıştırıldıktan sonra su ilave edilerek tekrar karıştırılmıştır. 30x30x30 cm ölçülerinde hazırlanan kalıplar kalıp yağı ile yağlanmıştır. 0°, 15°, 30° eğiklik açıları ile 12 mm çapında donatılar yerleştirilerek sabitlenmiştir. Ankraj donatıları, gömme derinliklerine göre soğukta işlem uygulanarak eğiklik verilmiştir. Hazırlanan beton karışım kalıplara yerleştirilerek vibratör yardımı ile sıkıştırılmıştır (Şekil 4.3).



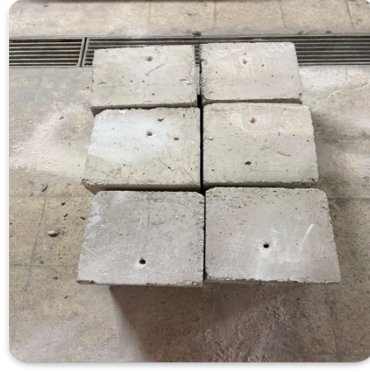
**Şekil 4.3.** Beton Numune Hazırlanması ve Donatı Yerleşimi

DeneySEL programda ilk aşamada oluşturulan taze beton ankraj numunelerine ait şematik gösterim Şekil 4.4'te verilmiştir.



**Şekil 4.4.** Taze Beton Ankraj Deney Numunelerinin Şematik Gösterim

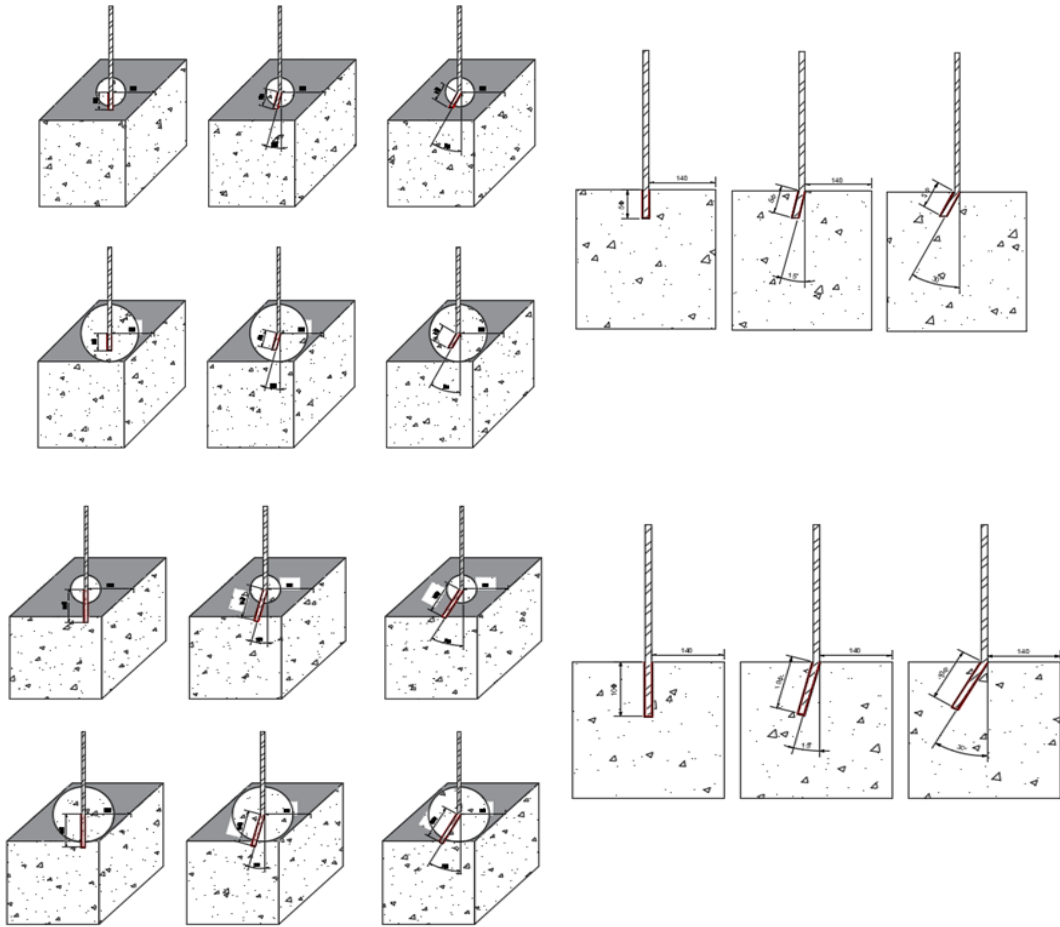
Çalışmanın ikinci aşaması kimyasal ankrajlardan oluşmaktadır. Bu aşamada hazırlanan donatısız beton bloklara matkap yardımıyla açılan deliklere belirlenen eğimlere ve gömme derinliklerine uygun kimyasal ankrajlar oluşturulmuştur. Bu aşamada hem ankraj eğiklik açısı hem de ankraj kenar mesafesi etkisi incelenmiştir. (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Donatı Ankrajların Beton Bloklara Kimyasal Yapıştırıcı İle Ekilmesi

#### 4.3. Ankrajların Ekilme Geometrisi

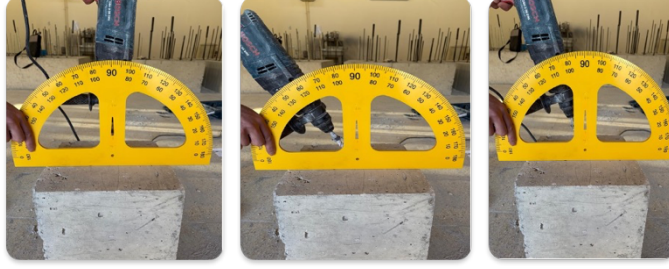
30x30x30 cm ölçülerinde beton bloklara 12 mm çapında ankraj donatısı, gömme derinliği donatı çapının 10 ve 15 katı olacak şekilde epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ekilmiştir. Ankraj deliği donatı çapından 4 mm fazla olacak şekilde açılmıştır. Kimyasal ankraj deney numunelerinin şematik gösterimi Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Kimyasal Ankraj Deney Numune Şematik Gösterim

#### 4.4. Ankraj Ekimi

Ankraj uygulamasına geçilmeden önce beton bloklar üzerinde açılacak deliklerin konumları, ankrajların birbirleriyle olan mesafeleri ve beton kenarlarına olan uzaklıkları ilgili sınır koşullarını sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Belirlenen noktalara, belirlenen açılarda darbeli matkap kullanılarak silindirik delikler açılmıştır (Şekil 4.7).



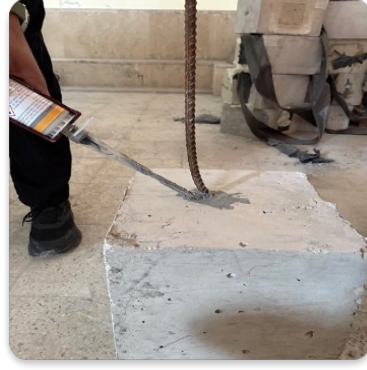
Şekil 4.7. Farklı Eğiklik Açıları İle Beton Bloklara Delik Açılması

Delme işleminin ardından, delik içleri basınçlı hava ile temizlenerek toz ve artıklar tamamen uzaklaştırılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Açılan Deliklerin Hava Basıncı İle Temizlenmesi

Deliklerin temizlenme işlemi hava kompresör ve tel fırça yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Temizlik işlemi tamamlandıktan sonra ankraj ekimine başlanmıştır. Kullanılan kimyasal yapıştırıcılar, üretici firma tarafından kartuşlu tüpler halinde temin edilmiş ve tabanca yardımıyla delik içerisine uygulanmıştır (Şekil 4.9). Kimyasal yapıştırıcı ile doldurulan deliklere ankraj çubukları döndürülerek yerleştirilmiş ve bu sayede içeride kalabilecek hava boşluklarının dışarı çıkması sağlanmıştır.



**Şekil 4.9.** Beton Bloklara Ankraj Donatısının Kimyasal Yapıştırıcı İle ekilmesi

Açılı ankraj çubuklar, taban betonuna dik olacak şekilde konumlandırılmış ve kimyasal yapıştırıcı yeterli dayanımı kazanıncaya kadar dış etkilere karşı laboratuvar ortamında korunmuştur (Şekil 4.10). Kimyasal yapıştırıcı üretici firma tarafından önerilen kimyasal yapıştırıcı priz alma süresi 7-12 saat aralığıdır. Bu çalışmada ise güvenli tarafta kalmak amacıyla tüm numuneler için 1 haftalık bekleme süresi uygulanmış ve bu sürenin sonunda çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

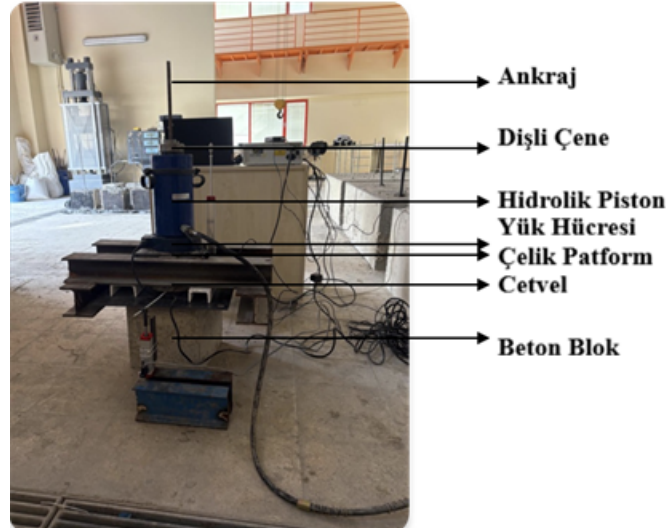


**Şekil 4.10.** Farklı Kenar Mesafelerinde Beton Bloklara Açılan Delikler

#### **4.5. Çekme Deneyi**

Taze beton ankrajların ve kimyasal ankrajların çekme kuvveti altındaki dayanımını belirlemek amacıyla çekip çıkarma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği; göçme türünün gözlemlenmesine olanak sağlayacak şekilde beton bloğa yerleştirilen çelik bloklar, yük uygulayan hidrolik piston, yük hücresi ve deplasman ölçerlerden oluşmaktadır. Hidrolik pistonun üst kısmında, ankraj donatısının güvenli bir şekilde tutulmasını sağlamak amacıyla donatı çapına uygun çelik dişli çene kullanılmıştır. Ankraj donatısında meydana gelen deplasmanların ölçülmesi için donatı üzerine bir deplasman ölçer sabitlenmiş ve deney

süresince elde edilen yük–deplasman verileri veri toplama sistemi aracılığıyla bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.11’de verilmiştir.



**Şekil 4.11.** Deney Düzeneği

#### 4.6. Parametreler

Numunelerin tanımlanmasında; gömme derinliğini ifade etmek için L (mm), gömülü ankrajın eğiklik açısını belirtmek için A ( $^{\circ}$ ), beton koni sınırını göstermek için D (mm) ve kenar mesafelerini tanımlamak için K (mm) sembolleri kullanılmıştır. Tüm numuneler bu parametreler esas alınarak isimlendirilmiştir. Örneğin L10ØA15°D200 kodlu numune; 15° eğiklik açısı ile yerleştirilmiş, 200 mm beton koni sınırına sahip ve gömme derinliği 10Ø olan ankraj numunesini temsil etmektedir. Deney numune isimlendirmeleri taze beton ankraj ve kimyasal ankraj olmak üzere sırasıyla Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Taze Beton Ankraj Deney İsimlendirmesi

No	İsimlendirme	Gömme Derinliği (L)	Eğiklik Açısı (A)	Koni Alan Çap (mm)	Kenar Mesafesi (mm)
1	L10ØA0°D100	10Ø	0°	100	140
2	L10ØA0°D200	10Ø	0°	200	140
3	L10ØA15°D100	10Ø	15°	100	140
4	L10ØA15°D200	10Ø	15°	200	140
5	L10ØA30°D100	10Ø	30°	100	140
6	L10ØA30°D200	10Ø	30°	200	140

**Tablo 4.6.** Kimyasal Ankraj İle Hazırlanan Numune Deney İsimlendirmesi

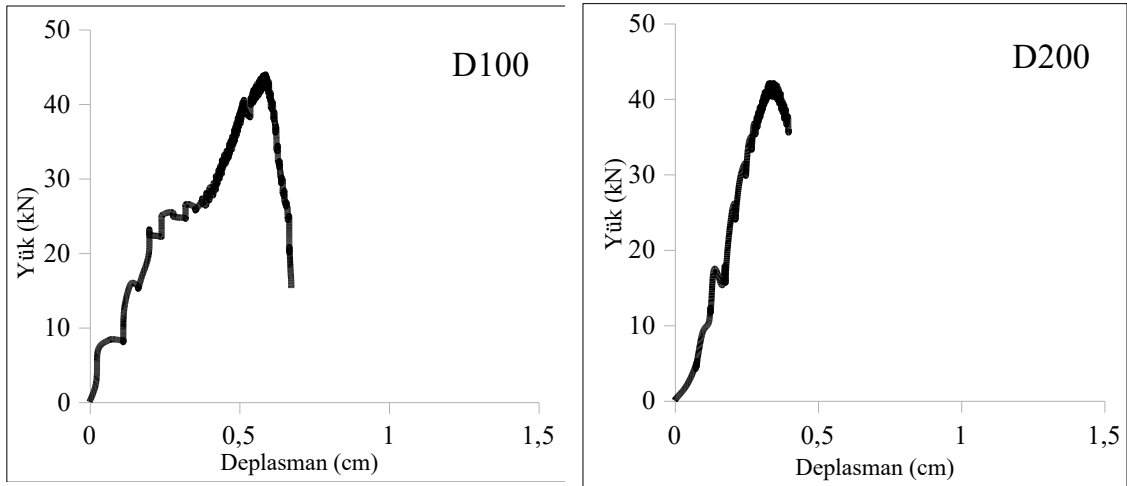
No	İsimlendirme	Gömme Derinliği (L)	Eğiklik Açısı (A)	Koni Alan Çap (mm)	Kenar Mesafesi (mm)
1	L5ØA0°D100K140	5Ø	0°	100	140
2	L5ØA0°D200K140	5Ø	0°	200	140
3	L5ØA15°D100K140	5Ø	15°	100	140
4	L5ØA15°D200K140	5Ø	15°	200	140
5	L5ØA30°D100K140	5Ø	30°	100	140
6	L5ØA30°D200K140	5Ø	30°	200	140
7	L10ØA0°D100K140	10Ø	0°	100	140
8	L10ØA0°D200K140	10Ø	0°	200	140
9	L10ØA15°D100K140	10Ø	15°	100	140
10	L10ØA15°D200K140	10Ø	15°	200	140
11	L10ØA30°D100K140	10Ø	30°	100	140
12	L10ØA30°D200K140	10Ø	30°	200	140
13	L10ØA0°K60	10Ø	0°	---	60
14	L10ØA0°K100	10Ø	0°	---	100
15	L10ØA15°K60	10Ø	15°	---	60
16	L10ØA15°K100	10Ø	15°	---	100
17	L10ØA30°K60	10Ø	30°	---	60
18	L10ØA30°K100	10Ø	30°	---	100

## 5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

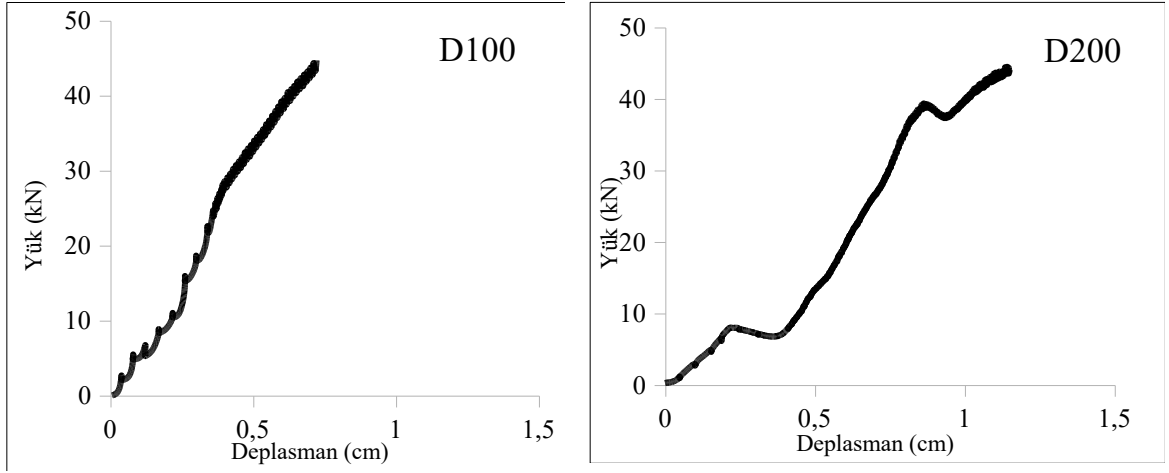
### 5.1. Taze Beton Ankraj Sonuçları

Donatı çapı 12 mm, gömme derinliği 10Ø, eğiklik açısı 0° (düşey), 15°, 30°, koni alan çapı 100 mm ve 200 mm olan beton numunelerinin yük-deplasman eğrileri Şekil 5.1-Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Taze beton ankrajlarında aderans sağlanmasıyla beton koni hasarları gözlenmeden donatı sıyrılmaları gözlenmiştir. Deney sonrası numune görselleri Şekil 5.4- Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmiştir.

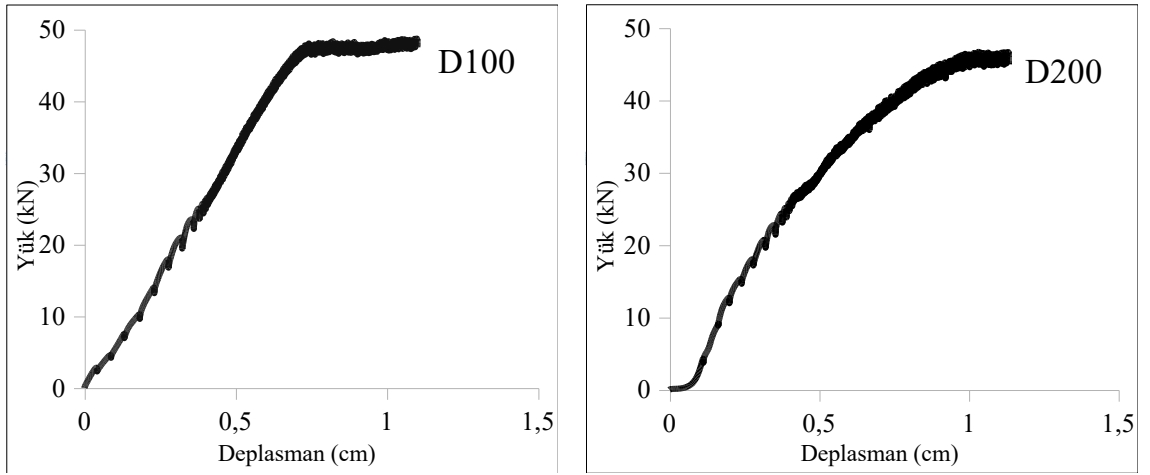
Gömme derinlikleri 10 mm, eğrilik açıları 0°, 15° ve 30° olan numunelerde ortalama olarak yaklaşık değerler elde edilmiştir. Beton konisinin kısıtlanması sonucu aksel çekme kuvvetlerinde %5 lik artışlar gözlemlenmiştir. Bunun nedeni aksel çekme yüküne maruz kalan beton konisinin deney düzeneği platformunun engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



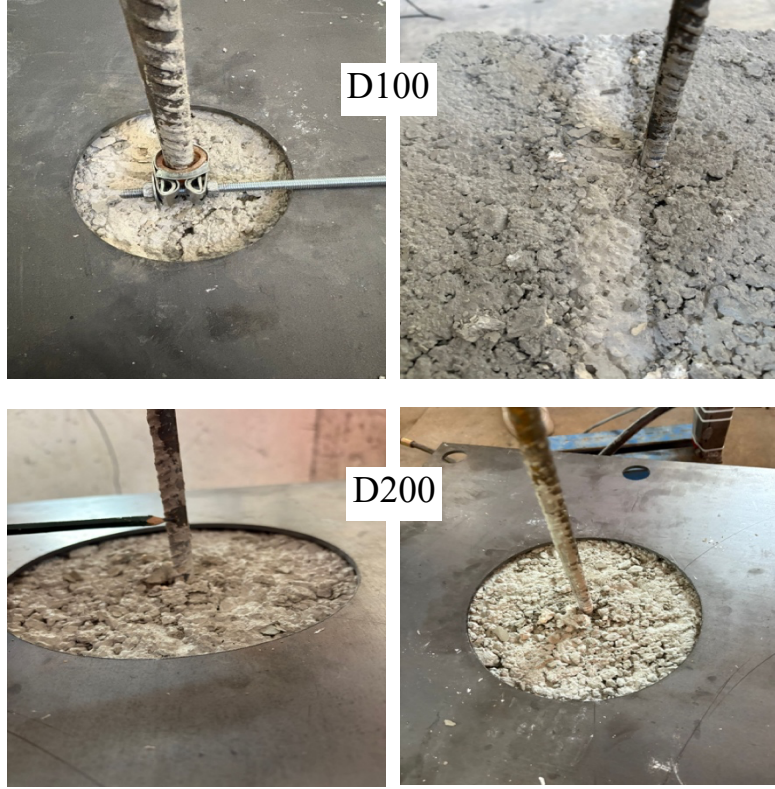
Şekil 5.1. L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



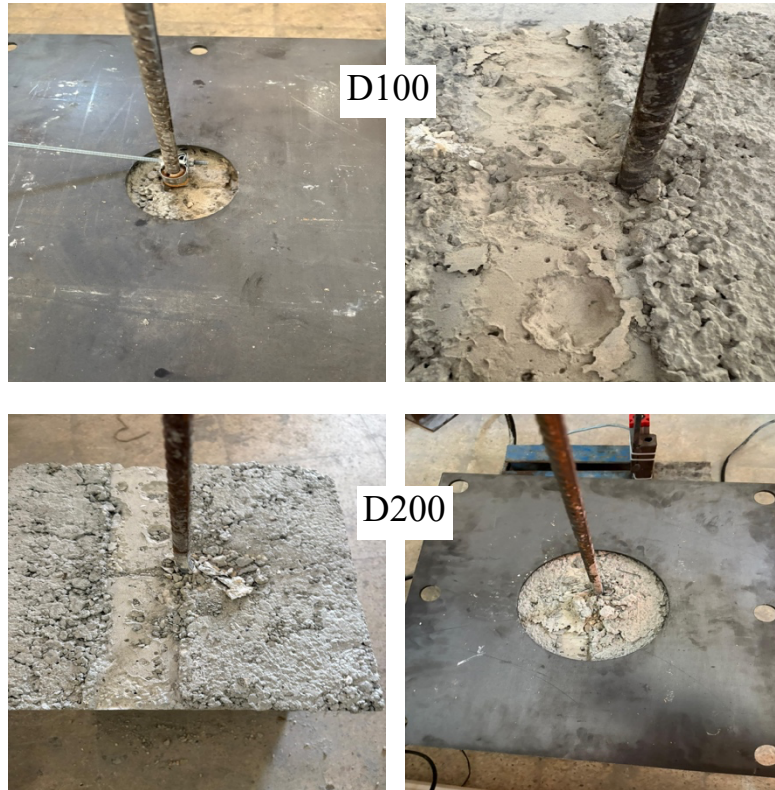
**Şekil 5.2.** L10ΦA15 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



**Şekil 5.3.** L10ΦA30 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



Şekil 5.4. L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Görseller

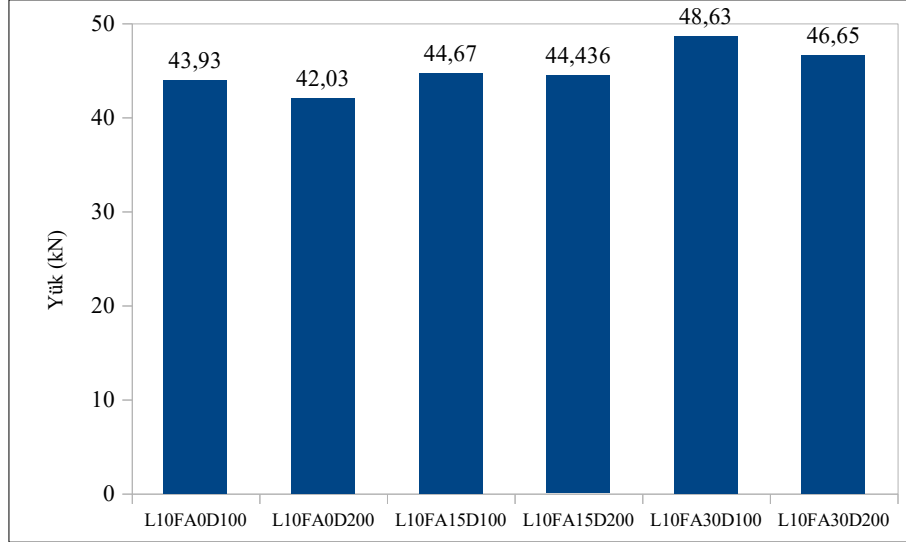


Şekil 5.5. L10ΦA15 Deney Numunelerine Ait Görseller



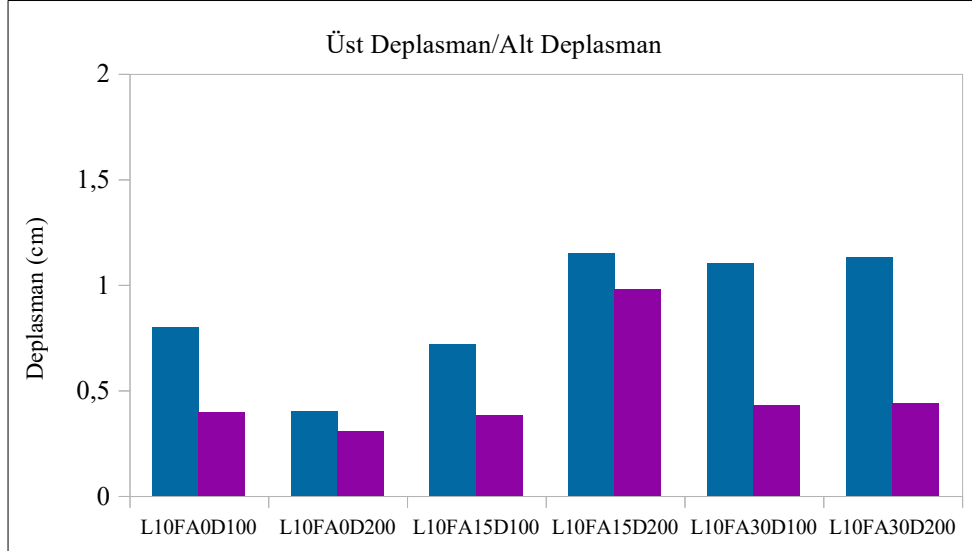
**Şekil 5.6.** L10ΦA30 Deney Numunelerine Ait Görseller

Şekil 5.7’de taze beton ankrajlarına ait aksenal çekme kuvveti verilmiştir. Gömme derinliği 10Φ (120 mm) olan ankrajların kenetlenme aderansının sağlandığı görülmüştür. Beton koni hasarın gözlemlenebilmesi için daha sık ankrajlar oluşturulması gerektiği görülmektedir. Ayrıca, deney düzeneğinde beton koni sınırlarının azaltılması aksenal çekme kapasitelerinde artışlara neden olmuştur.



**Şekil 5.7.** Taze Beton Ankrajlarına Ait Nihai Eksenel Çekme Kuvvetleri

Şekil 5.8’de taze beton ankrajlarına ait üst ve alt deplasman grafiği verilmiştir. Ankraj eğiklik açısı artmasıyla ankrajın üst noktasından okunan deformasyonlarda artış gözlenmiştir. Alt deplasmanda belirgin deformasyon gözlenmemesi beton koni hasarın gerçekleşmediğini göstermiştir.



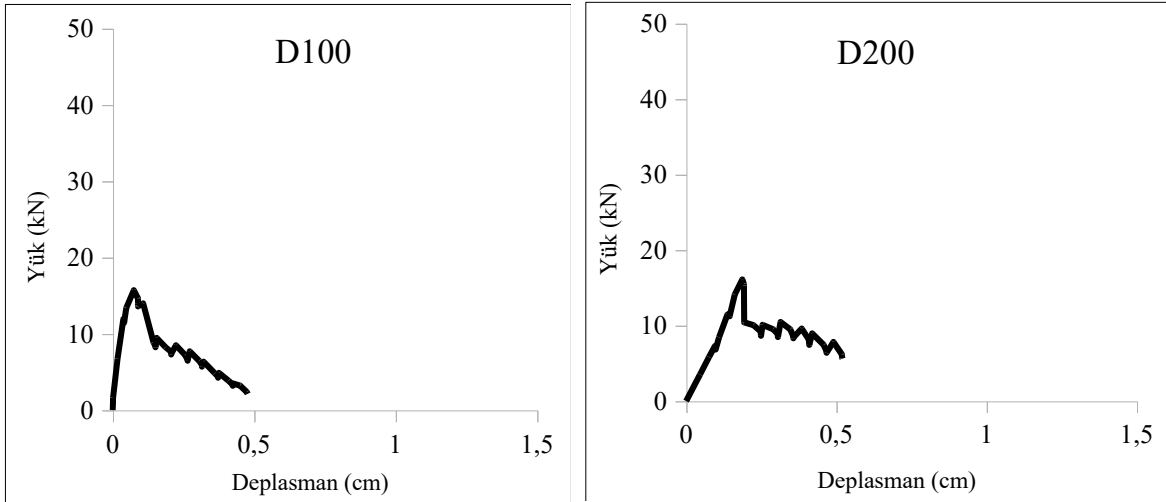
**Şekil 5.8.** Bağ Dayanım Üst ve Alt Deplasman Değerleri

## 5.2. Kimyasal Ankraj Deney Sonuçları

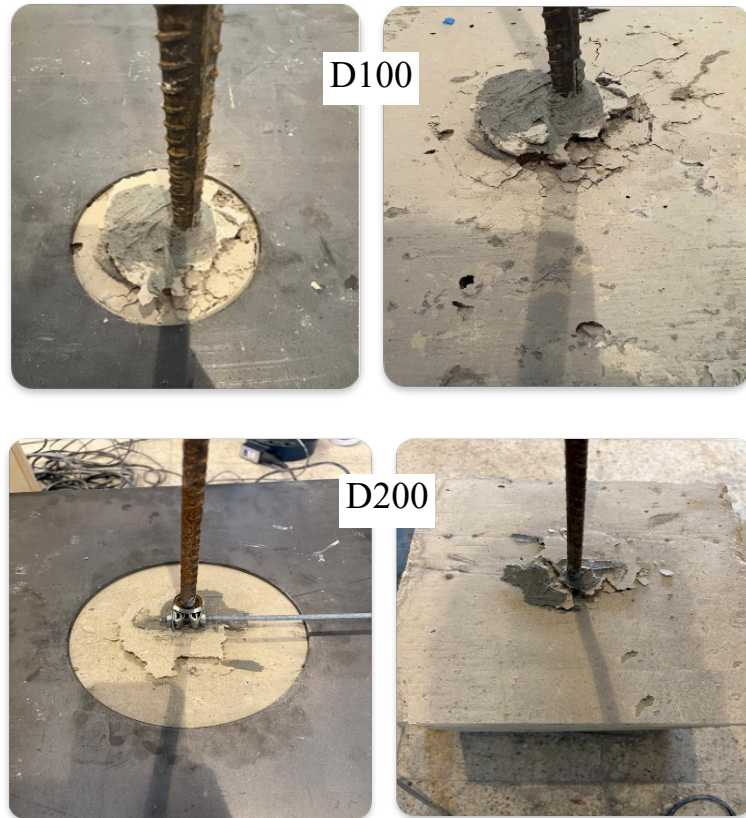
### 5.2.1. L5ΦA0K140

Gömme derinliği 5Ø, gömme açısı düşey ve beton koni sınırı 100 mm ve 200 mm olan deney numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 17,7 kN ve 18,1 kN elde edilmiştir. Beton koni sınırının artmasıyla eksenel çekme kuvveti yaklaşık %2 artmıştır. Deney numunelerine ait yük deplasman grafiği Şekil 5.9’da sunulmuştur. Deney sonrasına ait

görseller Şekil 5.10'da verilmiştir. Göçme mekanizması ile beton koni ve sıyrılma hasarları görülmüştür. Gömme derinliği ve beton koni sınırının sabit tutulması ile beraber gömme açısının  $15^\circ$  ve  $30^\circ$  olduğu deney numuneleri düşey ankrajlar ile karşılaştırıldığında 200 mm koni çapı için eksenel çekme kuvvetinin sırasıyla yaklaşık %15 ve %27 azaldığı, 100 mm koni çapı için eksenel çekme kuvvetinin sırasıyla yaklaşık %17 ve %27 azaldığı gözlenmiştir.



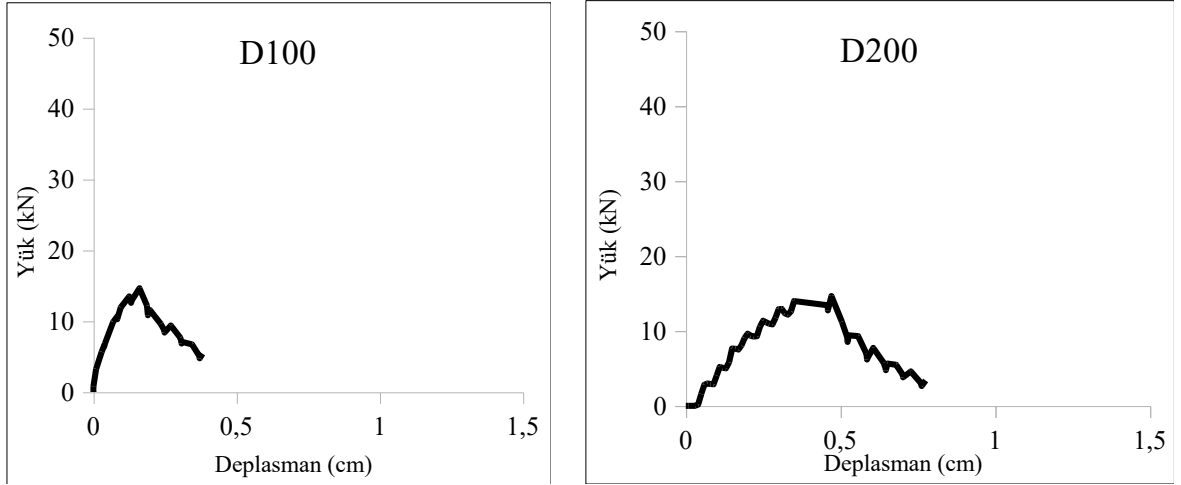
Şekil 5.9. L5ΦA0K140 Deney Numunesine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



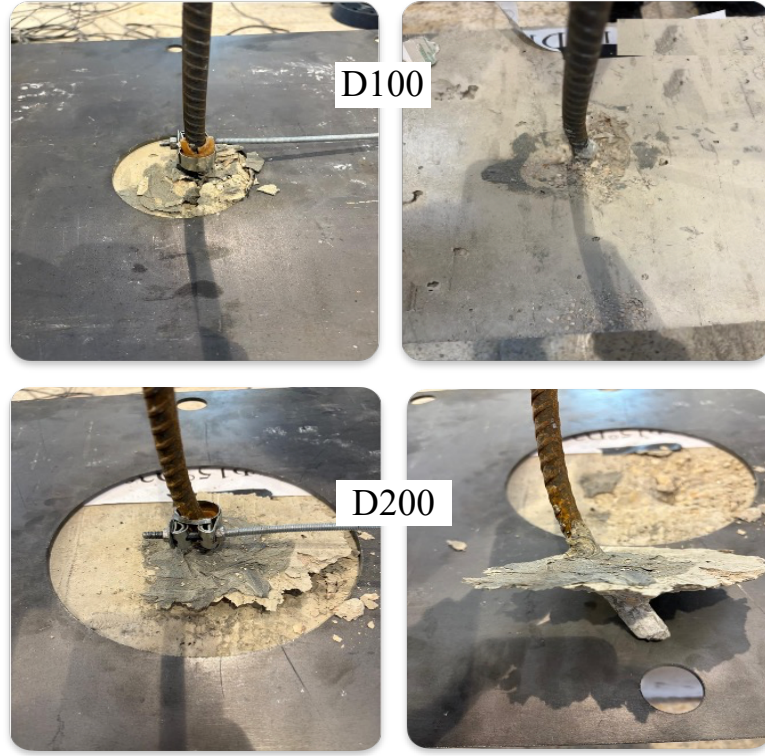
Şekil 5.10. L5ΦA0K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri

### 5.2.2. L5ΦA15K140

Gömme derinliği 5Ø, gömme açısı 15° ve beton koni sınırı 100 mm ve 200 mm olan deney numunelerinde aksel çekme kuvvetleri sırasıyla 14,63 kN ve 15,42 kN elde edilmiştir. Deney numunelerine ait yük deplasman grafiği Şekil 5.11’de sunulmuştur. Deney sonrasında ait görseller Şekil 5.12’de verilmiştir. Beton koni sınırının artmasıyla aksel çekme kuvveti yaklaşık % 2 artmıştır. Gömme açısının 0° ve beton koni sınırlarının sırasıyla 100 mm ve 200 mm olduğu deney sonuçlarına göre aksel çekme kuvvetleri sırasıyla %17 ve %15 azalmıştır. Göçme mekanizması ile beton koni ve sıyrıma hasarları görülmüştür. Eğiklik açısına bağlı olarak beton koni göçmesi asimetrik olarak gözlemlenmiştir. Beton koni tahmin edilen beton koni sınırları arasında kalmıştır.



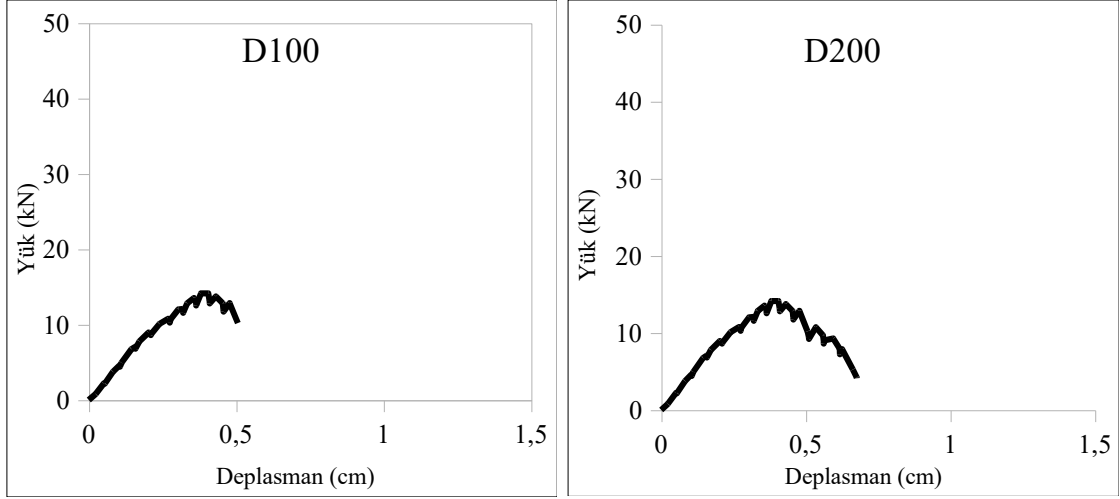
Şekil 5.11. L5ΦA15K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



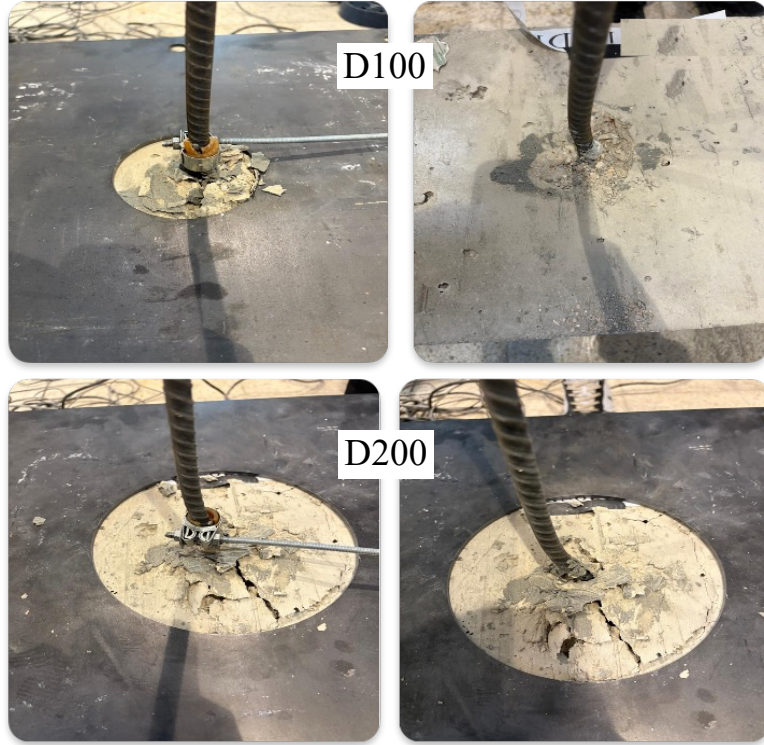
Şekil 5.12. L5ΦA15K140 Numunelerine Ait Deneş Görşeller

### 5.2.3. L5ΦA30K140

Gömme derinliği 5Ø, gömme açısı 30° ve beton koni sınırı 100 mm ve 200 mm olan deneş numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 12,87 kN ve 13,13 kN elde edilmiştir. Deneş numunelerine ait yük deplasman grafiği Şekil 5.13'de sunulmuştur. Deneş sonrasına ait görşeller Şekil 5.14'te verilmiştir. Beton koni sınırının artmasıyla eksenel çekme kuvveti yaklaşık % 2 artmıştır. Gömme açısının 15° ve beton koni sınırlarının sırasıyla 100 mm ve 200 mm olduğu deneş sonuçlarına göre eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla %12 ve %15 azalmıştır. Ankraj eğiklik açısının artması betonda yarılmalara neden olmuştur.



Şekil 5.13. L5ΦA30K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı

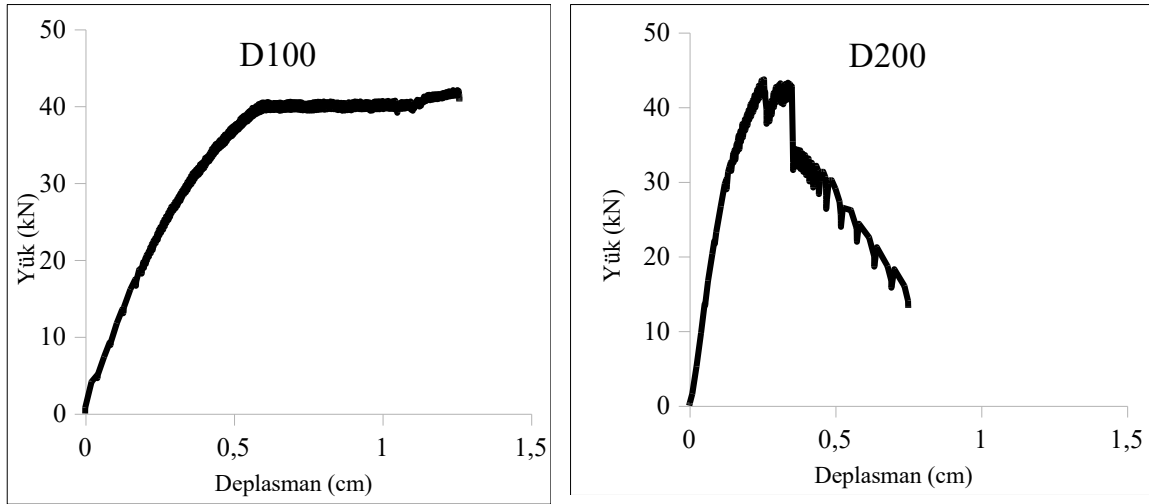


Şekil 5.14. L5ΦA30K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri

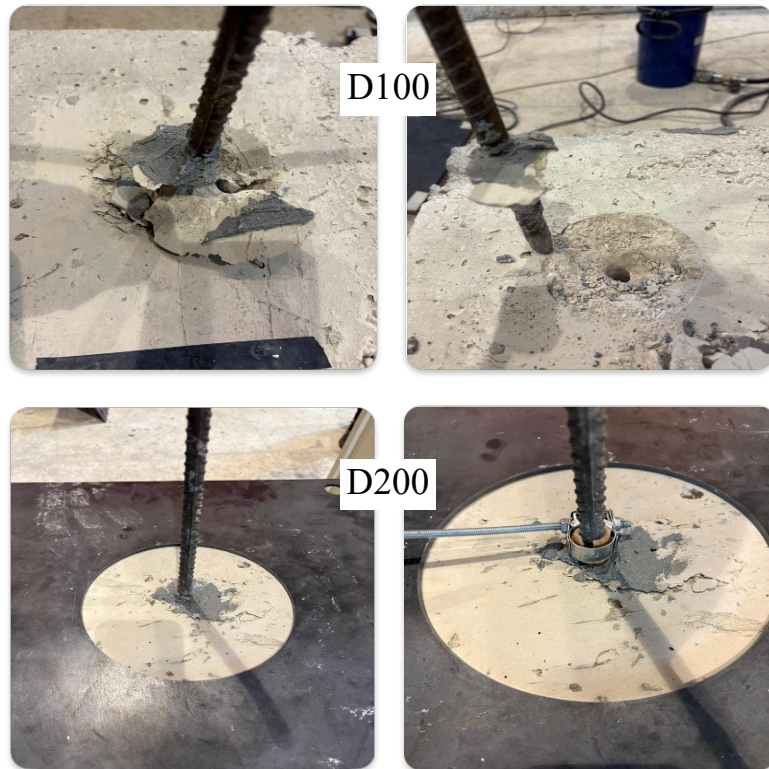
#### 5.2.4. L10ΦA0K140

Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 0° ve beton koni sınırı 100 mm ve 200 mm olan deney numunelerinde aksenal çekme kuvvetleri sırasıyla 42,04 kN ve 43,69 kN elde edilmiştir. Beton koni sınırının artmasıyla aksenal çekme kuvveti yaklaşık % 4 artmıştır. Deney numunelerine ait yük deplasman grafiği Şekil 5.15'te sunulmuştur. Deney sonrasına ait görseller Şekil 5.16'da verilmiştir. Deney sonrası numunelerde beton koni ve donatı

sıyırılma hasarı gözlenmiştir. Düşük dayanımlı beton nedeniyle beton koni sınırları tam olarak belirlenememiştir.



Şekil 5.15. L10ΦA0K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı

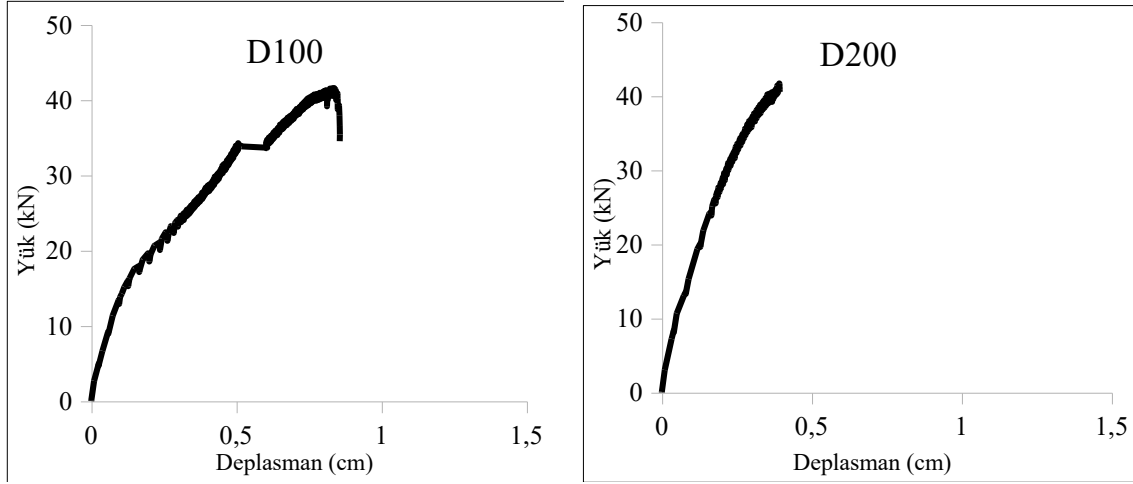


Şekil 5.16. L10ΦA0K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri

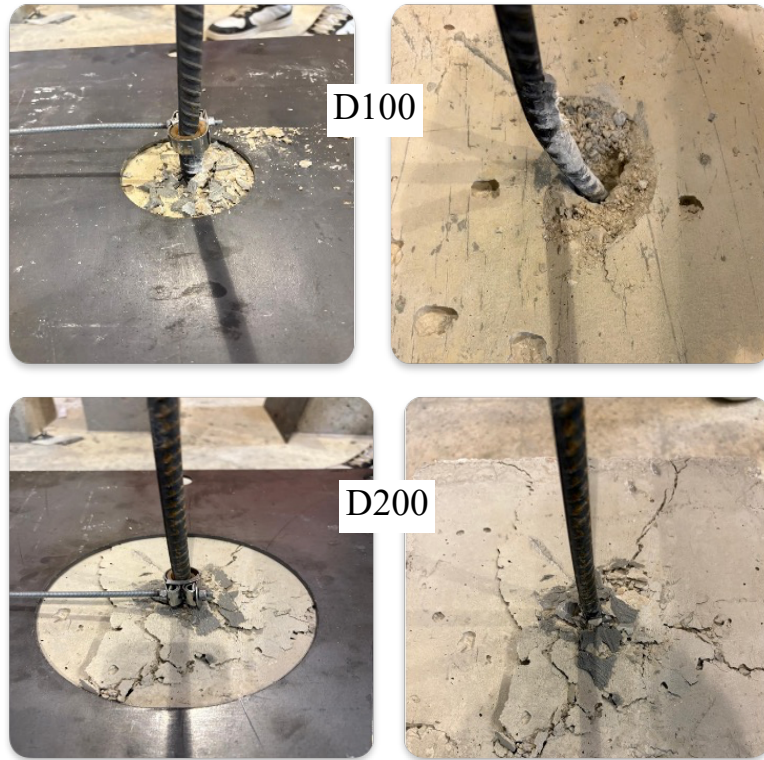
### 5.2.5. L10ΦA15K140

Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 15° ve beton koni sınırı 100 mm ve 200 mm olan deney numunelerinde aksenal çekme kuvvetleri sırasıyla 41,57 kN ve 41,7 kN elde edilmiştir.

Beton koni sınırının artmasıyla aksenal çekme kuvveti yaklaşık % 0,3 artmıştır. Gömme açısının  $0^\circ$  ve beton koni sınırlarının sırasıyla 100 mm ve 200 mm olduğu deney sonuçlarına göre aksenal çekme kuvvetleri sırasıyla %1 ve %5 azalmıştır. Deney numunelerine ait yük deplasman grafiği Şekil 5.17’de sunulmuştur. Deney sonrasına ait görseller Şekil 5.18’de verilmiştir. Deney sonrası numuneler incelediğinde eğiklik açısına bağlı olarak beton koni göçmesi asimetrik ve betonda yarılmalar gözlemlenmiştir.



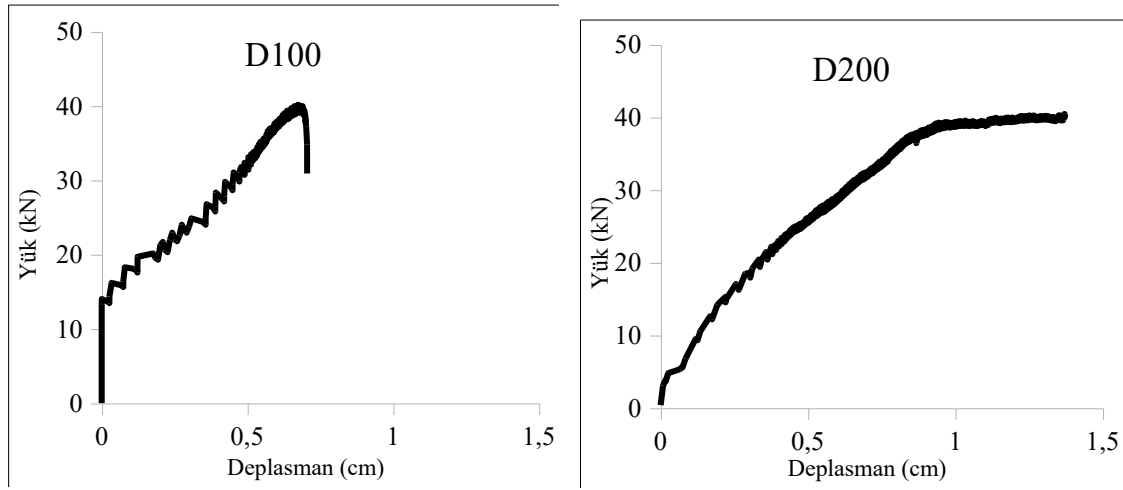
Şekil 5.17. L10ΦA15K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



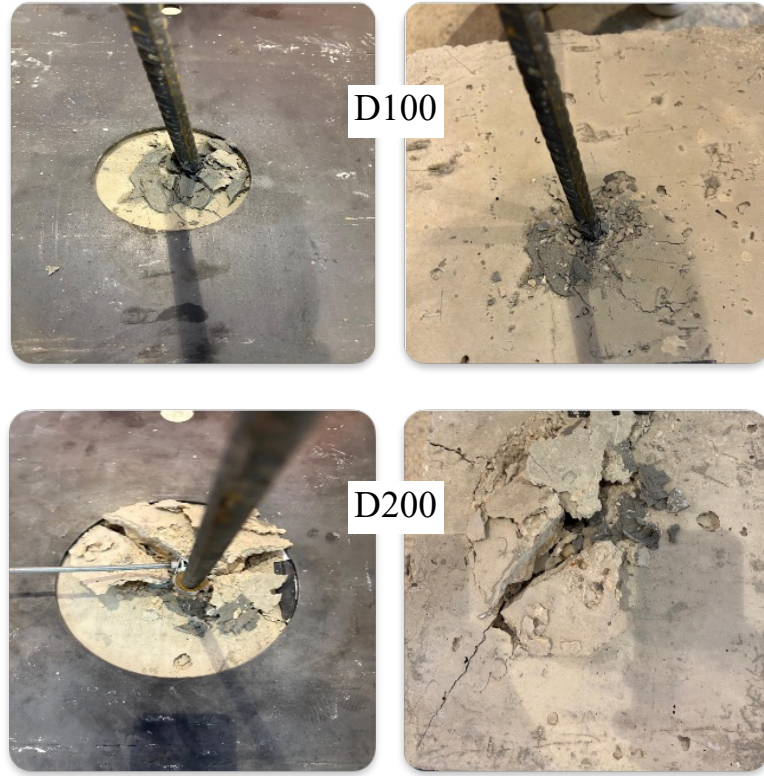
Şekil 5.18. L10ΦA15K140 Numunelerine Ait Deney Görselleri

### 5.2.6. L10ΦA30K140

Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 30° ve beton koni sınırı 100 mm ve 200 mm olan deney numunelerinde aksel çekme kuvvetleri sırasıyla 40,13 kN ve 40,45 kN elde edilmiştir. Beton koni sınırının artmasıyla aksel çekme kuvveti yaklaşık % 0,8 artmıştır. Gömme açısının 15° ve beton koni sınırlarının sırasıyla 100 mm ve 200 mm olduğu deney sonuçlarına göre aksel çekme kuvvetleri sırasıyla %3 ve %3 azalmıştır. Deney numunelerine ait yük deplasman grafiği Şekil 5.19'da sunulmuştur. Deney sonrasına ait görseller Şekil 5.20'de verilmiştir. Deney sonrası numuneler incelendiğinde eğiklik açısının artmasıyla betonda yarılmalar gerçekleşerek gevrek bir mekanizma gözlemlenmiştir.



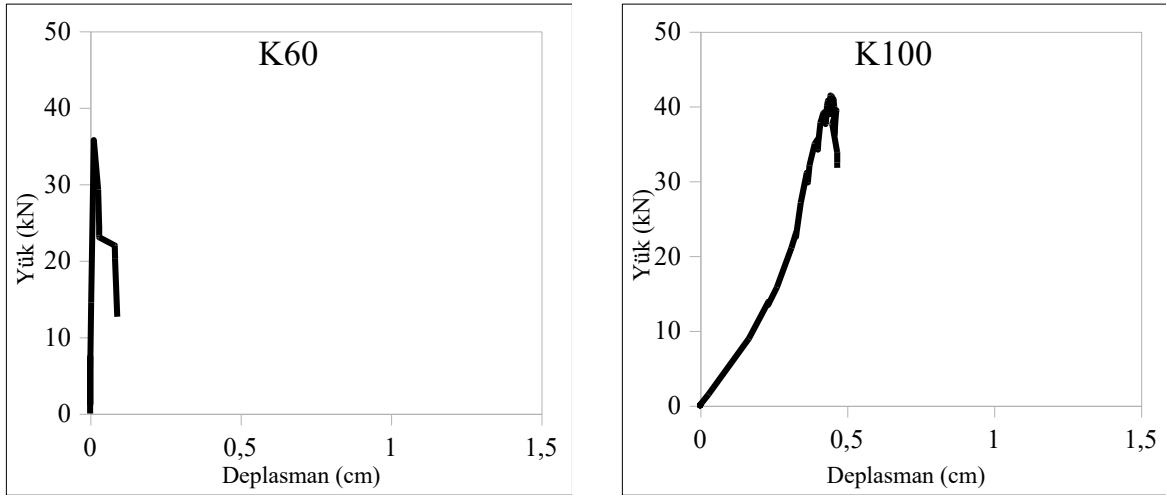
Şekil 5.19. L10ΦA30K140 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



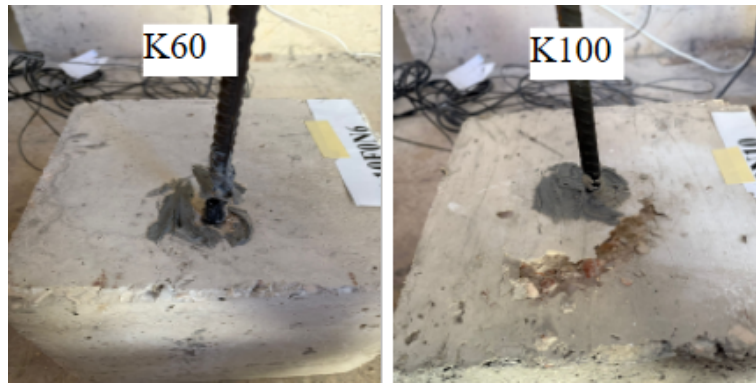
**Şekil 5.20.** L10ΦA30K140 Numunelerine Ait Deney GörSELLERİ

### **5.2.7. L10ΦA0K60/K100/K140**

Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 0° ve kenar mesafesi 60 mm, 100 mm ve 140 mm olan deney numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 35,73 kN, 41,43 kN ve 43,69 kN elde edilmiştir. Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 0° ve kenar mesafesi 60 mm ve 100 mm olan deney numunelerine ait yük deplasman grafikleri Şekil 5.21’de, deney sonrası görseller ise Şekil 5.22’de verilmiştir. Kenar mesafesinin artmasıyla eksenel çekme kuvveti sırasıyla %14 ve %5 artmıştır. Göçme mekanizması ile beton koni ve sıyrıлма hasarları görülmüştür. Kenar mesafesinin 60 mm, gömme derinliğinin 10Ø ve gömme açısının 0° ve 15° olduğu deney numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 35,73 kN ve 31,73 kN olarak belirlenmiştir. Bu durumda kenar mesafesinin sabit kaldığı, gömme açısının 15°’den düşeye yaklaşması ile eksenel çekme kapasitesinin yaklaşık %11 artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



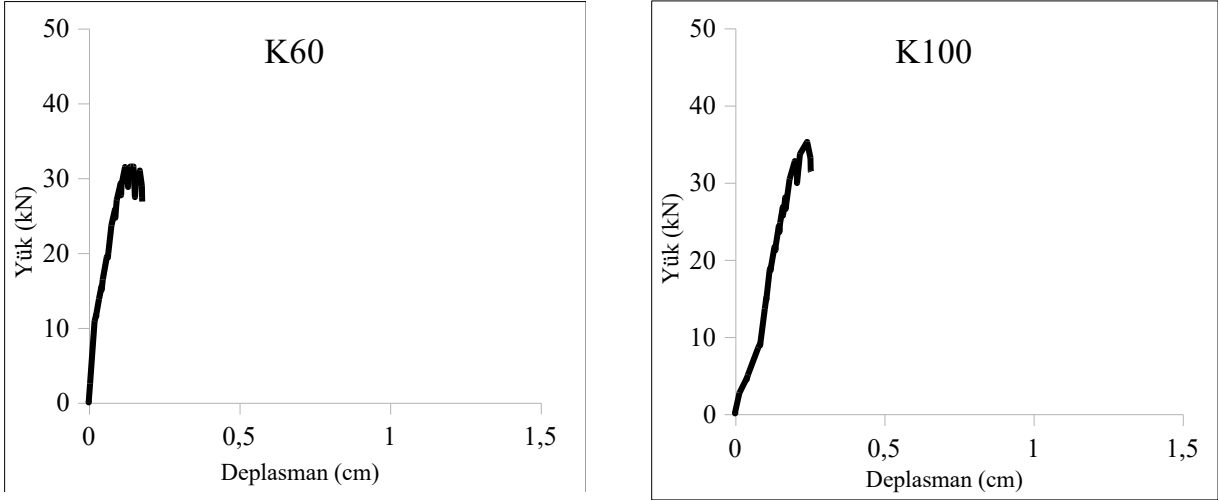
Şekil 5.21. L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



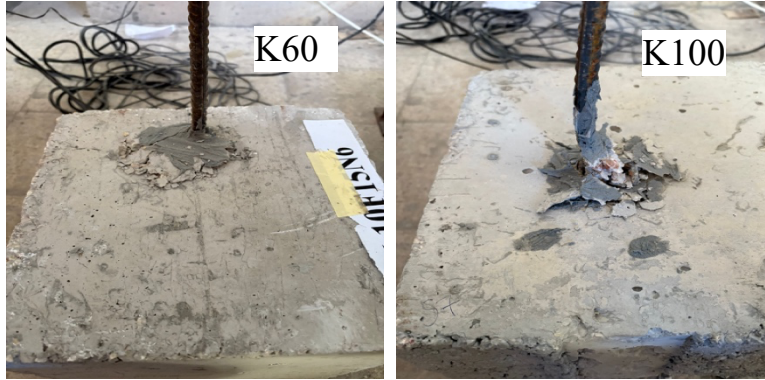
Şekil 5.22. L10ΦA0 Deney Numunelerine Ait Deney Görselleri

### 5.2.8. L10ΦA15K60/K100/K140

Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 15° ve kenar mesafesi 60 mm, 100 mm ve 140 mm olan deney numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 31,73 kN , 35,24 kN ve 41,7 kN elde edilmiştir. Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 15° ve kenar mesafesi 60 mm ve 100 mm olan deney numunelerine ait yük deplasman grafikleri Şekil 5.23’de, deney sonrası görseller ise Şekil 5.24’te verilmiştir. Kenar mesafesinin artmasıyla eksenel çekme kuvveti sırasıyla %10 ve %15 artmıştır. Göçme mekanizması ile beton koni ve sıyrılmaya hasarları görülmüştür. Kenar mesafesinin 60 mm, gömme derinliğinin 10Ø ve gömme açısının 15° ve 30° olduğu deney numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 31,73 kN ve 28,55 kN olarak belirlenmiştir. Bu durumda kenar mesafesinin sabit kaldığı, gömme açısının 30°’den 15°’ye düşmesi ile eksenel çekme kapasitesinin yaklaşık %10 artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.23. L10ΦA15 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı

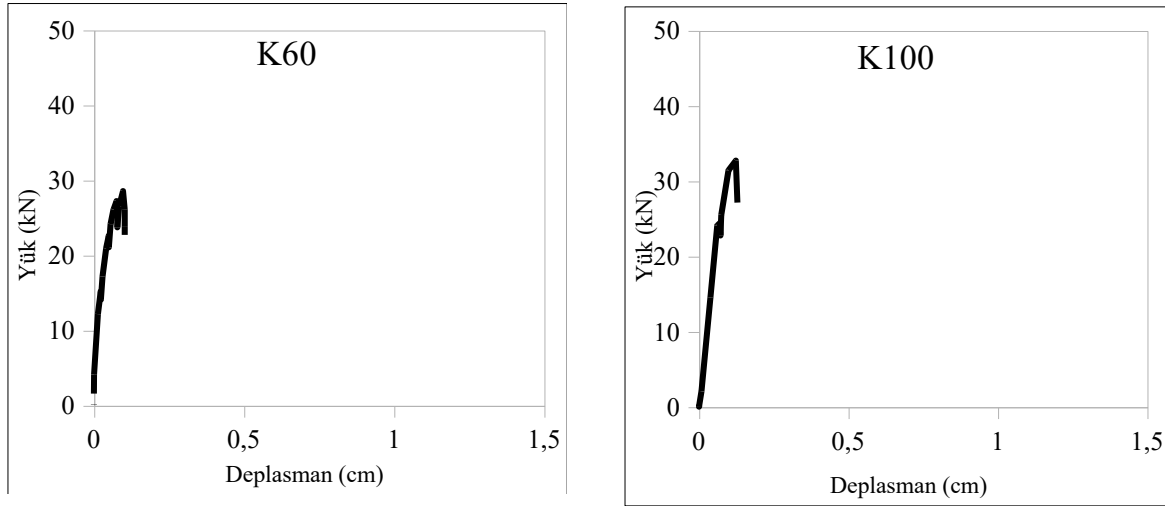


Şekil 5.24. L10ΦA15 Deney Numunelerine Ait Deney Görselleri

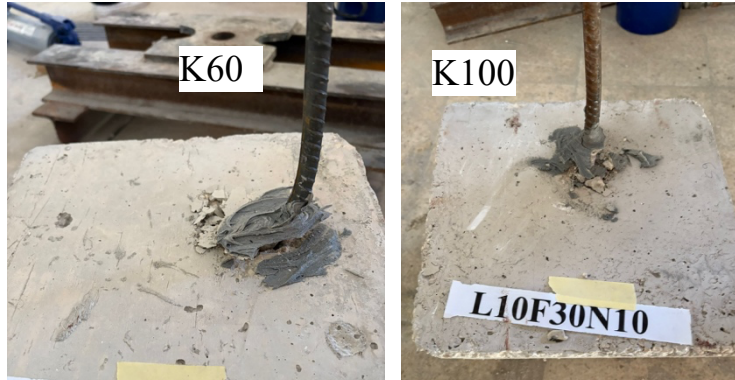
### 5.2.9. L10ΦA30K60/K100/K140

Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 30° ve kenar mesafesi 60 mm, 100 mm ve 140 mm olan deney numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 28,55 kN , 32,72 kN ve 40,45 kN elde edilmiştir. Gömme derinliği 10Ø, gömme açısı 30° ve kenar mesafesi 60 mm ve 100 mm olan deney numunelerine ait yük deplasman grafikleri Şekil 5.25’de, deney sonrası görseller ise Şekil 5.26’da verilmiştir. Kenar mesafesinin artmasıyla eksenel çekme kuvveti sırasıyla %13 ve %19 artmıştır. Göçme mekanizması ile beton koni ve sıyrılma hasarları görülmüştür. Kenar mesafesinin 100 mm, gömme derinliğinin 10Ø ve gömme açısının 0° ve 15° olduğu deney numunelerinde eksenel çekme kuvvetleri sırasıyla 41,43 kN ve 35,24 kN olarak belirlenmiştir. Bu durumda kenar mesafesinin 100 mm olarak sabit kaldığı, gömme

açısının 0°'den 15°'ye artması ile eksenel çekme kapasitesinin yaklaşık %15 artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

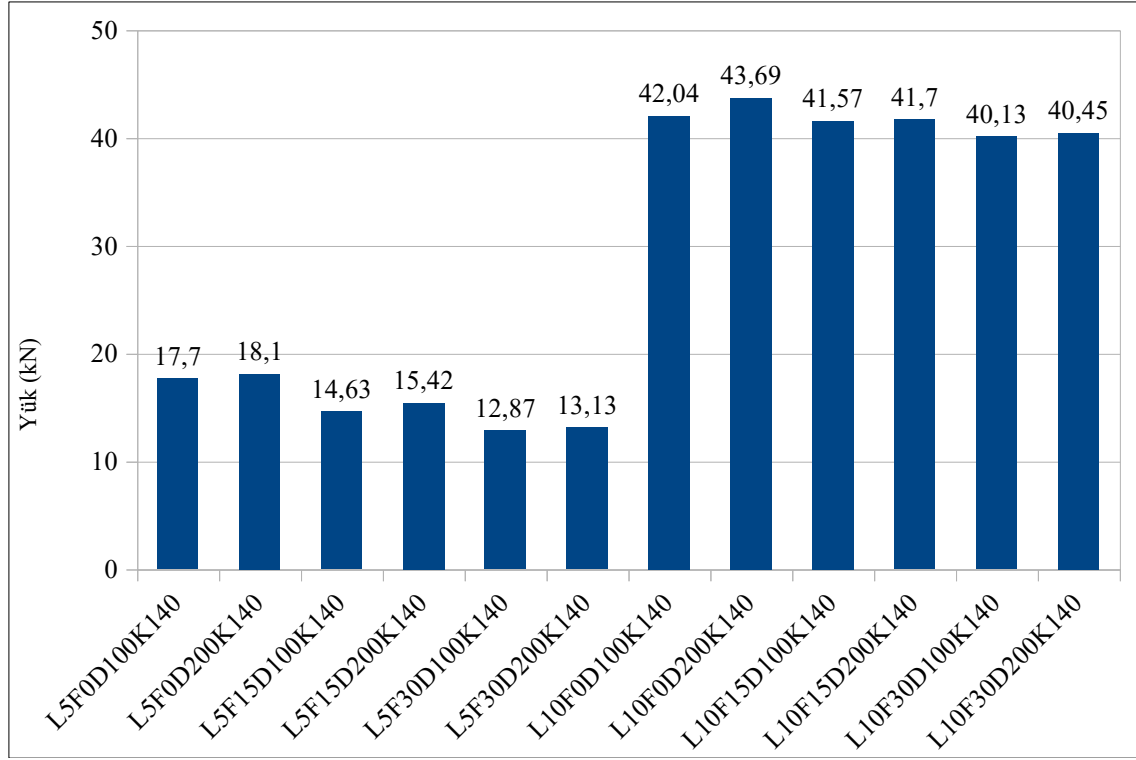


Şekil 5.25. L10ΦA30 Deney Numunelerine Ait Yük-Deplasman Diyagramı



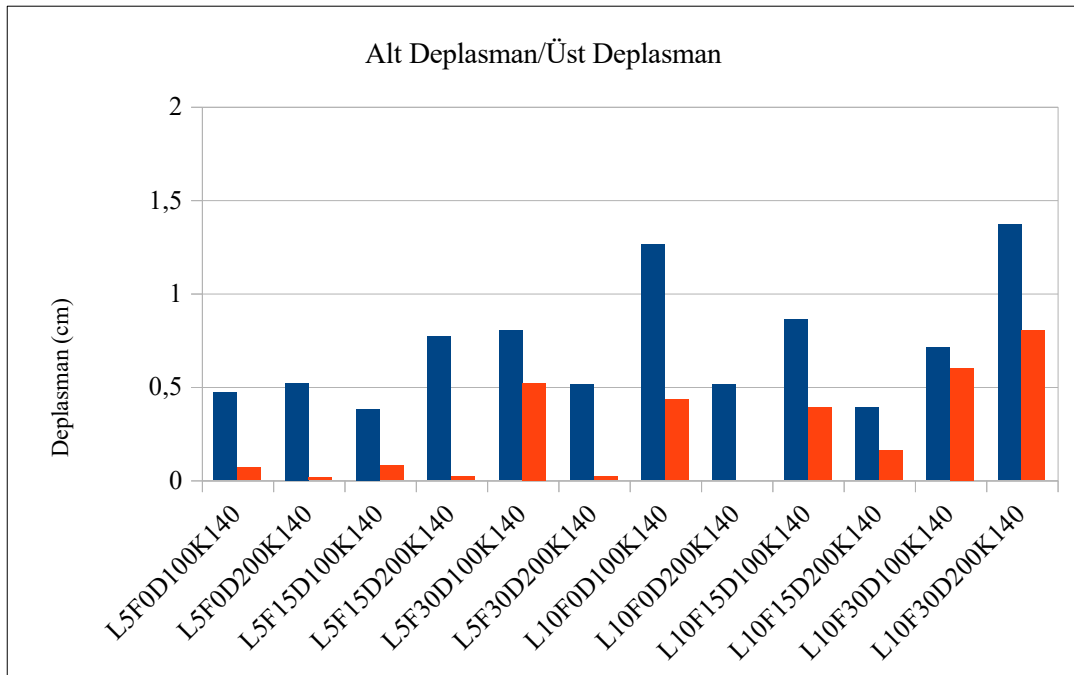
Şekil 5.26. L10ΦA30 Deney Numunelerine Ait Deney Görselleri

Şekil 5.27'de kimyasal ankrajların eksenel çekme kapasiteleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde gömme derinliği 5Ø'den 10Ø'ye artmasıyla beton koni sınırları 100 mm ve 200 mm olan, düşey ankrajlarda eksenel çekme kapasiteleri sırasıyla %138 ve %141 artmıştır. Aynı durum ankraj eğiklik açıları 15° ve 30° olan numunelerde beton koni sınırları 100 mm ve 200 mm durumları için sırasıyla %184, %170 ve %211, %208 oranında artmıştır. Gömme derinliğinin en etkin parametre olduğu görülmektedir.



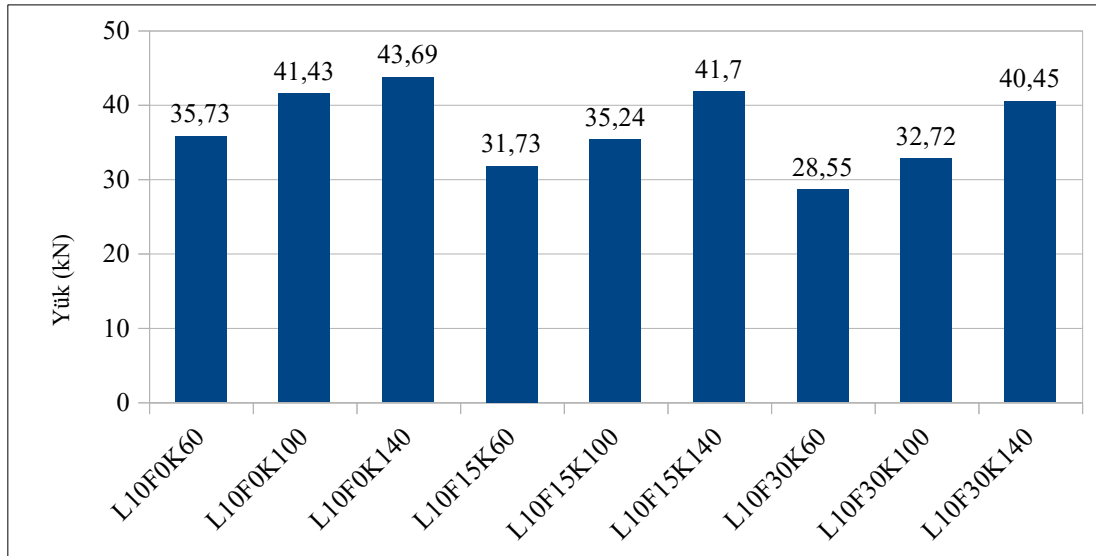
Şekil 5.27. Eksenel Çekme Kuvveti Sonuçları

Şekil 5.28’de kimyasal ankraj deneylerine ait alt ve üst deplasman değerleri verilmiştir. Gömme derinliğinin artmasıyla ankraj donatısının deformasyon kabiliyeti arttığı görülmüştür. Kenetlenme boyunun yeterli gömme derinliğiyle sağlanması durumlarında daha sünek davranış elde edilmiştir.



Şekil 5.28. Kimyasal Dayanım Üst ve Alt Deplasman Değerleri

Düşey, 10Ø gömme derinliğine sahip, kenar mesafeleri 60 mm, 100 mm ve 140mm olan numunelerin aksenal çekme kuvvetleri sırasıyla 35,73 kN, 41,43 kN ve 43,69 kN elde edilmiştir (Şekil 5.29). Düşey ankrajlarda, kenar mesafesi 60 mm'den 100 mm'ye ve 60 mm'den 140 mm'ye geçişlerde aksenal çekme kuvvetinde sırasıyla %16 ve %22 artış görülmüştür. Eğiklik açısı 15°, kenar mesafeleri 60 mm, 100 mm ve 140 mm olan numunelerin aksenal çekme kuvvetleri sırasıyla 31,73 kN, 35,24 kN ve 41,70 kN elde edilmiştir (Şekil 5.29). Eğiklik açısı 15° olan ankrajlarda, kenar mesafesi 60 mm'den 100 mm'ye ve 60mm'den 140 mm'ye geçişlerde aksenal çekme kuvvetinde sırasıyla %11 ve %31 artış görülmüştür. Eğiklik açısı 30°, kenar mesafeleri 60 mm, 100 mm ve 140 mm olan numunelerin aksenal çekme kuvvetleri sırasıyla 28,55 kN, 32,72 kN ve 40,45 kN elde edilmiştir (Şekil 5.29). Eğiklik açısı 30° olan ankrajlarda, kenar mesafesi 60 mm'den 100 mm'ye ve 60 mm'den 140 mm'ye geçişlerde aksenal çekme kuvvetinde sırasıyla %15 ve %41 artış görülmüştür. Şekil 5.29 incelendiğinde en riskli numune sıg, eğik açılı ve kenara yakın ekilen ankrajlar olduğu görülmüştür.



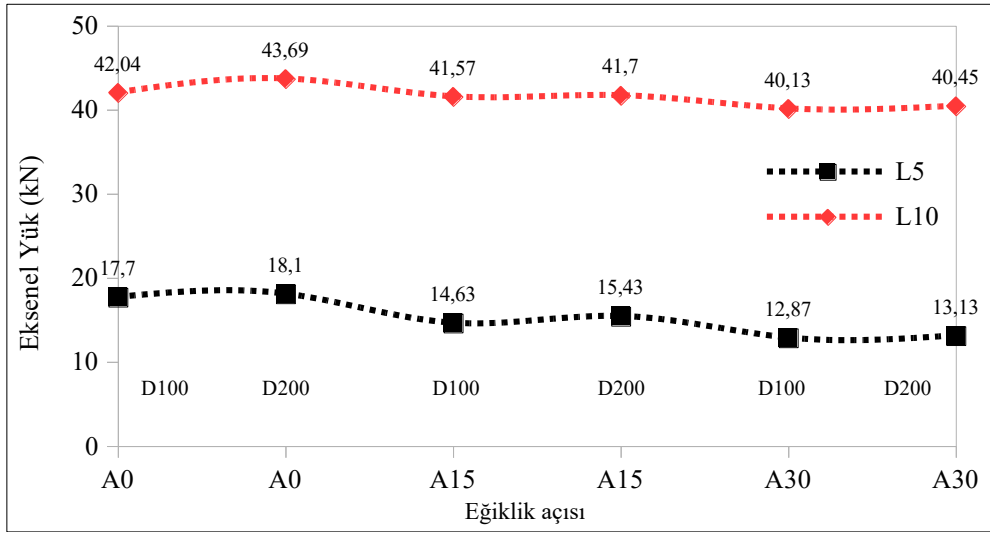
**Şekil 5.29.** Kimyasal Dayanım Kenar Mesafe Aksenal Çekme Kuvveti İlişkisi

Şekil 5.30'da ankraj eğiklik açısı, beton koni sınırı ve aksenal yük arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil incelendiğinde beton koni sınırının artmasıyla aksenal çekme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Ankraj eğiklik açısının artmasıyla aksenal çekme yükü azalmaktadır.

10Ø gömme derinliğinde ekilen, 100 mm beton koni sınırına sahip numunelerde aksenal çekme yükü, düşey doğrultulu ankraj ile kıyaslandığında 15° ve 30° eğiklik açıları için sırasıyla %5 ve %7 azalmaktadır. 10Ø gömme derinliğinde ekilen, 200 mm beton koni sınırına

sahip numunelerde aksel çekme yükü, düşey doğrultulu ankraj ile kıyaslandığında 15° ve 30° eğiklik açıları için sırasıyla %1 ve %5 azalmaktadır.

5Ø gömme derinliğinde ekilen, 100 mm beton koni sınırına sahip numunelerde aksel çekme yükü, düşey doğrultulu ankraj ile kıyaslandığında 15° ve 30° eğiklik açıları için sırasıyla %15 ve %27 azalmaktadır. 5Ø gömme derinliğinde ekilen, 200 mm beton koni sınırına sahip numunelerde aksel çekme yükü, düşey doğrultulu ankraj ile kıyaslandığında 15° ve 30° eğiklik açıları için sırasıyla %17 ve %27 azalmaktadır.



Şekil 5.30. Eğiklik Açısı Yük İlişkisi

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, düşük dayanımlı taze beton ankrajlarının ve kimyasal ankrajların aksel çekme kapasiteleri gömme derinliği, ankraj eğiklik açısı, beton koni sınırı ve kenar mesafesi değişkenlerine bağlı olarak incelenmiştir. Ankraj donatısı olarak 12 mm çaplı nervürlü çelik çubuklar seçilmiştir. Gömme derinliği, kullanılan donatı çapının 5 ve 10 katı, ankraj eğiklik açıları 0°, 15°, 30°, beton koni sınırları 100 mm ve 200 mm çaplı daire, kenar mesafeleri 60 mm, 100 mm, 140 mm olacak şekilde deney numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan numunelerde çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda,

10Ø gömme derinliğinde epoksi esaslı kimyasal ankrajların aksel çekme yükleri taze beton ankraj aksel çekme yüklerini sağlamıştır.

Ankraj gömme derinliğinin 5Ø'den 10Ø'ye artmasıyla aksel çekme yükünde %138 ile %211 arasında artışlar görülmüştür.

Derin ankrajlarda (10Ø), kenar mesafelerin 60 mm'den 140 mm'ye artışlarında aksel çekme yükünde %15 ile %31 arasında artışlar elde edilmiştir.

Sığ ankrajlarda (5Ø), beton koni alanının çapı 200 mm'den 100 mm'ye azalmasıyla aksel çekme yükü yaklaşık %5 azalmıştır. Bu etki derin ankrajlarda (10Ø) gözlemlenmemiştir.

Sığ ankrajlarda (5Ø), aksel çekme yükü düşey doğrultulu ankrajlarla kıyaslandığında 15°eğiklik açısı için %17, 30° eğiklik açısı için %27 azalmaktadır. Derin ankrajlarda (10Ø) ise düşey doğrultulu ankrajlarla kıyaslandığında 15°eğiklik açısı için %5, 30° eğiklik açısı için %7 azalmaktadır.

Sığ ankrajlarda beton koni hasarları, kimyasal yapıştırıcı-beton ara yüzey sıyrılmaları ve beton yüzey parçalanmaları şeklinde görülmüştür.

Bu çalışmada, en riskli uygulama sığ ve açılı ankrajlar olduğu görülmüştür. Ayrıca en etkin parametrenin gömme derinliği olduğu belirlenmiştir. Elverişsiz uygulamalarda gömme derinliği artışı güvenlik düzeyinin artmasını sağlayacaktır. Bu çalışmanın benzerleri tekrarlı yükler altında, grup ankraj etkisi dikkate alınarak gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKÇA

- ACI Committee 349 - 97, 1997. Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures, American Concrete Institute, Detroit, MI.
- Arda, T. S., Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme, 1. Baskı, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1968.
- Akman, F. (1997). On some generalizations of Batalin-Vilkovisky algebras. Journal of Pure and Applied Algebra, 120(2), 105-141.
- Altan, F. (2013). Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Aras, M. (2015). *Yapıştırıcı Türünün Ankraj Çekme Kuvvetine Etkisi Ve Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Arslan, M.F. (2007). Eğilmede Taşıyıcı Hafif Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arslan, M. E., & Arslan, T. (2018). Kenetlenme Boyu ve Donatı Çapının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyiyle İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 1-11.
- Aydoğan, İ. (2015). Kimyasal Ankrajlarda Çap, Gömme Derinliği Ve Kenar Mesafesinin Çekme Kuvvetine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Başka, M.A. (2006). Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-3, 2003.
- Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-6, 2010.
- Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-5, 2010.
- Cook, R. A., Doerr, G. T., Klinger, R. 1993. Bond Stress Model for Adhesive Anchors, ACI Structural Journal, V.90, No.5, 514-524
- Çelik, F. (2018). Mevcut Yığma Binalarda Depresel Güçlendirme Ankrajlarının Çap Ve Ankraj Derinliğine Bağlı Çekme ve Kesme Performanslarının Deneysel Olarak İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Çetinkaya, M. (2022). Zeolit (Klinoptilolit ve Analsim) Katkılı Çimentolar İçeren Betonda Donatı Korozyonunun Aderans Performansına Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Dahil, H., Yüksek Performanslı Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2001.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., Betonarme : Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Genişletilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2001.
- Ekmekyapar, T., & Orung, I. (2001). Buildings materials. Ataturk Univ. Agricultural Faculty Publication, 145, 70-135.
- Gürbüz, T. (2007). Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altındaki Davranışlarının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Karakoç, C. (1985). Aderansta Mekanik Etkileşim Olayı. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kam, S. (2023). Çelik Lifli Betonlara Uygulanan Kimyasal Ankrajlarda Ankraj Eğiklik Açısının Çekme Dayanımına Etkisi.(Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Koç, K. (2024). Yüksek Sıcaklıklardaki Mikro Sentetik Lifli Geopolimer Betonların Aderans Dayanımının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Müsevitoğlu, A. (2019). Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışlarının Deneysel Ve Analitik Olarak İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özden, A.V. (2010). Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler Üzerine Bir Araştırma. (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Özen, M.A. (2010). Düşük Ve Normal Dayanımlı Betonlarda Epoksi Ankrajların Çekme Davranışı. (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Sansak, M.F. (2019). Ankraj Çubuklarının Çekme Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi.(Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Şener, D.H. (2006). Aderans Eki Deneyinde Göçme Biçimleri. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yavuz, R. (2021). Donatılı Betonda Korozyon ve Aderansın Araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.
- Zıvralı, İ. (2024). Mevcut Betonarme Binada Güçlendirme Ankrajlarının Çap Ve Derinliğine Bağlı Çekme Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.