



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KİMYASAL ANKRAJLARIN EKSENEL  
ÇEKME ETKİSİ ALTINDA  
DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE  
ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ**

**Abdullah MÜSEVİTOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**HAZİRAN-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah MÜSEVİTOĞLU tarafından hazırlanan “Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Altında Davranışlarının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 12/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından ay. b. l. g. j. .... ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

#### Danışman

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

#### Üye

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

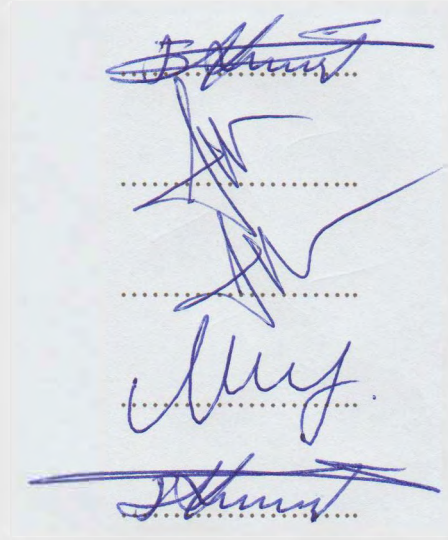
#### Üye

Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK

#### Üye

Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 18201122 nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Abdullah MÜSEVİTOĞLU

Tarih: 12.06.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### KİMYASAL ANKRAJLARIN EKSENEL ÇEKME ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

Abdullah MÜSEVİTOĞLU

Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

2019, 79 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

Doç. Dr. Fatih Kürşat Fırat

Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK

Türkiye’de mevcut betonarme yapı stokunun önemli kısmı betonarmedir. Gelişen teknoloji ve yeni deprem yönetmeliklerindeki ağır yaptırımlara rağmen mevcut yapı stokunun önemli bir kısmının deprem açısından yeterli performans gösteremeyeceği ve acil olarak güçlendirilmeye ihtiyacı olduğu bilinmektedir. Geleneksel güçlendirme işlemlerinde sıklıkla tercih edilen betonarme mantolama ve perde ekleme gibi yöntemlerde mevcut yapı ile yeni eklenecek elemanlar arasında bağlantı epoksi yardımıyla ekilmiş kimyasal ankrajlar ile olmaktadır. Güçlendirilmiş yapıdaki ankrajların münferit performansı (mevcut yapı içinden sıyrılıp çıkması) yapılacak güçlendirme ile yapını ulaşacağı global deprem performansını direkt etkilemektedir. Bu nedenle ankrajların uygulanması güçlendirmenin en önemli aşamasıdır. Ankrajların üzerlerindeki eksenel çekme kuvvetini oluşacak aderans gerilmeleri ile karşılaşması beklenmektedir. Bu yeterlilikte olmayan ankrajlar beton içinden sıyrılıp çıkacaktır. Ankrajların beton içinden sıyrılıp çıkması pek çok etmene bağlıdır. Ankraj derinliği, ankraj çapı, delik çapı, açılan deliklerin temizliği ve beton sınıfı gibi faktörler ankrajların çekme etkisi altında performanslarını etkileyen faktörlerdendir. Bu çalışmada kimyasal ankrajların çekme etkisindeki davranışını gözlemleyebilmek için farklı beton sınıfına, donatı çapına, ankraj derinliğine, açılan deliklerin büyüklüğüne ve açılan deliklerin temizliğine göre 108 adet ankraj numunesi hazırlanmış ve bu numunelere çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Elde edilen veriler ile ankrajların eksenel yük kapasiteleri ve bu parametrelere bağlı olarak oluşan göçme durumları deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Ek olarak deney sonuçlarından elde edilen veriler hem literatürde sıklıkla kullanılan amprik bağıntılar hem de sınıflandırma ve tahminlerde yaygın olarak kullanılan yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makinesi (SVM), olasılıksal dereceli azalma (SGD), ağaçlar (Tree) ve rassal orman (RF) algoritmaları ile test edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre ankraj derinliğinin artması doğrusal olarak ankrajların yük kapasitelerini arttırdığı gözlemlenmektedir. Beton sınıfı ve donatı çapının artması benzer şekilde yük kapasitelerini arttırmaktadır. Su ile temizlenen deliklere ekilen numuneler, hava ile temizlenerek ekilen numunelere göre daha yüksek eksenel yük kapasitelerine ulaşmaktadır. Delikler hiç temizlenmeden ekilen ankrajlarda ise diğer durumlara oranla önemli oranda eksenel yük kapasitelerinde düşüş yaşanmıştır. Yapılan analitik çalışmada YSA algoritması diğer algoritmalara göre daha iyi bir tahmin başarısına ( $R^2=0,783$ ) sahip olduğu gözlemlenmektedir. Amprik bağıntıların başarısı ise sınırlı kalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aderans, Yapay Zeka, Çekip Çıkarma Deneyi, Kimyasal Ankraj, Yapay Sinir Ağları.

## ABSTRACT

### MS THESIS

# EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL INVESTIGATION OF THE CHEMICAL ANCHORS BEHAVIORS UNDER THE AXIAL PULLING EFFECT

Abdullah MÜSEVİTOĞLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
KONYA TECHNICAL UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

2019, 79 Pages

Jury

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN  
Assoc. Prof. Dr. Fatih Kürşat Fırat  
Assoc. Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

Significant portion of the existing building stock in Turkey is consisting of buildings made of reinforced concrete. Despite the heavy sanctions in developing technology and new earthquake codes, it is known that a significant portion of the existing building stock cannot perform sufficiently in terms of earthquake and needs to be strengthened urgently. In conventional reinforcement processes, such as reinforced concrete jacketing and adding shear wall methods, the connection between the existing structure and the newly added elements is done via chemical anchors with epoxy. The individual performance of the anchored anchors (whether or not they peel off from the existing structure) directly affects the global earthquake performance to be achieved by strengthening the structure. Therefore, the implementation of anchors is the most important phase of reinforcement. Anchors that do not have this qualification will peel off from the concrete. The fact that the anchors are stripped off from the concrete depends on many factors. Factors such as anchor depth, anchor diameter, hole diameter, opening hole cleaning and concrete class are the factors affecting the performance of anchors under pulling effect. In this study, to observe behavior of anchors under pure tension, 108 different samples were prepared and pull-out test was conducted. According to the different concrete class, reinforcement bar diameter, anchor depth, the size of the opening holes and the cleaning of the drilled holes, 108 pull out tests were carried out and the axial load capacities and the failure conditions due to these parameters were examined experimentally and analytically. In addition, the data obtained from the experimental results were compared by using artificial neural networks (ANN), support vector machine (DVM), stochastics gradient descent (SGD), trees and random forest (RF) algorithms commonly used in classification and estimation. According to the results of the study, it is observed that the increase of anchorage depth linearly increases their load capacity. The increase in concrete class and reinforcement diameter increases the load capacities similarly. Specimens that are sown in water-cleaned holes reach higher axial load capacities than air-cleaned. While the axial load capacities of non-cleaned holes were decreased significantly compared to the other cases. In the analytical study, it is observed that the ANN algorithm has a better estimation success ( $R^2 = 0.783$ ) than other algorithms. The success of the emprical formulas did not give satisfactory results.

**Keywords:** Adherence, Artificial intelligence, Pull-out tests, Chemical Anchors, Arifical Neural Network.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında ilgi, destek, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek verdiği sonsuz destekle her konuda yol gösteren, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam, danışmanım Sayın Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN' a,

Ayrıca; deneyler aşamasında, tez yazım sürecinde yardım ve desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Ceyhun AKSOYLU' na;

Çalışmamda yardım ve desteklerinden dolayı TORKAM İnşaat çalışanlarına, İrfan GÜNAL' a, Hakan GÜRUF' a, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZKIŞ ve Yüksel ÇİFTÇİ 'ye;

Maddi olarak projeme verdikleri destekten ötürü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' ne;

Üzerimde emeği bulunan, her konuda yardımını esirgemeyen anneme, babama;

Ve bugüne kadar eğitim öğretim hayatımda emeği olan tüm öğretmenlerime teşekkür ederim.

Abdullah MÜSEVİTOĞLU  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	4
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>6</b>
2.1. Kimyasal Ankrajlarda Aderans ve Kenetlenme Boyu ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar .....	6
2.2. Akıllı Sistemler ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar .....	13
<b>3. ANKRAJLARIN ADERANSI VE ADERANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER .</b> 16	
3.1. Kimyasal Ankrajlar .....	16
3.2. Aderans .....	19
3.2.1. Eğilme aderansı.....	19
3.2.2. Kenetlenme aderansı.....	20
3.3. Çekip Çıkarma Deneyi.....	21
3.4. Aderansı Etkileyen Faktörler .....	23
3.4.1. Beton dayanımının etkisi .....	23
3.4.2. Çelik sınıfının etkisi .....	24
3.4.3. Donatı geometrisinin etkisi .....	25
3.4.4. Ankraj derinliğinin etkisi .....	25
3.4.5. Donatı çapının etkisi .....	25
3.4.6. Beton katkılarının etkisi.....	26
3.4.7. Sıcaklık etkisi.....	26
3.4.8. Korozyonun etkisi.....	26
3.4.9. Ankraj donatısının ekilme biçiminin etkisi.....	27
3.4.10. Kür koşullarının etkisi .....	27
3.4.11. Ankrajlar arası mesafe ve ankraj kenar mesafesi.....	27
3.4.12. Ankrajların bağlılık durumu .....	28
3.5. Kimyasal Ankrajların Çekme Kapasitelerinin Analitik Olarak Belirlenmesi .....	29
<b>4. AKILLI SİSTEMLER</b> .....	<b>31</b>
4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) .....	31
4.2. Destek Vektör Makinesi (SVM) .....	33
4.2.1. Lineer ayrılabilirlik durumu .....	34
4.2.2. Lineer ayrılamama durumu.....	34

4.3. Random Forest (RF) .....	35
4.4. Ağaçlar (Tree).....	36
4.5. Olasılıksal Dereceli Azalma (SGD).....	37
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>38</b>
5.1. Beton .....	39
5.2. Ankraj Çubukları .....	40
5.3. Kimyasal Yapıştırıcı .....	42
5.4. Çekip Çıkarma Deney Düzenegi .....	42
5.5. Deneysel Çalışma .....	43
<b>6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>51</b>
6.1. Deneysel Çalışma .....	51
6.2. Analitik Çalışma .....	62
6.2.1. Ankrajların çekme kapasitelerinin yapay zeka tabanlı algoritmalar ile belirlenmesi.....	62
6.2.2. Ankrajların çekme kapasitelerinin analitik olarak belirlenmesi .....	65
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>71</b>
7.1 Sonuçlar ve Öneriler .....	71
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>74</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>79</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

<b>A<sub>s</sub></b>	:	Donatı alanı
<b>cm</b>	:	Santimetre
<b>d</b>	:	Donatı çapı
<b>dk</b>	:	Dakika
<b>f<sub>yd</sub></b>	:	Donatının akma dayanımı
<b>f<sub>c</sub></b>	:	Betonun silindir basınç dayanımı
<b>f<sub>cc</sub></b>	:	Betonun küp basınç dayanımı
<b>kg</b>	:	Kilogram
<b>h<sub>ef</sub>, h<sub>d</sub></b>	:	Etkili ankraj derinliği
<b>h<sub>k</sub></b>	:	Koni yüksekliği
<b>l<sub>b</sub></b>	:	Kenetlenme boyu
<b>l<sub>d</sub></b>	:	Ankraj derinliği
<b>mm</b>	:	Milimetre
<b>MPa</b>	:	Megapascal
<b>N</b>	:	Nevton
<b>P<sub>c</sub>, P<sub>k</sub>, P<sub>u</sub></b>	:	Ankraj çekme dayanımı
<b>R</b>	:	Determinasyon katsayısı
<b>T<sub>c</sub></b>	:	Sıcaklık
<b>u</b>	:	Çubuğun çevre uzunluğu
<b>x<sub>i</sub></b>	:	Girdi değeri
<b>z</b>	:	Moment kolu
<b>τ<sub>maks</sub></b>	:	Maksimum yapışma dayanımı
<b>α</b>	:	Lagrange çarpanı
<b>τ<sub>b</sub></b>	:	Aderans gerilmesi
<b>Ø</b>	:	Donatı çapı
<b>λ'</b>	:	Yük-yer değiştirme eğrisinin eğimi

### Kısaltmalar

<b>ACI</b>	:	American concrete institute
<b>ASTM</b>	:	American society for testing and materials
<b>CCD</b>	:	Concrete capacity design
<b>HT</b>	:	Hava ile temizlenmiş
<b>MLP</b>	:	Multi Layer Perceptron
<b>RF</b>	:	Rassal orman
<b>S/Ç</b>	:	Su / çimento
<b>SGD</b>	:	Olasılıksal dereceli azalma
<b>ST</b>	:	Su ile temizlenmiş
<b>SVM</b>	:	Destek vektör makineleri
<b>TM</b>	:	Temizlenmemiş
<b>YDB</b>	:	Yüksek dayanımlı beton
<b>YSA</b>	:	Yapay sinir ağları

## 1. GİRİŞ

Türkiye, dünyada bulunan en aktif deprem bölgelerinden birinde yer almaktadır. Deprem kuşağında yer alan ülkemizde geçmiş depremlerde önemli kayıplar yaşanması ve ülkemizde bulunan yapı stokumuz incelendiğinde inşa edilen betonarme yapıların büyük çoğunluğunun yeterli performansa sahip olmaması güçlendirme gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Bir yapıyı öngörülen düzeye çıkarma işlemine güçlendirme denir. Türkiye'nin geleceği açısından güçlendirme çalışmaları çok büyük önem arz etmektedir. Yapılarda karşılaşılan eksiklikler düşük malzeme kalitesi, projeye uygun olarak yapılmaması ve inşa edildiği dönemdeki deprem yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılmış olmamalarıdır.

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesinde yüksek oranda kimyasal ankrajlar kullanılmaktadır. Kimyasal ankrajların tercih edilmesinin sebebi tasarım, uygulama ve planlama safhalarında kullanıcıya büyük kolaylık sağlarlar. Aynı zamanda yüksek yapışma dayanımları, hızlı ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır (Gürbüz, 2007).

Güçlendirme yapılacak betonarme bir yapıda deprem etkisini taşıyabilecek taşıyıcı yapı elemanların bulunmaması durumunda yapılacak olan uygulamalar; binada mevcut halde bulunan taşıyıcı elemanın kesitinin genişletilmesi veya yapıya yeni taşıyıcı eleman eklenmesi şeklinde olmaktadır. Yapıda mevcut halde bulunan taşıyıcı elemanda kesit genişletilmesi kimyasal ankrajlar ile sağlanmaktadır.

Kolonların ve perdelerin yük taşıma kapasitelerinin arttırılması güçlendirme çalışmalarında mevcut taşıyıcı elemanların boyutlarının mantolama ile arttırılması şeklinde olmaktadır. Şekil 1.1' de görüldüğü üzere mantolama sırasında mevcut taşıyıcı elemanın etrafına dökülecek beton ile eski betonun birlikte çalışması ve kesme kuvvetinin aktarılması kimyasal ankrajlar sayesinde olmaktadır.



Şekil 1.1. Mevcut taşıyıcı elemanda kesit genişletilmesi

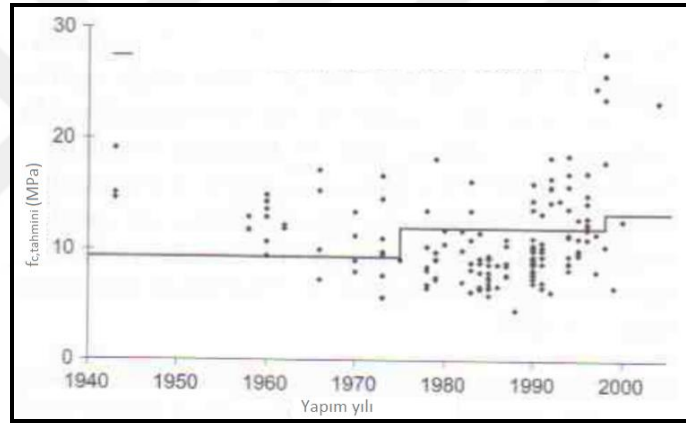
Betonarme bir binaya perde eklenmesi durumunda mevcut taşıyıcı sistem ile perde elemanının birleşimi ankrajlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Mevcut taşıyıcı sistem ile perde arasında yapılacak olan ankrajlar, taşıyıcı elemanlar ve perde arasında kesme kuvvetinin iletimi için kullanılmaktadır. Yapıya eklenecek radye temel bağlantısı ise benzer şekilde mevcut taşıyıcı sisteme ankrajlar vasıtasıyla bağlanmaktadır. Betonarme yapıya güçlendirme için yeni perde ve temel eklenmesi, mevcut yapının eskiden dökülmüş olan betonuna ankraj ekilmesi şeklinde olmaktadır (Şekil 1.2).



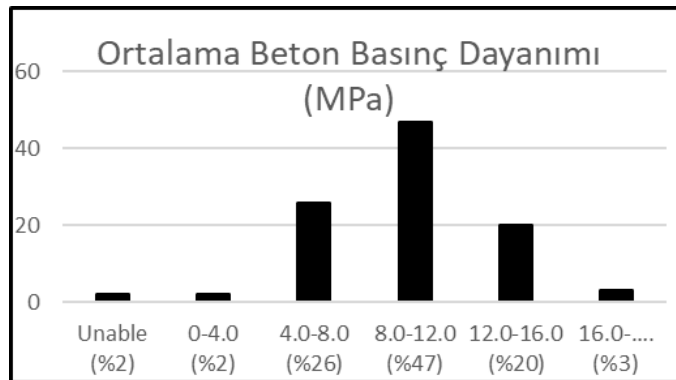
Şekil 1.2. a, b: Mevcut yapıya radye temel eklenmesi, Mevcut yapıya perde eklenmesi

Ankraj uygulamalarında birçok problemle karşılaşılmaktadır. Karşılaşılan en önemli problemlerden biri güçlendirme yapılacak binadaki düşük beton kalitesidir.

Ülkemizdeki yapılarda beton kalitesinin yeterli seviyede olmadığı birçok çalışma sonucunda ortaya çıkartılmıştır. Inel ve ark. (2008) 1679 adet beton numunesi sonuçlarına göre Türkiye’de betonarme yapıların beton kalitesinin değişimi ile ilgili oldukça önemli bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmaya göre 1998 öncesi yapılan yapıların önemli bir kısmında beton basınç dayanımı 10 MPa ve altında olduğu görülmektedir. Özellikle kamu binalarında basınç dayanımı değerleri daha da düşük seviyede olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1.3). Bayraktar ve ark., (2012) yaptığı çalışmada ise Van depremi sonrasında hasar görmüş 90 binada beton basınç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre yapıların %26’sının 4-8 MPa olduğunu %46’sının ise 8-12 MPa arasında olduğunu gözlemlemiştir (Şekil 1.4). 1998 sonrasında yapılan betonarme binalarda kullanılan beton dayanımının gerek yönetmelik gerekse kontrol mekanizmalarının değişmesi nedeniyle tedrici olarak arttığı da bilinmektedir.



Şekil 1.3. Binaların inşaat yılına göre beton dayanım değerleri (Inel ve ark., 2008)



Şekil 1.4. 2011 yılı Van depremi beton basınç dayanım tablosu (Bayraktar ve ark., 2012)

Ankrajların performansı elbette sadece beton dayanımı ile sınırlı değildir. Ankrajların uygulanması sırasında yapılan delik temizliğinden kullanılan epoksinin

türüne ankraj donatısı yüzey pürüzlülüğünden ankrajların beton içindeki konumuna bir çok etmen ankrajların performansını başka bir ifade ile yapılan güçlendirmenin kaderini belirleyebilmektedir. Bundan dolayı yapılacak olan bir güçlendirmede yerinde şantiyede yapılacak çekip çıkarma işlemleri ile ankrajların performansını belirlemek güçlendirme işindeki en önemli amacı olmalıdır. Ankraj üzerine yapılan çekip çıkarma deneyleri uygulamada sıklıkla tercih edilen deney türüdür. Bununla beraber analitik bazı yöntemlerinde Cook (1993) saha şartlarından dolayı deney yapılmasının zor olduğu, süre ve maliyet kısıtlarının olduğu durumlarda tercih edilebilmektedir. Analitik yöntemlerin deneysel verilerle uyuştuğunu gösterebilmek önemlidir. Günümüzde artık pek çok mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan ve artık alternatif bir yer almış olan akıllı sistem uygulamaları ankraj performansının belirlenmesinde de kullanılabilir.

### **1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Depremler dünyada bulunan en büyük doğal felaketlerin başında yer almaktadır. Dünyada ve ülkemizde çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmektedir. Bu depremler sonucunda, yeterli deprem performansına sahip olmayan binalarda kötü sonuç kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle bu binalarda onarım ve güçlendirme gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada güçlendirilme gereksinimine ihtiyaç duyulan yapı elemanlarında donatı ekilirken iç ve dış faktörlerin hızlı ve doğru olacak şekilde belirlenmesi fikrinden yola çıkarak mevcut betona sonradan eklenecek ankrajların eksenel çekme dayanımına ankraj derinliği, ankraj çapı, delik çapı, açılan deliklerin temizliği ve beton sınıfı gibi faktörlerin etkileri deneysel ve analitik olarak incelenmiştir.

1999 Marmara depreminin meslek ve toplumda oluşturduğu büyük farkındalık ile 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ya da 1998 Türk Deprem Yönetmeliği ile betonarme binaların büyük kısmı güncel yönetmelik kriterlerini sağlayarak yapılmıştır. Buna rağmen ülkemizde meydana gelecek olası bir deprem durumunda mevcut betonarme binaların %40'lık kısmında az-orta ya da ağır hasar oluşması beklenmektedir. Bu tez kapsamında betonarme binaların güçlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan ankraj çaplarında 16 mm ve 20 mm çapında donatılar seçilmiştir. Mevcut yapı stokumuzu temsil etmesi amacıyla C10 beton sınıfı ile günümüz inşaatlarında yaygın olarak kullanılan C30 beton sınıfı seçilmiştir.

Çalışmada oluşturulacak veri seti için beton kütlelerde açılacak olan delik çapları donatı çapından 4 mm, 6 mm ve 8 mm daha büyük olacak şekilde hazırlanmıştır. Ankraj derinlikleri de donatı çapının 5, 10 ve 15 katı olacak şekilde seçilmiştir. Açılan deliklerin temizliğinin aksnel çekme yükü kapasitesine etkisini gözlemlemek amacıyla delikler hava, su ve hiç temizlenmeyerek donatılar ekilmiştir. Bu çalışma kapsamında ek olarak deneysel olarak elde edilen aksnel yük kapasiteleri ile analitik çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Güçlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan betona sonradan ilave edilen ankrajlar birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu bölümde kimyasal ankrajlar, aderans ve ankrajların betonla kenetlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Ek olarak bu bölümde mühendislik, tıp, matematik ve istatistik alanlarında sıklıkla kullanılan akıllı sistemler ile ilgili literatür çalışmaları da ele alınmıştır.

### 2.1. Kimyasal Ankrajlarda Aderans ve Kenetlenme Boyu ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Cook ve ark. (1993) tarafından ankrajların davranışlarını belirlemek ve tasarımlarını geliştirmek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Tam olarak ve kısmi olarak bağlanmış olan ankrajların 97 adet çekip çıkarma testi yapılmıştır. Sonuç olarak elastik formülasyonu temel alan bir davranış modeli geliştirilmiştir. Cook (1993) yaptığı bir diğer çalışmada Florida Üniversitesi'nde yapılan 280 adet ve Teksas Üniversitesi'nde yapılan 113 adet çekip çıkarma deneyinin sonuçlarına dayanarak donatıların gerilme dayanımını değerlendirmiştir.

Chiang ve ark. (2000) yangın sonrası donatı ve beton aderansının belirlenmesi için çekip-çıkarma deneyi yapmıştır. Beton numunelerin ortasına gelecek şekilde 10 mm çapında donatılar yerleştirilip belirli sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat süreyle bekletilerek aderans deneyleri yapılmıştır. 500°C' de 3 saat süreyle ısıtılan numuneler 500 m/s ile en düşük hız olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak yapılan deneylerde oda sıcaklığında hazırlanan numunelere oranla %75 düşüş yaşanmıştır.

Yerlici ve Özturan (2002) yüksek dayanımlı betonlarda aderans dayanımına ve minimum kenetlenme boyuna donatı çapı, beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde sarma donatı miktarının etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 4Ø, 5Ø, 6Ø, 7Ø, 8Ø, 9Ø, 10Ø kenetlenme boylarında 12, 16, 20 mm çaplarındaki donatılar ile numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler 60, 70, 80, 90 MPa basınç dayanımına sahip betonlara farklı beton örtü kalınlıkları kullanılarak ekilmiştir. Beton basınç dayanımının, beton örtü kalınlığının ve gövde donatısı miktarı aderansı arttırırken arttırmış, donatı çapındaki artış ise aderansı düşürmüştür.

Lee ve ark. (2002) beton ile donatı arasındaki aderansa korozyonun etkisini araştırmak için hızlandırılmış elektrik korozyon metodunu uygulayıp çekip çıkarma

deneyleyri yapılımtıştır. Bu deneyleylerde S/Ç oranı 0.45, 0.55 ve 0.65 olan numuneler seçilmiş ve beton örtü kalınlığı ise donatı çapının 1.5, 2.5 ve 3.5 katı olacak şekilde hazırlanmıştır. ekip-ıkarma deneyley sonucunda pas oranının yükselmesiyle beraber bağ rijitliğinin ve bağ kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Chiang ve ark. (2003) yangın etkisinden sonra donatılı betondaki hasarın boyutlarını incelemişlerdir. Isıtma işlemi 30 derece/dakika artış hızıyla ısıtılmıştır. Isıtma işlemi için  aşamalı bir sistem izlenmiştir. İlk aşamada numuneler fırında; dakikada 30°C artış hızıyla oda sıcaklığından 240°C, 320°C, 400°C, 500°C ve 550°C'ye kadar ısıtılmıştır. İkinci aşamada numuneler belirlenen sıcaklıklarda 30 dk, 60 dk, 90 dk, 120 dk, 150 dk ve 180 dk sürelerinde sabit sıcaklıkta tutulmuştur. nc aşamada numuneler;  $T=T_c-345\log_{10}(8t_c+1)$  denklemine uygun olarak soğutulmuştur. Oda sıcaklığına getirilen numuneler bu işlemlerden bir gün sonra çekip çıkarma deneyleyine tabi tutulmuştur. Donatılar betondan 1cm/dk hızında ekilmıştir. Isıtılan numuneler ile referans numuneler ele alındığında sıcaklık 200°C geçtiğinde aderansta önemli kayıplar olduğu grlmştir.

Gallego (2004) yaptığı çalışmada galvanizli elik ve siyah elik olmak üzere iki farklı tür için kıyaslamalı olarak çekme deneyley yapılımtıştır. 20x20x20 cm' lik numunelerin ortasına 12 mm, bağ uzunluğu 5 cm olan çubuklar gmlmştir. Farklı zaman periyotlarında bu çeliklerin bağ kuvvetleri araştırılmıştır. Yapılan alışma sonrası siyah çeliğin galvanizli çeliğe göre daha yüksek bağ kuvveti elde ettiği için galvanizli çeliğe oranla daha kullanımının uygun olduğu ve beton yaşı arttığı bağ kuvvetinin arttığı gözlemlenmektedir.

zturan ve ark. (2004) betona sonradan ilave edilen ankrajların tekrarlı çekme, statik çekme ve statik kesme yükleme altındaki yük taşıma kapasiteleri ile yük-deplasman davranışlarını ve göçme modlarını incelemiştir. Bu alışma kapsamında 12, 16 mm çaplarında donatılar, C30 ve C60 kalitesindeki betonlar seçilmiştir. Bu numuneler 4, 6, 8, 10, 12 cm derinliklerde taban betonlarına ekilmıştir. elik lifli betonlara ekilen ankrajlarda statik çekme deneyleylerinde diğer durumlara göre daha sünek bir davranış göstermiş, bunun aksine betona elik lif katılması yük taşıma kapasitelerini çok fazla etkilememiştir. Statik ekme yükleri altındaki taşıma kapasiteleri beton basınç dayanımının artmasıyla kimyasal ve harçlı ankrajların yaklaşık olarak %30 oranlarında artmaktadır. Yüksek dayanımlı ve normal betonlara 6 ve 8 cm boylarında ekilen kimyasal ankrajlarda, ankraj çapının artması doğru orantılı olarak statik çekme yklemeğinde ankraj taşıma kapasitesi artmaktadır.



Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) yapmış oldukları çalışmada aderans dayanımına kür koşullarının etkisini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlarında su kürünün, naylon kürü ve hava kürüne göre daha iyi aderans dayanımına sahip olduğu görülmektedir.

Döndüren ve ark. (2006) çalışmalarında beton ve donatı arasındaki aderans deneysel yöntemler yardımıyla ele almışlardır. Beton sınıfının artışı aderans benzer şekilde artmaktadır. C25 ve C16 betonları arasında aderans dayanımında %40 fark olduğu gözlemlenmiştir. Düz donatıların nervürlü donatılara göre aderans dayanımı önemli ölçüde düşük çıkmıştır. BÇI (S220) kullanılan numunelerde yapılan deneyler sonucunda elde edilen yük 1500 kg değerine kadar çıkarken, BÇIII (S420) kullanılarak üretilen numunelerde elde edilen yük 5500 kg değerlerine kadar çıkmaktadır. Hem nervürlü donatılı olan numunelerde hem de beton sınıfı yüksek olan numunelerde donatıda kopma meydana gelmiştir. Bunun sonucu nervürlü donatılar ve yüksek dayanımlı betonların önemini açıkça göstermektedir. Enine donatı ilave edilmesi aderans olumlu yönde etkilemekte ve çekip çıkarma direncini yükseltmektedir. Beton içerisine ekilen donatının ankraj derinliği aderans etkilemektedir.  $l_b$  kenetlenme boyları daha yüksek olan numunelerde aderans daha yüksek çıkmaktadır.

Durmuş ve ark. (2006) geleneksel betonlar ve yüksek dayanımlı betonların farklı çaplardaki nervürlü ve nervürsüz donatıların aderanslarını incelemiştir. Düz yüzeyli ve nervürlü donatılar ile geleneksel betonlar arasında kenetlenmenin standartlara uygun olarak sağlanabilmesi için 20Ø kenetlenme boyu yetersiz kalmaktadır. Düz yüzeyli donatılar ile yüksek dayanımlı beton arasındaki kenetlenmenin sağlanabilmesi için 10Ø-20Ø kenetlenme boyu yetersiz kalmaktadır. Yüksek dayanımlı nervürlü donatılar ile beton arasındaki kenetlenmenin sağlanması için 20Ø gereğinden fazla olmaktadır. 10Ø kenetlenme için yeterli olmaktadır.

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) çalışmasında mineral katkıların beton ile donatı arasındaki aderansa etkisini incelemiştir. Çimentoya ağırlıkça %10 silis dumanı ve %15 uçucu kül mineral katkıları katılmıştır. Çalışmalar sonucu silis dumanı katılan betonların basınç ve aderans dayanımı tüm zaman periyotlarında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. %15 uçucu kül ile hazırlanan betonların 3.günde kontrol numunesine göre daha düşük, 7, 14, 28. günlerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Düz donatıların nervürlü donatılara göre daha düşük aderans sağladığı görülmüştür.

Seyhan (2006) tez çalışmasında kimyasal ankrajların davranışlarını farklı kimyasal yapıştırıcı, donatı çapı, ankraj delik çapı, ankraj derinliği ve ankraj derinliklerinin hazırlanması parametrelerini kullanarak incelemiştir. Ankraj

derinliğindeki artış benzer şekilde ankraj dayanımını arttırmaktadır. Yeterince temizlenmiş deliklere ekilen ankrajlar ile tozlu deliklere ekilen ankrajların dayanımları önemli kayıplar yaşanmıştır. Ankraj ekilirken kullanılan kimyasal yapıştırıcı fiziksel ve kimyasal özellikleri ankraj dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Ankraj derinliğinin fazla olduğu deliklerde, delik çapının büyüklüğünün çok fazla etki etmediği gözlemlenmiştir.

Kaya (2007) tez çalışmasında 6Ø serbest derinlik sabit olmak üzere 4Ø, 6Ø, 8Ø ve 10Ø derinliklerinde kısmi bağlı ankrajlar ekilmiştir. Bir kısmı tozlu bir kısmı temizlenmemiş olarak iki farklı yüzey temizliği açılan deliklere uygulanmıştır. Tam bağlı ankrajlarda göçme durumu konik göçme olarak görülürken, kısmi bağlı olarak ekilen ankrajlarda göçme durumu sıyrılma şeklinde olmaktadır. Kısmi bağlı ankrajlarda, tam bağlı ankrajlara göre aynı derinliklerde daha yüksek göçme yükü oluşmaktadır. Ankraj derinliğinin artmasına bağlı olarak göçme yükü de artmaktadır.

Coşkun ve ark. (2007) mineral katkılı betonların 800°C sıcaklıkta aderans dayanımlarını ölçmüştür. 800°C sıcaklıktaki numunelerde, 20°C sıcaklığındaki numunelere göre %75 aderans dayanımlarında kayıp oluşmuştur.

Gürbüz (2007) çalışmasında eksenel çekme etkisi altındaki kısmi ve tam bağlı kimyasal ankrajların farklı ankraj derinlikleri ve ankraj delik yüzeylerinin koşullarının ankraj dayanımına etkisi araştırılmıştır. Ankraj uygulamaları sırasında delik yüzeyi temizliğinde dikkat edilmeyen durumların (tozun delik içerisinde bırakılması) ankraj dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada 16 mm çapındaki çelik çubuklar hazırlanan belli ölçülerdeki C14 basınç dayanımına sahip beton bloklara 6Ø, 8Ø, 10Ø, 12Ø derinliklerinde ekilmiştir. Temizlenmemiş numunelerde ankrajın eksenel yük kapasitesi temizlenmiş ankrajlara oranla %40 oranında düşük çıkmıştır. Düşük dayanımlı betonlarda tam bağlı ankrajların yapışma dayanımları kısmi bağlı ankrajların yapışma dayanımından çok farklı olduğu görülmektedir.

Topçu ve ark. (2008) hazırlanan betonarme numunelerde korozyon deneyleri yapılmış ve daha sonra aderans deneyleri yapılarak, korozyonun aderans dayanımına etkisi araştırılmıştır. Deney düzeneği doğru akım kapasiteli bir güç kaynağı, iki adet çelik plaka ile %4 konsantrasyonlu NaCl çözeltisi içeren bir plastik kap ve test numunesinden oluşmaktadır. Deney sonunda korozyona uğrayan numunelerin aderans dayanımının önemli derecede düşüş yaptığı görülmüştür. Referans olarak korozyona uğratılmayan numunelerin aderans dayanımları korozyona çatlayana kadar uyguladıkları takdirde %51 ile 78 oranlarında düşüş oluşmuştur.

Durmuş ve ark. (2009) bu çalışmasında eğilmede hafif beton-donatı aderansının gelen eksen beton-donatı aderansı kıyaslanarak incelenmiştir. Bu çalışmada dört farklı nervürlü donatı kullanılarak kirişler üretilmiştir. Geleneksel betonların nervürlü donatılarla karşılanabilmesi için 20Ø uzunluğundaki kenetlenme boyu kullanılan 4 farklı donatı için koşulları sağlamaktadır. Hafif betonların nervürlü donatılarla kenetlenmesinin sağlanması 20Ø uzunluğundaki kenetlenme boyu, 8 ve 10 mm çapındaki donatılar için yeterli olmaktadır. Fakat 12 mm donatıda emniyetli aderans değerinin üstüne çıkmaktadır. 14 mm donatıda ise emniyetli aderans değerinin üzerine akma dayanımına ulaşılmadan aşılmaktadır.

Bingöl ve Gül (2009) yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklıklardan sonra beton ve donatı arasındaki aderansı ve yüksek sıcaklıklardan beton davranışı literatürler doğrultusunda irdelenmiş ve sonuçlar çıkartılmıştır. Donatı ile beton arasındaki aderansın; beton dayanımına, soğutma şekline, ulaşılan sıcaklığa, deneylerde kullanılan malzemelerin özelliklerine, deneylerin hangi yöntem ile yapıldığına ve kenetlenme boyuna bağlı olarak değişebildiği gözlemlenmektedir. Nervürlü donatıların, düz donatılara kıyasla beton ile kenetlenmesinin daha fazla olduğu ve yüksek sıcaklık etkilerinden sonra suda soğutulan numuneler hava ile soğutulan numunelere göre daha düşük aderans dayanımına sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Demir ve ark. (2009) ankraj donatı türünün ankraj performansına etkisini araştırmışlardır. Şekildeki gibi delikler açılarak epoksilerle ankraj çubukları ekilmiştir. BÇI (S220) nervürlü donatılarda epoksi ve donatı arasında sıyrılma olmuştur. BÇIII (S420) donatılarda sıyrılma olmamıştır. Bu çalışmada kullanılan S420 çeliği S220'ye göre daha iyi bir davranış ve kopma dayanım gerilmesi göstermiştir. Ankrajların gömme derinliğinin sıyrılma direncine etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Yılmaz ve ark. (2010) kimyasal ankrajların dayanımını etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Literatürler yardımıyla çalışmalar derlenerek kimyasal ankrajlara etki eden faktörler irdelenmiştir. Ankraj deliğinin temizliği, yüksek sıcaklık, ankraj deliğinin ıslaklığı, beton dayanımının ve donatının çapı etkisi gibi faktörlerin etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda mevcut akademik çalışmalar, ankraj dayanımının birçok faktöre bağlı olarak değişebileceği ve dikkatli bir uygulamanın davranışı önemli oranda etkilediğini göstermektedir.

Tüfekçi (2011) yapmış olduğu çalışmada geri kazanılmış agregalar ile oluşturulan betonlarda deneyler yapılmıştır. 12 mm'lik nervürlü donatılar 10 cm

kenetlenme boyu ile çekip çıkarma deneyi tabi tutulmuştur. Farklı zaman periyotlarında ölçümler yapılmış. Zaman geçtikçe çekip-çıkarma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Mazılıgüney ve Yaman (2012) yaptıkları çalışmada düşük dayanımlı bir binada 60 adet çekip çıkarma deneyi uygulamış ve istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Çalışmada ankraj dayanımını etkileyen faktörleri basınç dayanımı, çeliğin akma dayanımı ve ankraj derinliği olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak ankraj derinliğinin beton dayanımından daha etkili bir faktör olduğu gözlemlenmiştir.

Altan (2013) yapmış olduğu araştırmada betona sonradan yerleştirilen ankrajların çekme etkisi altındaki mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı beton dayanım sınıfları, farklı çaptaki ankraj donatıları, bu ankraj donatıları farklı derinliklerde kullanılarak ve aynı zamanda betonlama sırasında koyulan ankrajlar ile betona sonradan yerleştirilen ankrajların davranış etkileri çekip çıkarma deneyi yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında C8, C12, C16, C20 beton dayanım sınıfları, ankraj çelik sınıfı olarak S420a, ankraj donatı çapı 12mm, 16 mm ve ankraj donatı sınıfı ise 10Ø ve 15Ø olarak seçilmiştir. 12 adet küp, prizma ve silindir numuneler üretilmiştir. Betona sonradan eklenen ankrajların, betonlama sırasında eklenen ankrajlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ankraj derinliğinin artması benzer şekilde eksenel çekme kuvvetinde de artış gözlemlenmektedir.

Beycioğlu ve Aruntaş (2014) yaptıkları çalışmada çelik donatı ile bazalt lifli betonların yüksek dayanımlı betonla olan aderans ilişkisi kıyaslanarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmada tercih edilen çelik çubuk S420a nervürlü donatısı, bazalt lifli donatı ise epoksi reçine kullanılarak meydana getirilen yapay bir donatıdır. Çelik lif ve bazalt lifli donatıların her ikisi de aderansını hiç kaybetmeden kopma dayanımına kadar betondan sıyrılmamıştır. Yüksek dayanımlı betonlarda çelik donatılar ile bazalt lifli donatılara benzer yüksek çekme dayanımı ve aderans kabiliyeti olan donatılar kullanıldığında kenetlenme boyunun belirli seviyelerde azaltılarak tercih edilebileceği düşünülmektedir.

Balçikanlı ve ark. (2015) çalışmada farklı oranlarda yüksek fırın cürufunun alkalilerle aktive edilmesiyle meydana gelen çimentosuz harçların eğilme ve basınç mukavemetleri, çekip çıkarma ve aşınma dayanımları incelenmiştir. Çekip çıkarma direncinin basınç mukavemetleri ile paralel davranış gösterdiği ve numune gruplarının kendi içerisinde sıcaklığı yükseldikçe dirençlerinin genellikle azaldığı görülmektedir. Çekip çıkarma direnci maksimum 12 saat 40°C 'de kür ortamında bekletilen numunelerde görülmüştür.

Beglarigale ve Yazıcı (2015) yapmış oldukları deneysel çalışmada farklı su/bağlayıcı oranına (S/Ç) sahip karışımlar oluşturulmuş ve farklı kür koşullarında bekletilerek çekip-çıkarma deneyi ile aderans dayanımları araştırılmıştır. Çelik liflerin aderansı su ve buhar kürlerinde benzer özellikte olup gelişmektedir. Otoklav kürü sonrası normal harçlarında dayanımında düşüş gözlenirken S/Ç oranı 0.5, 0.4, 0.3 olan karışımların aderans özellikleri gelişmiştir. İçyapı incelendikten sonra bu aderans gelişimine lif matris ara yüzeyinde oluşan hidrasyon ürünü birikmesinin sebep olduğu düşünülmektedir.

Demir ve ark. (2015) iki farklı ankraj türü kullanılarak numuneler üretilmiştir. Bu numuneler çekip-çıkarma testi uygulanarak farklı ankraj türlerinin etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda oluşan aderans tükenmelerinde; Tüm BÇI nervürsüz donatılarda epoksi ile donatı arasında sıyırılma gözlenmiştir. Delik çapının donatı çapına yakın olması sıyırılma direncini artırdığı gözlemlenmiştir. Tüm ankrajlarda BÇI nervürsüz donatıların dayanımı düşük olduğu için ankrajlamada olumlu katkı elde edilirken, donatı yüzeyinde nervürlerin bulunmayışı aderansı olumsuz yönde etkilemektedir.

Değirmenci ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada güçlendirme ve onarımda yaygın olarak tercih edilen epoksi malzemesi ile ilgili literatürleri incelemiştir. Aynı zamanda epoksinin özelliklerine değinilmiş ve ankraj uygulamalarından dikkat edilmesi gereken durumlar göz önüne alınmıştır. Çalışma sonucunda iyi bir ankraj uygulaması için; malzemenin amaca uygun, ankraj yapılacak olan yerin doğru tespiti, toz ve çapakların donatı ekilecek olan delikten arındırılması, seçilen ürünün standartlara uygun olarak uygulanması ve kür koşullarına dikkat edilmesi gerekli olduğu ortaya çıkartılmıştır.

Polat ve ark. (2017) çalışmalarında lif katkılı polimer donatılar ile ülkemizde yaygın olarak kullanılan çelik donatıların yüksek dayanımlı betonların sıcaklık altında mekanik ve aderans özelliklerini incelemiştir. Aderans gerilmelerinin sıcaklık seviyesiyle değişimi ele alındığında, çelik ve lif katkılı polimer donatı için benzer karakterde eğriler elde edilmiştir. Beton basınç dayanımı hızlı bir şekilde düşmesine karşın her iki tip donatının aderans gerilmesi değerleri daha yavaş bir hızda düşüş göstermiştir.

## 2.2. Akıllı Sistemler ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Erkuş (1999) tez çalışmasında kiriş, perde duvar ve kolon gibi yapı sistemlerinin, depremin etkisi altında meydana gelen hasar üzerindeki etkileri araştırmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde bir adet perde duvarlı çerçeve, iki adet kolon ve kirişlerden meydana gelen çerçeve ve bir adet tek serbestlik dereceli sistem doğrusal olmayan hasar analizi yapılacak şekilde El Centro deprem kaydı kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde YSA hasar hesabı için kullanılmıştır. YSA' nın performansının öğrenme kümesinin büyüklüğünden çok etkilendiği gösterilmiştir.

Sakla ve Ashour (2005) yapmış olduğu çalışmada kimyasal ankrajların gerilme kapasitelerini tahmin etmek için YSA algoritmasını kullanmışlardır. Eğitilen YSA' dan elde edilen sonuçların ankraj derinliği ile doğru orantılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde YSA algoritmasının ankrajların gerilme kapasitesini tahmin etmekte başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

Arslan ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada Adana 1998, Kocaeli 1999, Düzce 1999 yıllarında yaşanan üç büyük depremde prefabrik binalarda meydana gelen hasarların nedeninin yanlış seçilmiş olan R deprem yükü azaltma faktöründen kaynaklandığını düşünüldüğünden, bu katsayıyı yaklaşık olarak belirlemek için 140 çerçeve numunesi hazırlanmıştır. Yük azaltma faktörü R, her bir çerçeve için statik itme analizi kullanılarak yük-yer değiştirme eğrileri ile hesaplanmıştır. Daha sonra sistem YSA ile 140 adet örnek çerçevenin 107 tanesi kullanılarak eğitildi. Kalan 33 adet numune için  $R^2$  değeri %92 hassasiyetle doğru sonucu vermiştir. Bu makale, prefabrik beton yapılar için öngörülen R değerinin değiştirilmesini önermeyi amaçlamaktadır.

Inel (2007) kolonlarda gerçekleşen deformasyonları mevcut literatür çalışmalarında yapılan deneysel sonuçları, veri setinde kullanarak YSA ile bir tahmin metodu gerçekleştirmiştir. Bu YSA modelinin geliştirmek için 237 adet dikdörtgen kolonun deneysel verileri kullanılmıştır. YSA' da kullanılan parametreler en boy oranı, boyuna donatı oranı, enine donatı akma dayanımı, etriye aralığı, silindirik beton dayanımıdır. Bu çalışmada literatür çalışmaları sonucunda betonarme kolonlardan elde edilen deneysel veriler ile YSA ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda YSA modellerinin betonarme kolonların deformasyon tahminleri için kullanılmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

San ve Türker (2009) yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden binaların otomatik olarak belirlenmesi ve mevcut vektör veri tabanındaki binaların güncellenmesi için bir yaklaşım belirlemişlerdir. Zenginleştirilmiş renkli görüntü En Büyük Olasılık Sınıflandırma Tekniği kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Sonra, Sayısal Yüzey Modelinden (SYM) Sayısal Arazi Modelinin (SAM) çıkarılmasıyla Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli (nSYM) elde edilmektedir. Geliştirilen otomatik bina belirleme yaklaşımı dört yapı adasında 77 binada uygulanmış ve yaklaşımın performansı değerlendirilmiştir. Yapılan uygulama sonrası sonuçlara göre ortalama bina belirleme yüzdesi %86.3, ortalama kalite yüzdesi ise %77.0 olarak hesaplanmıştır.

Arslan (2010) yapmış olduğu çalışmada beton basınç dayanımı, donatının akma ve kopma dayanımı, enine donatı, kısa kolon, güçlü kolon-zayıf kiriş ve perde-duvar oranı parametrelerini kullanarak yapı malzemelerinin kalitesindeki değişiklikler belirtilmiştir. 4 ile 7 katlı 256 betonarme bina modellenerek, bina kapasite eğrilerini belirlemek için itme analizi kullanılmıştır. Yapısal parametrelerin etkisi YSA algoritması ve bir parametrik algoritma ile belirlenmiştir. Perde duvar oranının ve kısa kolon oluşumunun bu çalışmadaki sonuçları etkileyen en önemli faktör olduğu gözlemlenmektedir. YSA algoritması oldukça tatmin edici bir sonuç vermiştir. YSA algoritmaları modellenmesine bağlı olarak %91,68 ile %98,47 arasında sonuç vermiştir.

Öztürk (2013) çalışmasında ankrajların aksel çekme altında davranışlarına ankrajın kenara olan uzaklığı ve ankrajların birbirlerine olan mesafesinin etkisi test edilmiştir. Bu amaçla literatürlerden beton kenarlarına yakın olarak yerleştirilmiş 142 adet ve dörtlü ankrajlardan oluşan 175 adet ankraj grubunun YSA algoritması ile testleri yapılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan parametreler beton basınç dayanımı, beton gövde yüksekliği, kenar mesafesi ve ankrajların birbirlerine olan mesafesidir. Çalışma sonucuna göre YSA algoritması %89,63 ile %96,22 oranında başarılı tahminlerde bulunmuştur.

Çevik ve ark. (2015) inşaat mühendisliği sistemlerini simüle etmek için çeşitli modelleme sistemleri geliştirmişlerdir. Bu çalışma yapısal mühendislik problemlerine odaklanan SVM 'nin kullanılabilirliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Sonuçlar SVM 'nin diğer çeşitli öğrenme tekniklerinden daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Henigal ve ark. (2016) yapmış oldukları çalışmada Mısır'da bulunan taşların basınç dayanımlarını belirlemek için bir YSA metodu kullanmışlardır. Bu yapay sinir ağları metodu toplanan 1000 farklı beton karışımı kullanılarak geliştirilmiş, eğitilmiş ve test edilmiştir. Basınç dayanımı ve çökme üzerinde gözle görünür etkiye sahip olan

parametreler tanımlanmaktadır ve YSA modelinde giriş olarak kullanılmaktadır. 7 ve 28 gün sonucunda ortaya çıkan basınç dayanımlarının ortalama kare hatası sırasıyla 3.74, 1.79 ve 3.05 olarak ölçülmektedir. Bu sonuçlar yapay sinir ağlarının Mısır'daki betonların basınç dayanımlarını ölçmekte başarılı olduğunu göstermektedir. Test sonuçlarının analizi, bu fikrin şartnameler ve standartlar için geçerli sistemlerin geliştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmaktadır.

Erdal (2016) yüksek dayanımlı betonlarda (YDB) basınç dayanımının doğru olarak değerlendirilebilmesi için doğru tahmin edilebilmesinin gerektiği düşünülerek bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada YDB' nin basınç dayanımlarının tahmini için farklı karışım oranlarını kullanarak bir makine öğrenme sistemi incelenmiştir. YSA ve Destek Vektör Makineleri (SVM) tahmin yöntemleri uygulanmış ve çok yüksek sonuçlar elde edilmiştir. SVM' nin başarısının YSA' ya göre daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Basınç dayanımının tahmini SVM' lerin araştırma laboratuvarları ve beton firmaları için alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Morfidis ve Kostinakis (2018) yapmış oldukları çalışmada betonarme binaların sismik hasar durumunu güvenli bir şekilde tahmin etmeye çalışmışlardır. YSA' nın eğitim veri setinin oluşturulması için, gerçek yer hareketine maruz bırakılan farklı yapısal özelliklere sahip 30 adet betonarme bina seçildi. Bu çalışmanın en önemli sonucu sismik hasar durumuna gerçek zamanlı bir depremden sonra güvenli bir şekilde yaklaştığı görülmektedir.

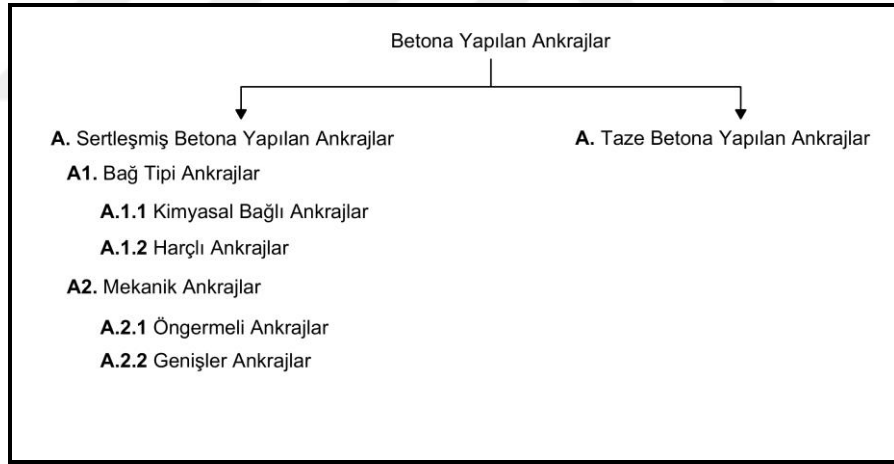


### 3. ANKRAJLARIN ADERANSI VE ADERANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için bu iki malzemenin birbirlerine kenetlenmesi gerekmektedir. Beton ve çelik arasındaki kenetlenme beton dayanımı, çelik sınıfı vb. gibi iç faktörlerden etkilendiği gibi zaman, sıcaklık vb. dış faktörlerden de etkilenmektedir. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda aderansı etkileyen birçok faktör olduğu görülmektedir. Bu bölümde kimyasal ankrajlar, aderans hakkında bilgiler verilmiş olup, yapılan çalışmaların ışığında aderansı etkileyen faktörler irdelenmiştir.

#### 3.1. Kimyasal Ankrajlar

Amerika Beton Enstitüsüne (ACI 355, 1991) göre betona yapılan ankrajlar; betona döküm esnasında yapılan ankrajlar ve mevcut betona daha sonradan ilave edilen ankrajlar olarak ikiye ayrılmıştır.



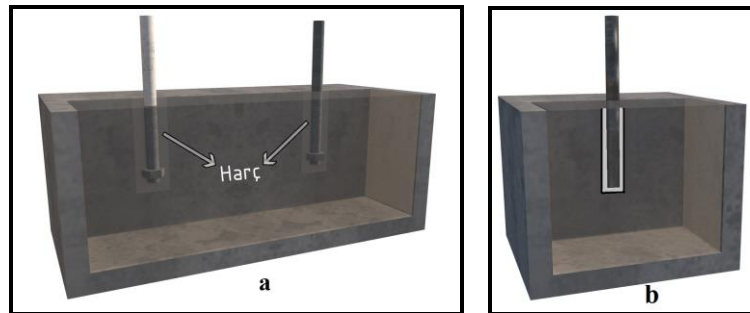
Şekil 3.1. Betona yapılan ankrajlar



Şekil 3.2. Taze betona uygulanan ankraj tipleri

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi taze betona yapılan ankraj tiplerinde sünek davranışın gözlenmesi amacıyla beton prizini almadan donatının akması istenmektedir.

Beton prizini aldıktan sonra ilave edilen ankrajlar kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Mekanik ankrajlar, maruz kaldıkları yükü mekanik sürtünme ve kendi kilitleme mekanizmaları ile aktarırken, kimyasal ankrajlar maruz kaldıkları yükü aderans gerilmeleri ile aktarmaktadırlar. Kimyasal yapıştırıcılar, harçlı durumlara göre daha pahalı olmasına rağmen yüksek basınç ve çekme dayanımlarına sahip oldukları için daha avantajlı olmaktadır (Şekil 3.3) (Gürbüz, 2007).

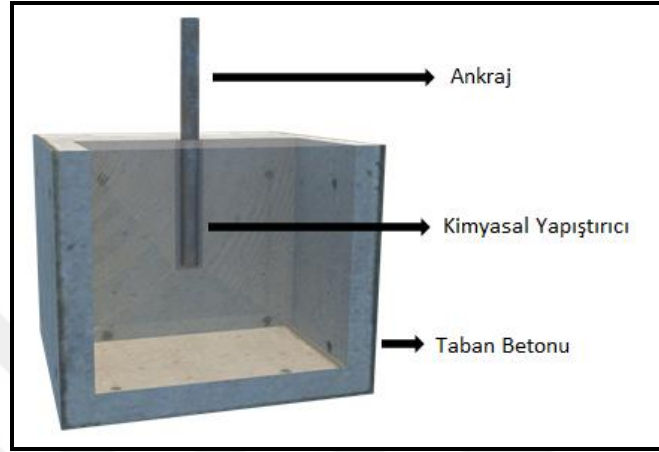


Şekil 3.3. a, b: Harçlı bağ tipi ankraj, Kimyasal bağ tipi ankraj

Kimyasal ankrajlar betona sonradan eklenerek yapılan bağ tipi ankrajlardır. Betonarme yapıların güçlendirilmesinde, mevcut taşıyıcı sistemlerin kesitlerinin büyütülmesinde ihtiyaç duyulan donatının eklenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemdir.

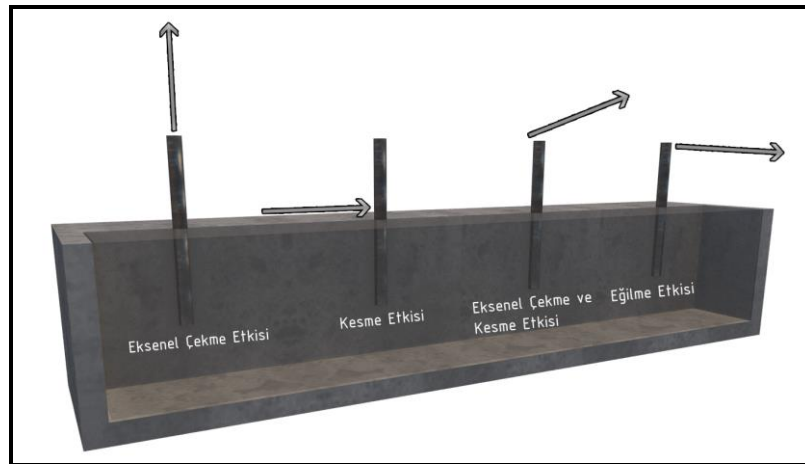
Kimyasal ankrajların sıklıkla kullanılmasının sebebi hızlı ve kolayca uygulanabilir olması ve aynı zamanda yüksek yapışma dayanımlarına sahip olmasıdır (Gürbüz, 2007).

Bu çalışmada betona sonradan ilave edilen ankrajlar araştırılmıştır. Kimyasal ankrajlar uygulaması betona açılan silindirik şeklindeki deliğin içerisine kimyasal yapıştırıcı ilave edilerek ankrajın gömülmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kimyasal ankraj elemanları

Kimyasal ankrajların tasarımı sırasında farklı yükleme tiplerinin etkisi altında kaldığında (eğilme, kesme, eksenel çekme) ankraj davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Şekil 3.5’de ACI 355’de ankrajların maruz kaldığı yükleme tipleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Ankrajların etkisi altında kaldığı yükleme tipleri

## 3.2. Aderans

Beton ve çelik, zıtlıkların uyumu sonucu betonarmeyi oluşturur. Beton ve çeliğin birbirlerini tamamlayan yönleri bulunmaktadır. Bunlar çelik yangına karşı dayanıksız bir malzeme iken beton yangına dayanıklı bir malzemedir. Çelik malzemede korozyon riski bulunurken, beton dış tesirlere karşı dayanıklı bir malzemedir. Beton düşük çekme dayanımına sahipken, çelik ise yüksek çekme dayanımı ve basınç dayanımı içerir. Çelik sünek bir malzeme iken beton ise gevrek bir malzemedir. Bu iki malzemenin birbirleri ile uyumları sonucu bu zaaf lar giderilip ideal bir betonarme sistemi oluşturulur.

Beton ve donatıdan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için bu iki elemanın birbirlerine kenetlenmesi gerekir. Çelik çubuklar ile beton arasındaki kenetlenmeyi sağlayan kesme gerilmelerine aderans denir (Karakoç, 1985)

### 3.2.1. Eğilme aderansı

Betonarme bir elemanda eğilmeye maruz kalınması durumunda momentin bir kesitten diğerine değişebilmesi için donatıda oluşan gerilmenin de buna bağlı olarak değişebilmesi gerekmektedir. Donatıdaki gerilmenin değişebilmesi, aderans gerilmeleri olarak isimlendirilen ve ancak donatı çevresinde oluşan kesme gerilmelerinin bulunması ile mümkündür. Denge koşulu sebebiyle, Denklem 3.1’de verilen  $\Delta x$  uzunluğundaki çubuğun çevresine etkiyen aderans gerilmelerinin toplamı, çubuğun her iki tarafındaki çekme kuvvetleri farkı ile aynı olmalıdır (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006).

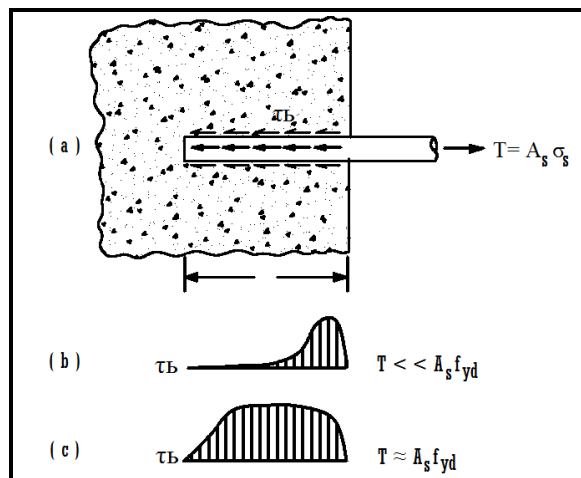
$$\tau_b(u)\Delta x = \frac{\Delta M}{z} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde  $\tau_b$  aderans gerilmesi,  $z$  moment kolu,  $u$  ise çubuğun çevre uzunluğudur.  $\Delta M / \Delta x = V$  olduğundan, Denklem 3.2 yerine koyulduğunda aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\tau_b = \frac{V}{u(z)} \quad (3.2)$$

### 3.2.2. Kenetlenme aderansı

Betonarmede, donatı beton blok içerisinde yeterli uzunlukta ekilmişse, çubuğu betondan ayırmak mümkün olmamaktadır. Eğer ekme boyunun yeterli olmadığı takdirde, donatı yüzeyinin geometrisine bağlı olarak donatı betondan sıyrılıp çıkabilir ya da etrafındaki beton bloğu parçalayabilir. Betona gömülen çubuk boyu, “kenetlenme boyu” olarak isimlendirilir ve bu tür aderansa da “kenetlenme aderansı” denir. Bu kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine ulaştığında ya da depremde olduğu gibi, donatı akma ötesinde belli bir birim deformasyona eriştiğinde, donatı betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır. Şekil 3.6 (a) beton bir bloğa ekilen bir donatı gösterilmektedir. Donatının  $\tau_b$  olarak ifade edilen kenetlenme süresince etkiyen bağ kuvvetleri, donatıya uygulanan çekme kuvvetlerini karşılayıp dengelemek durumundadır. Donatıdaki çekme kuvveti de,  $T=A_s\sigma_s$  olarak gösterilmiştir. Kenetlenmenin yeterli şekilde sağlanabilmesi için  $\sigma_s=f_{yd}$  olduğunda, donatının etrafında oluşan bağ kuvvetlerinin toplamının çekme kuvveti ile aynı olması gerekmektedir,  $\Sigma\tau_b=A_s f_{yd}$ . Eğer  $\tau_b$  olarak gösterilen aderans gerilmeleri dağılımı kesin olarak bilinseydi ya da bu gerilmelerin kenetlenme boyunca düzgün yayılı olsaydı, gerekli kenetlenme boyunun hesabı oldukça kolay olurdu. Yapılmış olan deneysel çalışmalar, gerçek dağılımın düzgün olarak yayılmadığını, aderans gerilmelerinin birçok faktöre bağlı olduğunu göstermektedir. Şekil 3.6 (b) ve (c) de gösterildiği gibi, aderans gerilmeleri düzgün yayılı yük şeklinde dağılmamakta ve bu dağılımın, diğer faktörlerin dışında aynı zamanda donatıdaki gerilme düzeyine göre de değiştiği gözlemlenmiştir (Ersoy, 1985).



Şekil 3.6. Aderans gerilme dağılımları (Ersoy, 1985)

Aderans gerilmeleri ve kenetlenme boyu arasındaki bağlantıyı ortalama olarak öngörebilmek için, kenetlenme boyunca aderans gerilmelerinin değişmediği tahmin edilebilir. Gerçek dağılım tahmin edilenden çok fazla değişken olduğundan, sabit bir gerilme altında hesaplanan bağıntının gerçeğe tam uymadığı unutulmamalıdır (Ersoy, 1985).

$$\sum \tau_b = T$$

$$\tau_b (\pi \emptyset) l_b = A_s f_{yd} = \frac{\pi \emptyset^2}{4} \quad (3.3)$$

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

Denklemden 3.3’de verilen  $\emptyset$ , çubuğun çapı,  $l_b$  kenetlenme boyu,  $A_s$  donatı alanı,  $f_{yd}$  ise donatının akma dayanımını ifade etmektedir. Yapılan deneyler sonucunda aderans dayanımının birçok faktöre bağlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu değişkenlerden en önemlisi, betonun çekme dayanımıdır.

### 3.3. Çekip Çıkarma Deneyi

En kolay olarak uygulanabilen aderans deneyi çekip çıkarma deneyidir. Bu aderans deneyinde betona ekilen düz yüzeyli çubuklarda kenetlenme boyu yeterli ise donatı akmaktadır, yeterli değilse ise donatı sıyrılarak bulunduğu beton kütleden çıkmaktadır. Aynı zamanda bu deneyde nervürlü çubuklarda ise çatlak genişliği daha dar, sıyrılma daha azdır. Ankrajların çekip çıkarma deneyi esnasındaki davranışları incelendiğinde beş farklı göçme durumu gözlemlenmektedir (Şekil 3.7).

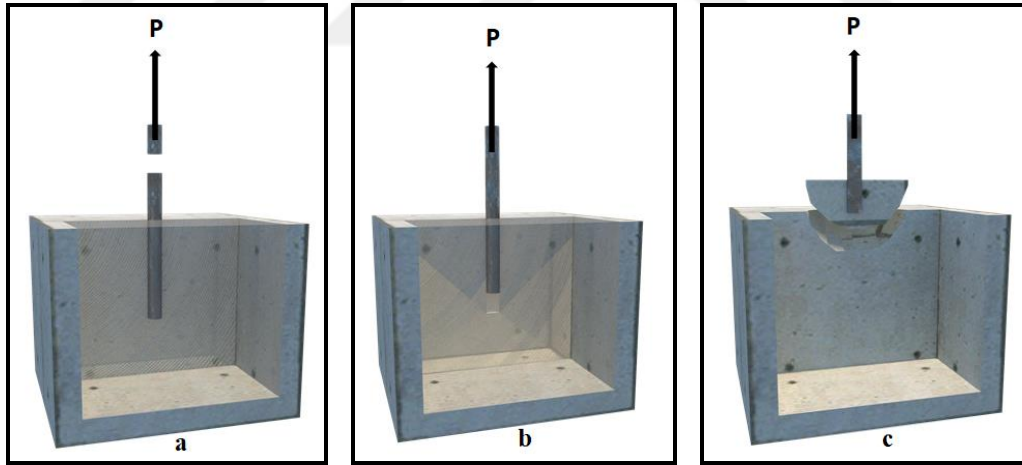
1. Ankraj Çubuğunun Akması, Kopması: Bu tür göçme durumuna beton ve kimyasal yapıştırıcının dayanımının yüksek olduğu durumlarda karşılaşılr. Bu göçme durumu tasarımcı tarafından istenilen davranış durumudur. Göçmenin bu şekilde oluşabilmesi için donatısının çekme dayanımının ankrajın bağlı olduğu betonda bulunan aderans dayanımından küçük olması gerekmektedir.
2. Ankraj Çubuğunun Sıyrılması: Ankraj donatısının bulunduğu beton kütleden sıyrılarak çıkma durumudur. Ankraj derinliği boyunca kimyasal ankrajlar yapışma dayanımının aşılması sonucu sıyrılmaya başlarlar. Bu tip göçme durumu yapışma dayanımının düşük olması veya ankraj uygulaması esnasında

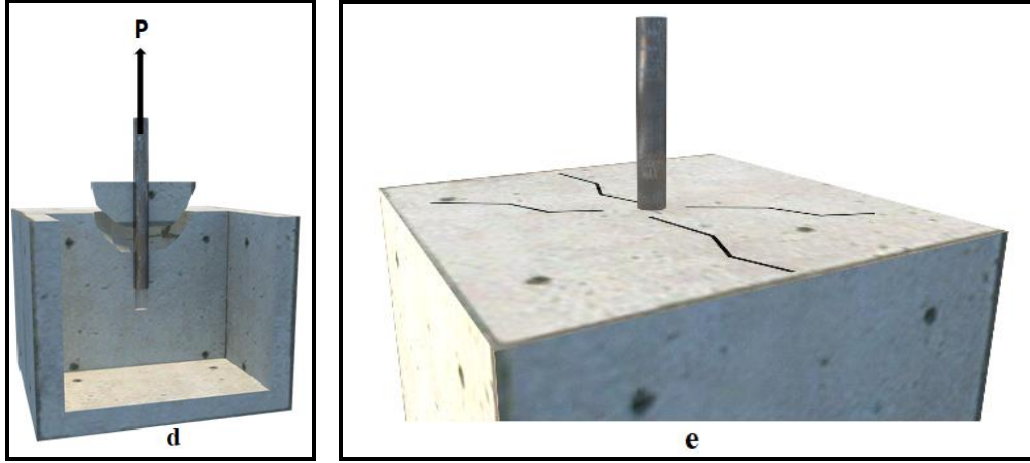
dikkat edilmeyen durumlar (yüzey temizliğinin yeterli şekilde yapılmaması sonucu, kür koşullarının yeterli seviyede sağlanamaması) sonucu kimyasalın yapışma dayanımını tamamıyla kazanamamasından kaynaklanabilir.

3. Betonun Konik Olarak Kopması: Betonda oluşan çekme gerilmelerinin aksenal çekme altında beton çekme dayanımını aşması sonucunda ankraj, betonun konik olarak kırılmasına sebep olur. Tam konik göçme durumu sığ ekilen ankraj deliklerinde oluşur. Beton mukavemeti azaldıkça ankraj dayanımı azalmakta ve koni derinliği artmaktadır.

4. Sıyrılma ve Koni Durumunun Beraber Oluşması: Ankraj derinliğinin 50-75 mm'den daha derin olarak ekilen ankrajlarda sıyrılma ve beton konisinin birlikte olduğu gözlemlenmiştir.

5. Betonun Yarılması: Beton yarılması taban elemanının sığ olması veya ankraj numunelerinin kenar bölümlere yakın olması durumlarında gerçekleşmektedir. Uygulanan yük arttıkça kılcal çatlaklar genişleyerek kenara doğru ilerlemesi sonucunda yarılmalar oluşur (Gürbüz, 2007).





Şekil 3.7. a, b, c, d, e: Ankraj çubuğunun akması, Ankraj çubuğunun betondan sıyırılması, Betonun konik olarak kopması, Koni ile sıyırılmasının birlikte oluşması, Betonun yarılması

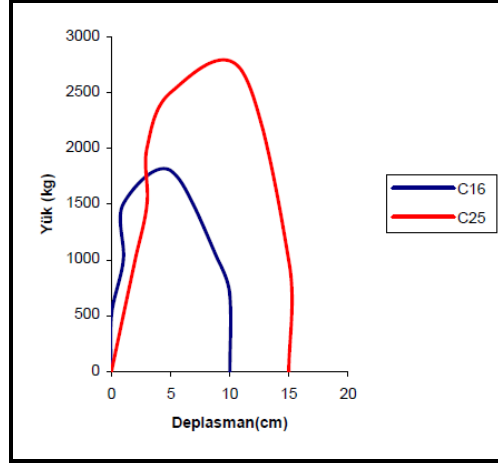
### 3.4. Aderansı Etkileyen Faktörler

Beton ve çelik arasındaki aderansı beton dayanımı, çelik sınıfı vb. gibi iç faktörlerden etkilendiği gibi zaman, sıcaklık vb. dış faktörlerden de etkilendiği görülmektedir. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda aderansı etkileyen birçok faktör olduğu görülmektedir.

#### 3.4.1. Beton dayanımının etkisi

Beton dayanımının aderansa etkisi ile ilgili çok fazla deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar beton dayanımının artması ile aderans kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Döndüren ve ark. (2006) yapmış olduğu çalışmada C16 ile hazırlanan numuneler ile C25 ile hazırlanan numuneler arasında %40 oranında artış olduğunu gözlemlemiştir (Şekil 3.8). Özturan ve ark. (2004) C30 ve C60 betonları ile yaptıkları deneysel çalışmada, beton dayanımındaki artışın ankraj kapasitesini %30 oranında arttırdığını gözlemlemiştir.

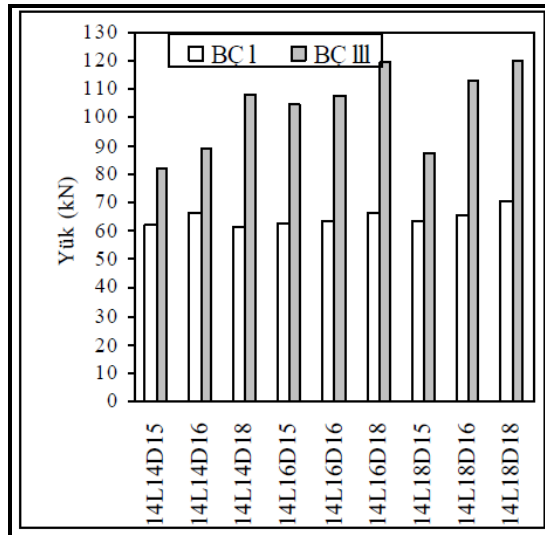




Şekil 3.8. C16 ve C25 betonları aderans kuvveti (Döndüren ve ark., 2006)

### 3.4.2. Çelik sınıfının etkisi

Çelik sınıfının kalitesinin artması doğrusal olarak daha iyi aderans sonuçları verdiği gözlemlenmektedir. Demir ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada S420 (BÇIII) çeliğinin S220 (BÇI) çeliğine göre daha iyi aderans sonuçları verdiğini deneysel yöntemlerle açıklamıştır (Şekil 3.9). Yapılan bir diğer çalışmada ise Gallego (2004) siyah çelik ve galvanizli çeliği karşılaştırmış. Siyah çeliğin galvanizli çeliğe göre daha yüksek bağ kuvvetleri sağladığı dolayısıyla daha iyi aderansa sahip olduğunu kanıtlanmıştır.



Şekil 3.9. BÇI (S220) ve BÇIII (S420) deplasman noktası yük değerleri (Demir ve ark., 2009)

### **3.4.3. Donatı geometrisinin etkisi**

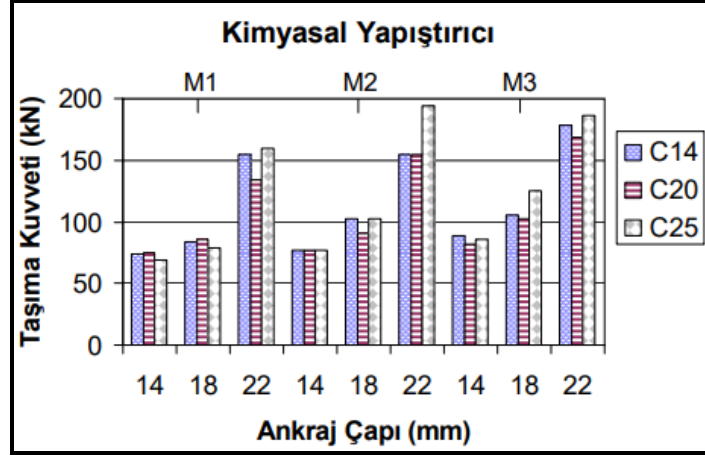
Nervürlü donatıların, düz yüzeyle donatılara göre daha yüksek ankraj kapasitesine ulaştığı yapılan çalışmalar doğrultusunda gözlemlenmektedir. Durmuş ve ark. (2006) yapmış olduğu deneysel çalışmada, yüksek dayanımlı beton ile donatı arasındaki aderans için, nervürlü donatı kullanılması halinde 10Ø, nervürlü donatı kullanılması halinde 20Ø kenetlenme boyunun yeterli olduğu gözlemlenmektedir.

### **3.4.4. Ankraj derinliğinin etkisi**

Ankraj derinliği arttıkça benzer oranlarda ankraj kapasitesi de yükselmektedir. Altan (2013) yapmış olduğu deneysel çalışmada ankraj derinlikleri 10Ø'den 15Ø'ye artırıldığında maksimum aderans kuvveti mekanik bağlantılı ankraj sistemlerinde %44 civarında, kimyasal bağlantılı ankrajlarda %30 artış göstermiştir. Bir diğer çalışmada Gürbüz (2007) 6Ø, 8Ø, 10Ø ve 12Ø derinliklerinde ekilen ankrajların doğrusal olarak ankraj kapasitelerinin arttığını gözlemlemiştir.

### **3.4.5. Donatı çapının etkisi**

Aderans gerilmelerinin oluştuğu yüzey alanının büyümesine bağlı olarak ankraj çapının artması benzer şekilde ankraj kapasitesini arttırmaktadır. Yılmaz ve ark. (2010) 14, 18, 22 mm çaplarındaki donatıların ankraj taşıma kuvvetini incelemiştir. Donatı çapının artması ankraj taşıma kuvvetini arttırmıştır (Şekil 3.10). Özturan ve ark. (2004) yapmış oldukları çalışmada 12 mm ve 16 mm çapındaki donatıların yüksek ve normal mukavemetli betonlardaki göçme yükleri karşılaştırılmıştır. 6 cm ekme derinliğine sahip olan ankrajlar incelendiğinde yüksek ve normal mukavemetli betonlarda donatı çapının artmasına bağlı olarak göçme yükünün arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 3. 10. C14, C20 ve C25 beton dayanımlarında donatı çapı ile taşıma kuvveti ilişkisi (Yılmaz ve ark., 2010)

### 3.4.6. Beton katkılarının etkisi

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) yapmış oldukları çalışmada uçucu kül ve silis dumanı gibi mineral katkıların belli bir oranda (%10-%20 arasında) betona ilave edilmesinin aderans dayanımına olumlu etki yaptığı gözlemlenmektedir.

### 3.4.7. Sıcaklık etkisi

Sıcaklık ile ilgili yapılan çalışmalarda Chiang ve ark. (2000), 500°C sıcaklığa ulaşan numuneler ile oda şartlarında hazırlanan numuneler arasında aderansta %75 düşüş yaşandığını gözlemlemişlerdir. Chiang ve ark. (2003) yaptıkları bir diğer çalışmada 200°C sıcaklıktan sonraki aderans önemli düşüşlerin oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Balçikanlı ve ark. (2015), 40°C sıcaklığın üretilen numunelerin tüm numuneler içerisinde en iyi çekip çıkarma direncine sahip olduğu yapılan deneyler sonucu ölçülmüştür.

### 3.4.8. Korozyonun etkisi

Donatının korozyona bağlı olarak mukavemetini kaybetmesi dolayısıyla aderans kapasitesi düşmektedir. Topçu ve ark. (2008), korozyon altında üretilen numunelerde aderans kuvvetlerinin önemli oranda düştüğünü gözlemlemiştir. Benzer bir çalışmada

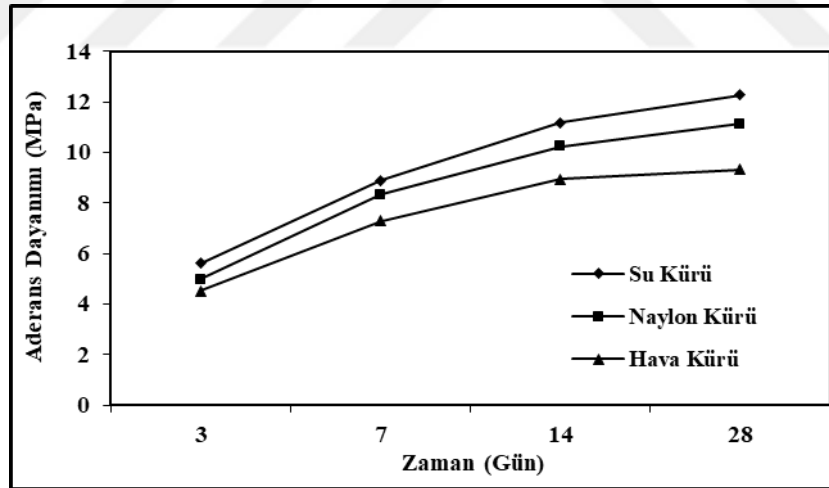
Lee ve ark. (2002) elektrik korozyon metodunu uygulayıp çekip-çıkarma deneyleri yardımıyla benzer sonuçlar elde edilmiştir.

### 3.4.9. Ankraj donatısının ekilme biçiminin etkisi

Betona donatıların gömülerek elde edilen numuneler veya sonradan epoksi yardımıyla ekilen donatılar ile elde edilen numuneler arasında karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Gürbüz (2007) yapmış oldukları çalışmada sonradan kimyasal yapıştırıcı ile ekilen donatılarla hazırlanan beton numunelerinde aderans kuvvetleri, taze betona gömülen donatılar ile elde edilenlere göre daha yüksek çıkmaktadır.

### 3.4.10. Kür koşullarının etkisi

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) yapmış olduğu çalışmada su kürü, hava kürü ve naylon kürü koşullarında elde edilen numunelere göre daha yüksek aderans kuvveti elde edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.11. Farklı kür sonuçlarında numunelerin aderans dayanımı (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006)

### 3.4.11. Ankrajlar arası mesafe ve ankraj kenar mesafesi

Ankraj taban betonlarının serbest kenarlarına yakın olduğunda çatlayarak yarılması nedeniyle göçme oluşabilir. Ankrajlar aksenal çekme altında göçme durumunda kapasitesine ulaştığında betonda oluşan çatlaklar etrafında bulunan komşu

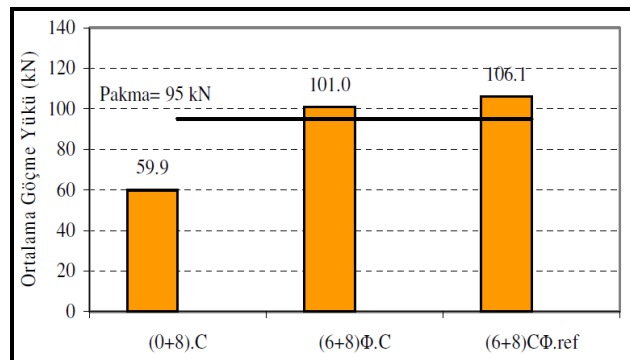
ankrajların kapasitelerini etkilemektedir. Ankrajlar arasındaki mesafenin yeterli şekilde bırakılmadığı durumlarda oluşan çatlakların komşu ankrajların kapasitesini düşürdüğü gözlemlenmektedir. Ankrajlar taban betonlarına ekilirken kenar göçmesinin veya oluşacak beton konilerinin birbirlerini etkilemelerinin önlenmesi amacıyla ASTM E 488 (2003)'de kenara olan uzaklıklar ve ankrajlar arası mesafe verilmiştir (Çizelge 3.1). Yapılan araştırmalar incelendiğinde derin ankrajlar için verilen minimum sınırların yeterli olduğu düşünülürken, tabloda verilen değerlerin sığ derinlikte ekilen ankrajlar için yükseltilmesi gerektiği görülmüştür (Yılmaz ve ark., 2010).

**Çizelge 3. 1.** Kimyasal Ankrajlarda Ekme Aralıkları ve Kenar Uzunlukları (Yılmaz ve ark., 2010)

Ekme Boyu ( $l_d$ )	Ankrajlar arası mesafe	Yükleme çerçevesine ve kenara olan uzaklık
$<6d_0$ (sığ)	$2 l_d$	$1 l_d$
$6d_0-8d_0$ (standart)	$1,5 l_d$	$1 l_d$
$>8d_0$ (derin)	$1 l_d$	$0,75 l_d$

### 3.4.12. Ankrajların bağlılık durumu

Gürbüz (2007) yapmış oldukları çalışmada, güçlendirme çalışmalarında kullanılan tam bağlı ankrajların genellikle betonun konik olarak göçmesi ile dayanımlarını kaybettiğini gözlemiştir. Ankraj kapasite ve davranışlarını ankrajların göçme durumunun etkilediği görülmüştür. Bu amaçla kısmi bağlı ankrajlar alternatif olarak üretilmiştir. Beton ve çelik arasında yüksek aderans sağlayan kimyasal yapıştırıcılar ile üretilen kısmi bağlı ankrajların aynı özelliklere sahip tam bağlı ankrajlara göre daha yüksek eksenel çekme kapasitelerine eriştiği gözlemlenmiştir. (Şekil 3.8).



**Şekil 3.12.** 8Ø derinlikte tam ve kısmi bağlı ankrajların göçme yükleri (Gürbüz, 2007)

### 3.5. Kimyasal Ankrajların Çekme Kapasitelerinin Analitik Olarak Belirlenmesi

Ankrajların dayanımını belirlemek için geçmişte birçok çalışma olmakla beraber henüz kesin bir model çıkartılamamıştır. Literatürler incelendiğinde ankrajların dayanımını belirlemek için geliştirilen tasarım modelleri göçme durumları dikkate alınarak geliştirilmiştir.

İlk olarak Eligehausen ve ark. (1984) tarafından ankrajların davranışını belirlemek için beton konisi modeli önerilmiştir. Bu modelde 15 ve 40 MPa basınç dayanımına sahip betonlar üzerine Ø8 ve Ø24 arasında değişen çaplarda, ankraj çapının 9 katı olacak şekilde kimyasal ankraj numunelerinde eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Konik göçme durumu gözlenen ankrajların kapasiteleri Denklem 3.4'de verilmiştir.

$$P_u = 0,85h_{ef}^2 \sqrt{f_c} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'de verilen  $h_{ef}$  efektif ankraj derinliği,  $f_c$  ise betonun silindir basınç dayanımını ifade etmektedir.

Eligehausen'in beton konisi modelinden sonra başka modellerde oluşturulmuştur. ACI 349 (1997) yönetmeliğinde ankraj tasarım ilkeleri bölümünde 45° derecelik koni modeli yer almaktadır. ACI 349 yönetmeliğinde çekme gerilmelerinin ankrajın en üst noktasından koninin en alt noktasına kadar 45°'lik açıyla yayılıp sabit olduğu kabul edilir. Denklem 3.5'de ankraj kapasitesi 45°'lik koni metodu ile verilmiştir.

$$P_k = 0,96\sqrt{f_{cc}}\pi h_d^{3/2} \quad (3.5)$$

Fuchs ve ark. (1995) Avrupa ve Amerika'dan toplamda 1200 adet çekip çıkarma deneylerinin sonuçları toplanıp koni modeli ile değerlendirilip Beton Kapasitesi Methodu (CCD) olarak adlandırılmıştır. Yapılan çalışmada göçme yüzeyi koni olarak seçilmek yerine 35° taban açısı olan bir piramit olarak idealleştirilmiştir. Denklem 3.6'da ankajların çekme kapasitesi CCD' ye göre verilmiştir.

$$P_c = k\sqrt{f_{cc}}h_d^{3/2} \quad (3.6)$$

Denklem 3.5 ve 3.6' da verilen  $f_{cc}$  betonun küp basınç dayanımı,  $h_d$  ise efektif ankraj derinliğini ifade etmektedir. Denklem 3.6'da verilen  $k$  değeri betona sonradan ilave edilen ankrajlar için 17, taze betona ekilen ankrajlar için 24 olarak ACI 349'da verilmektedir.

Sıyırılma ve koni durumunun beraber oluşması durumunda elastik bağ teorisi kullanıldığında Denklem 3.7 elde edilmektedir (Gürbüz, 2007).

$$P_u = 0,92h_k^2 \sqrt{f_c} + \tau_{maks} \pi d \left( \frac{d}{\lambda'} \tan \frac{\lambda' (h_{ef} - h_k)}{\sqrt{d}} \right) \quad (3.7)$$

Denklem 3.7'de verilen  $h_k$  koni yüksekliğini,  $\tau_{maks}$  maksimum yapışma dayanımını,  $d$  donatı çapını,  $\lambda'$  ise yük-yer değiştirme eğrisinin eğimini ifade etmektedir.

## 4. AKILLI SİSTEMLER

Son yirmi yılda yazılım konusunda hızla artan gelişim, özellikle mühendislik verilerini analiz edip doğru sonuçlara ulaştırabilen ve eyleme geçirebilen akıllı sistemlerin önemi büyük bir hızla artmaktadır. Verilerin bazı algoritmik teknikler ve mühendislik prensipleriyle analizi ve karar vermede kullanılması yeni ve ilgi çekici araştırma alanları arasındadır. İnsanoğlu günümüzde her tür sistemin ve cihazın akıllı olacağı bir sürece girmiş bulunmaktadır. Maliyeti yüksek olan ve zaman alıcı konvansiyonel sistemler yerine artık akıllı sistemler konuşulmaktadır. Akıllı sistemler bakış açısı ve becerisi özellikle dönüşümü yakalamaya çalışan sanayi için oldukça büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir. Dahası, birçok bilim dalı arasında farklı problemlerin çözümü için akıllı metotlar gerekli hale gelmiştir. Özellikle Endüstri 4.0 ve 4.5 için gerekli dönüşümün başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmesine katkı sağlaması bakımından akıllı sistemler oldukça önemlidir.

Literatürde akıllı sistemler; insan zekasını modelleyebilmek adına insan gibi akıl yürütme, anlam çıkartma, genelleme yapabilme, geçmiş deneyimleriyle öğrenebilme gibi yetileri makineye veya bir bilgisayara aktarabilen sistemler olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2010). Bilgisayarlar kompleks sayısal işlemleri çok hızlı sonuçlandırabilmelerine rağmen, bu verileri kavrama, yorumlama, öğrenme, karar verme gibi yeteneklerden yoksundur. Bu durumlar kıyaslandığında insan beyninin bilgisayarlara göre daha üstün olmasının sebebi sınıflandırılmış ve daha önceden tecrübe edilmiş olan verileri kullanabilmesidir. Akıllı sistemler insan beynini model olarak geliştirilmişlerdir.

Bu tez çalışmasının bu bölümünde bir önceki bölümde tariflenen deneysel çalışma ve konvansiyonel olarak kullanılan analitik yaklaşımlara göre daha pratik, hızlı ve doğru sonuçlara yakınsaması beklenen akıllı sistemlerin kısaca tanımlaması yapılmıştır.

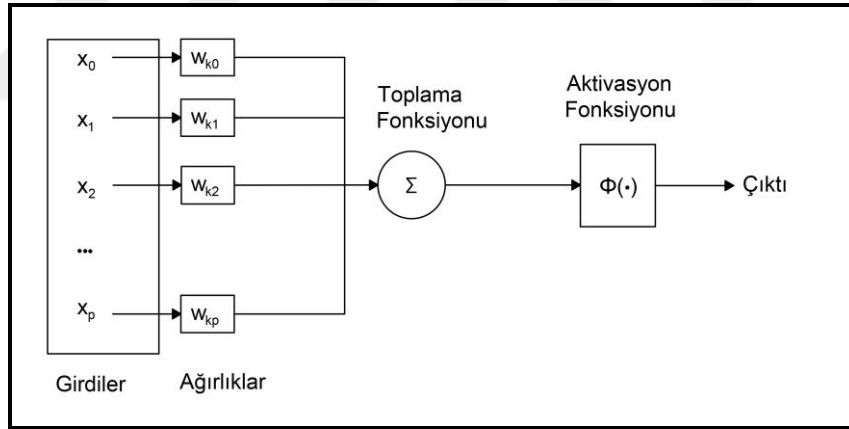
### 4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay zeka yöntemlerinden biri olan yapay sinir ağları (YSA) insan beynini örnek olarak taklit etme çabalarından biridir. İnsan beyninde bulunan sinir hücreleri modellemede temel olarak alınmaktadır. İlk olarak tıp biliminde kullanılan YSA daha sonra mühendislik dalında ve matematik alanında cazip bir araştırma konusu olmuştur.



YSA' nın mantığında problemi kendi kendine öğrenebilme yeteneği yer almaktadır. YSA problemi öğrenme dışında, aynı zamanda problemdeki veriler arasında ilişkileri kurabilmekte ve ezberleyebilmektedir. Tahmin, değer bulma ve sınıflandırma gibi durumlarda YSA oldukça başarılı olmaktadır (Yılmaz, 2010).

YSA'nın avantajları işlem devam ederken herhangi bir hücrede bir hata olması durumunda bile sistem güvenli bir şekilde çalışmasına devam etmektedir. YSA' lar makine öğrenmesi gerçekleştirebilir. Benzer durumlarla karşılaşıldığında anlamlı kararlar verebilir. Kullanılan sayısal veriler sayesinde problemin genel özellikleri belirlenir. Bu sayede YSA eğitilme esnasında sisteme girilen örneklerin dışında da anlamlı sonuçlar üretebilmektedir. YSA eğitim sırasında karşılaştığı örneklerin dışında daha önce hiç karşılaşmadığı örneklere de mantıklı sonuçlar verebilmektedir. Bu yeteneği, eğitim esnasındaki örneklerden yola çıkarak yapmaktadır. YSA' nın eksik veriler ile çalışabilmesi, yapısında bulunan hücrelerin bir kısmının bozulması dahilinde bile çalışabilmesi, algoritmanın hata toleransına sahip olduğunu göstermektedir (Yılmaz, 2010).



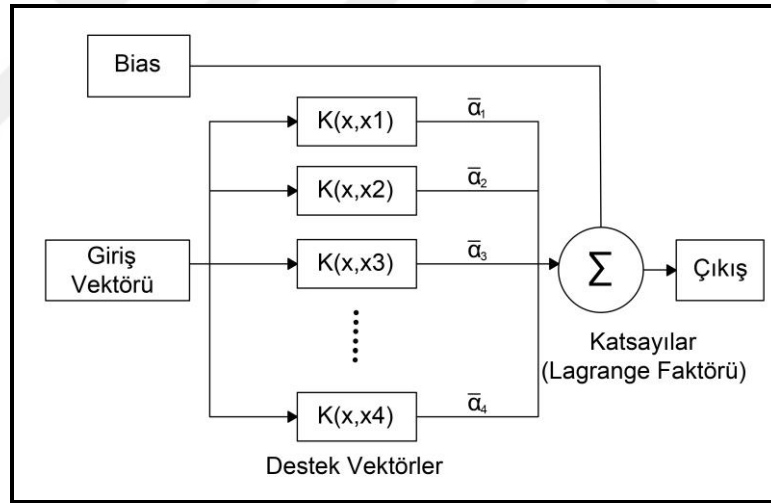
Şekil 4.1. YSA'nın matematik modeli

YSA'nın matematik modelini özetlemek gerekirse; girdiler  $x_i$  ile gösterilmiştir. Ağırlık değerleri girdi değerlerinin her biri ile çarpılmaktadır. Bundan sonra sonucun alınması için aktivasyon fonksiyonları uygulandıktan sonra çıktı değeri elde edilir (Şekil 4.1). Sistemin çıkışından elde edilen veri ile girişte sisteme girilen veri karşılaştırılarak hata payı bulunur. Farklı öğrenme algoritmaları kullanılarak hata değerleri azaltılıp istenilen çıkış değerine yaklaşılmaya çalışılmaktadır. Modellenen YSA' nın öğrenme kabiliyeti girilen ağırlık değerlerinin uygun şekilde güncellenip uygulanabilmesine bağlı olmaktadır. Sinir ağının ağırlıkları bu süreçte güncellenmiştir. Ağırlıklar her iterasyonda

güncellenerek çıkış değerine yaklaşılmaya yani hata payını en aza indirmeye çalışılmaktadır. Ağırlıklar güncellenerek istenilen seviyeye ulaşmasına kadar geçen süreye öğrenme adı verilmektedir. YSA öğrenme kabiliyetini tamamladıktan sonra ağa önceden verilmeyen veriler sisteme sunularak sinir ağı test edilmektedir. Eğer ağ bu örneklerle iyi sonuçlar veriyorsa, sinir ağının problemi öğrenmiş olduğunu göstermektedir. YSA'nın yapısı bu mantığa dayanarak meydana getirilmektedir (Yılmaz, 2010).

#### 4.2. Destek Vektör Makinesi (SVM)

Sınıflandırma konusunda kullanılan SVM, kolay uygulanabilmesi, genellikle iyi genelleştirme performansı göstermesi açısından oldukça etkili yöntemlerden birisidir. SVM, sınıflandırma problemlerinin çözümü ve örüntü tanıma için Vapnik tarafından geliştirilen bir sistemdir. Şekil 4.2'de SVM' nin ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 4.2. Destek vektör makinesinin genel yapısı (Ayhan ve Erdoğan, 2014)

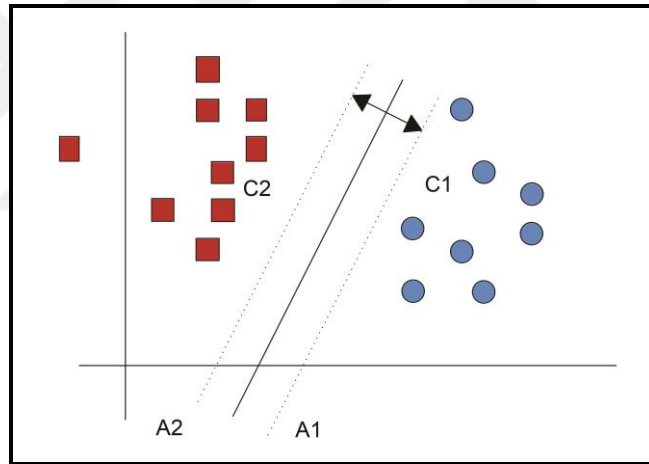
Şekil 4.2'de verilen ağ yapısı incelendiğinde  $K(x_i, x_j)$  çekirdek fonksiyonlarını ve  $\alpha$  Lagrange çarpanını temsil etmektedir. Girdilerin iç çarpımları çekirdek fonksiyonlarının yardımıyla hesaplanmaktadır. Lagrange çarpanı ise girilen ağırlık değerlerini göstermektedir. SVM ile çözülen bir örneğe ilişkin değer, çekirdek fonksiyonları ile girilen iç çarpanlar ile Lagrange çarpanlarının bağımsız kombinasyonlarının toplamına eşit olmaktadır. SVM'nin temelleri istatistiksel öğrenme teorisine ve yapısal risk minimizasyonuna dayanmaktadır. Bir düzlemde bulunan iki

farklı grup bir sınırla birbirlerinden ayrılabilir. Bu sınır gruplara en uzak şekilde yerleştirilmelidir. SVM bu sınırın nasıl çizileceğini belirlemektedir. (Ayhan ve Erdoğan, 2014)

SVM’ de karşılaşılan iki durum verilerin lineer ayrılamama durumu ve lineer olarak ayrılabilme durumudur.

#### 4.2.1. Lineer ayrılabilme durumu

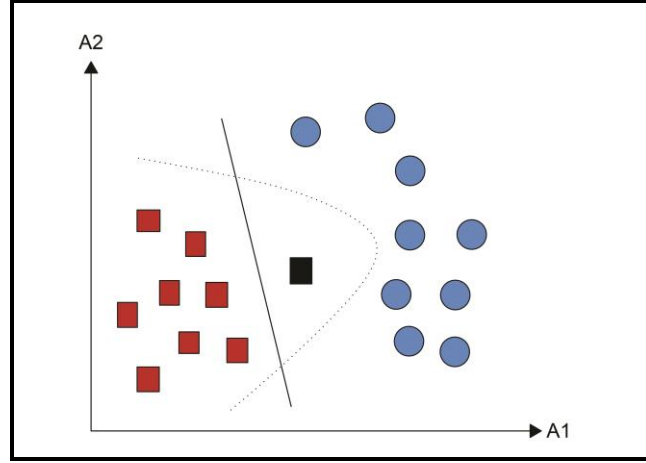
N elemandan oluşan bir verinin  $\theta = \{x_i, y_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  olduğunu düşünelim. Burada  $x_i \in \mathbb{R}^d$  özellikler vektörü ve  $y_i \in \{-1, 1\}$  etiket değerleridir. Lineer ayrılabilme durumunda bu iki farklı veri birbirlerinden direkt olarak bir aşırı düzlem ile ayrılabilir (Şekil 4.3). SVM, bu aşırı düzlemin iki farklı sınıfta bulunan örnekler grubuna eşit uzaklıklarda bulunmasını amaçlamaktadır (Yakut ve ark., 2014).



Şekil 4.3. SVM’de lineer ayrılabilme durumu (Yakut ve ark., 2014)

#### 4.2.2. Lineer ayrılamama durumu

Lineer ayrılabilme durumunda iki farklı veriden oluşan sınıflar birbirlerinden bir düzlem ile ayrılabilir. Fakat uygulamada ve gerçekte bu durum her zaman mümkün olmamaktadır. Bir diğer deyişle doğrusal bir düzlem ile iki farklı veri birbirlerinden ayrılmaz (Şekil 4.4) (Yakut ve ark., 2014).



Şekil 4.4. SVM' de lineer ayrılamama durumu (Yakut ve ark., 2014)

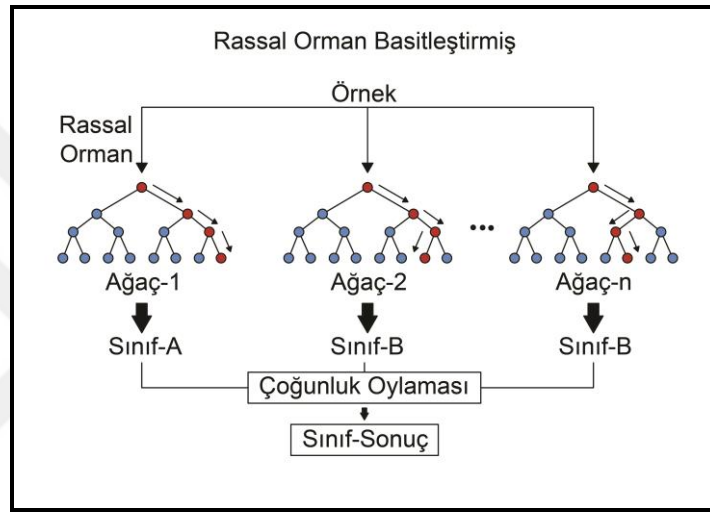
Doğrusal olmayan ayrılabirlik durumu söz konusu olduğu zaman, eğitim örnekleri orijinal giriş uzayında doğrusal olarak ayrılamamaktadır. Buna benzer durumlarda SVM, doğrusal olmayan haritalama fonksiyonlarını kullanarak orijinal giriş uzayından doğrusal olarak basitçe sınıflandırma yapabileceği yüksek boyutlu nitelik uzayına dönüşüm yapmaktadır. Bu doğrultuda çekirdek fonksiyonları vasıtasıyla tüm değerlerin tekrarlanarak çarpım sonuçlarının hesaplanıp bulunması yerine direk olarak çekirdek fonksiyonunda değerin yerine koyularak nitelik uzayındaki değerinin bulunması sağlanmaktadır (Yakut ve ark, 2014).

### 4.3. Random Forest (RF)

Random Forest (RF) 2001 yılında Leo Breiman tarafından geliştirilmiştir. Topluluk öğrenme yöntemlerinden biri olan RF algoritması, sınıflandırma işlemi sırasında çok sayıda karar ağaçları üreterek sınıflandırma değerini yükselten bir algoritmadır. Bireysel olarak veri setinin alt kümelerinden rastgele seçilen karar ağaçları karar ormanını oluşturmaktadır. RF yüksek oranda gerçekçilik sunması, kısa sürede sonuç vermesi, topluluğa ağaçlar eklendiğinde hata tahmini için yanlılığı düşük sonuçlar vermesi sayesinde tercih edilen bir yöntemdir (Fidancı, 2017).

RF yönteminde ağaçlar toplam tahminlerden düşük olacak şekilde düğüm noktalarından rastgele seçilen  $m$  adet tahminci ile oluşturulmaktadır. Oluşturulan tüm karar ağaçları en geniş halleriyle bırakılmaktadır. Sınıflandırma için ağaçlar; her bir yaprak düğümü sadece tek bir sınıfın üyelerini içerecek şekilde oluşturulur (Şekil 4.5). RF' e girilen eğitim veri setinin  $2/3$  kadar olan önyüklemeye örnekleri oluşturulur. Eğitim

setinin kalan 1/3' lük kısmı hataları tespit etmek için kullanılmaktadır. Tüm düğümlerde m değişkenleri rastgele seçilerek, bu değişkenler arasından en iyi dal belirlenir. M adet değişken sayısının kareköküne denk gelen m değişken sayısı genellikle optimum sonucu vermektedir. Elde edilen sınıfların homojenliğini ölçmek için bir GINI indeksi hesaplanmaktadır. Hesaplanan GINI indeksi ne kadar düşük çıkarsa o kadar homojen bir sistem elde edilmiş olmaktadır. GINI indeksi belirlendikten sonra bu GINI indeksi baz alınarak sınıfları belirlenir. Elde edilen sonuçlar bütününde en uygun sınıflandırma yapılır (Fidancı, 2017).

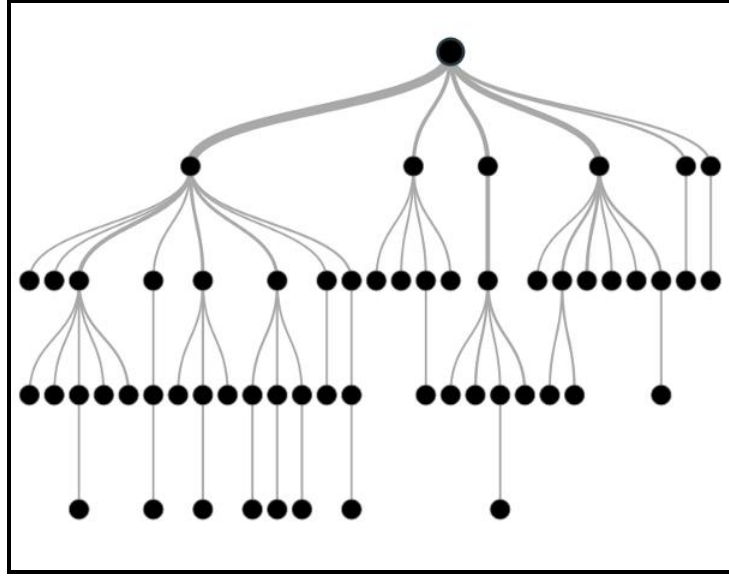


Şekil 4.5. Random forest genel yapısı (Koehrsen, 2017)

#### 4.4. Ağaçlar (Tree)

Karar ağacı öğreniminde ana fikir veri kümesinin elemanlarının gruplara ayrılmasına dayanır. Karar ağacının amacı grubun tüm elemanlarını aynı sınıfa etikete sahip olana kadar yapılan işlemleri devam ettirmektir (Akın, 2017).

Veri madenciliğinde karar ağaçları, kurulmasının birçok algoritmaya göre daha ucuz olması, yorumlanmalarının kolay olması, veri tabanı sistemleri ile pratik olarak entegre edilebilmeleri ve elde edilen sonuçların iyi olması sebebi ile sınıflandırma algoritmaları arasında sıklıkla kullanılan tekniklerden biridir. Yapısı ağacın dallarını oluşturması sebebiyle kolayca idrak edilebilen kuralları yeniden oluşturabilen, bilgi teknolojileri işlemleri ile kolaylıkla dahil olabilen en yaygın sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Karar ağacı algoritmasının genel yapısı şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Karar ağacı genel yapısı (Ulgen, 2017)

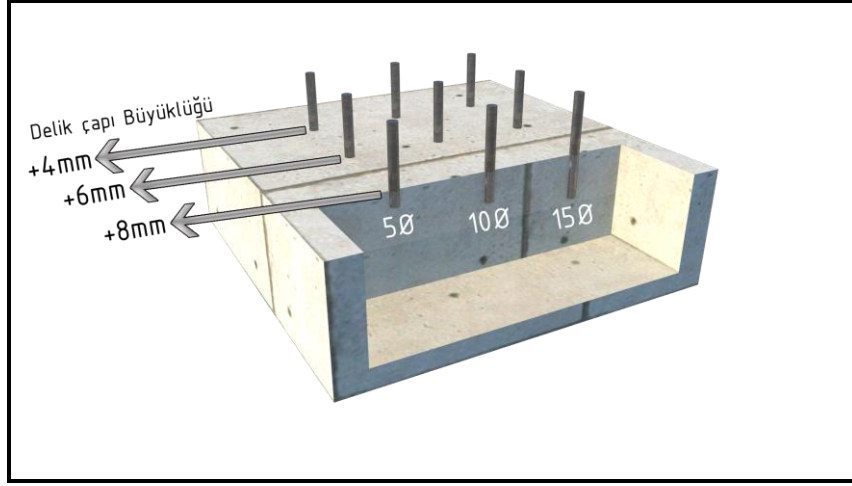
#### 4.5. Olasılıksal Dereceli Azalma (SGD)

SGD makine öğreniminde ve derin öğrenmede kullanılan çok popüler bir optimizasyon sistemidir. SGD sistemi uygulama kolaylığı ve verimli olması sebebiyle tercih edilmektedir. SGD’ de her bir tekrar için ayarlanan verinin tamamı yerine rastgele birkaç örnek seçilmektedir. Her ne kadar tüm veri setini kullanmak, rastgele seçilen değerlerden oluşacak sonuçlara göre daha yararlı olsa da, veri kümesinin oldukça büyük olduğu durumlarda sonuca ulaşmak hesap maliyeti çok daha fazla olmaktadır. Bu gibi durumlarda problem SGD sistemi ile çözülebilir. Dolayısıyla SGD algoritması daha az hesap maliyeti olan fakat daha fazla adımda gerçekleşmektedir. Sonuç olarak çok daha etkili bir şekilde sonuca ulaşılmaktadır.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Aderans deneylerinde sıklıkla kullanılan yöntem, basit ve kolay uygulanabilmesi sebebiyle aksenel çekip çıkarma deneyidir. Yapılan tez çalışmasında belirli parametrelere göre üretilmiş olan betonlara ekilen donatı çubukları serbest ucundan hidrolik bir sistem ile çekilerek saplanmış olduğu betondan çıkartılmaya çalışılmıştır. Çekip çıkarma deneyleri Konya Teknik Üniversitesi yapı laboratuvarından temin edilen deney düzeneği ile yapılmıştır. Ekilen donatı çubukları ortası delik hidrolik krikonun üst ucuna bağlanarak aksenel yükün (F) etkisinde çekilerek çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Uygulanan yük değerleri hidrolik krikonun üzerine yerleştirilen 60 ton kapasiteli yük ölçerler ile tespit edilmiştir. Göçme durumunda kadar uygulanan yük değerleri alınarak betona sonradan ekilen kimyasal ankrajların davranış etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan beton sınıflarının C10 ve C30 olması amaçlanmıştır. Amaçlanan beton sınıfları Türkiye’de mevcut olarak sıklıkla kullanılan ve güçlendirme yapılan yapıların durumları göz önüne alınarak seçilmiştir. Deneysel çalışmada beton dayanımları 10, 30 MPa, ankraj çelik cinsi B420c, ankraj donatı çapı 16 ve 20 mm, ankraj derinlikleri 5Ø, 10Ø ve 15Ø (ankraj donatı çapının 5, 10, 15 katı) olacak şekilde parametreler seçilmiştir. Aynı zamanda delik çapları donatı çapından 4, 6, 8 mm daha büyük olacak şekilde açılan delikler hiç temizlenmeden, hava ve su ile temizlenecek şekilde parametreler seçilmiştir. Şekil 5.1’de bu parametrelerin şekilsel gösterimi verilmiştir. Veri setini sınırlandırabilmek için yükleme hızı, epoksi türü, donatının beton içindeki konumu ve eğimi gibi parametreler ise bu çalışma kapsamına alınmamıştır.



Şekil 5.1. Yapılacak olan deney planı

Çalışma kapsamında belirlenen bu parametrelerin betona sonradan ilave edilen ankrajların davranışına etkisini araştırmak üzere söz konusu parametrelere göre oluşturulmuş 108 adet donatı çekip çıkarma deneyi yapılmıştır (Çizelge 5.1). Elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde ele alınarak deneysel çalışmalarda yapı davranışının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunulacaktır.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan parametreler

Amaçlanan Beton Sınıfı	Donatı Çapı (mm)	Ankraj Derinliği (Ø)	Delik Çapı Büyüklüğü (+mm)	Temizlik Türü
C10	16	5	4	Hava
C30	20	10	6	Su
		15	8	Temizlenmemiş
2 Farklı	2 Farklı	3 Farklı	3 Farklı	3 Farklı
<b>108 Farklı Test</b>				

## 5.1. Beton

Yapılan deneysel çalışmada oluşturulan beton blokların birbirleri ile kalite açısından niteliğinin sağlanması amacıyla hazır beton kullanılması tercih edilmiştir. Hazır beton firması tarafından iki farklı dayanım sınıfına sahip betonlar beton blokların üretiminde tercih edilmiştir. Deneylerde kullanılan betonların karışım bilgileri çizelge 5.2’de verilmiştir.



**Çizelge 5. 2.** Hazır beton firmasından alınan beton karışım değerleri

Amaçlanan Beton Sınıfı	Kum 0/4 (kg)	Kırma Taş 4/11 (kg)	Kırma Taş 11/22 (kg)	Çimento Miktarı (kg)	Kimyasal Katkı (kg)	Su/Çimento
C8/10	1060	380	440	130	1.5	1.3
C30/37	1100	380	420	305	3,05	0,55

Çalışma kapsamında deneylerde kullanılan betonların basınç dayanımları deneylerin yapıldığı tarihte taban betonlarından karot numuneleri alınarak yapılmıştır. Alınan karot numuneleri Konya Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarında bulunan deney düzeneğinde ölçümleri yapılarak Çizelge 5.3 ve 5.4’ de basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Çizelge 5.3 incelendiğinde beton sınıfının amaçlanan değerden daha düşük (C6) olduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5. 3.** Numunelerin çekip çıkarma deneylerinin yapıldığı tarihteki C8/10 beton basınç dayanımları

Beton Sınıfı	Numune No	Basınç Dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )
C8/10	1	6,1
C8/10	2	5,8
C8/10	3	7,9
C8/10	4	5,5
C8/10	5	5,7
C8/10	6	6,7
C8/10	Ortalama	<b>6.3</b>

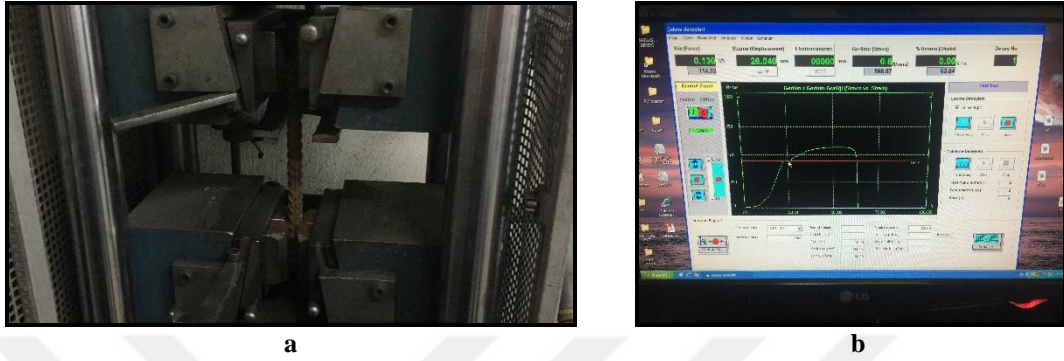
**Çizelge 5. 4.** Numunelerin çekip çıkarma deneylerinin yapıldığı tarihteki C30 beton basınç dayanımları

Beton Sınıfı	Numune No	Basınç Dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )
C30/37	1	38,2
C30/37	2	34,2
C30/37	3	32
C30/37	4	28,4
C30/37	5	33
C30/37	6	29
C30/37	Ortalama	<b>32,5</b>

## 5.2. Ankraj Çubukları

Çekip çıkarma deneylerinde kullanılmak üzere donatı sınıfı B420c, donatı çapı 16 ve 20 mm olan donatılar kullanılmıştır. Donatıların benzer nervür yapısına ve aynı

mekanik özelliklere sahip olması için tüm donatılar aynı bağ üzerinden kesilerek elde edilmiştir. Elde edilen numuneler test cihazına koyularak dayanımları ölçülmüştür (Şekil 5.2). Tez çalışması kapsamında hazırlanan donatı numunelerinin hazırlanışı Şekil 5.3’de ve bu donatılara ait mekanik özellikler Çizelge 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.2. a, b: Donatıların dayanımları ölçülmesi, Test sonucu elde edilen veriler

Çizelge 5. 5. Deneysel çalışmada kullanılan ankrajların mekanik özellikleri

Çelik Cinsi	Çap	Numune No	İlk Boy (mm)	Son Boy (mm)	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzama (%)	Çekme/Akma
B420c	16	1	80	95,25	571,16	449,89	19,06	1,27
B420c	16	2	80	97,19	571,16	452,18	21,49	1,26
B420c	16	3	80	96,49	569,22	453,87	20,61	1,25
B420c	16	Ortalama	80	96,31	570,51	451,98	20,39	1,26
B420c	20	1	100	120,32	619,33	479,79	20,32	1,29
B420c	20	2	100	119,24	617,55	478,89	19,24	1,29
B420c	20	3	100	121,3	617,07	483,85	21,30	1,28
B420c	20	Ortalama	100	120,29	617,98	480,84	20,29	1,29



Şekil 5. 3. Hazırlanan ankraj donatıları

Elde edilen değerlerin TS708 (2010)’ de belirtilen donatının mekanik özelliklerine uygun olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.6).

**Çizelge 5.6.** TS708 yönetmeliğinde B 420C çeliğinin mekanik özellikleri

<b>Çelik Sınıfı</b>	<b>B 420C</b>
Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 420
Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 500
Çekme Dayanımı/Akma Dayanımı	≥ 1.15 ve <1.35
Kopma Birim Uzaması	≥ 12

### 5.3. Kimyasal Yapıştırıcı

Kimyasal yapıştırıcılar, kimyasal ankrajların performansını doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Kimyasal yapıştırıcının güçlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmasının sebebi, malzemenin yüksek çekme ve basınç dayanımına sahip olması, kolay ve aynı zamanda hızlı uygulanabilir olmasıdır.

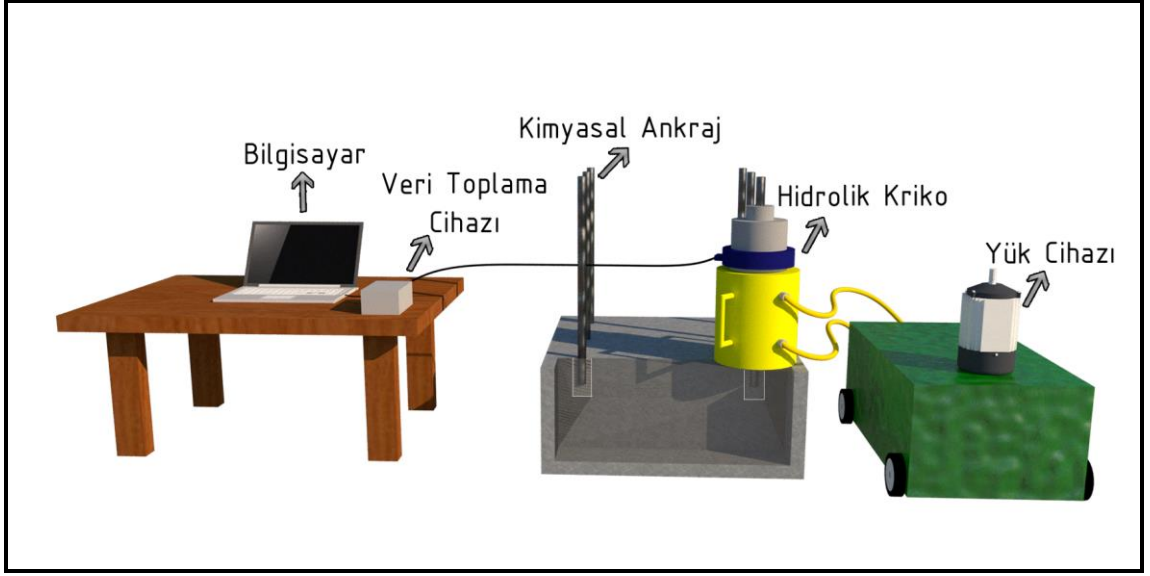
Yapılan tez çalışmasında verimli sonuçlar elde edilmesi amacıyla güçlendirme çalışmalarında ve filiz ekme işlemlerinde kullanılan yüksek mukavemet sağlayan Momochem kimyasal yapıştırıcı tercih edilmiştir. Kullanılan kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

**Çizelge 5. 7.** Momochem kimyasal yapıştırıcının mekanik ve kimyasal özellikleri

<b>Mekanik Özellik</b>	<b>Değerler</b>	<b>Standart Değerler</b>
Basınç Dayanımı	121 N/mm <sup>2</sup>	(ASTM 695) >56 N/mm <sup>2</sup>
Eğilme Dayanımı	59 N/mm <sup>2</sup>	(ASTM 790) >10 N/mm <sup>2</sup>
Elastisite Modülü	3500 N/mm <sup>2</sup>	
Karışım Yoğunluğu	1,68 kg/dm <sup>2</sup>	

### 5.4. Çekip Çıkarma Deney Düzeneği

Yapılan tez çalışmasında kullanılacak deney düzeneği Konya Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarından temin edilmiştir. Hazırlanan kütle betonlarında açılan deliklere ekilen donatılar üzerine ortası delik bir hidrolik kriko yerleştirilmiştir. Hidrolik krikonun hemen üzerine aksel çekme yüküne ölçmek amacıyla bir yükölçer yerleştirilmiştir. Deney esnasında yükölçer ile okunan değerler veri toplayıcı ile bilgisayara elektronik olarak işlenmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Tez Çalışmasında Kullanılan Deney Düzenegi

### 5.5. Deneysel Çalışma

Yapılan tez çalışması kapsamında deneysel çalışmalar saha ortamında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada hazırlanan kalıplar kenar göçmesini ve ekilen donatıların birbirlerini etkilemesini önlemek amacıyla ASTM E 488 standartları dikkate alınarak 16 mm çapındaki donatıların ekileceği beton kalıpları 120x170x35 cm, 20 mm çapındaki donatıların ekileceği beton kalıpları 150x200x45 cm olarak hazırlanmıştır.

C10 betonlar için 6 adet, C30 betonlar için 6 adet olmak üzere toplamda 12 adet belirlenen ölçülere göre kalıplar hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplar Şekil 5.5'de gösterilmektedir.



a



b

Şekil 5. 5. a, b: C10 betonuna ait kalıpların hazırlanması, C30 betonuna ait kalıpların hazırlanması

Hazırlanan beton kalıpların son kontrolleri yapılarak düz yüzeyler elde etmek amacıyla beton üst kotları nivo (kot ölçüm aleti) yardımıyla işaretlenmiştir. Kalıp ve taban yüzeylerinin son temizlikleri yapılarak beton dökümüne hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5. 6. Beton üst kotunun belirlenmesi ve kalıpların temizliği

Kalıpların son kontrolleri yapıldıktan sonra beton döküm işlemine geçilmiştir. Amaçlanan beton dayanımları hâlihazırda günümüz inşaatlarında sıklıkla kullanılan C30 ve mevcut yapı stoku göz önüne alınarak C10 beton dayanım sınıfları tercih edilmiştir. Emir Beton firmasından temin edilen C10 ve C30 hazır betonları hazırlanan kalıpların içerisine dökülerek taban betonları hazırlanmıştır (Şekil 5.7). Dökülen beton yüzeylerine beton üst kotlarına göre master uygulaması yapılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5. 7. a, b: C10 beton dökümü, C30 beton dökümü



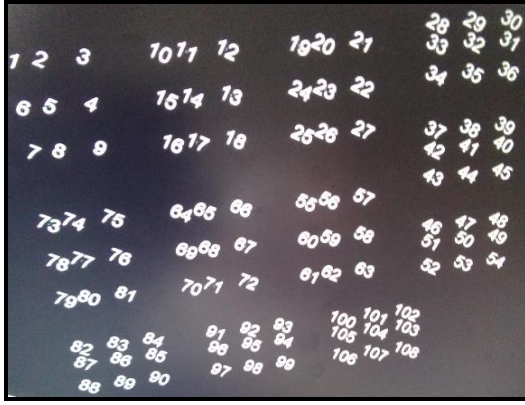
Şekil 5. 8. Beton yüzeyine master uygulaması

Beton dökümünden sonra ilk günden itibaren başlanan kür işlemi günde iki kez sabah ve akşam olmak üzere devam ettirildi (Şekil 5.9). Bütün kütlelere aynı kür işlemi uygulanmıştır.

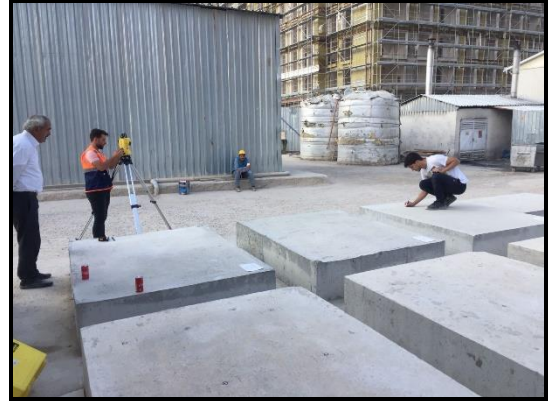


Şekil 5. 9. Dökülen betonlarda kür uygulaması

Betonların kür işlemi tamamlandıktan sonra ekilecek donatıların yerlerini belirlemek amacıyla Netcad (2017) programına girilen veriler ile Total Station (Nokta belirleme aleti) yardımıyla taban betonları üzerinde noktalar işaretlenmiştir. (Şekil 5.10).



a



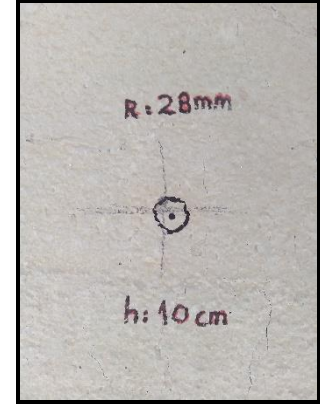
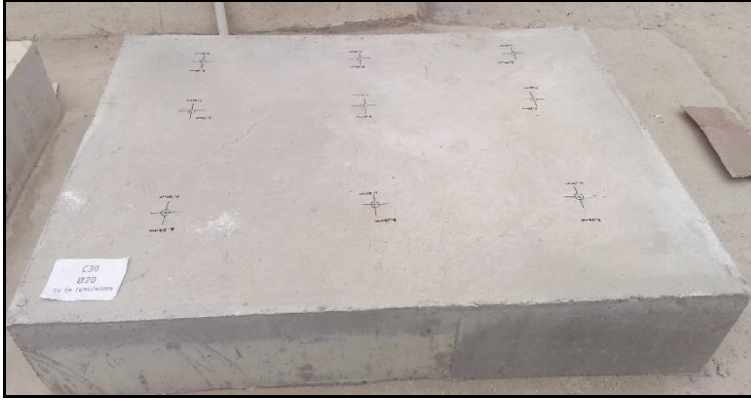
b

Şekil 5. 10. a, b: Ekilecek donatıların yerlerinin belirlenmesi, Ekilecek donatıların yerlerinin işaretlenmesi

Donatıların ekileceği noktalar belirlendikten sonra, taban betonlarının üzerine ekilecek donatıların özellikleri işaretlenen noktalara yazılmıştır. Taban betonlarının üzerine beton sınıfı, donatı çapı, temizlik türü yazılmıştır (Şekil 5.11). İşaretlenen noktalar üzerine açılacak delik çapı ve ankraj derinlikleri yazılarak donatı ekme işlemi öncesi son hazırlıklar tamamlanmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5. 11. Beton, donatı ve temizlik parametreleri



**Şekil 5. 12.** Delik çapı ve ankraj derinliği parametreleri

Taban betonları üzerine ASTM E 488 standartlarına göre işaretlenen noktalara donatı çapları, ankraj derinlikleri ve delik çaplarına göre deney firması tarafından ankraj delikleri açılmıştır. Ankraj delikleri kırıcı ve delici özelliğe matkap tarafından delinmiştir. Ankraj deliklerinin hassas olarak ayarlanabilmesi için matkap uçlarının üzerine derinlik ölçüsünü belirtecek işaretleme yapılmıştır (Şekil 5.13). Delik çapları donatı çaplarından 4, 6 ve 8 mm daha büyük açılacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 5.14).



**Şekil 5. 13.** Ankraj derinliklerinin matkap ucu üzerinde işaretlenmesi



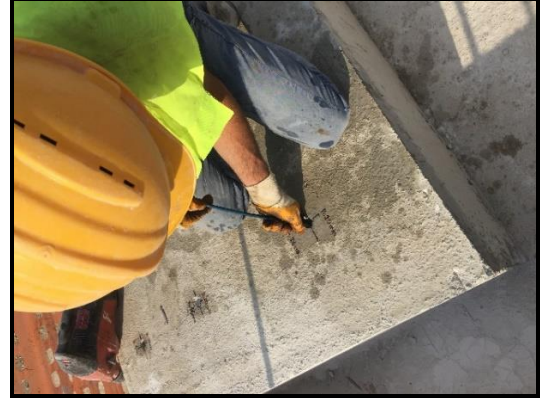


**Şekil 5. 14.** Ankraj deliklerinin hazırlanması

Ankrajların ekileceği delikler açıldıktan sonra, açılan delikler hiç temizlenmeden, su ve hava ile temizlenerek ankrajların ekilme işlemine hazır hale getirilmiştir. Hava ile temizlenecek numuneler kompresör yardımıyla deliklerin içerisine hava basılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.15). Kompresör ile temizlenen delikler harbi ile içerisinde son tozlardan arındırılmıştır. Su ile temizlenecek numuneler hortum yardımıyla deliğin içerisine su basarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.16). Su ile tamamen temizlenen deliklerdeki su bez yardımıyla içerisinden çekilmiştir. İçerisinden su çekilen delikler 1 gün süreyle suyun kuruması için bekletilmiştir. Temizlenmemiş numunelerin içerisine delik etrafındaki tozun girmemesi için delik kapatılarak etrafındaki tozlar temizlenmiştir (Şekil 5.17).



**Şekil 5. 15.** Ankraj deliklerinin hava ile temizlenmesi

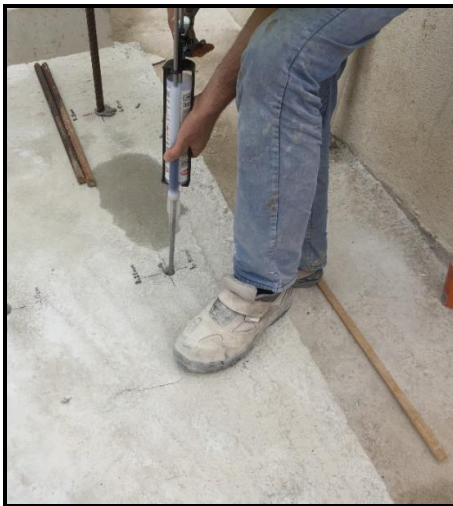


**Şekil 5. 16.** Ankraj deliklerinin su ile temizlenmesi



**Şekil 5. 17.** Temizlenmemiş numunelerde ankraj deliklerin etrafındaki tozun temizlenmesi

Ankrajların ekilmesine hazır hale getirilen delikler içerisine kimyasal yapıştırıcı ilave edilerek taban betonu üzerinden 50 cm çıkacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 5.18).



**a1**



**a2**



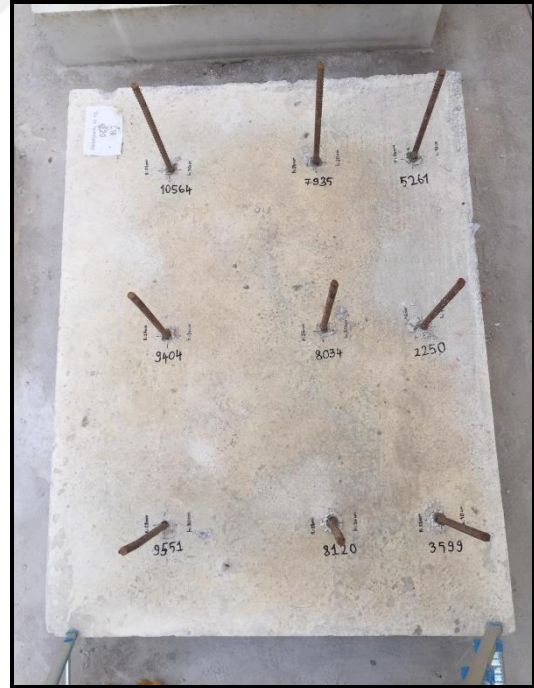
b

Şekil 5. 18. a1, a2, b: Ankrāj donatılarının ekilmesi, Ekilen donatıların genel görünümü

Konya Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarından temin edilen deney düzeneği ile çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır (Şekil 5.19). Ortası delik hidrolik kriko ile sabitlenen ankrāj donatısı aksenal olarak (F kuvveti ile) çekilmiştir. Yük ölçer tarafından sıyrıлма ve göçme durumuna kadar uygulanan kuvvet okunmuştur.



a



b

Şekil 5. 19. a, b: Çekip çıkarma deneyleri, Yapılan deney sonucu genel görünüm

## 6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez çalışmasında yapılan deneysel çalışmalar ve bu deneysel çalışma akıllı sistemler ile çözülerek bulgular elde edilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen değerler grafikler ve tablolar yardımıyla açıklanmıştır. Çalışma kapsamında ek olarak geçmiş çalışmalarda kimyasal ankrajların çekme kapasiteleri ile ilgili yapılan modeller ile deneysel ve akıllı sistemler ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

### 6.1. Deneysel Çalışma

Tez çalışmasında farklı beton sınıfları, farklı donatı çapı, farklı ankraj derinlikleri, deliklerin çağları ve temizlik değişkenleri dikkate alınarak kimyasal ankrajların aksel çekme altındaki davranışlarını gözlemlemek için deneyler yürütülmüştür.

Deneysel çalışmada kullanılan deney numuneleri çekip çıkarma deneyine tabi tutularak ankraj kuvvetleri ölçülmüştür. Tüm deney numuneleri için elde edilen deneylerden maksimum ankraj kuvveti ölçülerek, bu değerler düşük dayanımlı beton için Çizelge 6.1, yüksek dayanımlı beton için Çizelge 6.2’de verilmiştir.

**Çizelge 6. 1.** Düşük dayanımlı beton sınıfı için ankraj deneylerinin dayanım sonuçları

Donatı Çapı Ø (mm)	Derinlik	Delik Çapı (+ mm)	Temizlik	Yük Değerleri (kg)
20	5Ø	4	Su (ST)	5261
			Hava (HT)	2361
			Temizlenmemiş (TM)	396
		6	Su (ST)	2250
			Hava (HT)	1789
			Temizlenmemiş (TM)	253
		8	Su (ST)	3599
			Hava (HT)	1851
			Temizlenmemiş (TM)	137
	10Ø	4	Su (ST)	7935
			Hava (HT)	3357
			Temizlenmemiş (TM)	795
		6	Su (ST)	8034
			Hava (HT)	3468
			Temizlenmemiş (TM)	1624
		8	Su (ST)	8120
			Hava (HT)	3300
			Temizlenmemiş (TM)	1031
	15Ø	4	Su (ST)	10564
			Hava (HT)	7786
			Temizlenmemiş (TM)	2505
		6	Su (ST)	9404
			Hava (HT)	1539*
			Temizlenmemiş (TM)	2750
8		Su (ST)	9551	
		Hava (HT)	3933	
		Temizlenmemiş (TM)	875	
16	5Ø	4	Su (ST)	1717
			Hava (HT)	754
			Temizlenmemiş (TM)	780
		6	Su (ST)	2200
			Hava (HT)	1544
			Temizlenmemiş (TM)	551
		8	Su (ST)	2038
			Hava (HT)	1636
			Temizlenmemiş (TM)	1091
	10Ø	4	Su (ST)	4000
			Hava (HT)	2898
			Temizlenmemiş (TM)	890
		6	Su (ST)	4327
			Hava (HT)	4092
			Temizlenmemiş (TM)	1609
		8	Su (ST)	5645
			Hava (HT)	2714
			Temizlenmemiş (TM)	1307
	15Ø	4	Su (ST)	3938*
			Hava (HT)	3660
			Temizlenmemiş (TM)	2315
		6	Su (ST)	7925
			Hava (HT)	5239
			Temizlenmemiş (TM)	670
8		Su (ST)	6917	
		Hava (HT)	4737	
		Temizlenmemiş (TM)	2863	

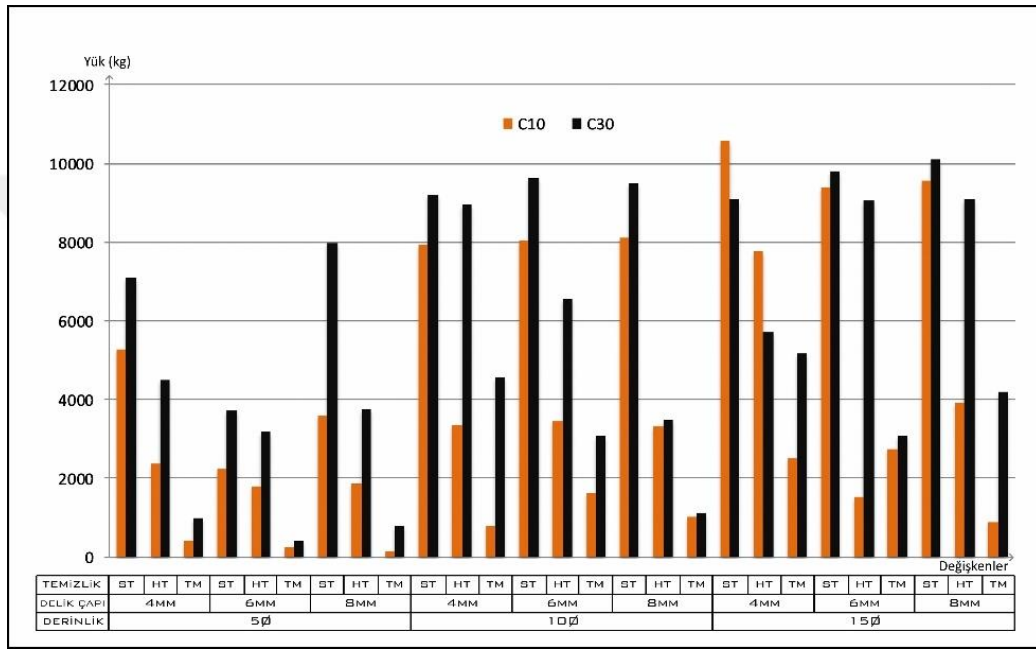
\*Deney Esnasında Oluşan Hatalı Değerler

**Çizelge 6. 2.** Yüksek dayanımlı beton için ankraj deneylerinin dayanım sonuçları

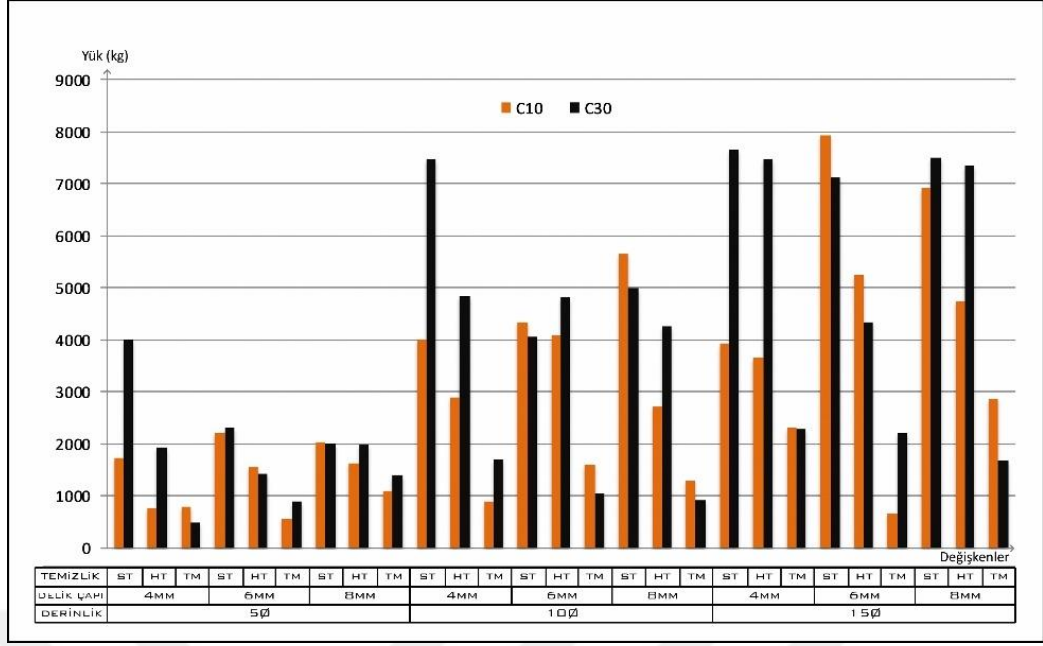
Donatı Çapı Ø (mm)	Derinlik	Delik Çapı (+ mm)	Temizlik	Yük Değerleri (kg)
20	5Ø	4	Su (ST)	7083
			Hava (HT)	4502
			Temizlenmemiş (TM)	990
		6	Su (ST)	3715*
			Hava (HT)	3165
			Temizlenmemiş (TM)	418
		8	Su (ST)	7963
			Hava (HT)	3750
			Temizlenmemiş (TM)	783
	10Ø	4	Su (ST)	9188
			Hava (HT)	8963
			Temizlenmemiş (TM)	4581
		6	Su (ST)	9644
			Hava (HT)	6557
			Temizlenmemiş (TM)	3083
		8	Su (ST)	9498
			Hava (HT)	3498
			Temizlenmemiş (TM)	1112
	15Ø	4	Su (ST)	9093
			Hava (HT)	5714
			Temizlenmemiş (TM)	5172
		6	Su (ST)	9798
			Hava (HT)	9068
			Temizlenmemiş (TM)	3083
8		Su (ST)	10100	
		Hava (HT)	9095	
		Temizlenmemiş (TM)	4205	
16	5Ø	4	Su (ST)	3995
			Hava (HT)	1921
			Temizlenmemiş (TM)	493
		6	Su (ST)	2308
			Hava (HT)	1432
			Temizlenmemiş (TM)	894
		8	Su (ST)	2010
			Hava (HT)	1986
			Temizlenmemiş (TM)	1403
	10Ø	4	Su (ST)	7476
			Hava (HT)	4841
			Temizlenmemiş (TM)	1700
		6	Su (ST)	4044
			Hava (HT)	4824
			Temizlenmemiş (TM)	1052
		8	Su (ST)	4989
			Hava (HT)	4271
			Temizlenmemiş (TM)	915
	15Ø	4	Su (ST)	7647
			Hava (HT)	7479
			Temizlenmemiş (TM)	2284
		6	Su (ST)	7131
			Hava (HT)	4337
			Temizlenmemiş (TM)	2207
8		Su (ST)	7503	
		Hava (HT)	7357	
		Temizlenmemiş (TM)	1672	

\*Deney Esnasında Oluşan Hatalı Değerler

Yapılan deneysel çalışmada kimyasal bağlantılı olarak ekilen ankraj donatılarının farklı beton sınıflarına ait değişimler delik çapları, derinlik ve temizlik parametreleri dikkate alınarak, bu ankraj donatılarının maksimum aderans kuvvetleri Ø20 için Şekil 6.1, Ø16 donatı için Şekil 6.2’de verilmiştir. Deneysel sonuçları incelendiğinde beklendiği gibi orta-yüksek dayanımlı beton sınıfına (C30) ait elde edilen ankraj kuvvetlerinin, düşük dayanımlı beton sınıfına (C6-C8) göre daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



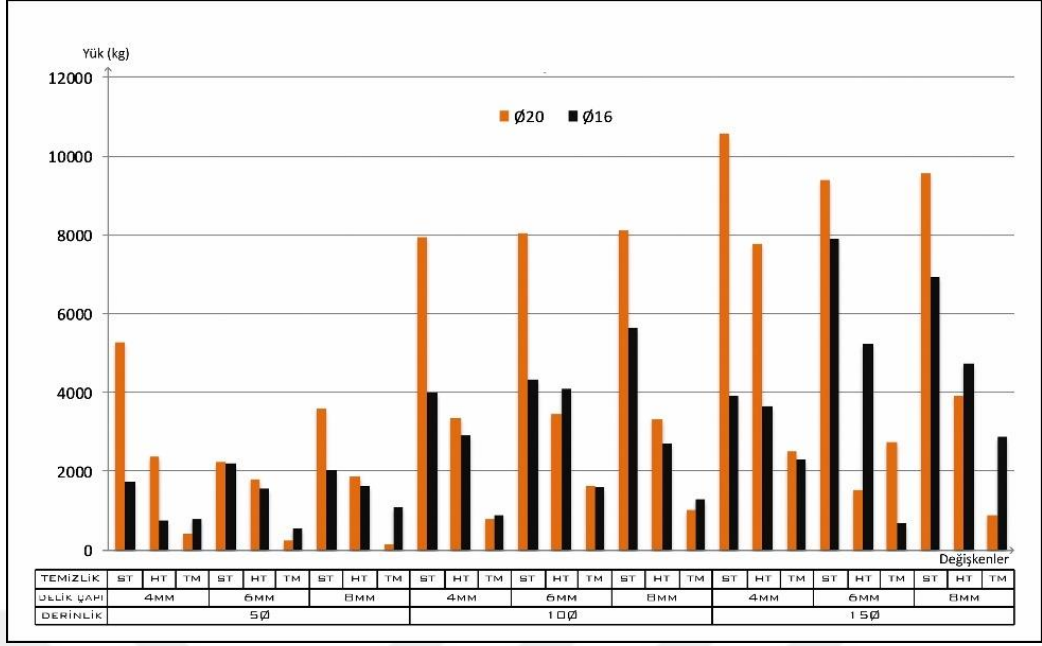
Şekil 6.1. Ø20 donatı için yüksek ve düşük dayanımlı beton sınıfları arasındaki aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması



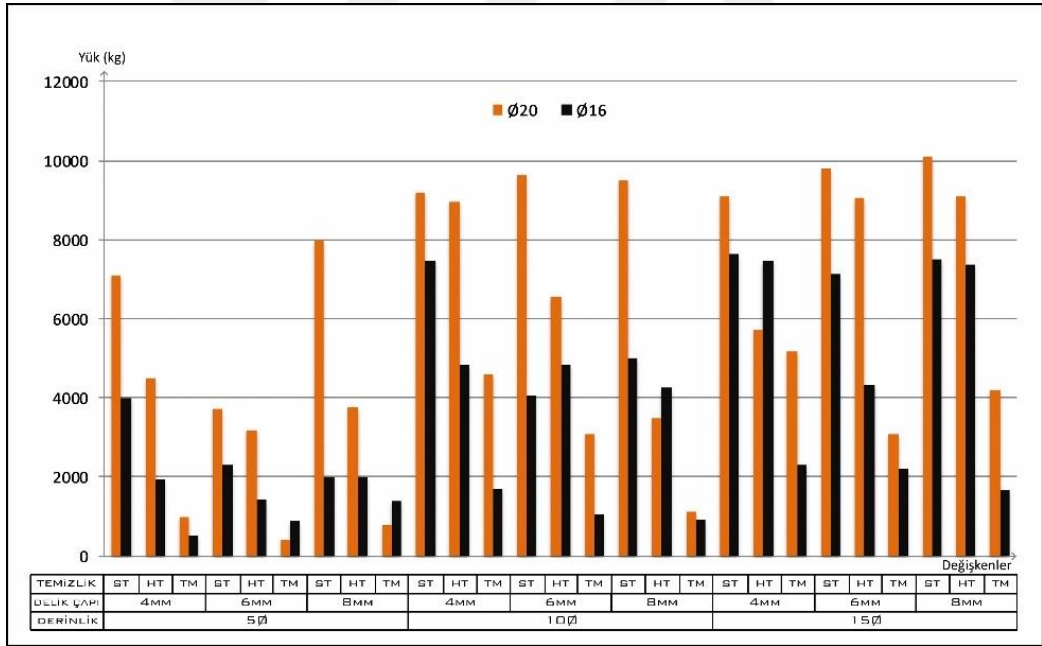
Şekil 6.2. Ø16 donatı için yüksek ve düşük dayanımlı beton sınıfları arasındaki aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması

Donatı çapının etkisini gözlemlemek amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen maksimum aderans kuvvetleri düşük dayanımlı beton için Şekil 6.3, yüksek dayanımlı beton için ise Şekil 6.4’de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde Ø20 donatı çapına ait elde edilen ankraj kuvvetlerinin, Ø16 donatı çapına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.





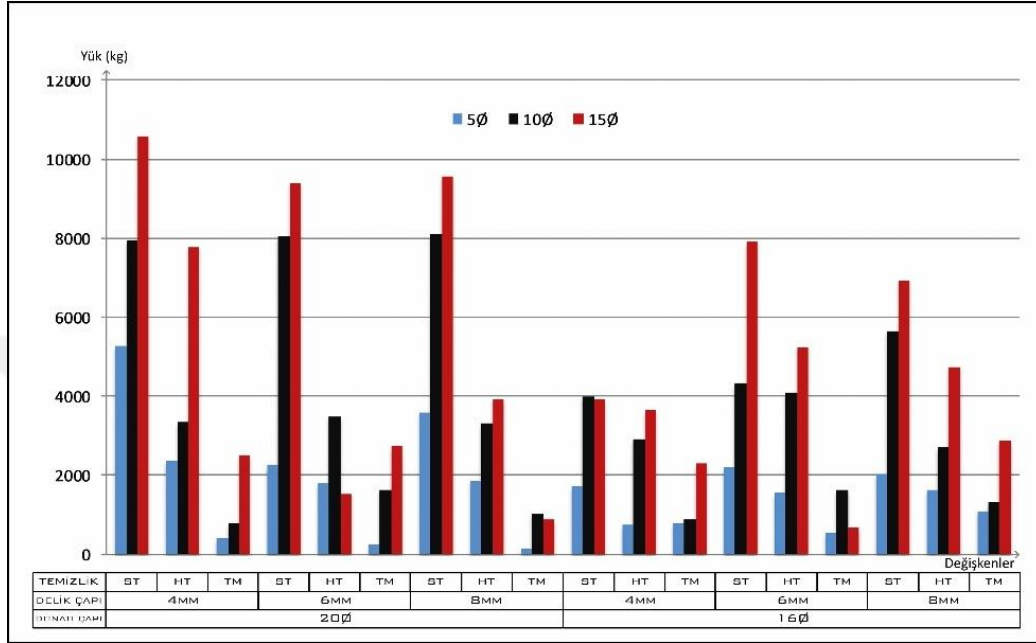
Şekil 6.3. Düşük dayanımlı beton sınıfı için Ø16 ve Ø20 donatıları arasındaki aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması



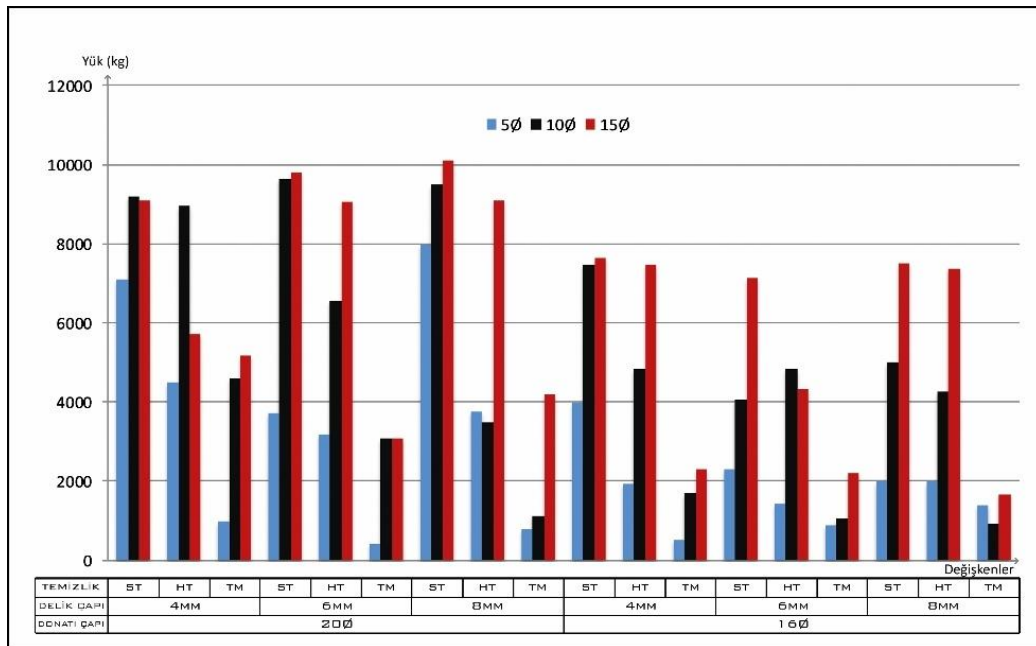
Şekil 6.4. Yüksek dayanımlı beton sınıfı için Ø16 ve Ø20 donatıları arasındaki aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması

Ekilen donatıların derinlik parametresinin etkisini gözlemlemek amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen maksimum aderans kuvvetleri düşük dayanımlı beton sınıfı için Şekil 6.5, yüksek dayanımlı beton sınıfı için Şekil 6.6'da verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde 15Ø derinliğinde ekilen donatıların 10Ø derinliklerinde

ekilen donatılara göre yaklaşık %40 ile %70 arasındaki değerlerde yüksek ankraj kuvvetlerine sahip oldukları görülmektedir. Benzer şekilde 10Ø derinliğinde ekilen donatıların 5Ø derinliğinde ekilen donatılara göre yaklaşık %50 ile %100 oranında daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

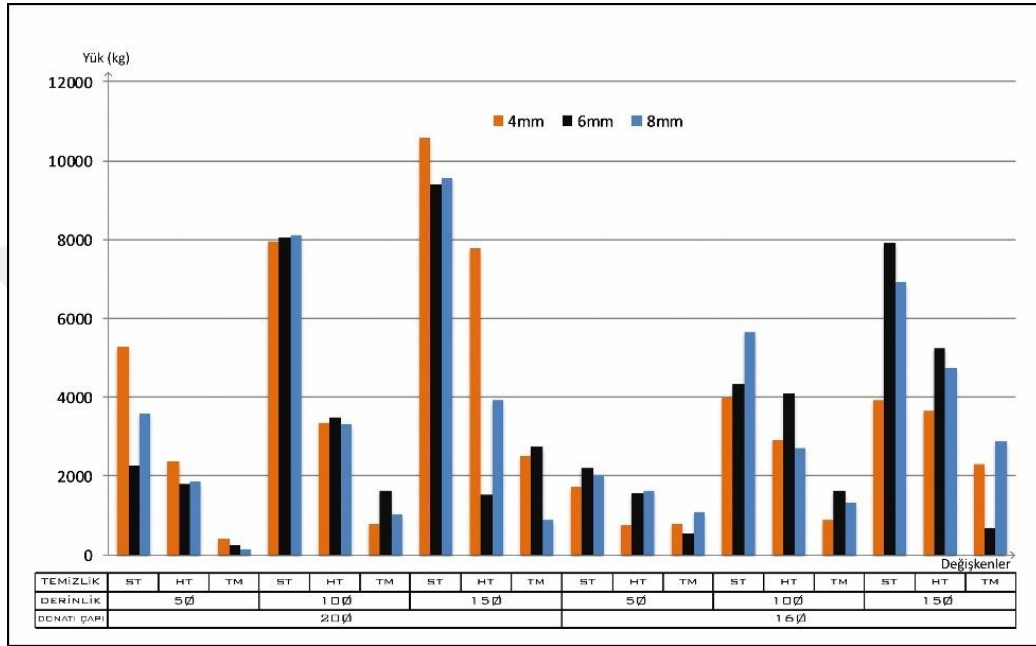


Şekil 6.5. Düşük dayanımlı beton sınıfı için 5Ø, 10Ø ve 15Ø derinliklerinde ekilen ankrajların aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması

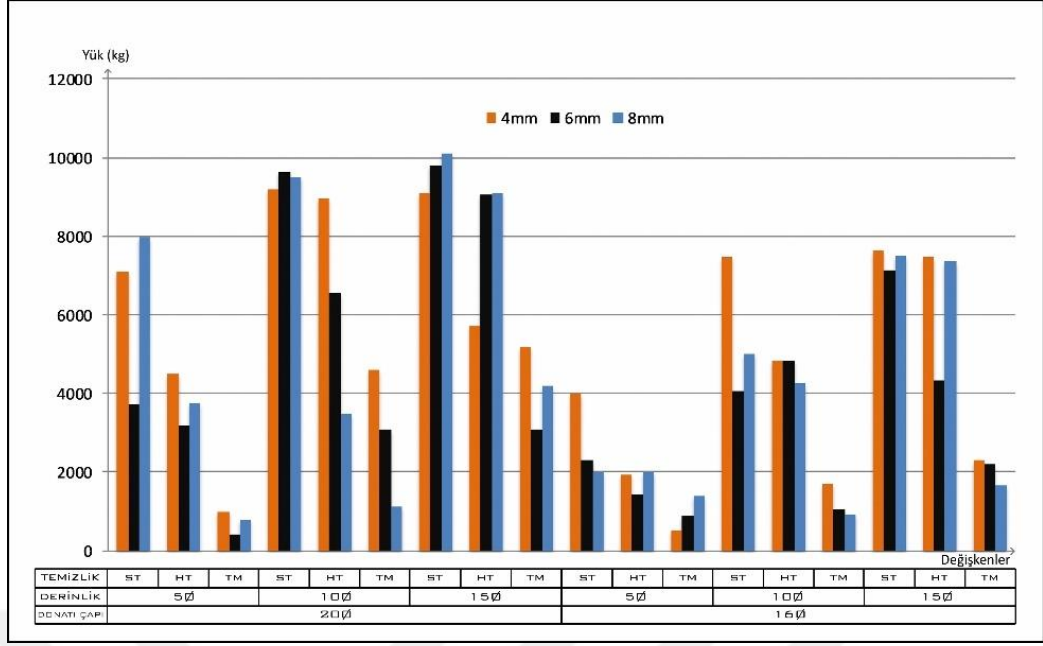


Şekil 6.6. Yüksek dayanımlı beton sınıfı için 5Ø, 10Ø ve 15Ø derinliklerinde ekilen ankrajların aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması

Ekilen donatıların delik çaplarının etkisini gözlemek amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen maksimum aderans kuvvetleri düşük dayanımlı beton sınıfı için Şekil 6.7, yüksek dayanımlı beton için Şekil 6.8’de verilmiştir. Delik çaplarının donatı çapından daha büyük şekilde açılmasının aderans kuvvetlerini aynı ölçüde etkilemediği görülmektedir.

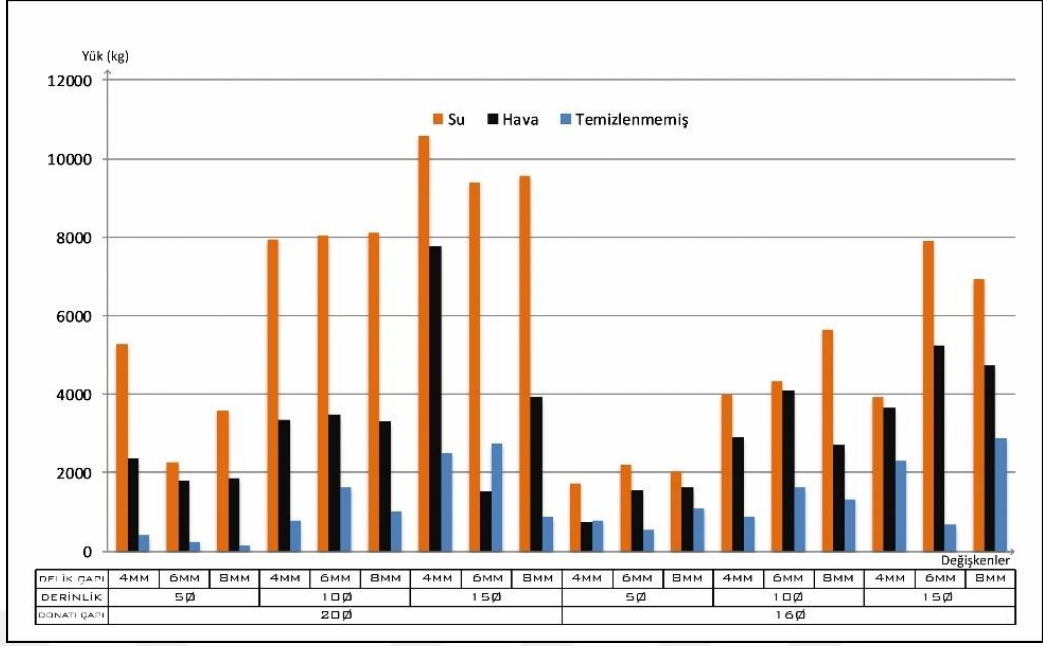


Şekil 6.7. Düşük dayanımlı beton sınıfı için donatı çapından 4 mm,6mm ve 8 mm büyük olacak şekilde delik çaplarında ekilen ankrajların aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması

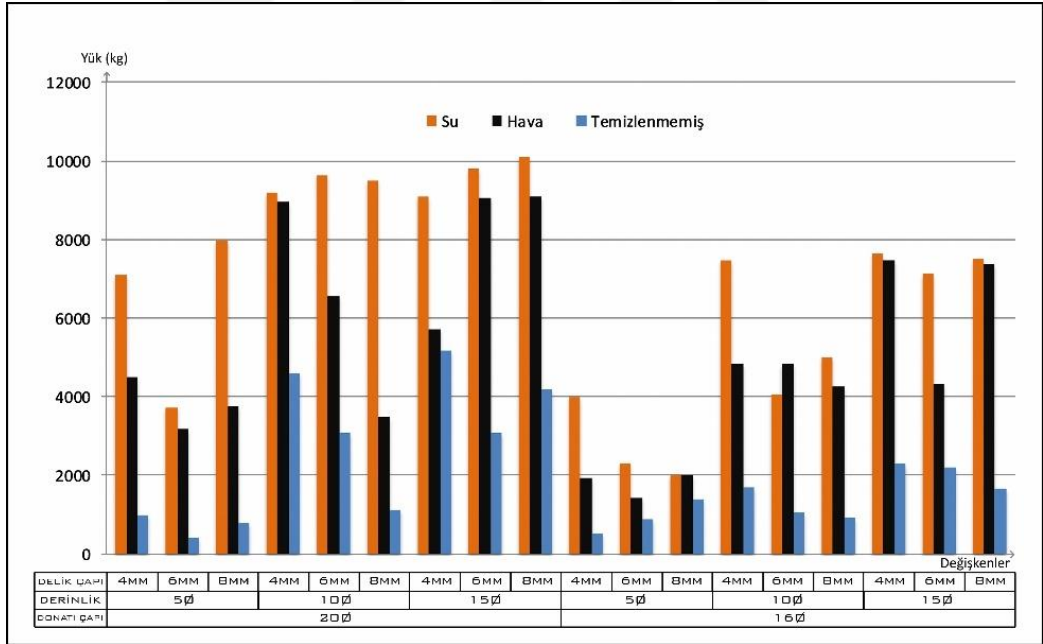


**Şekil 6.8.** Yüksek dayanımlı beton sınıfı için donatı çapından 4 mm,6mm ve 8 mm büyük olacak şekilde delik çaplarında ekilen ankrajların aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması

Donatıların ekileceği deliklerin temizliğinin aderans kuvvetine etkisini gözlemlemek amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen maksimum aderans kuvvetleri düşük ve yüksek dayanımlı betonlar için sırasıyla Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir. Su ile temizlenen deliklere ekilen donatıların aderans kuvvetleri hava ile temizlenen deliklere ekilen donatılara göre daha yüksek ankraj kuvvetlerine sahi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda su ve hava ile temizlenen deliklere ekilen donatıların deliklerin hiç temizlenmeden ekilen donatılara göre önemli ölçüde yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.9. Düşük dayanımlı beton sınıfı için delikler su, hava ve temizlenmemiş olarak ekilen ankrajların aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması






Şekil 6.10. Yüksek dayanımlı beton sınıfı için delikler su, hava ve temizlenmemiş olarak ekilen ankrajların aderans kuvvetlerinin karşılaştırılması

Çekilen ankraj numunelerinin göçme durumları incelendiğinde 5Ø derinliğinde ekilen ankraj donatılarında genel olarak donatı sıyrılarak taban betonundan ayrıldığı gözlemlenmiştir. Temizlenmemiş deliklere ekilen donatılar belli oranlarda sıyrılarak

taban betonundan ayrılmıştır. Çizelge 6.3’de yapılan deneyler sonucu oluşan göçme durumları verilmiştir.

**Çizelge 6.3.** Deneyler sonucu ankraj çubuklarında göçme durumları

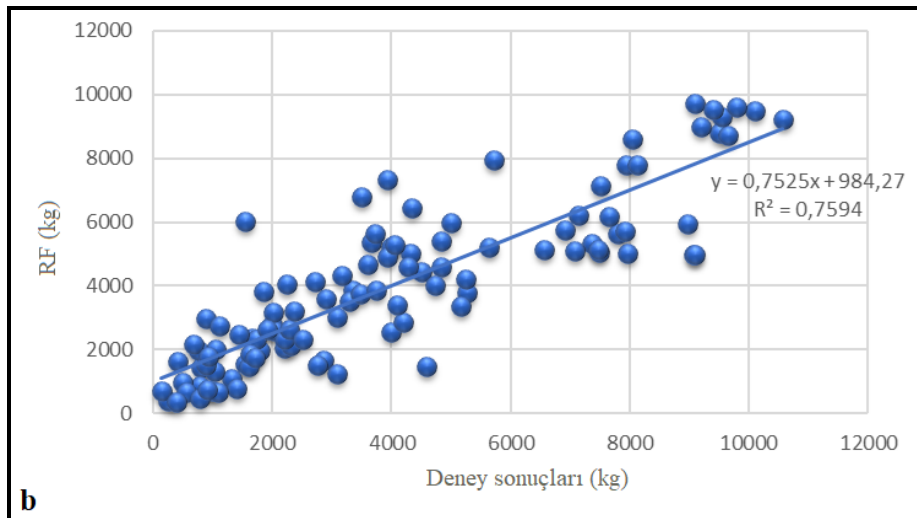
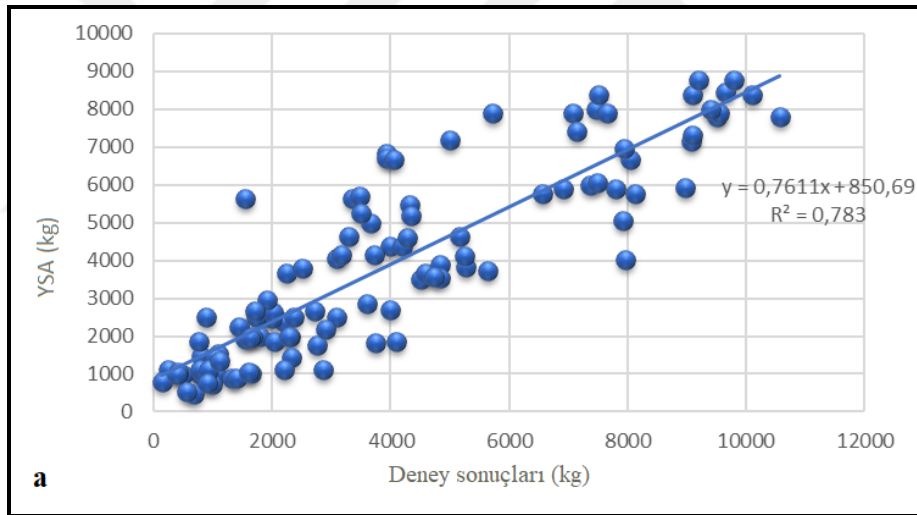
Numune Özelliği	Kırılma Tipleri	Görülme Sıklığı	Şematik Gösterim
<b>Temizlenmemiş Deliklere 5Ø Derinliğinde Ekilen Donatılar</b>	<b>Sıyırılma</b>	%4,6	
<b>Temizlenmemiş Deliklere Ekilen Tüm Derinliklerde ve Su, Hava ile Temizlenmiş Deliklere Ekilen 5Ø, 10Ø Derinliğine Sahip Numunelerde</b>	<b>Betonda Konik Kırılma ve Sıyırılma</b>	%77,8	
<b>Su ve Hava ile Temizlenmiş Deliklere 15Ø Derinliğinde Ekilen Numunelerde</b>	<b>Donatıda kopma (Sıyırılma Yok)</b>	%17,6	

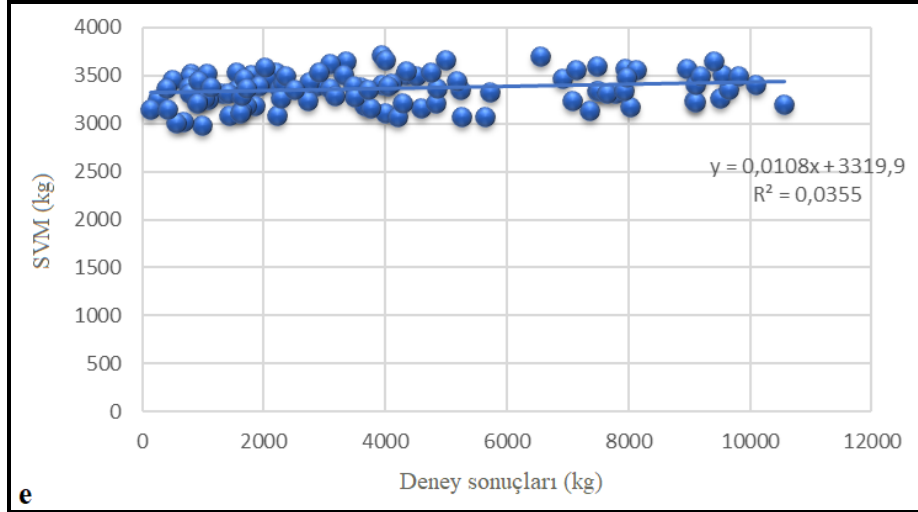
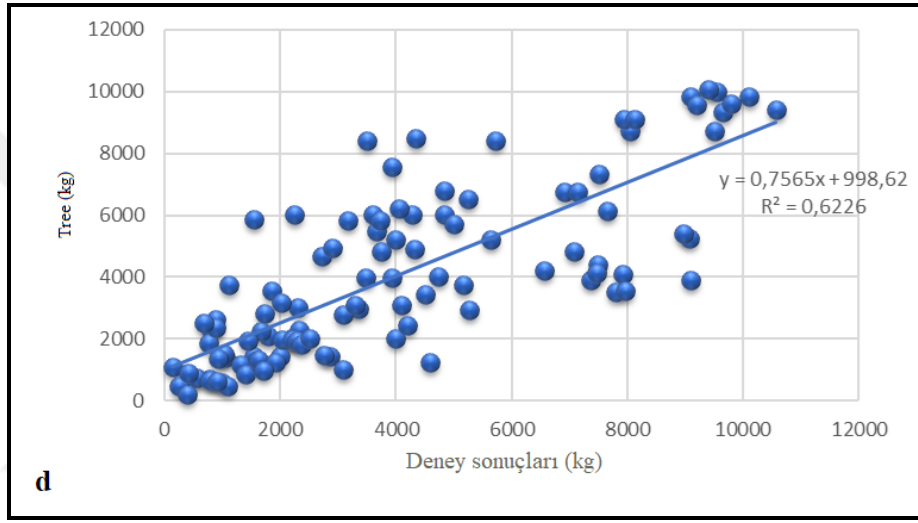
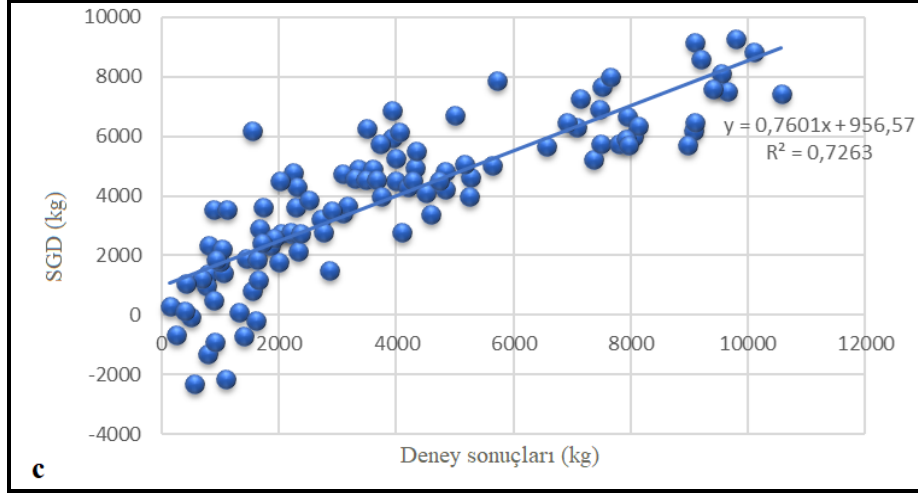
Çekilen ankraj numunelerinin göçme durumları incelendiğinde 5Ø derinliğinde ekilen ankraj donatılarında genel olarak donatı sıyrılarak taban betonundan ayrıldığı gözlemlenmiştir. Temizlenmemiş deliklere ekilen donatılar belli oranlarda sıyrılarak taban betonundan ayrılmıştır.

## 6.2. Analitik Çalışma

### 6.2.1. Ankrajların çekme kapasitelerinin yapay zeka tabanlı algoritmalar ile belirlenmesi

Akıllı sistemler insan zekasını modelleyerek anlama, düşünme ve anlam çıkartma gibi insana ait yetenekleri bilgisayara veya bir makineye kazandırabilmektedir. Bu kapsamda bu deneysel çalışmada kullanılan tüm parametrelerin sonucunda elde edilen veriler SVM, Tree, RF, YSA ve SGD algoritmaları ile hesaplanarak sonuçlar çıkartılmıştır. Yapılan akıllı sistemlerde test verisi deney verilerinin %10'u olarak belirlenmiştir. Deney verilerinin kalan %90'lık kısmı eğitim amacıyla kullanılmıştır. Şekil 6.11'de deneysel verilerle algoritmaların bulduğu sonuçların karşılaştırılması ayrı ayrı verilmiştir.



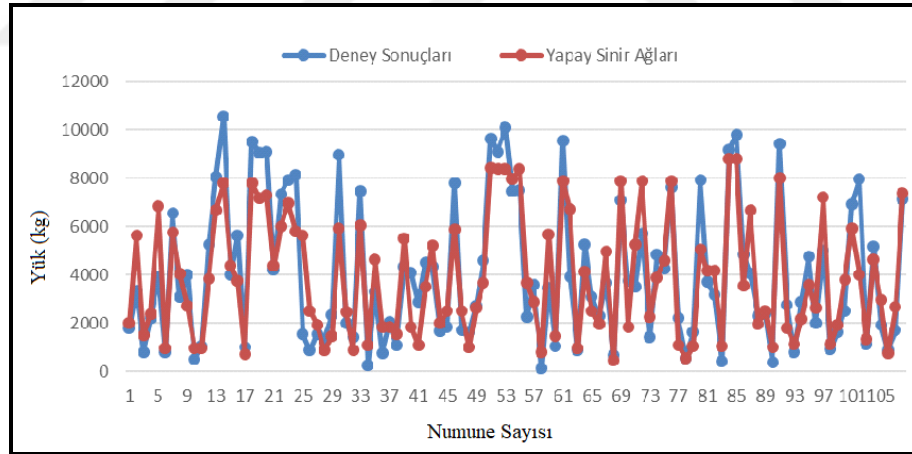


Şekil 6. 11. a, b, c, d, e: YSA algoritması, RF algoritması, SGD algoritması, Tree ve SVM algoritması ile elde edilen değerler

$R^2$  determinasyon katsayısıdır. Gözlenen ve test edilen verilerin  $y=x$  doğrusuna (45° eğimli doğruya) olan yakınlığının bir ölçütüdür. Bu değer 1'e ilişkin pozitif



yönde güçlü olduğunu, -1'e yakınlığı negatif yönde güçlü olduğunu göstermektedir.  $R^2$  değerinin 0'a yakın olması ilişkinin başarısız olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde  $R^2$  değeri en yüksek olan algoritma yapay sinir ağları olmaktadır.  $R^2$  değerleri yüksekten düşüğe sırasıyla % olarak YSA için 78.3, RF için 75.9, SGD için 72.6 ve Tree için 62.2 olarak hesaplanmıştır. SVM algoritmasından ise bu çalışma için anlamlı bir sonuç alınamamıştır. SVM algoritması çalışma sonucunda doğru sonuç vermemiştir. Bu çalışma doğrultusunda YSA kullanılarak elde edilen sonuçlar dikkate alındığında ortalama doğru sınıflandırma oranı %78,3 olarak belirlenmiştir (Şekil 6.11). YSA'nın eğitiminde Multi Layer Perceptron (MLP) yöntemi kullanılmıştır. MLP karmaşık doğrusal olmayan problemler için kullanılmaktadır. MLP yönteminde girdi düğümleri dış dünyadan ağa bilgi sağlamaktadır. Giriş düğümlerinden hiçbirinde hesaplama yapılmaz, değerler gizli düğümlere aktarılır. Gizli düğümler hesaplamaları yapıp çıkış düğümlerine bilgileri aktarmaktadır. Çalışma kapsamında MLP modelinde aktivasyon fonksiyonu olarak logistik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Gizli katmanda nöron sayısı olarak 10, iterasyon sayısı olarak 500 seçilmiştir.



Şekil 6.12. Deneysel çalışma ve YSA ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Deneysel çalışma ve YSA ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, deneysel çalışmada elde edilen yüksek değerlerin, yapay sinir ağlarında bu değerlerden daha aşağıda olduğu gözlemlenmektedir. Deneysel çalışmadaki düşük çıkan değerler ise YSA'da da benzer şekilde düşük olarak kalmaktadır (Şekil 6.12).

## 6.2.2. Ankrajların çekme kapasitelerinin analitik olarak belirlenmesi

Kimyasal ankrajların çekme dayanımlarının belirlenmesi için geçmişte birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde Eligehausen ve ark. (1984) beton konisi metodu, ACI 349'da 35° koni metodu ve Fuchs ve ark. (1995) CCD metodu ile ankrajların çekme kapasiteleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.4). Sıyrılma ve koni durumunun beraber oluşması durumunda elastik bağ teorisi kullanıldığında Denklem 3.7'de kullanılmaktadır. Bu deneysel çalışmada yer değiştirme incelenmediğinden elastik bağ teoremi çalışma kapsamında kullanılmamıştır.

Deneysel çalışmada ve YSA algoritmasında elde edilen veriler ile geçmiş çalışmalarda göçme durumlarına göre ortaya çıkartılan modeller kıyaslanmıştır (Şekil 6.13). Çizelge 6.4 ve 6.5'de toplamda 12 adet örnek alınmıştır çünkü kimyasal ankrajların çekme kapasitelerinin belirlenmesi kapsamında çalışmada kullanılan tasarım modelleri incelendiğinde denklemlerin ankraj derinliği ve betonun basınç dayanımlarına bağlı olduğu görülmektedir. Bu yüzden açılan deliklerin temizliği ve açılan deliklerin büyüklüğü dikkate alınmamıştır.

**Çizelge 6.4.** Yüksek dayanımlı beton için deneysel ve analitik yöntemlere göre kimyasal ankrajların çekme kapasiteleri

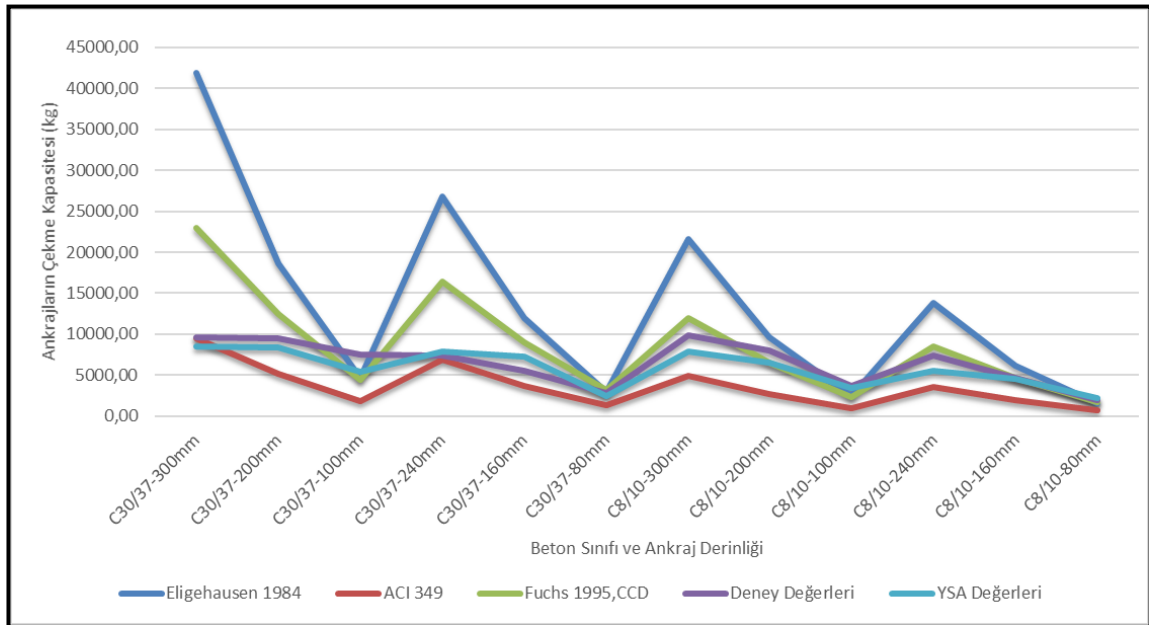
Amaçlanan Beton Sınıfı	Ankraj Derinliği (mm)	Analitik Çalışma			Deneysel Sonuçları (kg)	Ortalama (kg)	YSA Sonuçları (kg)	Ortalama (kg)
		Eligehausen, 1984 (kg)	ACI 349, 1997 (kg)	Fuchs 1995, CCD (kg)				
		$P_u = 0,85h_{ef}^2 \sqrt{f_c}$	$P_k = 0,96\sqrt{f_{cc}}\pi h_d^{3/2}$	$P_c = k\sqrt{f_{cc}}h_d^{3/2}$				
C30/37	300	41900,78	9532,43	22929,11	9093,00	9663,67	8382,05	8513,99
					9798,00		8777,88	
					10100,00		8382,05	
C30/37	200	18622,57	5188,80	12481,03	9188,00	9443,33	8777,88	8334,66
					9644,00		8431,37	
					9498,00		7794,73	
C30/37	100	4655,64	1834,52	4412,71	7083,00	7523,00	7890,93	5349,97
					7963,00		4007,30	
					3715*		4151,67	
C30/37	240	26816,50	6820,86	16406,73	7647,00	7427,00	7890,93	7891,08
					7131,00		7400,27	
					7503,00		8382,05	
C30/37	160	11918,44	3712,80	8930,69	7476,00	5503,00	7979,44	7282,22
					4044,00		6667,47	
					4989,00		7199,74	
C30/37	80	2979,61	1312,67	3157,48	3995,00	2771,00	2702,99	2442,50
					2308,00		1977,94	
					2010,00		2646,58	

\*Deney Esnasında Oluşan Hatalı Değerler

**Çizelge 6.5.** Düşük dayanımlı beton için deneysel ve analitik yöntemlere göre kimyasal ankrajların çekme kapasiteleri

Amaçlanan Beton Sınıfı	Ankraj Derinliği (mm)	Analitik Çalışma			Deneysel Sonuçları (kg)	Ortalama (kg)	YSA Sonuçları (kg)	Ortalama (kg)
		Eligehausen, 1984 (kg)	ACI 349, 1997 (kg)	Fuchs 1995, CCD (kg)				
		$P_u = 0,85h_{ef}^2 \sqrt{f_c}$	$P_k = 0,96\sqrt{f_{cc}}\pi h_d^{3/2}$	$P_c = k\sqrt{f_{cc}}h_d^{3/2}$				
C8/10	300	21637,47	4955,68	11920,28	10564,00	9839,67	7794,73	7896,41
					9551,00		7888,93	
					9404,00		8005,56	
C8/10	200	9616,65	2697,53	6488,58	8034,00	8029,67	6663,73	6472,67
					8120,00		5778,83	
					7935,00		6975,44	
C8/10	100	2404,16	953,72	2294,06	3599,00	3703,33	2872,69	3453,70
					5261,00		3830,92	
					2250,00		3657,49	
C8/10	240	13847,98	3545,99	8529,45	3938*	7421,00	5620,00	5527,28
					6917,00		5904,65	
					7925,00		5057,19	
C8/10	160	6154,66	1930,19	4642,85	4000,00	4657,33	4383,16	4537,88
					4327,00		5484,95	
					5645,00		3745,53	
C8/10	80	1538,66	682,43	1641,49	1707,00	1981,67	2487,47	2238,55
					2200,00		2383,14	
					2038,00		1845,05	

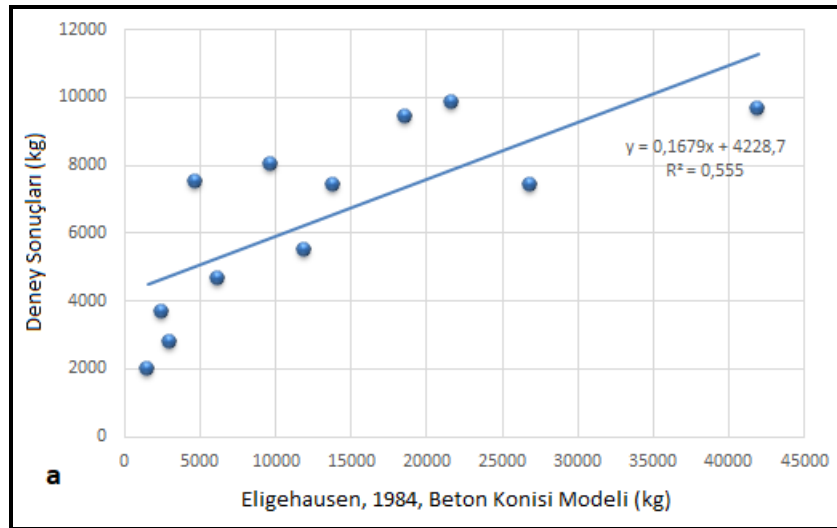
\*Deneysel Esnasında Oluşan Hatalı Değerler

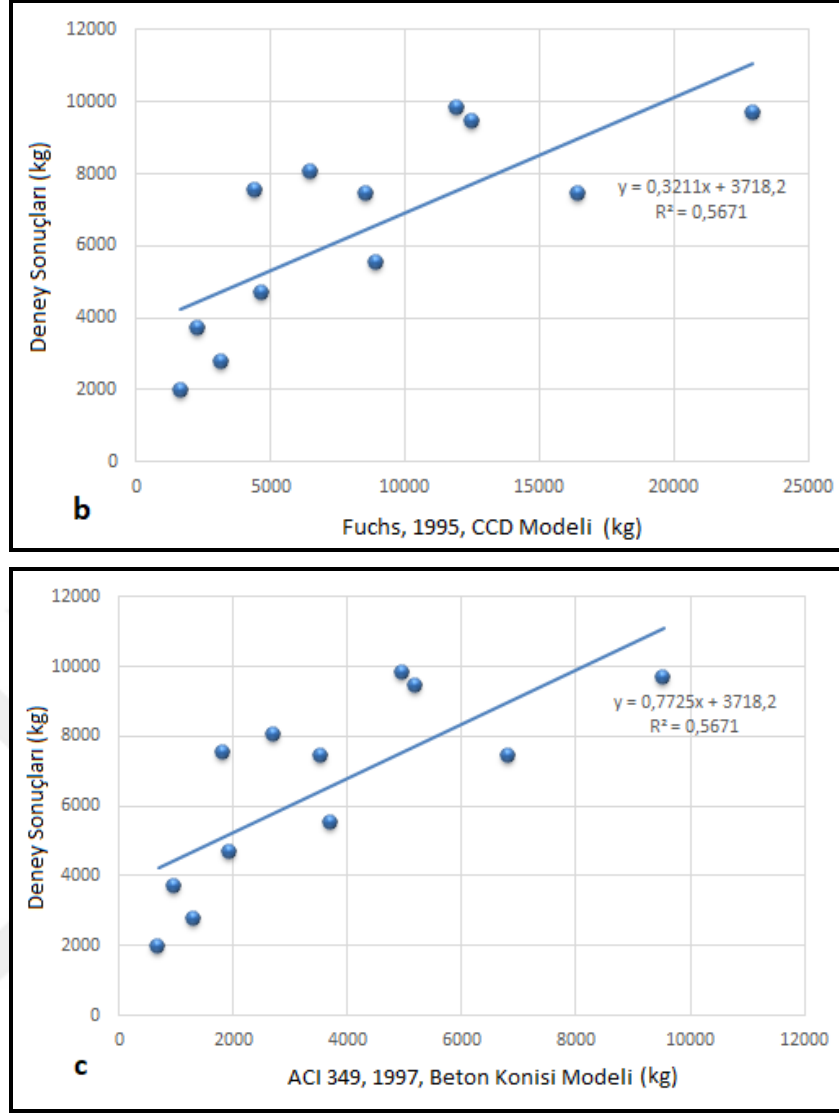


**Şekil 6. 13.** Ankrajların çekme kapasitelerinin deneysel ve analitik olarak karşılaştırılması

Şekil 6.13’de kimyasal ankrajların çekme kapasitelerinin belirlenmesinde Eligehausen ve ark. (1984) beton koni metodu ve Fuchs ve ark. (1995)’nin tasarladığı CCD metodu incelendiğinde derinliğinin düşük olduğu noktalarda deneyden elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Fakat ankraj derinliğinin 10Ø ve 15Ø olduğu derinliklerde diğer modellere ve deney verilerine göre çok daha yüksek çekme kapasitesi vermektedir. ACI 349 beton koni modeli C8/10 sınıfına ait betonlarda elde edilen sonuçlar deney sonuçlarına göre düşük çıkmıştır. C30/37 sınıfına ait betonlarda ise ankraj derinliğinin 15Ø olduğu durumlarda ACI 349 deney sonuçlarına yakın çıkmaktadır.

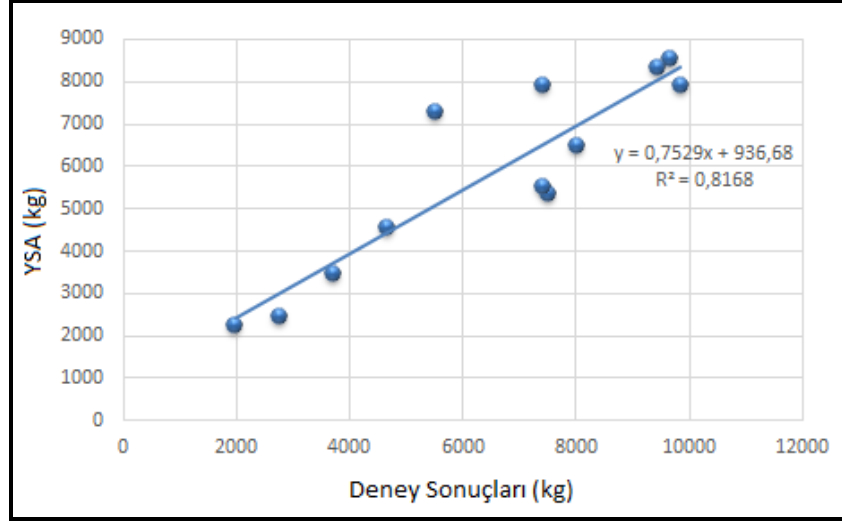
Şekil 6.14’de ankrajların çekme kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan koni modelleri ile deney sonuçları arasında  $R^2$  değerleri bulunmuştur.  $R^2$  değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın ve düşük çıkmaktadır.  $R^2$  değerlerinin düşük sonuç vermesi veri azlığı ve Eligehausen ile Fuchs’un yapmış olduğu çalışmalar incelendiğinde sadece konik olarak göçme durumunun olduğu numuneler hesaba katılmıştır. Ankraj derinliğinin artması çekip çıkarma direncini arttırdığından numunelerde konik olarak göçme durumu yaşanmamaktadır. Ankraj derinliğinin yüksek olduğu numunelerden dolayı  $R^2$  değerleri düşük çıkmaktadır.





**Şekil 6. 14. a, b, c :** Eligehausen (1984) beton koni modeli ve deney sonuçlarının karşılaştırılması, Fuchs (1995) beton konisi modeli ile deney sonuçlarının karşılaştırılması, ACI 349 (1997) CCD modeli ile deney sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 6.15’de diğer analitik yaklaşımlarda kullanılan 12 adet verinin YSA sonucu ile deneysel sonuçların ilişkisi gösterilmiştir.  $R^2$  değerinin %81.68 olarak elde edilmiş olması YSA’nın diğer yaklaşımlara göre daha üstün olduğunu da göstermektedir.



Şekil 6. 15. Deneysel sonuçlar ve YSA'dan elde edilen çekme kapasitelerinin karşılaştırılması

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında onarım ve güçlendirmede yaygın olarak kullanılan kimyasal ankrajların aksel çekme etkisi altında performansları farklı donatı çapları, beton sınıfları, ankraj derinlikleri, ankraj ekilecek olan bölgede yapılacak temizlik ve donatının ekileceği deliğin çapını düşünülerek deneysel ve analitik olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak üretilen ve gerçekleştirilen 108 adet çekip çıkarma deneyi sonuçları parametrelere bağlı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında ayrıca söz konusu deneysel veriler kullanılarak beş farklı akıllı sistem algoritması kullanılarak ankraj çekme kapasitesinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bununla beraber literatürde yer bulmuş üç farklı ampirik bağıntının da vermiş olduğu sonuçlar deneysel veriler ve YSA ile karşılaştırılmıştır.

### 7.1 Sonuçlar ve Öneriler

Kimyasal ankrajların en fazla kullanıldığı inşaat mühendisliği uzmanlık alanı olan yapısal güçlendirme işlemleri, Türkiye gibi deprem açısından riskli ve bir o kadar da yapı stoku şüpheli olan bir coğrafya da oldukça önemlidir. Güçlendirme ile ulaşılabilecek olan nihai deprem performansı özde mevcut yapı ile güçlendirmenin birlikte çalışıp çalışmadığına bağlıdır. Binaların üç boyutlu analitik modellemelerinde güçlendirme elemanları ile mevcut elemanların birbirlerine tam ankre oldukları (birleştikleri) kabul edilirler. Gerçekte uygulama esnasında bu birlikteliği etkileyecek çok fazla parametre vardır. Bu parametrelerin saptanması oldukça önemlidir. Bu motivasyon ile ortaya çıkan bu yüksek lisans tez çalışmasında gerçekleştirilen deneyler ve analitik çalışmalar ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Beton dayanımındaki artışın beklenildiği gibi ankraj kapasitesinde önemli bir şekilde etki yarattığı görülmüştür. Ekilen ankraj derinliğindeki artışa paralel olarak yapışma yüzeyinin de artması ankraj kapasitesini arttırmıştır. Ankraj çapının büyümesi aderans gerilmelerinin olduğu yüzey alanının büyümesine bağlı olarak benzer şekilde ankraj kapasitesini arttırmıştır.
2. Su ile temizlenmiş deliklere ekilen ankraj numunelerinin hava ile temizlenen numunelere göre önemli ölçülerde daha yüksek ankraj kapasitesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Temizlenmemiş deliklere ekilen



numuneler ise hava ve su ile temizlenen numunelere göre çok düşük ankraj kapasitesine ulaşmıştır. Temizlenmemiş deliklere ekilen numuneler dikkate alındığında ankraj ekiminde temizliğin çok önemli bir unsur olduğu görülmüştür.

3. Göçme durumları incelendiğinde 5Ø derinliğinde ekilen ankraj donatılarında genel olarak donatı sıyrılarak taban betonundan ayrıldığı gözlemlenmiştir. Temizlenmemiş numunelerde donatı belli oranlarda sıyrılarak taban betonundan ayrılmıştır. Su ve hava ile temizlenen deliklere ekilen 15Ø derinliğindeki numunelerde sıyrılma olmamaktadır.
4. Ankraj donatılarının ekilmesi için açılan delikler dikkate alındığında belirlenen donatı deliklerinin daha büyük açılmasının önemli değişikliklere neden olmadığı gözlemlenmektedir. Ancak bu değerlendirme daha küçük çaplarda açılan delikler için farklılıklar gösterebilir.
5. Tez çalışmasında deneysel çalışmada elde edilen veriler kullanılarak yapılan analitik çalışmada ankraj çekme kapasitesinin tahmininde YSA, SVM, SGD, RF, Tree gibi algoritmalar kullanılmıştır. Tüm numuneler değerlendirildiği zaman tahmin başarısı, YSA algoritması için %78.3, RF algoritması için %75.9, SGD algoritması için 72.6 ve Tree Algoritması için %62.2 olmuştur. Elde edilen veriler ile SVM algoritması denendiğinde ise sonuç vermemiştir. Analitik çalışma sonucu YSA algoritması diğer sınıflandırma sistemlerine göre daha yüksek sonuç vermiştir.
6. Bu çalışmada kimyasal ankrajların çekme kapasitesini belirlemek için yapılan geçmiş tasarım modelleri ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ve YSA algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. ACI 349 beton koni metodu ile elde edilen değerler C30 beton sınıfına ait 15Ø derinliğindeki numuneler ile benzer sonuçlar vermiştir. Eligehausen ve ark. (1984) koni metodu ve Fuchs ve ark. (1995)'nin tasarladığı CCD metodu 5Ø derinliğine ait numunelerde deney verilerine yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır fakat 10Ø ve 15Ø derinliğinde ekilen numunelerde sonuçlar arasında ciddi farklar bulunmaktadır. Genel olarak Eligehausen ve ark. (1984) koni metodu düşük derinliklerde ekilen numunelerde daha başarılı iken ACI 349 koni metodu ise daha yüksek

derinliklerde ekilen numunelerde başarılı sonuçlar vermektedir.  $R^2$  değerleri, Eligehausen ve ark. (1984) beton konisi metodu için 55.5, ACI 349'da  $35^\circ$  koni metodu için 56.71, Fuchs ve ark. (1995) CCD metodu için 56.71 olarak hesaplanmıştır. Analitik yaklaşımların kullanıldığı 12 adet deney için YSA sonuçlarına bakıldığı zaman ise YSA'nın başarı oranının %81.68 olduğu görülmektedir.

7. İleriki çalışmalarda verilerin farklı parametreler kullanılarak daha da çeşitlendirilmesi önemlidir. Kapasite kuvvetini agrega türü (hafif, ağır, düz yüzeyli, kırma vs.) yükleme hızı, ankrajın konumu, ankrajın açısı, kullanılan yapıştırıcının türü gibi faktörler de ilave edilerek çeşitlendirme yapılabilir. Literatürde çok fazla ele alınmayan temizlik faktörünün en önemli faktör olmasından dolayı sonraki çalışmalarda kimyasal yapıştırıcının mekanik ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak ıslak yüzeyler ile ilgili deneyler yapılabileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ACI Committe 349-97, 1997**, Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures, *American Concrete Institute*, Detroit, MI.
- ACI Committe 355, 1991**, State-of-The-Art-Report on Acnhorage to Concrete, ACI 355.1R-91, *American Concrete Institute*, Detroit, MI.
- Akın, Ç. E., 2017**, Sınıflandırma - Karar ağaçları. <http://cagriemreakin.com/veri-bilimi/makine-ogrenmesi/karar-agaclari-decision-trees-ml3.html> [Ziyaret Tarihi 07 Mayıs 2019].
- Altan, F., 2013**, Betona Sonradan Yerleştirilen Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon.
- Arslan, M. H., Ceylan, M., Kaltakçı, Y. M., Özbay Y. ve Gülay, F. G., 2007**, Prediction of force reduction factor (R) of prefabricated industrial buildings using neural networks, *Structural Engineering and Mechanics*, 27(2), 117–134.
- Arslan, M. H., 2010**, An evaluation of effective design parameters on earthquake performance of RC buildings using neural networks, *Engineering Structures*, 32(7), 1888–1898. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.03.010>
- ASTM E488, 2003**, Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements.
- Ayhan, S. ve Erdoğan, Ş., 2014**, Destek Vektör Makineleriyle Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Çekirdek Fonksiyonu Seçimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 9(1), 175–198.
- Balçıkanlı, M., Özbay, E. ve Türker, H. T., 2015**, Alkalilerle Aktive Edilmiş Harçların Çekip Çıkarma ve Aşınma Dirençlerinin Belirlenmesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(2), 87–98.
- Bayraktar, A., Altunışık, A. C. ve Muvafık, M., 2012**, Field Investigation of the Performance of Masonry Buildings during the October 23 and November 9, 2011, Van Earthquakes in Turkey. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(2), 04014209. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000383](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000383)
- Beglarigale, A. ve Yazıcı, H., 2015**, Çimento Esaslı Kompozitlerde Lif-matris Aderansına Kür Koşullarının Etkisinin İncelenmesi, *9. Ulusal Beton kongresi*, Antalya, 517–526.
- Beycioğlu, A. ve Aruntaş, Y., 2014**, Bazalt Lifli Donatının Yüksek Dayanımlı Betondaki Aderans Performansı, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 1, 83–96.

- Bingöl, A. F. ve Gül, R., 2009**, Donatı-Beton Aderansı , Yüksek Sıcaklıkların Beton Derleme, *TUBAV Bilim Dergisi*, 2(2), 211–230.
- Çevik, A., Kurtoğlu, A. E., Bilgehan, M., Gülşan, M. E., Albegmprli H. M., 2015**, Support Vector Machines in Structural Engineering: a Review, *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(3), 261–281.
- Chiang, C. H., Tsai, C. L. ve Kan, Y. C., 2000**, Acoustic inspection of bond strength of steel-reinforced mortar after exposure to elevated temperatures, *Ultrasonics*, 38(1), 534–536. [https://doi.org/10.1016/S0041-624X\(99\)00088-8](https://doi.org/10.1016/S0041-624X(99)00088-8)
- Chiang, C. H. ve Tsai, C. L., 2003**, Time-temperature analysis of bond strength of a rebar after fire exposure, *Cement and Concrete Research*, 33, 1651–1654.
- Cook, R. A., 1993**, Behavior of Chemically Bonded Anchors, *Journal of Structural Engineering*. *Journal of Structural Engineering*, 119(9):, 2744–2762.
- Cook, R. A., Doerr, G. T. ve Klingner, R. E., 1993**, Bond Stress Model for design of adhesive anchors, *ACI Structural Journal*, 90(5), 514–524.
- Coşkun, A., Tanyıldızı, H. ve Yazıcıoğlu, S., 2007**, Mineral Katkılı Betonun Aderans Dayanımına 800°C 'nin Etkisi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(3), 347–351.
- Değirmenci, Ö. Ç., Aydoğan, İ., Aras, M. ve Çerçevik A.E., 2015**, Ankrajlarda Epoksi Kullanımı, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 69–74.
- Demir, İ., Şimşek, O. ve Yaprak, H., 2009**, Ankraj Donatısı Türünün Ankraj Performansına Etkisi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük.
- Demir, İ., Şimşek, O. ve Yaprak, H., 2015**, Epoksi Türünün Ankraj performansına Etkisi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük.
- Döndüren, M. S., Çöğürücü, M. T. ve Altın, M., 2006**, Betonla Donatı Arasındaki Aderans Davranışının Deneysel İncelenmesi, *S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 57–68.
- Durmuş, A., Arslan, M. E. ve Öztürk, H.T., 2009**, Eğilmede Hafif Beton-Donatı Aderansının İncelenmesi, 165–176.
- Durmuş, A. Dahil, H ve Arslan, M. E., 2006**, Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının Karşılaştırılması Olarak İncelenmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 441(1), 45–52.
- Eligehausen, R., Mallee, R ve Rehm, G., 1984**, Befestigungen mit Verbundankern Fixings formed with resin anchors, *BETONWERK + FERTIGTEIL-TECHNIK*, (November), 686–692.

- Erdal, H., 2016**, Contribution of Machine Learning Methods to the Construction Industry: Prediction of Compressive Strength, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(3), 109–114. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.26121>
- Erkuş, B., 1999**, Bina hasar tahminlerinde yapay sinir ağlarının kullanılması, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Ersoy, U., 1985**, Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, *Bizim Büro Basımevi*, Ankara.
- Fidancı, A. S., 2017**, Random Forest Algoritması. <https://www.slideshare.net/SezerFidanc/random-forest-algoritmas>, [Ziyaret Tarihi 27 Nisan 2019].
- Fuchs, W., Eligehausen, R. ve Breen, J.E., 1995**, Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, *Structural Journal*, 92(1), 73–94.
- Gallego, A., 2004**, Comprassion between concrete-black steel and concrete-galvanized steel bond via the pull-out test supplied with acoustic emission, *EWGAE 2004 Proceedings*.
- Gürbüz, T., 2007**, Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altındaki Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Henigal, A., Elbeltgai, E., Eldwiny, M. ve Serry, M., 2016**, Artificial Neural Network Model For Forecasting, *Journal Of Al Azhar University Engineering Sector*, 11(39), 435–446.
- Inel, M., 2007**, Modeling ultimate deformation capacity of RC columns using artificial neural networks. *Engineering Structures*, 29(3), 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.05.001>
- Inel, M., Senel, S. M. ve Un, H., 2008**, Experimental evaluation of concrete strength in existing buildings, *Magazine of Concrete Research*, 60(4), 279–289, <https://doi.org/10.1680/macr.2007.00091>
- Karakoç, C., 1985**, Aderans Mekanik Etkileşim Olayı, *İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi*, İstanbul.
- 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*, İstanbul.
- Koehrsen, W., 2017**, Random Forest Simple Explanation, <https://medium.com/@williamkoehrsen/random-forest-simple-explanation-377895a60d2d>. [Ziyaret Tarihi 20 Mart 2019].

- Lee, H.S., Noguchi, T. ve Tomosawa, F., 2002**, Evaluation of the bond properties between concrete and reinforcement as a function of the degree of reinforcement corrosion, *Cement and Concrete Research*, 32(8), 1313–1318.
- Mazılıgüney, L. ve Yaman, İ. Ö., 2012**, Tensile Behavior of Chemically Bonded Post-Installed Anchors in Low-Strength Reinforced Concretes, *10th International Congress on Advances in Civil Engineering*, (October), 17–19.
- Morfidis, K. ve Kostinakis, K., 2018**, Approaches to the rapid seismic damage prediction of r/c buildings using artificial neural networks, *Engineering Structures*, 165(November 2017), 120–141. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.03.028>
- Özturan, T., Gesoğlu, M., Özel, M. ve Güneyisi, E., 2004**, Kimyasal , Harçlı ve Mekanik Ankrajların Çekme ve Kesme Yükleri Altındaki Davranışları, *İMO Teknik Dergi*, 208, 3105–3124.
- Öztürk, M., 2013**, Prediction of tensile capacity of adhesive anchors including edge and group effects using neural networks. *Science and Engineering of Composite Materials*, 20(1), 95–104. <https://doi.org/10.1515/secm-2012-0059>
- Polat, M., Yağan, M., Öztürk, M. O. ve Özkal, F. M., 2017**, GFRP ve Çelik Donatıların Yüksek Sıcaklık Etkileri Altında Aderans Kayıplarının İncelenmesi, *II. International Conference on Advanced Engineering Technologie*, Bayburt, 238–247.
- Sakla, S. S. S., Ashour, A. F., 2005**, Prediction of tensile capacity of single adhesive anchors using neural networks. *Computers and Structures*, 83(21–22):, 1792–1803. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2005.02.008>
- San, D. K. ve Türker, M., 2009**, Binaların Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinden Modele Dayalı Yaklaşım Kullanılarak Belirlenmesi, *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*,
- Seyhan, C. S., 2006**, Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Tanyıldızı, H. ve Yazıcıoğlu, S., 2006**, Betonarme Demiri ve Beton Arasındaki Aderans Dayanımına Kür Koşullarının Etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 11–14.
- Topçu, İ. B. ve Boğa, A. R., 2007**, Effect of Corrosion on Adherence Between Reinforcement and Concrete, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, 21(1), 23–38.
- TS708, 2010**, Çelik-Betonarme için Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü , Ankara.
- Tüfekçi, M. M., 2011**, Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

**Ulgen, E. K. 2017.**, Makine Öğrenimi Bölüm-5 (Karar Ağaçları). <https://medium.com/@k.ulgen90/makine-%C3%B6%C4%9Frenimi-b%C3%B6l%C3%BCm-5-karar-a%C4%9Fa%C3%A7lar%C4%B1-c90bd7593010>, [Ziyaret Tarihi 20 Nisan 2019].

**Yakut, E., Elmas, B. ve Yavuz, S., 2014**, Yapay Sinir Ağları Ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 139–157.

**Yerlici, V. ve Özturan, T., 2002**, Yüksek Dayanımlı Beton Elemanlarda Adersan Dayanımı, *İMO Teknik Dergi*, 171, 2527–2554.

**Yılmaz, A. 2010**, Yapay Zeka, *İnkılap Kitabevi*, İstanbul, 61-80.

**Yılmaz, S., Çalışkan, Ö., Kaplan, H. ve Kırac, N., 2010**, Kimyasal Ankrıjların Dayanımını Etkileyen Faktörler, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 123–134.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Abdullah MÜSEVİTOĞLU  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti (T.C.)  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : KONYA/24.01.1992  
**Telefon** : 0507 614 64 43  
**e-mail** : abduallah.musevitoglu@karatay.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Meram Anadolu Lisesi	2010
Üniversite	: Yıldız Teknik Üni./İnş. Fak./İnş. Mühendisliği Bölümü	2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü	Devam Ediyor
Doktora	: -	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	Çakır İnşaat	Saha Mühendisi
2016	Metin Varlıbaş İnş.	Kaba İşler Şefi
2017	Yaren İnşaat	Kaba İşler Şefi
2019	KTO Karatay Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Betonarme Yapılar

### YABANCI DİLLER

İngilizce: 78.75 (Yökdil)

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

**Müsevitoğlu A., Arslan M.H. ve Aksoylu C., 2018,** Kimyasal Ankrajların Çekip Çıkarma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *International Science and Academic Congress* 18, 2, 566-574.