T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONA YAPIŞTIRILAN ÇELİK DONATILARIN YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

SİNEM AK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan ÇOLAK

EDİRNE-2021

Sinem AK'ın hazırladığı "**BETONA YAPIŞTIRILAN ÇELİK DONATILARIN YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Mimarlık Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri: İmza

Prof. Dr. Adnan ÇOLAK ……

Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI ……...

Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN ……...

Tez Savunma Tarihi: 05/07/2021

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Adnan ÇOLAK
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

05/07/2021
Sinem, AK

Yüksek Lisans Tezi

Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yük Taşıma Kapasitelerinin Belirlenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalı

ÖZET

Çelik donatıların betona yapıştırılması hasar gören yapıların onarımında yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Betonarme kolon ve kirişlerin kesitlerinin artırılması gerektiğinde çelik donatılar mevcut kolona ya da kirişe matkapla delik açılarak yapıştırılır. Çelik donatının açıkta kalan kısmı ise kolonu ve kirişi saran ek donatı ile birlikte yeni dökülen betona gömülür. Eski ve yeni beton arasında yapılan bu tür bağlantı onarılan yapı elemanının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırır. Bu artış yapıştırılan çelik donatının çapına, boyuna, onarılan betonun dayanımına, yapıştırma işleminde kullanılan bağlayıcı cinsine ve yükleme türüne bağlı olarak değişir. Yapılan araştırmalarda yapıştırılan çelik donatıların genellikle çekme etkisinde olduğu varsayılır ve çekme kapasiteleri belirlenir. Çelik donatıların çekme kapasiteleri hesaplanırken; tanh yada sinh ve cosh fonksiyonlarından oluşan matematiksel bağıntıların kullanıldığı görülmektedir. Bu bağıntılarda parametre olarak yapışma derinliği, yapıştırıcı kalınlığı ve yapıştırıcı türü ele alınmaktadır. Ancak yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak hesaplanan teorik değerler, deneysel verilere uymamaktadır. Bu nedenle çalışmada bütün parametreleri dikkate alan bir matematiksel model geliştirmek amaçlanmıştır.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 86

Anahtar Kelimeler : Beton, Ankraj, Kimyasal Ankraj, Onarım, Güçlendirme, Çelik Donatı, Yapıştırıcı, Yapışma Dayanımı

Master of Science Thesis

Determination of Load Bearing Capacities of Steel Reinforcements Adhered to Concrete

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Architecture

ABSTRACT

Bonding steel reinforcement to concrete is a widely used application for repairing damaged structures. When it is necessary to increase the cross-sections of reinforced concrete columns and beams, steel reinforcements are glued to the existing column or beam by drilling holes. The exposed part of the steel reinforcement is embedded in newly poured concrete with additional reinforcement surrounding the column and beam. Such a connection between old and new concrete significantly increases the load bearing capacity of the repaired building element. This increase depends on the length and the diameter of the bonded steel reinforcement, the strength of the repaired concrete, the type of adhesive used in the bonding process and the type of loading. In the researches, it is assumed that the bonded steel reinforcements are generally under the effect of pull-out and their pull-out capacities are determined. When calculating the tensile capacities of steel reinforcements; It is seen that mathematical relations consisting of tanh or sinh and cosh functions are used. In these relations, adhesion depth, adhesive thickness and adhesive type are considered as parameters. However, the theoretical values calculated depending on the adhesive thickness do not fit the experimental data.For this reason, it is aimed to develop a mathematical model that takes all parameters into account in the study.

Year : 2021

Number of Pages : 86

Keywords : Concrete, Anchor, Chemical Anchor, Repair, Reinforcement, Steel Reinforcement, Adhesive, Adhesion Strength

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından sonuna kadar, akademik birikim ve deneyimlerini benimle paylaşarak bana yol gösteren çok değerli hocam, sayın Prof. Dr. Adnan ÇOLAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak her daim yanımda olan eşim Umut AK, annem Güler ÖNEN ve tüm aileme bana vermiş oldukları destekten ötürü sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Başta Mustafa Kemal Atatürk olmak üzere tüm öğretmenlerime sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ŞEKİLLER DİZİNİ xii

ÇİZELGELER DİZİNİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

BÖLÜM 2

TEMEL KAVRAMLAR 3

2.1. Literatür Taraması 3

2.2. Beton-Donatı Aderansı, Kenetlenme Kavramları 5

BÖLÜM 3

ANKRAJLARIN UYGULANMA TEKNİKLERİ 14

3.1. Betona Uygulanan Ankrajlar 14

3.1.1. Yerinde Dökme Ankrajlar 16

3.1.2. Sonradan Monte Ankrajlar 16

3.1.2.1. Mekanik Ankrajlar 16

3.1.2.2. Bağ Tipi Ankrajlar 17

3.2. Ankrajlarda Kullanılan Yapıştırıcı 18

BÖLÜM 4

KİMYASAL ANKRAJLARIN DAVRANIŞLARI 19

4.1. Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı 19

4.2. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Davranışını Tanımlayan Değişkenler 21

4.2.1. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yapışma Özelliklerini Etkileyen Değişkenler 21

4.2.1.1. Nem 21

4.2.1.2. Islaklık 22

4.2.1.3. Toz 22

4.2.1.4. Beton Kalitesi 22

4.2.2. Çelik Donatıların Betona Yapıştırıldıktan Sonraki Yapışma Özelliklerini Etkileyen Değişkenler 23

4.2.2.1. Kür Süresi 23

4.2.2.2. Sıcaklık 23

4.2.3. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yapışma Özelliklerini Etkileyen Diğer Değişkenler 23

4.2.3.1. Çelik Donatının Dayanımı 24

4.2.3.2. Betonunun Basınç Dayanımı 24

4.2.3.3. Ankraj Yapılan Betonunun Çekme Dayanımı 24

4.2.3.4. Ankrajda Kullanılan Kimyasal Yapıştırıcı 25

4.2.3.5. Ankraj Derinliği 25

4.2.3.6. Ankraj Donatısının Çapı 25

4.2.3.7. Ankraj Delik Çapı 25

4.2.3.8. Ankrajın Serbest Kenardan Uzaklığı 25

4.2.3.9. Ankrajlar Arası Mesafe 26

4.2.3.10. Ankrajların Yük Taşıma Kapasitesinin Yükleme Tipi ve Hızına Bağlı Olarak Değişimi 26

4.3. Betona Yapıştırılan Çelik Donatılarda Çekme Yükü Etkisinde Oluşan Göçme Tipleri 26

4.3.1. Ankraj Çubuğunun Akması ve Kopması 26

4.3.2. Ankraj Çubuğunun Sıyrılması 27

4.3.3. Betonun Konik Kopması 28

4.3.4. Koni ile Sıyrılmanın Birlikte Oluşması 29

4.3.5. Betonun Yarılması 29

4.4. Betona Yapıştırılan Çelik Donatılarda Kesme Yükü Etkisinde Oluşan Göçme Tipleri 30

4.4.1. Kesme Etkisi Altındaki Kimyasal Ankrajda Çelik Hasarı 31

4.4.2. Kesme Etkisi Altındaki Kimyasal Ankrajda Beton Kopma Hasarı 31

4.5. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Performansı 33

4.5.1. Çelik Donatının Akması 33

4.5.2. Çelik Donatının Sıyrılması 34

4.5.3. Betonda Koni Şeklinde Kırılma ve Donatının Sıyrılması 34

4.6. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yük Taşıma Kapasitesini Belirleyen Modeller 36

4.6.1. Beton Koni Şeklinde Kırılmasını Tanımlayan Model 36

4.6.2. Bağ Modeli 41

4.6.2.1. Kayma Gerilmesinin Sabit Alındığı Model 41

4.6.2.2. Elastisite Teorisine Göre Geliştirilen Model 42

4.6.3. Beton Konisi ve Sıyrılma Modeli 45

4.6.4 Ankraj Davranışını Tanımlayan Modellerin Karşılaştırılması 47

4.7. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yük Taşıma Kapasitesini Etkileyen Faktörler 48

4.7.1. Ankrajda Kullanılan Yapıştırıcı 49

4.7.1.1. Yapıştırıcı Tipi 50

4.7.1.2. Karıştırma Yöntemi 51

4.7.1.3. İlk Yüklendiğinde Yapıştırıcının Kürlenme Süresi 53

4.7.1.4. Yapışkan Tabaka Kalınlığı 53

4.7.1.5. Yapıştırıcının Agrega İçeriği 53

4.7.1.6. Kimyasal Dayanım 53

4.7.2. Ankraj Deliğinin Durumu 54

4.7.3. Ankrajda Kullanılan Çelik Donatının Çapı 55

4.7.4. Ankraj Ekme Boyu 56

4.7.5. Ankrajın Uygulandığı Betonun Özellikleri 56

4.7.6. Yükleme Türü 56

4.7.7. Sıcaklık 58

4.7.8. Ankraj Konumu 58

BÖLÜM 5

SONUÇ ve ÖNERİLER 59

KAYNAKLAR 63

ÖZGEÇMİŞ 68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Aderansı oluşturan etkenler. 6

Şekil 2.2. Nervürlü donatıda mekanik diş etkisi. 6

Şekil 2.3. Aderans çeşitleri. 8

Şekil 2.4. Eğilme aderansı. 9

Şekil 2.5. Standart kanca ve fiyonglar. 10

Şekil 2.6. Kaynaklı enine çubukla kenetlenme. 11

Şekil 2.7. Mekanik kenetlenme. 12

Şekil 2.8. Etriyelerde düz kenetlenme kesitleri. 13

Şekil 2.9. Deprem etkisindeki elemanlarda kaynaklı kenetlenme. 13

Şekil 3.1. Ankrajlarda yük aktarımı. 14

Şekil 3.2. Betona yapıştırılan çelik donatı türleri. 15

Şekil 3.3. Yeni dökülmüş betona gömülen çelik donatılar. 16

Şekil 3.4. Bağlantı ankrajları. 17

Şekil 4.1. Kimyasal ankrajı oluşturan bileşenler. 20

Şekil 4.2. Ankraj deliği boyunca oluşan gerilmelerle yük aktarımı. 20

Şekil 4.3. Ankrajdaki çelik donatının kopması. 27

Şekil 4.4. Ankrajdaki çelik donatının sıyrılması. 28

Şekil 4.5. Ankraj taban betonunun konik kopması. 28

Şekil 4.6. Ankrajda konik kopma ve çelik donatının sıyrılması durumlarının birlikte oluşması. 29

Şekil 4.7. Eksenel yük altındaki ankraj betonunun yarılması. 30

Şekil 4.8. Kesme etkisi altındaki ankrajda beton ezilmesi ve çelik donatı hasarı. 31

Şekil 4.9. Kesme etkisi altındaki ankrajda kenardan uzak bölgede beton kopması. 32

Şekil 4.10. Kesme etkisi altındaki ankrajda kenara yakın bölgede beton kopması. 32

Şekil 4.11. Akma kapasitesine ulaşan ankraj donatısında yük-yerdeğiştirme ilişkisi. 33

Şekil 4.12. Betona yapıştırılan çelik donatıların sıyrılma modunda yük yerdeğiştirme davranışı. 35

Şekil 4.13. Yapışma derinliği boyunca oluşan kayma gerilmeleri. 35

Şekil 4.14. Betonun koni şeklinde kırılması ve betona yapıştırılan çelik donatının sıyrılması ile oluşan göçme tipine ait yük-yerdeğiştirme grafiği. 35

Şekil 4.15. Betona belirli aralıklarla yapıştırılan çelik donatıların koni şeklinde kırılması durumunda konilerin çakışması. 37

Şekil 4.16. Belirli aralıklarla betona yapıştırılan çelik donatılarda beton konilerinin oluşma şekli. 37

Şekil 4.17. Belirli aralıklarla betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitesinin yapıştırma mesafesi ile değişimi. 39

Şekil 4.18. ACI 349 ‘da yer alan koni modeli. 39

Şekil 4.19. CCD koni modeli. 40

Şekil 4.20. CCD koni kesiti. 41

Şekil 4.21. Kayma gerilmesinin sabit olarak kabul edildiği model. 42

Şekil 4.22. Kuvvet-şekildeğiştirme grafiği ve kırılma enerjisinin hesabı. 43

Şekil 4.23. Tek eksenli gerilme halinde plağın davranışı. 43

Şekil 4.24. Elastik teorisine dayalı olarak geliştirilmiş ankraj modeli. 44

Şekil 4.25. Kayma modülü. 44

Şekil 4.26. Collins'in koni ve sıyrılma mekanizmasının anlaşılmasına yönelik yaptığı deneylerdeki ölçüm yaptığı noktalar. 45

Şekil 4.27. Collins'in deneyi sonucunda ortaya çıkan yük-yerdeğiştirme grafiği. 45

Şekil 4.28. Betonun koni şeklinde kırılması ve yapıştırılan çelik donatının sıyrılması. 46

Şekil 4.29. Sabit kayma gerilme modeli ile elastik teoriye dayalı olarak geliştirilen modelin karşılaştırılması. 47

Şekil 4.30. Betona yapıştırılan çelik donatılar için tasarım kriterleri. 48

Şekil 4.31. Tipik kapsül ankraj sistemi. 52

Şekil 4.32. Ankrajlamada kullanılan tipik enjeksiyon sistemi. 52

Şekil 4.33. Farklı beton dayanımlarında ankraj donatı çapı-ankraj taşıma kuvveti ilişkisi. 55

Şekil 4.34. Betona yapıştırılan donatılarda çekme yükü altında oluşan hasarlar. 57

Şekil 4.35. betona yapıştırılan donatılarda kesme yükü altında oluşan hasarlar. 57

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 4.1.	Yapışma mukavemetini belirleyen başlıca faktörler.	50
Çizelge 4.2.	Ankraj ekme aralıkları ve kenar uzunluklar.	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V :	Kesme Kuvveti
(v) :	Çelik Donatı Çevre Uzunluğu
lb :	Kenetlenme Boyu
σ_s :	Donatıdaki Gerilme
$\emptyset$:	Donatı Çubuk Çapı
$\emptyset_e$:	Demet Donatısının Eşdeğer Çapı
A_c :	Oluşan Koninin Yüzey Alanı
A_f :	Lifin Kesit Alanı
a :	Ankrajlar Arası Mesafe
a_{krit} :	Ankrajlar Arası Kritik Mesafe
f_{ct} :	Alan Boyunca Sabit Çekme Gerilmeleri
P_k :	Çekme Kapasitesi
P_u :	Ankraj Çekme Dayanımı
$P_{sıyrılma}$:	Sıyrılma Yükü
F:	Kuvvet
P:	Kuvvet
f_{yd} :	Akma dayanımı
f_{yk} :	Donatıdaki akma dayanımı
f_c :	Beton Standart Silindir Basınç Dayanımı

f_{cc} :	Beton Küp Basınç Dayanımı
f_{ct} :	Beton Çekme Dayanımı
f_{sy} :	Ankraj Donatısı Çekme Dayanımı
f_{su} :	Ankraj Donatısı Kopma Dayanımı
h_{ef} :	Etkili Ankraj Derinliği
h_k :	Koni Yüksekliği
h_b :	Ankraj Bağlı Derinliği
d :	Ankraj Donatısı Çapı
d_u :	Ankraj Delik Çapı
N_u :	Ankraj çekme kapasitesi
τ_b :	Aderans gerilmesi
τ_{ort} :	Ortalama Yapışma Dayanımı
ε_e :	Çelik Donatıdaki Uzama Miktarı
ε_b :	Betondaki Uzama Miktarı
mm:	Milimetre
mm^2:	Milimetrekare
MPa:	Megapaskal
GPa:	Gigapaskal
N:	Newton

Kısaltmalar

ACI:	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM :	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
CCD :	Concrete Capacity Design
FTIR :	Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi
MMA :	Methylmethacrylate

TMMOB: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hızlı, ekonomik ve esnek tasarım çözümleri sunması sebebiyle betonarme sistemler taşıyıcı olarak sıklıkla tercih edilmekte, çeşitli ve geniş uygulama alanlarında yer bulmaktadırlar. Ancak deprem, yangın benzeri afetler, aşırı yükleme, donatının korozyona uğraması gibi etkenler sonucunda betonarme yapılarda hasar oluşabilmekte, zamana bağlı olarak yapıda performans kaybı görülebilmektedir. Hasarlı yapı ya da yapı elemanları; yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik, esneklik, görünüm ve dayanıklılık açısından ilk durumlarına getirilebilmek için yenileme ve bakıma ihtiyaç duyarlar, bu gibi durumlarda yapı ve yapı elemanlarında onarım çalışmaları yapılır. Bunun yanında; yapı fonksiyonunun değişmesi, mühendislik hataları, malzeme kaynaklı sorunlar gibi sebeplerle yapı performansının arttırılması gerektiği durumlar da olabilmektedir. Bu durumlarda ise yapı ve yapı elemanlarında mevcut bir hasar olmamasına karşın mukavemet ve benzeri karakteristiklerde iyileştirme için taşıyıcı sistemde güçlendirme yapılmaktadır. Genel anlamda müdahale olarak; hasarlı yapı ve yapı elemanları için onarım, iyileştirme içinse güçlendirme söz konusudur; ancak hasarlı yapılarda da onarım çalışmalarına ek olarak güçlendirme uygulamaları yapıldığı görülmektedir.

Onarım ve güçlendirme; bölgesel onarım, yapı elemanının onarımı ve yapı elemanının güçlendirilmesi şeklinde olabilmektedir. Bölgesel ve yapı elemanı ölçeğindeki onarım ve güçlendirme çalışmalarında; harç ya da yapıştırıcılar kullanılarak betona çelik donatı yapıştırılması yoluyla çeşitli şekillerde müdahale edilebilmektedir. Bağlantı bölgesindeki gerilimin eşit dağılması ve uygulama kolaylığı sağlaması gibi

nedenlerle ‘beton ile çeliği yapıştırıcılar ile bağlama‘ son dönemde hem uygulama hem de bilimsel çalışmalarda ilgi çeken bir konu haline gelmiştir. Çeşitli yapıştırma yöntemlerinin ankrajlarla kullanımı, güçlendirme ve onarım çalışmalarında sıklıkla tercih edilen bir tekniktir. Ankrajlama ile kolon, kiriş gibi yapı elemanlarının performansları arttırılmakta, yatay, düşey, kesme dayanım ve şekildeğiştirme kapasiteleri iyileştirilmektedir. Bu kapsamda bölgesel onarımda kirişlerde eğilme ve kesme kapasitelerini artırmak için epoksi reçine kullanarak çelik plakalar yapıştırılmakta kelepçe ve mantolama uygulamaları yapılmakta; kolonlarda karbon lifli polimerler, çelik ve betonarme mantolama uygulamaları ile yapı elemanının dayanım, süneklik ve rijitliği arttırılmaktadır (Çetinkaya, Kaplan ve Şenel, 2004).

Bu çalışmada; onarım ve güçlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan, mevcut kolon ve kirişlerin kesitlerini arttırmak için betona epoksi ya da metil metakrilat ile yapıştırılan çelik donatılar ele alınmıştır. Buna bağlı olarak çalışma kapsamında; betona yapıştırılmış çelik donatıların yük taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Çelik donatıların çekme kapasiteleri mevcut modellere bağlı olarak hesaplanmış ve kapasitelerinin belirlenmesi için matematiksel bir model önerilmiştir.

BÖLÜM 2

TEMEL KAVRAMLAR

Betona yapıştırılan donatının davranışını ve özelliklerini anlayabilmek için öncelikle beton, çelik ve betonarme sistemlerin davranışları ve yapıştırma teknikleriyle ilgili temel kavramlara değinmek gerekir. Bu bölümde öncelikle literatür taramasına yer verilmiş, burada çalışmaya referans olan kaynaklar incelenmiştir. Ardından betonarme sistemlerin çalışma prensibi ve bunlarla ilişkili olarak aderans ve kenetlenme kavramları ele alınmıştır.

2.1. Literatür Taraması

Tez çalışması kapsamında pek çok farklı kaynaktan faydalanılmış, bu çalışmaların her birine 'kaynaklar' bölümünde yer verilmiştir. Bölümler içerisinde doğrudan veya dolaylı olarak bu çalışmalarla ilgili olan kısımlarda, kaynaklara atıfta bulunulmuştur. Bu bölümde, tez çalışmasının temelini oluşturan referans kaynaklara odaklanılmıştır. Kaynaklar aşağıda detaylı bilgileri ve içerik özetleri ile birlikte sıralanmıştır.

Cook, Doerr ve Klingner (1993) yaptıkları araştırmada ankrajların davranışlarının belirlenmesi ve tasarımları için deneysel bir program geliştirmiştir. Yapılan deneylerde, 6 farklı yapıştırıcı ürün ile 97 çekme testi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 4 farklı ankraj tipi kullanılmıştır. Bunlar; 5/8 inç- (16 mm) çaplı dişli ankrajlar, tam bağlı tekli ankrajlar, üstten 2 inç (50 mm) üzerinden ayrılmış kısmen bağlanmış tekli ankrajlar ve tamamen bağlı ankraj çiftleridir. Çalışma sonucunda elastik formülasyona dayalı bir davranış modeli geliştirilmiştir. Tekli ve çoklu kimyasal ankrajlar için tasarım önerileri sunulmuştur (Cook vd., 1993).

Laws (1982) yaptığı çalışmada; arayüz bölgesinin doğası ve özelliklerinin, bir kompozitin bileşenleri arasındaki gerilme transferini ve gerilim/yük eğrisinin gelişimini, kompozitin mukavemetini ve dayanımını belirlediğine vurgu yapılmaktadır. Buna bağlı olarak çalışma kapsamında, yapıştırmanın lif kopması, çoklu çatlama ve mukavemet üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Aynı zamanda yapıştırıcı dayanımına yönelik ölçümler yapılmıştır (Laws, 1982).

Yue ve Looi'nin (2001) yaptıkları çalışmada; tekli lif çekme tekniklerindeki gelişmelerin, arayüzdeki kesme mukavemeti, dayanım ve lifler üzerindeki çekme basıncının belirlenmesini mümkün kıldığı belirtilmektedir. Diğer mevcut teknikler ile sadece kesme dayanımının belirlenebildiğine vurgu yapılmaktadır. Çalışmada; kesme dayanımı ve diğer arayüz parametrelerinin değerlerindeki dağılım, bu tekniği kullanarak belirli bir fiber-kalıp kompozit sistemi üzerinde çalışan farklı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Bu sebeple, bu tür analizlerden elde edilen sonuçların güvenilirliğinin tartışmaya açık olduğu belirtilmiştir. Bu tür bir dağılımın muhtemelen daha önce göz ardı edilen test yöntemleri ve numune geometrisi gibi faktörlere atfedilebileceği belirtilmiştir. Deneysel verilerin analizi için temel denklemlerin yükleme yöntemine bağlı olduğu, ayrıca farklı fiber kalıp sistemlerinin, toplanabilecek deneysel çekme verilerinin aralığı farklı olacağından, değiştirilmiş değerlendirme metodolojisi gerektirdiğine vurgu yapılmıştır. Bunun nedeninin, test sırasında başarıyla çıkarılabilen maksimum gömülü uzunluktaki numunenin, fiber ve kalıp fiziksel özelliklerine ve arayüz bağ kuvvetine bağlı olması olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda; bu faktörlerin belirlenmesine dayalı olarak geliştirilen analiz metodolojisi, lifli kompozitlerde arayüz bağlarının daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmesini sağladığı belirtilmiştir (Yue ve Looi, 2001).

Yue ve Looi'nin (1994) yaptıkları çalışmada; tam gömülü lif çekme testinde yükleme sisteminin gerilim dağılımı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Tamamen gömülü bir fiber numunesi üzerindeki testlerin, bir kompozit sistemdeki koşullara daha yakından benzediği belirtilmiştir. Çalışmada hem üst hem de sabit alt bölümler test edilip, dikkate alınmıştır. Kalıbın ve lifin bağıl modülleri ve yarıçaplarının gerilim dağılımı üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Bunların maksimum bağ ayırma kuvveti üzerindeki etkisi ve numune içindeki bağ ayırma çatlağının başladığı konum belirlenmiştir (Yue ve Looi, 1994).

Yue ile Cheung Part I (1992a) ve Yue ile Cheung'in Part II (1992b) yaptıkları çalışmalarda; arayüz kesme mukavemeti, arayüz sürtünme katsayısı ve çekme basıncını içeren bir kompozit sistemin arayüz parametrelerinin, ayırma ve çekme işlemleri için önerilen model kullanılarak belirlenebileceği gösterilmiştir. Çalışma kapsamında; bir cam elyaf-polipropilen sistemi için kalıp morfolojisinin ve elyaf yüzey işleminin arayüz parametreleri ve dolayısıyla mekanik özellikler üzerindeki etkisi belirlenmiştir (Yue ve Cheung, 1992a ve 1992b).

2.2. Beton-Donatı Aderansı, Kenetlenme Kavramları

Çimento, kum, çakıl ya da kırma taşın belirli miktarda su ile karıştırılması sonucunda, çimentonun hidratasyonu ile özelliklerini kazanan karışım 'beton' olarak adlandırılmaktadır (Hasol, 2009). Betonun taşıyıcı sisteme dönüşmesi için basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerine dayanım sağlayabilmesi gerekir. Betonun içine uygun şekilde çelik donatı yerleştirilerek, betonun basınca, çeliğinse eğilme ve çekmeye karşı dayanım sağladığı 'betonarme' ortaya çıkar (Hasol, 2009).

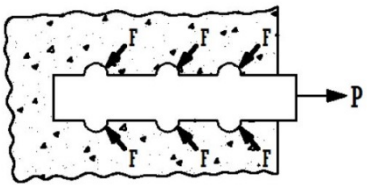
Çelik ve betonun tek bir yapı elemanı olarak bir bütün halinde çalışabilmesi için bu iki yapı bileşeni birbirine kaynaşmalıdır. Çeliğin betondan sıyrılmasını önlemek için çelik donatı etrafındaki betona kenetlenir, bu olay 'aderans' olarak adlandırılır (Yılmaz, Çalışkan, Kaplan ve Kıraç, 2010).

Aderans, betonarmede donatı ile beton arasındaki kayma gerilmeleri sonucunda çelik ve betonun birbirine kenetlenmesi durumudur (Yılmaz vd., 2010). Beton ve çelik donatı çubuğu arasındaki aderansı meydana getiren başlıca sebepler; yapışma, sürtünme kuvvetleri ve mekanik dış kuvvetler şeklinde sıralanabilir (Şekil 2.1). Beton ve donatı arasındaki oldukça düşük değerli moleküler ve kılcal bağ kuvvetleri 'yapışma' olarak nitelendirilir. Betondaki düz yüzeyli çelik donatının aderansını, yapışma ve büyük ölçüde sürtünme kuvvetleri sağlamaktadır. Düz donatı çubukları dışında aderansı arttırmak için yüzey formları özel olarak geliştirilmiş 'nervürlü çelik donatı çubukları' da kullanılmaktadır. Paslanma (korozyon) halinde düz donatı çubukları paslanan tabakadan kolayca sıyrılıp, aderans çözüldüğünden dolayı betonarme elemanlarda ağırlıklı olarak nervürlü donatılar tercih edilir. Nervürlü donatı çubuğu ile beton arasında mekanik dış kuvvetlere bağlı, yapışma ve sürtünme aderansıyla karşılaştırılamayacak kadar yüksek

düzeyde aderans oluşmaktadır. Mekanik dış kuvvetler, çelik çubuk üzerindeki nervürlerin betona yaslanmasıyla oluşmaktadır (Yılmaz vd., 2010) (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Aderansı oluşturan etkenler (şema oluşturulurken Yılmaz ve arkadaşlarının-2010 tanımı referans alınmıştır.).



Şekil 2.2. Nervürlü donatıda mekanik diş etkisi (Ersoy, 1985).

Zaman içerisinde donatı ve betonun maruz kaldığı yük, dış kuvvetler ve deformasyonlar donatı gerilmelerini ve donatıyı etkilemektedir (Çetinkaya vd., 2004). Beton ve donatı arasındaki aderansı olumsuz yönde etkileyen, hatta tamamen yok edebilen en büyük etkenlerden biri korozyondur (Çetinkaya vd., 2004). Donatı çeliğindeki korozyon çeliğin kesit alanını azaltırken betonda çatlaklara, betondaki çatlaklar da betonun bozulmasına ve yeni çatlaklara neden olmaktadır. Korozyon sonucunda, doğrudan ve dolaylı şekilde donatı-beton arasındaki aderansta ve yapı elemanındaki mekanik performansta kayıp yaşanmaktadır (Altan, 2013).

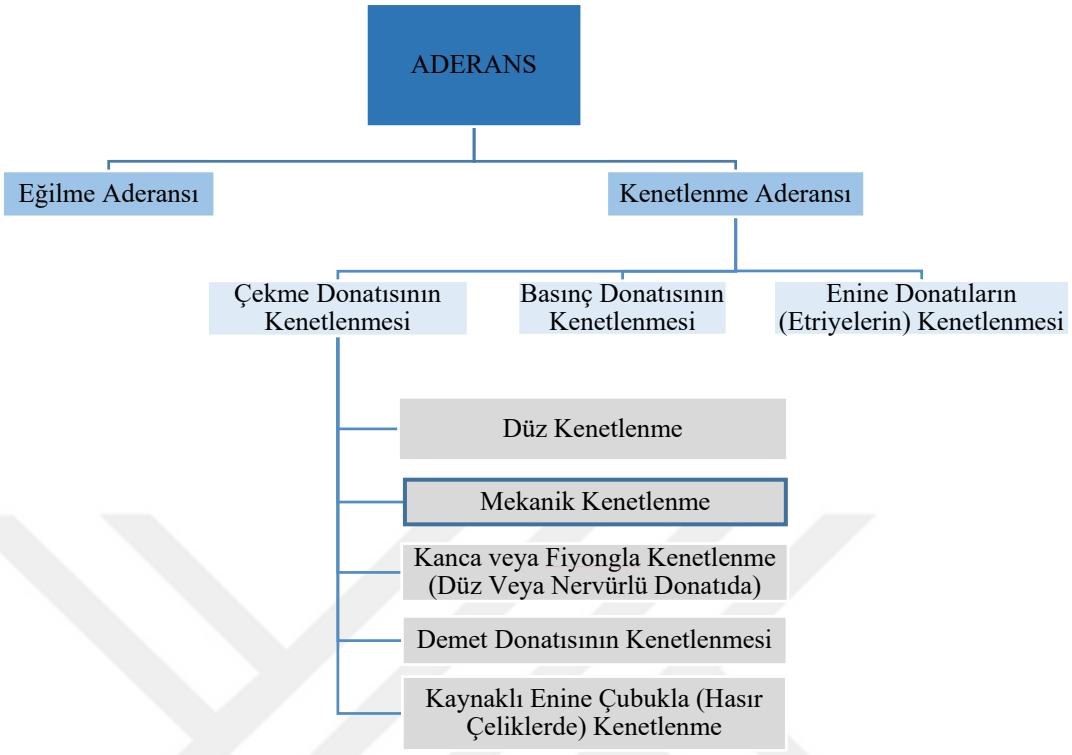
Beton ile donatı arasındaki aderans davranışlarını belirlemek için çeşitli deneyler yapılmaktadır. Bunlardan eksenel çekip çıkarma deneyi (pull-out test) eski ama hızlı, kolay ve en yaygın kullanılan aderans deneyi yöntemidir. Eksenel çekip çıkarma deneyinde beton numuneye gömülen çelik çubuk eksenel çekme kuvveti ile çekilip, çıkartılmaya çalışılır, eğer aderans yetersizse düz donatı betondan sıyrılıp çıkmakta, nervürlü donatılarda betonda çatlak ve yarıklar oluşmaktadır. Eğilme aderansını belirlemek içinse çeşitli kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Yapılan çalışma ve deneylerde genel olarak aderans dayanımının; pek çok parametreye bağlı olduğu gözlenmiştir (Altan, 2013).

Çekme kuvveti, betonun rötresi, sünmesi gibi etkiler çelik donatı ve betonun uzamasına neden olur. Çelik donatıdaki uzama miktarı (ε_e) ile betondaki uzama miktarı (ε_b), iki malzeme arasında kayma olmadığı durumda, birbirine eşittir (Tanyıldızı, 2006).

Çekme ve basınç kuvvetine maruz kalan, betonarmeye gömülü ve ankre edilmiş donatı çubuklarındaki aderans 'kenetlenme aderansı' olarak isimlendirilir ve bu tür aderansın olduğu durumlarda çelik donatı ile betondaki uzama miktarları eşittir, dolayısıyla $\varepsilon_e = \varepsilon_b$ formülü geçerlidir. Bu formül gerilme ve şekil değiştirmenin lineer olduğu bölge için geçerlidir. Betonun çekme dayanımı çelikten daha az olduğu için yüksek gerilimde beton çatlar ve denklem geçersiz hale gelir. Betonarme taşıyıcı elemanlardaki çatlamalarda beton ve çelik donatının birlikte çalışmasını sağlayan bu tip aderans 'eğilme aderansı' olarak nitelendirilir ve ankrajdaki şekil değiştirme formülü aşağıdaki şekilde yazılır (Tanyıldızı, 2006).

$$\varepsilon_e = \varepsilon_b + \varepsilon_o \tag{2.1}$$

Bu kapsamda aderans; eğilme ve kenetlenme aderansı olarak iki başlık altında, kenetlenme aderansı ise çekme, basınç ve enine donatıların kenetlenmesine göre üç alt maddede incelenebilir (Özkaynak, 2002) (Şekil 2.3).



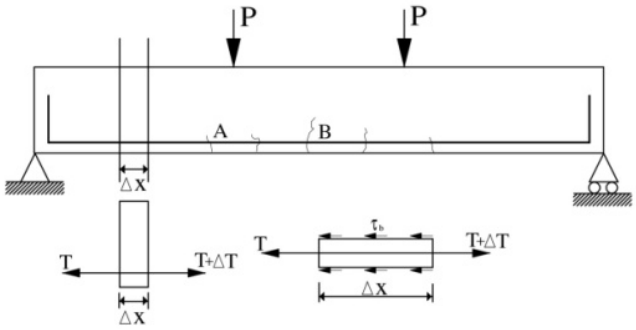
Şekil 2.3. Aderans çeşitleri (Tablo literatürdeki tanımlara göre oluşturulmuştur.).

Eğilme altındaki betonarme elemanlarda, momentin kesitlerde farklılaşabilmesi için donatı çevresinde oluşan kesme gerilmeleri eğilme aderansı olarak tanımlanır (Tanyıldızı, 2006). Eğilme etkisindeki bir kirişin, çekme donatısı ile gövde betonu arasındaki aderans eğilme aderansı için örnek verilebilir.

(v) çelik donatının çevre uzunluğu, V kesme kuvveti, olmak üzere τ_b aderans gerilmesi ;

$$\tau_b = \frac{V}{z(v)} \tag{2.2}$$

şeklinde formüle edilir (Tanyıldızı, 2006).



Şekil 2.4. Eğilme aderansı (Tanyıldızı, 2006).

Yeterli derinlikte betona gömülmüş bir çelik donatı çubuğu beton kütleden çekip çıkartılamaz. Çubuğun gömme boyunun yetersiz olması halinde çelik donatı betondan kolayca sıyrılabilir ya da çubuk geometrisine bağlı olarak betonu parçalayabilir. Bu sebeple çelik donatı çubuğunun betona gömülü boyu aderans ve betonarme elemanın performansında kritik bir rol oynamaktadır. Betona gömülen çubuk boyu "kenetleme boyu", betona gömülü çubuk ile beton arasındaki aderans ise 'kenetlenme aderansı" olarak adlandırılır (Tanyıldızı, 2006).

Çelik donatı çubuğuna kuvvet (F) uygulandığında, çubukta kenetlenme boyunca oluşan bağ kuvveti (τ_b), uygulanan F kuvvetini dengelemelidir. Donatıdaki çekme kuvveti F;

$$F = A_s \cdot \sigma_s \qquad (2.3.)$$

şeklinde formüle edilir. Çelik donatıdaki gerilme akma sınırına ulaştığında yeterli kenetlenme sağlanmış olur ($\sigma_s = f_{yd}$). Donatıdaki akma dayanımı "f_{yk} / 1.15" olarak belirlenir. Aderans gerilmesi, kenetlenme boyunca düzgün yayılı değildir ancak hesap kolaylığı için düzgün dağılım gösterdiği kabul edilir. Böylece kenetlenme boyu l_b;

$$l_b = \frac{\emptyset \, f_{yd}}{4 \, \tau_b} \qquad (2.4.)$$

formülü ile hesaplanır (Tanyıldızı, 2006).

Kenetlenme aderansı; çekme donatısında, basınç donatısında ve etriyelerde kenetlenme olmak üzere üç şekilde gerçekleşmektedir.

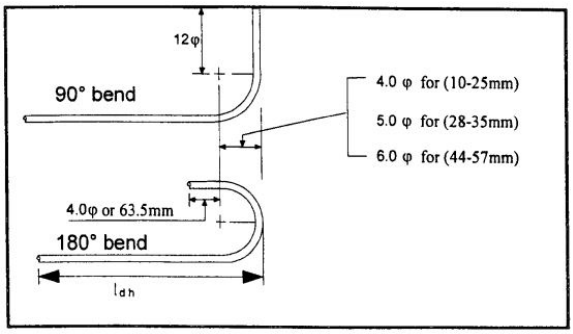
Çekme kuvveti etkisinde bulunan yapı elemanlarında kenetlenme; düz kenetlenme (nervürlü donatıda), mekanik kenetlenme, kanca veya fiyongla kenetlenme (düz veya nervürlü donatıda), demet donatısının kenetlenmesi ve kaynaklı enine çubukla (hasır çeliklerde) kenetlenme şeklinde gerçekleşmektedir. Düz kenetlenme nervürlü çubuklarda uygulanan bir kenetlenme yöntemidir. Kenetlenme boyu, nervürlü çubuklar için;

$$l_b = (0.12 \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \emptyset\ ) \geq 20\emptyset \qquad (2.5.)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Özkaynak, 2002).

Kenetlenme boyu kısaltılmak istendiği durumlarda kanca ve fiyongla kenetlenme tercih edilir (Şekil 2.5). Betonarme elemanlarda asal donatıların ucu 90° ile 180° arasında bir açıyla bükülerek kanca veya fiyong yapılırsa kenetlenme boyu %25 oranında azalabilmektedir.

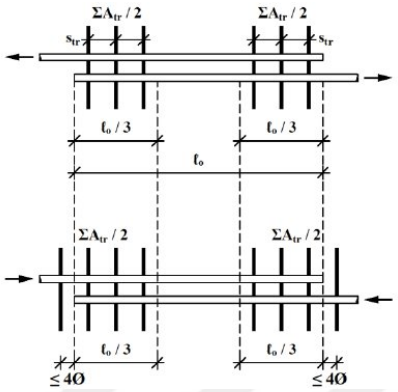
$$l_{bk} = \frac{3}{4} l_b \qquad (2.6.)$$



Şekil 2.5. Standart kanca ve fiyonglar (Amin'in (2009) çalışmasından değiştirilmeden alınmıştır) (Amin, 2009).

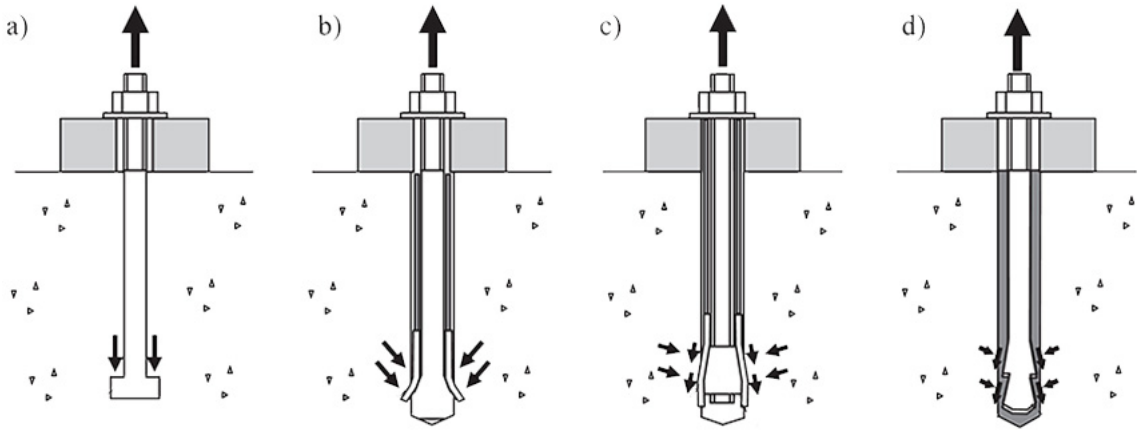
Çekme donatısında kenetlenme tekniklerinden bir diğeri kaynaklı enine çubukla kenetlenmedir (Şekil 2.6). Bu tip kenetlenme 'betona yapıştırılan çelik donatılar'

kapsamına girmemekle birlikte yaygın olarak nokta kaynaklı hasır çeliklerde kullanılır. Bu yöntemde kenetlenme boyu çubuğa kaynaklanmış enine çubuklar ile sağlanır. Donatı çubuğunun düz ya da nervürlü olmasına, konumuna, çapına ve yük durumuna bağlı olarak kenetlenme için gerekli çubuk sayısı değişmektedir (Özkaynak, 2002).



Şekil 2.6. Kaynaklı enine çubukla kenetlenme (Chronopoulos, Trezos ve Chronopoulos'un (2012) çalışmasından değiştirilmeden alınmıştır.) (Chronopoulos vd., 2012).

Bir diğer çekme donatısında kenetlenme yöntemi mekanik kenetlenmedir. Beton panellerde sıklıkla karşılaşılan aderans da bu tür kenetlenmedir. Mekanik kenetlenmede; kaynakla ya da civatalı sistemle donatı çubuğunun betona gömülü kısmına somun, özel manşonlar ya da çelik levha yerleştirilerek kenetlenme sağlanır (Şekil 2.7). Donatı ucuna kaynaklanan ya da vidalanan parça ile kenetlenmesi gereken çubuğun kenetlenme boyu kısaltılabilmektedir (Altan, 2013).



Şekil 2.7. Mekanik kenetlenme (Mahrenholtz ve Eligehausen, 2015).

Nervürlü çubukların demet olarak kullanılmasıyla, çekme donatısında demet donatının kenetlenmesi gerçekleşebilmektedir. Bu kenetlenme yönteminde demette en fazla 3 donatı çubuğu kullanılır. Demet yapılan çubukların çapı $\emptyset$, demetteki donatı sayısı n olmak üzere demet donatısının eşdeğer çapı $\emptyset_e$;

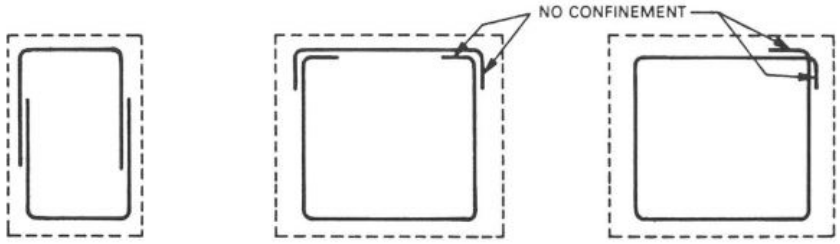
$$\emptyset_e = 1.2\ \emptyset\sqrt{n} \qquad (2.7.)$$

formülü ile bulunur ve kenetlenme boyu hesaplanırken de $\emptyset_e$ değeri esas alınır (Özkaynak, 2002).

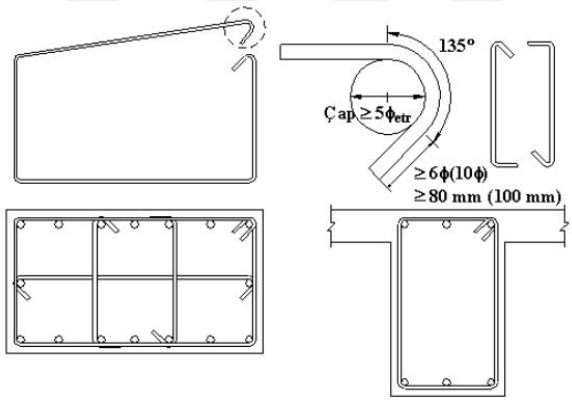
Çekme donatılarının çevresinde çekme çatlak ve gerilmeleri oluştuğu için çekme çubukları aderans yönünden kritik bir öneme sahiptir. Basınç donatılarında ise böyle bir durum söz konusu olmadığından çekme donatısına göre daha az kenetlenme boyu ile kenetlenme gerçekleşebilmektedir (Özkaynak, 2002).

Kolonlar, dişli döşeme kirişleri, hasır donatılar gibi alanlarda enine donatılar kullanılmaktadır. Enine donatılarda (etriyelerde) kenetlenme; kanca, düz bindirme ve enine çubuk kaynaklama yöntemleriyle gerçekleşir. Şekil 2.8'de sırasıyla; deprem ve burulma etkisi altında olmayan elemanlar için bazı durumlarda kullanılan düz kenetlenme kesiti, dişli döşeme kirişlerinde kullanılan kesit ve dikdörtgen kesit görülmektedir. Deprem etkisi altındaki elemanlarda Şekil 2.9'da yer alan kaynaklı kenetlenme modelleri

kullanılmakta, kenetlenme hasır çelikten etriyelere enine kaynatılan çubuklarla sağlanmaktadır (Özkaynak, 2002).



Şekil 2.8. Etriyelerde düz kenetlenme kesitleri (ACI'den (2013) değiştirilmeden alınmıştır.) (ACI, 2013).



Şekil 2.9. Deprem etkisindeki elemanlarda kaynaklı kenetlenme (Özkaynak'ın (2002) çalışmasından değiştirilmeden alınmıştır.) (Özkaynak, 2002).

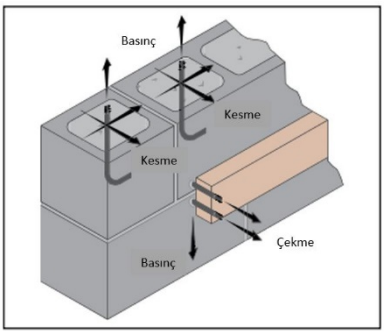
BÖLÜM 3

ANKRAJLARIN UYGULANMA TEKNİKLERİ

3.1. Betona Uygulanan Ankrajlar

Aderans tanımındaki donatı ve betonun birlikte çalışma durumuna benzer şekilde, onarım ve güçlendirme uygulamalarında betona sonradan ilave edilen donatıların da mevcut betonarme yapı elemanlarıyla en iyi şekilde çalışabilmesi için betona yapışması gerekir. Çelik donatıdaki çekme kuvvetinin, beton ve yapışma ile dengelenip, donatının betona bağlanması işlemine ankrajlama denir (Demir, Şimşek ve Yaprak, 2009).

Güçlendirme çalışmalarında mevcut strüktüre yeni taşıyıcı eleman eklendiği durumlarda, yeni ve eski elemanların birlikte çalışabilmesi için bu yapı elemanları arasındaki kuvvet aktarımı sağlanmalıdır. İlave ve mevcut taşıyıcı elemanlar arasındaki bu kuvvet aktarımı, ankrajlamadaki donatıların ekseni doğrultusunda çekme kuvvetinin aktarılması sayesinde gerçekleşir (Şekil 3.1) (Gürbüz, 2007).

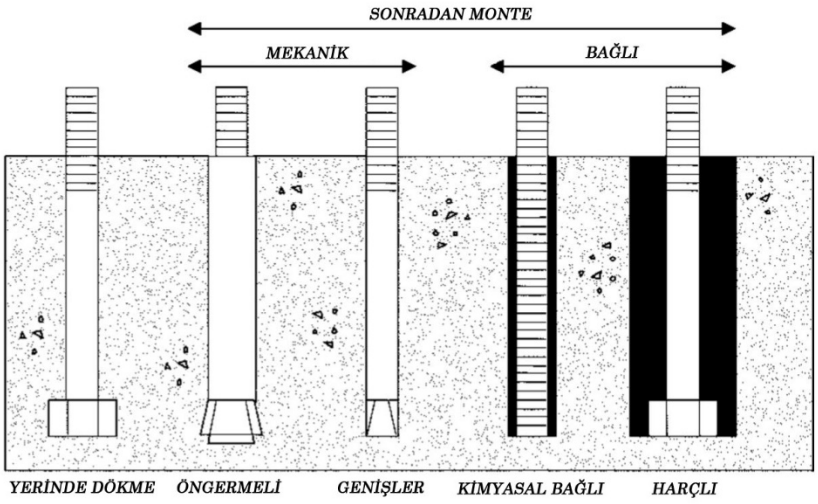


Şekil 3.1. Ankrajlarda yük aktarımı (NCMA).

Ankrajlama tekniklerinden, inşaat sektöründe genel olarak güçlendirme çalışmaları ve prefabrik sistemlerde montaj aşamalarında yararlanılmaktadır. Ankrajlar; mevcut yapının yük taşıma kapasitesinin arttırılmak istendiği durumlarda; kolon, kiriş ve döşeme kesitlerinin arttırılması, deprem yüklerine karşı mevcut sisteme perde eklenmesi gibi yapı güçlendirme işlemlerinde, prefabrik yapıların saha montajlarında, çeşitli pano ve cephe kaplamalarının montajında kullanılmaktadır (Gökdemir ve Tankut, 2017) (Gürbüz, 2007).

Ankrajlar yapıların güçlendirilmesi, makine temelleri, köprü onarımları, prefabrik ve sanayi yapıları gibi pek çok alanda kullanılabilmektedir.

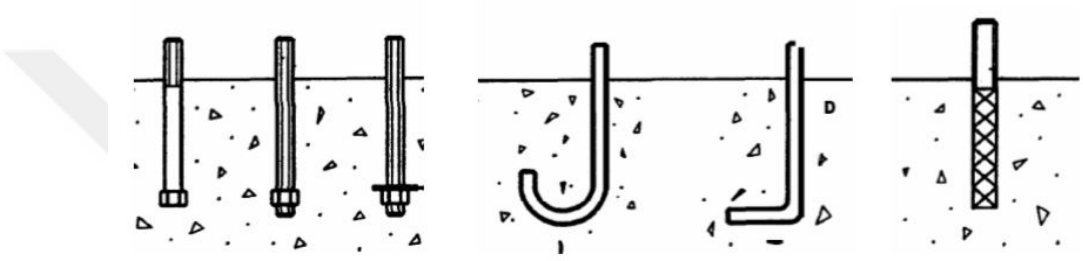
Ankrajlar, betona yerinde dökme veya sonradan monte edilerek uygulanan çelik donatı elemanlarıdır. Betona sonradan yerleştirilen ankrajlar (postinstalled anchors); mekanik ve bağlı (bağ tipi) ankrajlardır. Mekanik ankraj tipleri; öngermeli ve genişler olarak, bağlı ankraj tipleri ise; kimyasal bağlı ve harçlı şeklinde ayrılmaktadırlar (Şekil 3.2) (Eligehausen, Cook ve Appl, 2006).



Şekil 3.2. Betona yapıştırılan çelik donatı türleri (Eligehausen vd., 2006).

3.1.1.Yerinde dökme ankrajlar

Beton dökümü sırasında yapılan ankrajlar; yerinde dökme ankrajlar (cast-in-place anchors) olarak tanımlanır. Taze betona monte edilen ankrajların çekip çıkarma kapasitesi sonradan monte ankrajlara göre daha yüksektir. Yapılan araştırmalar; taze betona yerleştirilen ankrajlardaki çekip çıkarma kapasitesinin, betona sonradan monte edilen ankrajlardakinden %10 daha yüksek olduğunu göstermektedir (Muratlı, Klingner ve Graves, 2004).



Şekil 3.3. Yeni dökülmüş betona gömülen çelik donatılar (Özkul, Mutlu ve Sağlam, 2001).

3.1.2.Sonradan monte ankrajlar

Sertleşmiş betona sonradan monte ankrajlar, onarım ve restorasyon çalışmalarında sağladığı uygulama imkanları sebebiyle sıklıkla bu alanlarda tercih edilen bir ankrajlama modelidir. Ankraj iki şekilde yapılır. Birinci yöntemde ankraj betona mekanik sürtünme yoluyla bağlanır. İkinci yöntemde ise ankraj betona bir yapıştırıcı ile yapıştırılır (Özkul vd., 2001).

3.1.2.1.Mekanik ankrajlar

Kompozit yapılar, diğer yapı tiplerine göre daha yüksek mukavemet / ağırlık oranı, daha fazla dışsal mukavemet ve sağlamlık, daha hızlı ve daha esnek yapı, yenileme ve onarım kolaylığı, daha yüksek dayanıklılık ve daha iyi estetik gibi pek çok avantaja

sahiptirler. Mekanik bağlantı elemanları geleneksel olarak bu tip (özellikle çelik-beton kompozit) yapılarda kullanılır (Yılmaz vd., 2010).

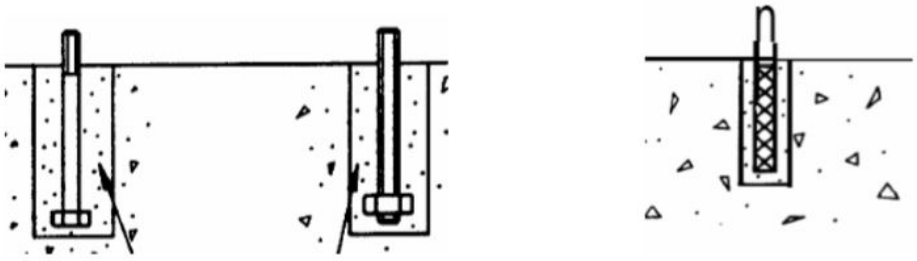
Mekanik ankrajlarda yük betona sürtünme ile aktarılır (Altan, 2013). Mekanik bağlantıların bir takım dezavantajları vardır (Yılmaz vd., 2010);

- Gerilim yığılmasına neden olur (Yılmaz vd., 2010),

-Yüksek derecede etkileşim sağlayamazlar (Yılmaz vd., 2010).

3.1.2.2.Bağ tipi ankrajlar

Bağ tipi ankrajlar, kullanılan bağlayıcı malzemeye göre polimer esaslı bağlayıcısı olan (kimyasal bağlı) ve çimento esaslı döküm harcı kullanılan (harçlı) şeklinde sınıflandırılabilmektedir (Gürbüz, 2007).



Şekil 3.4. Bağlantı ankrajları (Özkul vd., 2001).

Kimyasal ankraj diğer ankrajlara göre daha maliyetli olmasına rağmen uygulaması kolay ve pratik, yapışma, çekme ve basınç dayanımları yüksek olduğundan dolayı güçlendirme çalışmalarında güvenli ve etkin bir şekilde kullanılan bir ankraj tipidir (Gürbüz, 2007). Aynı zamanda beton panellerde en sık kullanılan ankrajlar da kimyasal ankrajlar türleridir. Kimyasal bağlı ankrajlar, sertleşmiş betona matkapla delik açılarak yerleştirilir. Bu aşamada betona açılan delik çapının, çelik elemanın çapının 1.5 katından daha büyük olmamasına dikkat edilir (Cook, Douglas ve Davis, 2009). Beton ile çelik arasında bağlayıcı işlevi gören yapısal yapıştırıcılar kullanılır (Cook vd., 2009). Bu

yapıştırıcılar aynı zamanda, beton ile arasında oluşan aderans kuvveti sayesinde ankaraja etki eden çekme, eğilme ve kesme yüklerinin aktarımında rol oynar (Cook vd., 2009) .

Harçlı ankrajlar da kimyasal bağlı ankrajlar gibi betona açılan deliğe yerleştirilerek uygulanır, ancak kimyasal bağlı ankrajlardan farklı olarak delik daha geniş bir şekilde ve darbeli delme ya da karot sondajı yöntemleri ile açılır. Genellikle delik boyutu ankraj çapının yaklaşık iki katı kadardır. Delik çapının büyük olması sebebiyle, harçlı ankraj uygulamaları tipik olarak dikey montajlamayla sınırlıdır. Ankrajın deliğe gömülü ucu; vidalı, nervürlü, civata başlı, dişli somun çubuk şeklinde olabilmektedir. Beton ile çelik arasına ön karışımlı harç ile dolgu yapılır. Ankraj çapı ile yapıştırıcı kuvveti arasında ters orantılı bir ilişki vardır; kullanılan donatının çapı arttıkça bağlanma kuvveti azalmaktadır (Eligehausen vd., 2006) .

Harçlı ankrajlar, kimyasal ankrajalara göre daha ekonomiktir. Ancak çekme ve basınç dayanımlarının düşük, bağ kuvvetlerinin ise yetersiz oluşu harçlı ankrajları, kimyasal ankrajlara göre dezavantajlı hale getirmektedir (Gürbüz, 2007) .

3.2. Ankrajlarda Kullanılan Yapıştırıcı

Bağlayıcı olarak mekanik bağlantı elemanlarına göre avantajlarının olması, bağlantı bölgesindeki gerilimin eşit dağılımını sağlaması, prefabrik kesitlerle yapı kalitesinin arttırılmasına imkân vermesi ve uygulama kolaylığı sağlaması gibi etkenler yapısal yapıştırıcıları, son dönemde araştırma ve uygulamalarda sıklıkla odak noktası haline getirmektedir. Çelik-beton gibi kompozit bağlantıların yapışma mukavemeti, yapı elemanının kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Yapıştırıcı malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri, yapışkan tabaka kalınlığı gibi faktörler ise yapışma mukavemetini belirlemektedir. Dolayısıyla kullanılan bağlayıcı yapıştırıcının seçimi ve özellikleri kullanılacağı bölge, yapı elemanı ve hatta yapı strüktürünün genelinde kritik bir öneme sahiptir (Gürbüz, 2007).

Ankrajlarda bağlayıcı yapıştırıcılar bağ tipi ankrajlar için kullanılmaktadır. Bağlı ankrajlarda bağlayıcı olarak kullanılan yapıştırıcılar; bir araya getirildiğinde reaksiyona giren ve sertleşen kimyasal bileşiklerden (bileşenlerden) oluşan reaktif yapıştırıcı şeklinde tanımlanmaktadır (Cook vd., 2009). Ankrajlarda bağlayıcı malzeme olarak sıklıkla polimerler ve portland çimentosu kullanılır (Yılmaz vd., 2010) .

BÖLÜM 4

KİMYASAL ANKRAJLARIN DAVRANIŞLARI

Yapısal ve mekanik elemanlar, güçlendirme ya da onarım amacıyla mevcut yapıya çeşitli ankrajlama teknikleri yardımıyla sabitlenmektedirler. Tercih edilen ankraj tekniği ve tasarımı, uygulama sonrasında elde edilecek performans, maliyet ve güvenlik konularında belirleyici rol oynamaktadır. Bu sebeple uygulanacak ankrajın teknik, ekonomik, fiziksel ve mekanik özellikleri uygulama öncesinde tasarımcı tarafından ele alınmalıdır. Öngörülen ankraj performans ve kapasitesinin hesaplanabilmesi için ankrajın maruz kaldığı etkiler altındaki davranışları incelenmelidir (Yılmaz vd., 2010).

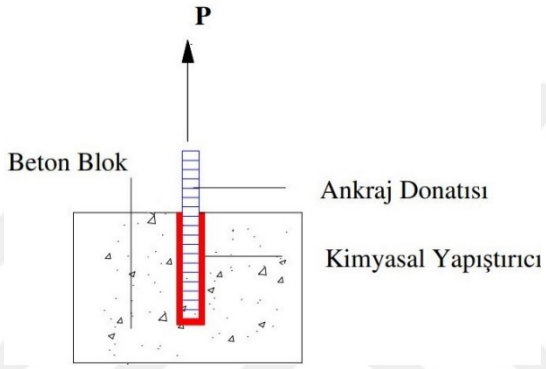
Bu bölümde betona yapıştırılan çelik donatılar kapsamında kimyasal ankrajlara odaklanılmıştır. Buna bağlı olarak kimyasal ankrajlarda yük aktarımının nasıl gerçekleştiği, kimyasal ankrajın davranışını belirleyen değişkenler, göçme tipleri, ankraj performansı, ankraj donatısının akması ve sıyrılması, davranış modelleri, yük taşıma kapasitesini etkileyen faktörler ele alınmıştır.

4.1. Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı

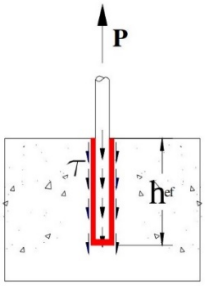
Kimyasal ankrajları oluşturan bileşenler; ankraj donatısı, ankrajın uygulandığı taban betonu ve ankraj ile beton arasındaki yapıştırıcı şeklinde sıralanabilir (Şekil 4.1) . Daha önceki bölümlerde de ele alındığı üzere ankraj donatısı ile mevcut betonun birlikte çalışması; ankraj deliğine yerleştirilen çelik ankraj donatısının deliğe doldurulan yapıştırıcı ile beton yüzeye tutunması sayesinde gerçekleşir. Ankraja etki eden çekme yükleri, ankraj deliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri ile ankrajın monte edildiği

betona aktarılır (Şekil4.2) (Gürbüz, 2007). Ankraj donatısı-yapıştırıcı ve beton arasında oluşan kayma gerilmeleri ‘aderans’ olarak tanımlanır (Yılmaz vd., 2010) (Aderans konusuna Bölüm 2, Temel Kavramlar kısmında detaylıca yer verilmiştir.).

Aderans gerilmeleri hesaplanırken, genellikle ankraj deliği boyunca düzgün yayılı oldukları varsayılır. Aderans gerilmeleri gerçekte düzgün yayılı şekilde gerçekleşmemesine karşın bu durum daha kolay hesap yapılabilmesi açısından göz ardı edilir (Gürbüz, 2007) .



Şekil 4.1. Kimyasal ankrajı oluşturan bileşenler (Gürbüz, 2007).



Şekil 4.2. Ankraj deliği boyunca oluşan gerilmelerle yük aktarımı (Gürbüz, 2007).

4.2. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Davranışını Tanımlayan Değişkenler

Kimyasal ankrajların davranışları üzerine en kapsamlı yapılan çalışmalardan birini 2001 yılında Cook ve Konz gerçekleştirmiştir (Cook ve Konz, 2001) . Yapılan çalışmada, kimyasal ankrajların davranışlarını etkileyen faktörler; uygulama esnasında karıştırılarak hazırlanan, ester-bileşenli, kapsüllü, enjeksiyon tipi gibi 20 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanılan deneylerle incelenmiştir. Referans olarak alınan numunelerdeki kimyasal ankraj uygulamaları optimum şartlar altında gerçekleştirilmiş, bunlar üzerinde tutup çıkarma deneyleri yapılmıştır. Buna göre; ankrajın uygulanacağı ankraj deliğinin temiz ve kuru olmasına, ankrajın kürünü tamamlamış olmasına ve ısı değeri olarak oda sıcaklığında bulunmasına dikkat edilmiştir. Cook ve Konz'un yaptığı çalışma sonucunda kimyasal ankrajların davranışını etkileyen çevresel etkenler; ankraj uygulaması esnasında ve uygulama sonrasındaki etkenler olmak üzere iki ana başlıkta ele alınmıştır. Ankraj uygulaması sırasında ankraj davranışını etkileyen değişkenler; nem, ıslaklık, toz, beton kalitesi, kür süresi ve sıcaklıktır. Ankraj uygulaması sonrasında ankraj davranışını etkileyen değişkenler ise; kür süresi ve sıcaklık olmuştur (Cook ve Konz, 2001).

Ankraj davranışını belirleyen değişkenler ele alındığında, Cook ve Konz'un belirttiği ankraj yerleştirilmesi esnasında ve yerleştirildikten sonraki etkenlere ek olarak üçüncü bir başlıkta diğer etkenler de incelenmelidir. Kimyasal ankrajların davranışını belirleyen diğer değişkenler; ankraj donatısının dayanımı ve çapı, taban betonunun basınç ve çekme dayanımı, kimyasal yapıştırıcı ile ilgili özellikler, ankraj derinliği, ankraj deliğinin çapı, ankraj-serbest kenar mesafesi, ankrajlar arası uzaklık ve yüklemedir (Gürbüz, 2007).

4.2.1. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yapışma Özelliklerini Etkileyen Değişkenler

Kimyasal ankrajlar, ankraj deliğine yerleştirildiği sırada ankraj davranışını etkileyen başlıca değişkenler; nem, ıslaklık, toz ve beton kalitesi şeklinde sıralanabilir.

4.2.1.1. Nem

Su ile doldurulan ankraj deliklerinde, kimyasal ankraj uygulaması öncesinde delikteki su boşaltılsa dahi ankraj dayanımı olumsuz yönde etkilenmektedir. Referans

numunelerdeki yapışma dayanımının 15.4 MPa olduğu deneylerde, nemli deliğe uygulanan kimyasal ankrajların yapışma dayanımlarında %23'lük düşüş görülmüştür (Cook ve Konz, 2001).

4.2.1.2. Islaklık

Nem gibi ıslaklık da kimyasal ankrajlarda yapışma dayanımını olumsuz yönde etkileyen bir diğer etkendir. Su ile doldurulan ankraj deliklerindeki su boşaltılmadan epoksi kullanılarak kimyasal ankraj uygulaması yapılan deneylerde, referans numunelerdeki yapışma dayanımı 15.4 MPa iken, ıslak deliğe uygulanan kimyasal ankrajların yapışma dayanımlarında %57'lik düşüş görülmüştür (Cook ve Konz, 2001).

Islak yüzeylerdeki yapışma dayanımı, nemli yüzeylere göre daha az olmaktadır. Bunun sebebi ıslak ankraj deliklerinde hem mekanik hem de kimyasal performansların etkilenmesidir. Delik yüzeyinde bulunan kılcal boşluklarda biriken su yapıştırıcının betona temasını azaltmaktadır. Aynı sebeple kimyasal yapıştırıcı ile beton arasındaki mekanik sürtünmelerde de düşüş olmaktadır. Yapıştırıcı-beton ara yüzeyinde bulunan su yapışma kuvvetlerini etkilemektedir (Yılmaz vd., 2010).

4.2.1.3. Toz

Ankraj delikleri açılırken, delinen betondan çıkan beton tozları ankraj deliğinin temizlenmemesi halinde delikte kalmaktadır. Ankraj deliğinin ıslak olması durumu gibi tozlu olması da beton ile kimyasal yapıştırıcı arasındaki yapışma yüzeyini azaltmaktadır. Dolayısıyla da ankrajdaki bağ kuvveti ve yapışma dayanımını azaltmaktadır. Tozsuz ankrajlarda 15.4 MPa olan yapışma dayanımı, ankraj tozlu olduğunda %29 azalmaktadır (Cook ve Konz, 2001).

4.2.1.4. Beton Kalitesi

Yapılan uygulama ve deneyler beton dayanımının, kimyasal ankrajlardaki yapışma dayanımı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. İki farklı kalitedeki taban betonu ile yapılan deneylerde, beton dayanımındaki artış yapışma dayanımını da arttırmıştır (Cook ve Konz, 2001). Ancak bu artış çok ufak değerlerde gerçekleşmiş, kayda değer ölçüde bir fark yaratmamıştır.

4.2.2. Çelik Donatıların Betona Yapıştırıldıktan Sonraki Yapışma Özelliklerini Etkileyen Değişkenler

Kimyasal ankraj, ankraj deliğine yerleştirildikten sonra ankraj davranışını etkileyen başlıca değişkenler kür süresi ve sıcaklıktır (Gürbüz, 2007).

4.2.2.1. Kür Süresi

Kimyasal ankraj ekimi gerçekleştikten sonra ankraj davranışını belirleyen en önemli etkenlerden biri kür süresidir. Ankraj çekme deneyleri yapılarak, ankrajın kısa ve normal kürlenme süresindeki yapışma dayanımları karşılaştırıldığında yapışma dayanımları farklılık göstermektedir. Ankraj ekimi yapıldıktan 24 saat sonra, tam kür süresi tamamlanmadan çekme deneyi yapıldığında; kimyasal ankrajın yapışma dayanımının, normal kürlenme sonrasındaki yapışma dayanımına göre ortalama % 12 oranında azaldığı görülmektedir (Cook ve Konz, 2001).

4.2.2.2. Sıcaklık

Farklı sıcaklardaki odalarda bulunan kimyasal ankrajlar üzerinde yapılan deneyler ile sıcaklığın kimyasal ankrajların dayanımları üzerindeki etkilerini inceleyen pek çok çalışma mevcuttur. Ester bazlı ankrajlarda genellikle sıcaklık artışıyla ankraj dayanımı doğru orantılı artarken, diğer kimyasallar için bu durum değişebilmektedir (Gürbüz, 2007).

Sıcaklık faktörü sadece ankrajda kullanılan yapıştırıcıyı kapsayan bir etken değildir. Isı değişimi ve sıcaklık farkı gibi değişkenler aynı zamanda ankrajın uygulandığı betonu da etkilemektedir. Ortam ısısının değişimi, sıklıkla sıcaklık farkı olması gibi durumlar taban betonunda çatlamalara neden olabilmektedir. Betonda oluşan çatlaklar ise ankraj dayanımı düşürerek, ankraj davranışı (Cook ve Konz, 2001).

4.2.3. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yapışma Özelliklerini Etkileyen Diğer Değişkenler

Ankrajın dayanımını etkileyen diğer faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Ankraj çubuğunun dayanımı (Gürbüz, 2007),

- Taban betonunun basınç dayanımı (Cook, Kunz, Fuchs, Konz, 1998),

- Taban betonunun çekme dayanımı (Yılmaz vd., 2010),

- Ankrajda kullanılan kimyasal yapıştırıcı (Yılmaz vd., 2010),

- Ankraj derinliği (Cook vd., 1993),

- Ankraj donatısının çapı (Yılmaz vd., 2010),

- Ankraj deliğinin çapı (Gürbüz, 2007),

- Ankrajın serbest kenardan uzaklığı (Yılmaz vd., 2010),

- Ankrajlar arası mesafe (Yılmaz vd., 2010),

- Yükleme tipi ve hızı (Gürbüz, 2007).

4.2.3.1. Çelik Donatının Dayanımı

Kimyasal ankrajlar bazı durumlarda, çekme kapasitelerine ankraj çubuğunun kopması ya da akması sonucunda erişebilmektedirler. Buna benzer durumlarda ankraj çubuğunun çekme dayanımı kimyasal ankrajın kapasitesinde etkili olacaktır (Gürbüz, 2007).

4.2.3.2. Betonunun Basınç Dayanımı

Taban betonunun basınç dayanımının ankraj davranışına olan etkilerinin araştırıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. 1998 yılında Cook ve ekibinin yapmış olduğu çalışmada; 20 MPa ve 40 MPa olmak üzere iki farklı basınç dayanımına sahip taban betonuna uygulanan kimyasal ankrajlardaki bağ kuvvetleri karşılaştırılmıştır (Cook vd., 1998). Bu çalışma sonucunda; taban betonunun dayanımdaki artışın, ankrajdaki bağ kuvvetlerini de arttırdığı görülmekle birlikte bu artış 60 MPa beton dayanımına kadar geçerliliğini korumuştur. 60 MPa ve üzerindeki basınç dayanımına sahip taban betonlarında, ankrajdaki bağ kuvvetinde az miktarda azalmalar görülmüştür (Cook vd., 1998).

4.2.3.3. Ankraj Yapılan Betonun Çekme Dayanımı

Yükleme sırasında betonda oluşan hasar betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitelerini belirler. Buna benzer durumlarda, kimyasal ankrajın uygulanacağı

taban betonunun çekme dayanımı, ankraj kapasitesinde belirleyici olmaktadır (Gürbüz, 2007).

4.2.3.4. Ankrajda Kullanılan Kimyasal Yapıştırıcı

Kimyasal ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı, ankrajda kullanılan kimyasal yapıştırıcıya göre değişim göstermektedir. Her kimyasal yapıştırıcı, farklı yapışma dayanımına sahiptir (Gürbüz, 2007).

4.2.3.5. Ankraj Derinliği

Kimyasal ankrajlarda; ankraj derinliğinin artması, ankraj kapasitesini arttırmaktadır. Ancak ankraj derinliği boyunca oluşan kayma gerilmeleri, düzgün yayılı bir şekilde gerçekleşmemektedir. Bu nedenle ankraj derinliği ile ankraj kapasitesi ilişkisi doğrusal olarak tanımlanmamaktadır. Ankraj derinliğinin ankraj kapasitesine etkisi, belirli bir seviye itibariyle daha az artarak kendini göstermektedir (Cook vd., 1993).

4.2.3.6. Ankraj Donatısının Çapı

Kimyasal ankrajda oluşan aderans gerilmeleri, ankrajda kullanılan çelik donatının yüzeyinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla ankrajdaki çubuk çapındaki değişiklikler aderans gerilmelerini, aderansın artıp azalması ise ankraj kapasitesini etkileyecektedir (Gürbüz, 2007).

4.2.3.7. Ankraj Delik Çapı

Ankraj delik çapı, ankrajda kullanılan yapıştırıcı ile beton arasındaki arayüzün miktarında belirleyicidir. Kimyasal yapıştırıcı-beton arayüzünün genişlemesi, oluşacak bağ gerilmelerini ve kimyasal ankrajın kapasitesini de arttıracak bir etkendir (Gürbüz, 2007).

4.2.3.8. Ankrajın Serbest Kenardan Uzaklığı

Ankrajlar beton yüzeye uygulandıktan sonra çeşitli sebeplerle betonda çatlamalar oluşabilmektedir. Kimyasal ankrajın, serbest kenara yakın bir şekilde konumlandırılması da betonun çatlamasına ve betonda yarık oluşmasına yol açabilmektedir. Betonda oluşan yarık ve çatlaklar ise göçmeye neden olur (Gürbüz, 2007).

4.2.3.9. Ankrajlar Arası Mesafe

Eksenel çekme altındaki kimyasal ankrajlar, betonda oluşan göçmeler sonucunda çekme kapasitelerine ulaşabilmektedirler. Bunun gibi durumlarda herhangi bir ankrajın taban betonunda oluşan çatlamalar, ankraja komşu olarak konumlanan diğer ankrajları da etkileyecek ve ankrajlar arası mesafe ankraj kapasitelerinde belirleyici olacaktır (Gürbüz, 2007).

4.2.3.10. Ankrajların Yük Taşıma Kapasitesinin Yükleme Tipi ve Hızına Bağlı Olarak Değişimi

Betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitesi yükleme tipine ve hızına bağlı olarak değişir (Gürbüz, 2007).

4.3. Betona Yapıştırılan Çelik Donatılarda Çekme Yükü Etkisinde Oluşan Göçme Tipleri

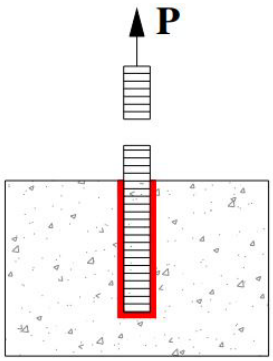
Kimyasal ankrajların uygulamasında yer alan farklı kıstaslara bağlı olarak, ankraj çekip çıkarma deneylerinde oluşan göçme modları değişim göstermektedir (Cook vd., 1993). Buna göre kimyasal ankraj uygulamasındaki; beton sınıfı, kimyasal yapıştırıcının türü, ankraj geometrisi ve ankraj donatısının dayanımı göçme modlarında belirleyicidir. Eksenel çekme etkisindeki kimyasal ankrajlarda görülen göçme tipleri şu şekildedir;

- Ankraj çubuğunun akması ve kopması (Cook vd., 1993),
- Ankraj çubuğunun sıyrılması (Cook vd., 1993),
- Betonun konik kopması (Cook vd., 1993), (Eligehausen, Malee, Rehm, 1984),
- Koni ile sıyrılmanın birlikte oluşması almaktadır (Cook vd., 1993),
- Betonun yarılması (Gürbüz, 2007).

4.3.1. Ankraj Çubuğunun Akması ve Kopması

Kimyasal ankrajın yerleştirildiği betonunun ve kullanılan kimyasal yapıştırıcının kalitesinin yüksek, ankraj deliğinin derin olduğu uygulamalarda ankraj çubuğunun akması ve ya kopması durumları görülebilmektedir (Şekil 4.3). Ankraj donatısının

akması, ankraj tasarımı açısından olumlu bir durum olarak görülürken, ankraj donatısının kopması ise ankrajın kapasitesini belirlemektedir (Cook vd., 1993).

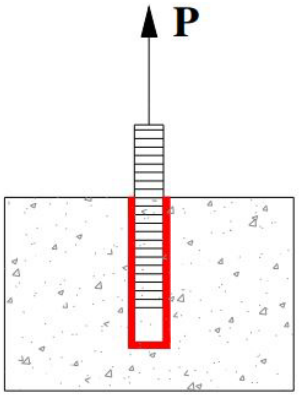


Şekil 4.3. Ankrajdaki çelik donatının kopması (Gürbüz, 2007).

4.3.2. Ankraj Çubuğunun Sıyrılması

Ankraj donatısının sıyrılarak çıkması 'ankraj çubuğunun sıyrılması' olarak ifade edilmektedir (Gürbüz, 2007). Ankrajın yapışma dayanımının azalması, kimyasal ankrajdaki donatının sıyrılmasına yol açmaktadır (Şekil 4.4).

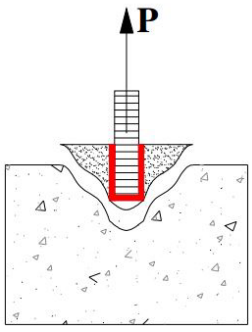
Yapışma dayanımı düşük kimyasal yapıştırıcıların kullanılması, yeterli yüzey temizliğinin yapılmaması ya da kür süresinin kısa tutulması benzeri uygulama sırasında yapılan hatalar nedeniyle kimyasal yapıştırıcı tam yapışma dayanımına ulaşamayabilir. Bunun gibi durumlar; ankraj çubuğunun sıyrılarak göçme oluşmasına yol açabilmektedir (Cook vd., 1993).



Şekil 4.4. Ankrajdaki çelik donatının sıyrılması (Gürbüz, 2007).

4.3.3. Betonun Konik Kopması

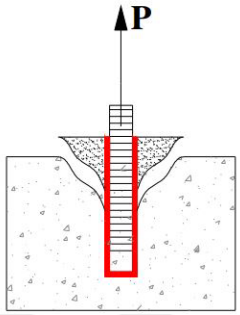
Çekme gerilmelerinin betonun çekme kapasitesinin üzerinde olması durumunda ankraj betonu konik olarak kırılır ve ankrajda konik göçme gerçekleşir (Şekil 4.5). Ankraj derinliği yaklaşık olarak 75 mm'den daha az ise sığ ankraj derinliklerinde 'tam konik göçme modu' oluşur (Cook vd., 1993). Betonun çekme dayanımı ile koni hacmi arasındaki ilişkinin ele alındığı çalışmalarda görülmüştür ki; beton dayanımının azalması koni derinliğini arttırırken ankraj dayanımını ise azaltmaktadır (Eligehausen vd., 1984).



Şekil 4.5. Ankraj taban betonunun konik kopması (Gürbüz, 2007).

4.3.4. Koni ile Sıyrılmanın Birlikte Oluşması

Bazı durumlarda hem beton konisi hem de sıyrılmanın birlikte gerçekleştiği göçme modları görülebilmektedir. Ankraj derinliğinin 50 ile 75 mm arasında olduğu ankrajlarda bu durumun yaşandığı mevcut çalışmalarda yer almaktadır (Cook vd., 1993).



Şekil 4.6. Ankrajda konik kopma ve çelik donatının sıyrılması durumlarının birlikte Oluşması (Gürbüz, 2007).

4.3.5. Betonun Yarılması

Kimyasal ankrajların serbest kenara yakın ekildiği ve ya ankrajın ekildiği taban betonunun sığ derinliğe sahip olduğu ankraj uygulamalarında 'betonun yarılması' durumu yaşanabilmektedir. Betonun yarılmasına bağlı olarak ortaya çıkan göçme tipinde; taban betonunda, uygulanan eksenel yükle birlikte kılcal çatlaklar görülmeye başlar. Ankraja uygulanan yükün artmasıyla birlikte, kılcal çatlaklar genişlemeye başlar ve serbest kenara doğru ilerler. Bunun sonucunda betonda yarılma meydana gelir (Şekil 4.7) (Gürbüz, 2007).

Betondaki kılcal çatlakların genişlemesi, ankrajdaki dayanımın ani olarak kaybedilmesine yol açar. Bu tip göçme modlarının oluşmasını engellemek amacıyla, ASTM 488-96 Standardına göre ankraj derinliği ile taban beton derinliği arasında belli bir oran bulunmalıdır (ASTM, 2003).



Şekil 4.7. Eksenel yük altındaki ankraj betonunun yarılması (Gürbüz, 2007).

Mevcut çalışmalar beton yarılmasına bağlı göçme tiplerinde, ankraj dayanımının çok yüksek oranda etkilenmediğini göstermektedir. Bu tip göçme sonrasında ankrajlar, genel olarak çok düşük yük seviyesinde dayanım kaybetmekte, beton blokları ankraj derinliğinden 1,5 kat fazla olacak şekilde ankraj ekimi gerçekleştirildiği takdirde bu tip göçme modlarının önüne geçilebilmektedir (Gürbüz, 2007).

4.4. Betona Yapıştırılan Çelik Donatılarda Kesme Yükü Etkisinde Oluşan Göçme Tipleri

Kesme kuvveti etkisindeki kimyasal ankrajların dayanımları;

- Ankrajdaki çelik donatının kesme mukavemeti (Cook, Douglas, Davis, Liu, 2013),

- Ankrajın uygulandığı betonun kopma dayanımı (breakout strenght) (Cook vd., 2013),

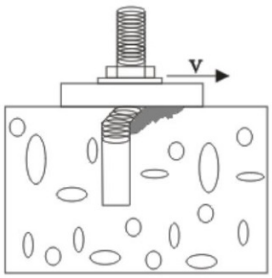
- Ankrajın uygulandığı betonun çekip-çıkarma dayanımına (pry-out strenght) bağlıdır (Cook vd., 2013).

Kesme etkisindeki ankrajlarda donatı hasarı ve beton kopması şeklinde göçme modları görülmektedir.

4.4.1. Kesme Etkisi Altındaki Kimyasal Ankrajda Çelik Hasarı

Farklı beton dayanımı, ankraj çapı ve gömme derinliğine sahip 24 farklı kimyasal ankrajla yapılan deneylerde;

- Beton dayanımı ve gömme derinliğinin, ankraj kesme kapasitesi üzerinde etkisi olmadığı ve ankrajların kesme kapasitelerine donatı hasarı ile eriştiği görülmüştür (Çırak, 2015) (Şekil 4.8).



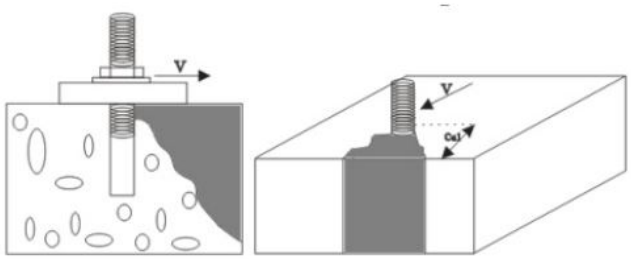
Şekil 4.8. Kesme etkisi altındaki ankrajda beton ezilmesi ve çelik donatı hasarı (Çırak, 2015).

4.4.2. Kesme Etkisi Altındaki Kimyasal Ankrajda Beton Kopma Hasarı

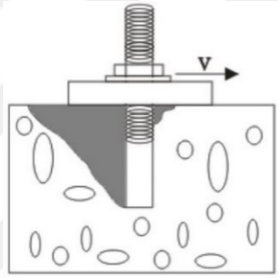
Kesme etkisi altındaki kimyasal ankrajlarda beton kopması yoluyla oluşan göçme modları; kenardan uzak bölgede beton kopması ve ya kenara yakın bölgede beton kopması şeklinde gerçekleşebilmektedir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Farklı beton dayanımı, ankraj çapı ve gömme derinliğine sahip kimyasal ankrajlarla yapılan deneylerde (Çırak, 2015) ;

- Kenardan uzak bölgede beton kopması durumunda, ankraj kesme kapasitesinin etkilenmediği (Çırak, 2015),

- Ankraj ekme derinliği ile beton basınç dayanımının ise kopmayı etkileyen parametreler oldukları görülmüştür. Buna göre ankraj ekme derinliği ve beton basınç dayanımındaki artış, ankraj kapasitesini arttıran parametrelerdir (Çırak, 2015).



Şekil 4.9. Kesme etkisi altındaki ankrajda kenardan uzak bölgede beton kopması (Çırak, 2015).



Şekil 4.10. Kesme etkisi altındaki ankrajda kenara yakın bölgede beton kopması (Çırak, 2015).

Kimyasal ankrajda gerçekleşen beton kopması göçme modunda, ankraj gömme derinliği ve beton basınç dayanımı ankrajın kesme kapasitesini belirleyen etkenlerdir. Buna göre ankrajın ekme derinliği arttıkça, ankraj kapasitesi de artmaktadır. Beton basınç dayanımının artışı da aynı şekilde ankrajdaki kesme dayanımını ciddi oranda arttıran bir diğer etkendir. Ankraj deliğinin çapı da kesme kapasitesini etkileyen parametrelerden biridir. Kenara uzak bölgede beton kopması durumu için ayrıca ankrajın kenara olan mesafesi, ankraj kapasitesinde belirleyici bir etken oluşturmaktadır (Çırak, 2015).

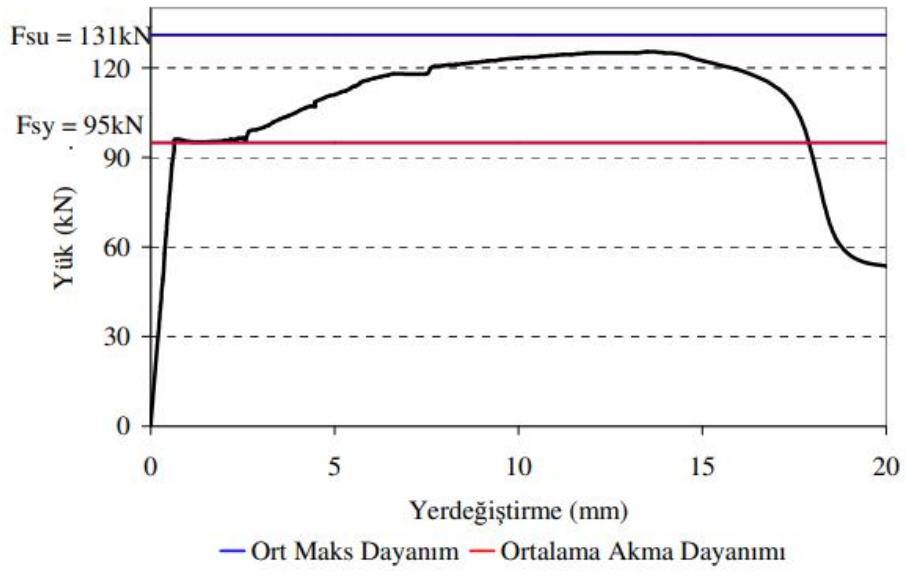
4.5. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Performansı

Kimyasal ankrajlarda, önceki bölümde ele alındığı üzere farklı yükleme şekillerine göre çeşitli göçme tipleri oluşabilmektedir. Ankrajın maruz kaldığı göçme tipine göre kapasitesi ve davranışı değişim gösterir (Gürbüz, 2007).

4.5.1. Çelik Donatının Akması

Eksenel çekmeye maruz kalan kimyasal ankrajlar sünek davranış gösterme eğilimindedir. Ancak ankrajın sünek davranışta olabilmesi için, ankraj ekimi yeterli ankraj derinliğinde gerçekleşmelidir. Akma yüküne ulaşan ankraj, donatıdaki pekleşme etkisi ile bir miktar daha yük almaya devam eder, ancak sonrasında dayanımını kaybeder (Gürbüz, 2007). Bu sebeple ankraj eksenel çekme kapasitesi belirlenirken, donatının akma dayanımı referans alınır (Şekil 4.11). P_u ankraj çekme dayanımı, A_s ankraj donatı alanı, f_{sy} ankraj donatısı akma dayanımı olmak üzere, aşağıdaki formülle hesaplanır (Gürbüz, 2007).

$$P_u = A_s \cdot f_{sy} \tag{4.1.}$$



Şekil 4.11. Akma kapasitesine ulaşan ankraj donatısında yük-yerdeğiştirme ilişkisi (Gürbüz, 2007).

4.5.2. Çelik Donatının Sıyrılması

Ankraj derinliği boyunca ortaya çıkan yapışma dayanımının sona ermesi, ankraj donatısının sıyrılarak ankrajda göçmeye neden olmaktadır. Sıyrılma tipi göçme modu oluşan kimyasal ankrajlar incelediğinde aşağıdaki durumlar görülmektedir (Gürbüz, 2007);

- Ankrajın yük taşıma kapasitesi geçilince ankraj deliğindeki donatı ve kimyasal yapıştırıcının birlikte hareket ederek sıyrılmaya neden olduğu görülmektedir (Gürbüz, 2007).

- Ankraj derinliği boyunca oluşan kesme gerilmelerinin yapışma dayanımına ulaşmadığı durumlarda sıyrılma yaşanmamaktadır (Gürbüz, 2007).

- Ankraj donatısının eksenel uzaması, maksimum yüke ulaşılana kadar yerdeğiştirmelere neden olmaktadır (Gürbüz, 2007).

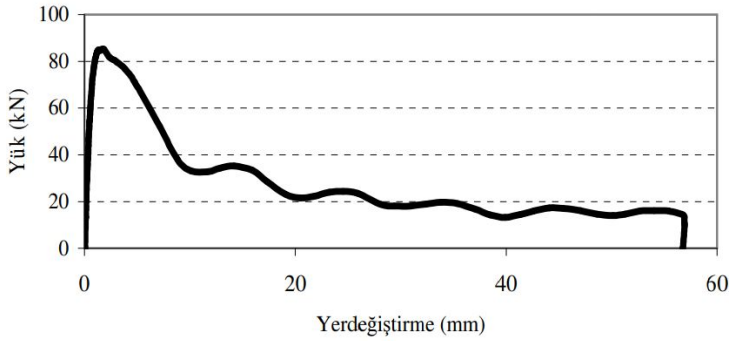
- Maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşan ankrajda, yerdeğiştirmeler artmakta ve sıyrılma olayı gerçekleşmektedir (Gürbüz, 2007).

- Sıyrılma tipi göçme modu gözlenen kimyasal ankrajlarda; beton ile yapıştırıcı arasındaki mekanik sürtünme, yük kapasitesine ulaşıldıktan sonra ankrajdaki kuvveti karşılamaktadır (Şekil 4.12).

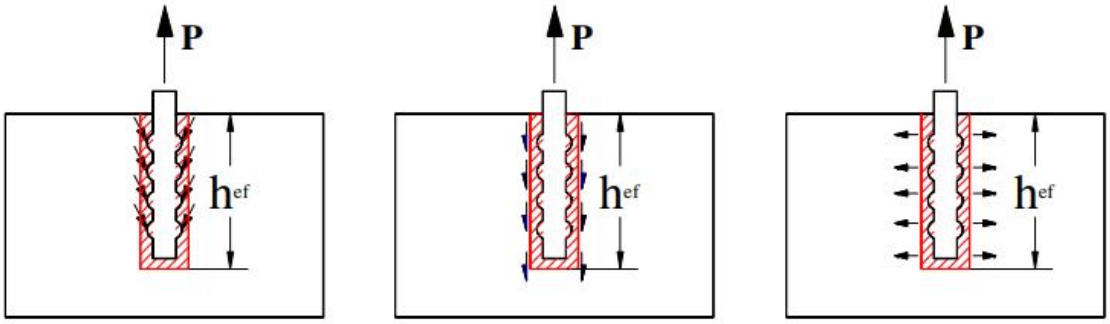
- Mekanik sürtünme kuvvetleri, belli bir yerdeğiştirmeye ulaşılana kadar yükleri karşılamaya devam eder. Ankrajın bu davranışı ne kadar sürdüreceği; donatının diş tipi, agrega boyutu ve cinsi, yüzey pürüzlülüğü gibi mekanik sürtünmeyi belirleyen etkenlere bağlı olarak her bir kimyasal ankraj uygulaması için farklılık göstermektedir (Gürbüz, 2007).

4.5.3. Betonda Koni Şeklinde Kırılma ve Donatının Sıyrılması

Kimyasal ankrajlarda göçme modu beton dayanımına ve yapışma derinliğine bağlıdır (Eligehausen vd., 1984). Şekil 4.13'te ankraj derinliği boyunca, oluşan gerilmeler gösterilmiştir. Gerilme betonun çekme dayanımını aştığında, betonda koni şeklinde kırılma olur (Gürbüz, 2007).

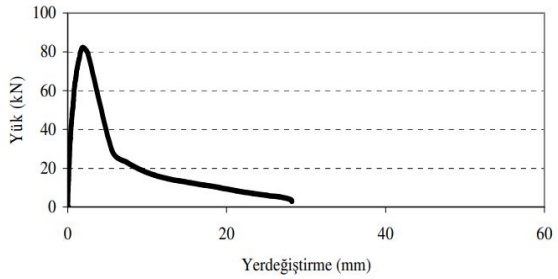


Şekil 4.12. Betona yapıştırılan çelik donatıların sıyrılma modunda yük-yerdeğiştirme davranışı (Gürbüz, 2007).



Şekil 4.13. Yapışma derinliği boyunca oluşan kayma gerilmeleri (Gürbüz, 2007).

Aşağıdaki grafikte kimyasal ankrajlarda beton konisi şeklinde kırılma durumunda oluşan yük şekil değiştirme grafiği görülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Betonun koni şeklinde kırılması ve betona yapıştırılan çelik donatının sıyrılması ile oluşan göçme tipine ait yük-yerdeğiştirme grafiği (Gürbüz, 2007).

4.6. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yük Taşıma Kapasitesini Belirleyen Modeller

Kimyasal ankrajların dayanımlarını belirleyen kesin bir model bulunmamaktadır. Mevcut literatür ve çalışmalarda yer alan ankraj tasarım modelleri, ankrajların göçme modları referans alınarak geliştirilmektedir. Bunlar; beton koni şeklinde kırılma, sıyrılma ve bağ modelidir (Gürbüz, 2007).

4.6.1. Betonun Koni Şeklinde Kırılmasını Tanımlayan Model

Ankraj davranışını yansıtan ilk beton konisi modelini 1984 yılında Eligehausen ve ekibi ortaya koymuştur (Eligehausen vd., 1984). Eligehausen'un önerdiği model, yalnızca konik göçmenin gözlendiği ankrajları içermektedir.. Bu araştırmada; farklı basınç dayanımlarındaki çatlamamış betona yerleştirilmiş, farklı çaplara sahip kimyasal ankrajlar ile eksenel çekme deneyleri yapılmıştır. Buna göre çalışma detayları aşağıdaki gibidir;

- Ankrajlar basınç dayanımı düşük ve yüksek dayanımlı olan betonlara ekilmiştir (Eligehausen vd., 1984).

- Ankraj çapları Φ8 ile Φ24 arasında değişmektedir (Eligehausen vd., 1984).

- Ankraj derinlikleri, ankraj çapının 9 katı olacak şekilde ayarlanmıştır (Eligehausen vd., 1984).

- Kimyasal ankraj numuneleri, eksenel çekme kuvvetlerine maruz kalmıştır (Eligehausen vd., 1984).

- Konik göçmeye sahip ankrajların kapasitelerinin hesabında aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Eligehausen vd., 1984).

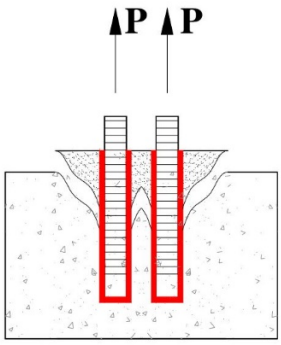
$$P_u = 0.92 h_{ef}^2 \sqrt{f_c} \tag{4.2.}$$

P_u = Ankrajın çekme kapasitesini,

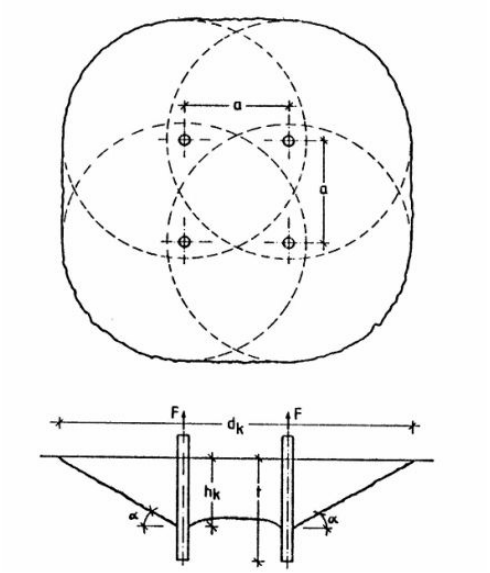
F_c = Betonun standart silindir basınç dayanımını,

h_{ef} = Efektif ankraj derinliğini ifade etmektedir.

Modele göre; ankrajın çekme kapasitesi beton kalitesine ve yapışma derinliğine bağlıdır. Formülün kullanılabilmesi için ankrajlar arasında yeterli mesafe bırakılması gerekir (Şekil 4.15) (Gürbüz, 2007). Bu mesafenin azaltılması durumunda tek bir koni oluşur ve ankrajın göçme yükü azalır (Şekil 4.16) (Eligehausen vd., 1984).



Şekil 4.15. Betona Belirli Aralıklarla Yapıştırılan Çelik Donatıların Koni Şeklinde Kırılması Durumunda Konilerin Çakışması (Gürbüz, 2007).



Şekil 4.16. Belirli Aralıklarla Betona Yapıştırılan Çelik Donatılarda Beton Konilerinin Oluşma Şekli (Eligehausen vd., 1984).

Eligehausen'ın modeline göre, ankrajlardaki konik göçme modunda oluşan koninin geometrik özellikleri şu şekilde tanımlanmaktadır (Gürbüz, 2007) :

- Konini yüksekliği, ankraj derinliğinin belirli bir oranındadır (Gürbüz, 2007),

Birbirine yakın mesafe ile ekilmiş ankrajlar için aşağıdaki formül elde edilmiştir (Gürbüz, 2007).

$$P_u = \chi_a P_{u,mak} \tag{4.3.}$$

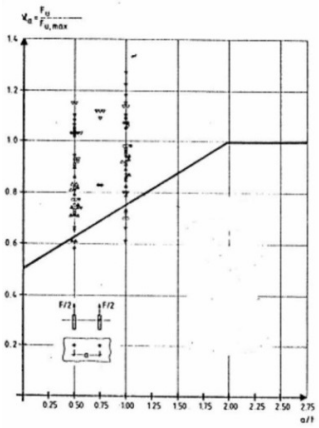
$$\chi_a = 0.5\left(1+\frac{a}{a_{krit}}\right) \leq 1 \tag{4.4.}$$

P_u = Betona yapıştırılan çelik donatının yük taşıma kapasitesini ifade etmektedir.

Eligehausen'ın çiftli ankraj deneyleri sonucunda; ankrajlar arası mesafenin ankraj dayanımına etkisini gösteren grafik Şekil 4.17'de yer almaktadır.(Gürbüz, 2007).

Eligehausen'ın ortaya koyduğu koni modelinin ardından, farklı modeller de tasarlanmış ve uygulamada kullanılmaya başlanmıştır. Ancak mevzuat ve yönetmelikler kapsamında ankrajlarla ilgili düzenlemelere günümüze kadar çok geniş kapsamda yer verilmemiştir. Ankraj uygulamalarıyla ilgili yönetmeliklerden biri Amerikan Beton Enstitüsü tarafından ortaya konmuştur (ACI, 1997). ACI 349-97 yönetmeliğin eklerinde ankraj tasarım ilkelerine yer verilmiştir. 45°derecelik koni modeline ACI 349 'da yer verilmektedir. Bu modelin tasarımcıya hesap kolaylığı sağlaması ve ACI 349'da yer alması yaygın olarak kullanılan bir koni modeli olmasını sağlamıştır. Bir diğer koni modeli de ilerleyen dönemlerde geliştirilen CCD (Concrete Capacity Design) metodudur. CCD koni modeli; dünya genelinde yapılan deneylerle bir veri tabanı oluşturularak, ortaya konmuş bir modeldir (Fuchs, Eligehausen, Breen, 1995) (Gürbüz, 2007).

Şekil 4.18'de, ACI 349'da yer alan 45° Koni Modeli görülmektedir. Betonun çekme dayanımının basınç dayanımı ile orantılı olarak değiştiği ifade edilmektedir (Gürbüz, 2007).



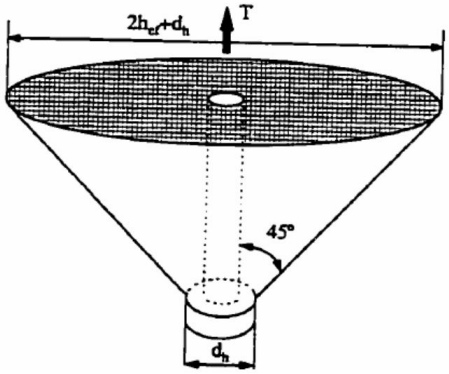
Şekil 4.17. Belirli aralıklarla betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitesinin yapıştırma mesafesi ile değişimi (Eligehausen vd., 1984).

$$P_k = f_{ct} A_c \tag{4.5.}$$

A_c = Oluşan koninin yüzey alanını,

f_{ct} = Alan boyunca sabit çekme gerilmelerini,

P_k = Çekme kapasitesini ifade eder.



Şekil 4.18. ACI 349 ‘da yer alan koni modeli (ACI 349, 1997).

$$A_c = \frac{(2h_{ef} + d_h)\pi}{2} h_{ef} \cong \pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \tag{4.6.}$$

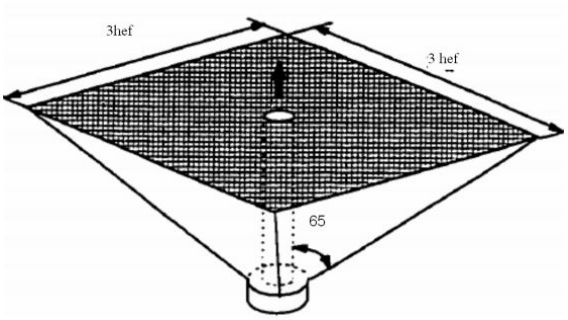
Buna göre 45° koni modelinde, konik göçme gözlemlenen ankrajların kapasite hesabında aşağıda yer alan denklem kullanılmaktadır (Gürbüz, 2007).

$$P_k = 0.96\sqrt{f_{cc}}\pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \tag{4.7.}$$

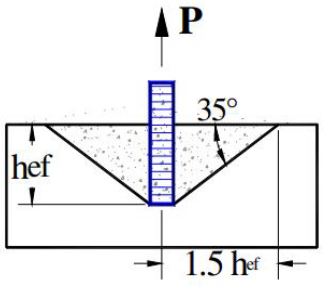
Amerika ve Avrupa'da gerçekleşen 1200 adet çekip çıkarma deneyinin sonuçları bir araya getirilerek CCD (Concrete Capacity Design) beton kapasitesi metodu oluşturulmuştur. ACI'da koni biçimde tanımlanan göçme yüzeyi Şekil 4.19 da tanımlanmaktadır.. CCD konik modelindeki koninin, beton yüzüne izdüşüm yüzey alanı bir kare oluşturmaktadır. Bu karenin her bir kenar uzunluğu ankraj derinliğinin üç katı kadardır; yani ankraj derinliği h_{ef} ise karenin kenar uzunluğu $3h_{ef}$ olacaktır (Gürbüz, 2007).

Beton konisi modelindeki ankrajların çekme kapasitesinin hesabı için aşağıdaki denklemden faydalanılmaktadır (Gürbüz, 2007).

$$P_k = 0.96\sqrt{f_{cc}}\pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \tag{4.8.}$$



Şekil 4.19. CCD koni modeli (Fuchs vd., 1995).



Şekil 4.20. CCD koni kesiti (Fuchs vd., 1995).

4.6.2. Bağ Modeli

Kimyasal ankrajlardaki bağ gerilmelerinin ankraj boyunca dağılımı iki farklı bağ modeli ile tanımlanabilir. Bunlardan birincisi kayma gerilmesinin sabit alındığı model, diğeri elastisite teorisine göre çıkarılmış modeldir (Gürbüz, 2007).

4.6.2.1. Kayma Gerilmesinin Sabit Alındığı Model

Sabit kayma gerilmesi modeli; ankrajların tasarım aşamasında hesap kolaylığı sağlayan dolayısıyla da uygulamada oldukça yaygın olarak kullanılan bir modeldir. Düzgün yayılı bağ modelinde, bağ gerilmeleri için sabit bir değer alınmakta ve bu değerin ankraj derinliği boyunca aynı kaldığı varsayılmaktadır (Şekil 4.21) (Gürbüz, 2007). Ankrajın maruz kaldığı yükler, bağ gerilmelerini oluşturmaktadır. Ankraja uygulanan toplam yük, ankraj delik yüzeyi boyunca oluşan bağ gerilmelerinin toplamına eşittir (Gürbüz, 2007).

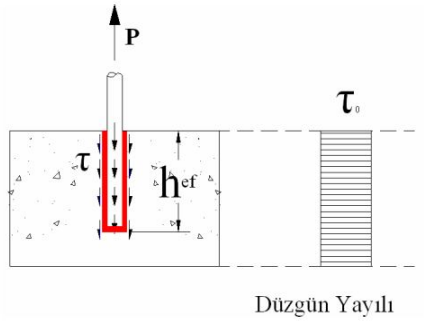
Düzgün yayılı bağ modelinde, kimyasal ankrajın çekme etkisi altındaki kapasitesini hesaplamak için aşağıda yer alan denklemden yararlanılır (Gürbüz, 2007).

$$N_u = \tau_o \pi d h_{ef} \tag{4.9.}$$

N_u = Ankraj çekme kapasitesini tanımlamaktadır.

τ_o = Düzgün yayılı bağ gerilmesini ifade etmektedir.

d = Ankraj donatı çapıdır.



Şekil 4.21. Kayma gerilmesinin sabit olarak kabul edildiği model (Gürbüz, 2007).

Mevcut çalışmalar incelendiğinde, düzgün yayılı bağ modeli ile sığ ankraj derinlikleri için tutarlı sonuçlara ulaşıldığı gözlenmiştir (Gürbüz, 2007).

4.6.2.2. Elastisite Teorisine Göre Geliştirilen Model

Elastik bağ teorisini ele almadan önce, konuyla ilgili bazı temel kavramlara değinmek gerekmektedir. Bu sebeple öncelikle konuyla ilgili şekildeğiştirme, dış kuvvetlerin işi, şekildeğiştirme enerjisi, elastik enerji gibi temel kavramlar ve formüllere yer verilmiş, son kısımda teori ve ilgili formüller detaylanmıştır.

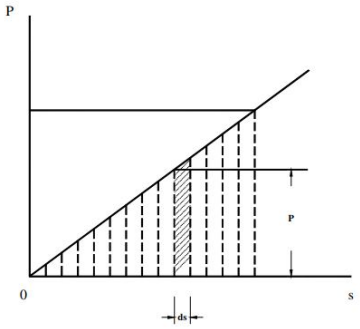
Dış yüklerin yapmış olduğu iş 'dış kuvvetlerin işi' olarak tanımlanır (İnan, 1970).

U_d = Dış Kuvvetlerin İşi (İnan, 1970), (4.10.)

U_i = İç Kuvvetlerin İşi / Şekildeğiştirme Enerjisi (İnan, 1970), (4.11.)

İş kuvvet (P) ve şekil değiştirmenin (s) çarpımı şeklinde tanımlanır (İnan, 1970). Şekil 4.22'de yer alan grafikte taralı alanla gösterilen bölüm, integralle tanımlanan işi göstermektedir. Aşağıdaki denklem dış kuvvetlerin yaptığı işi gösterir (İnan, 1970):

$$U_d = \int_0^{s_o} P(s).ds$$ (İnan, 1970), (4.12.)



Şekil 4.22. Kuvvet-şekildeğiştirme grafiği ve kırılma enerjisinin hesabı (Gürbüz, 2007).

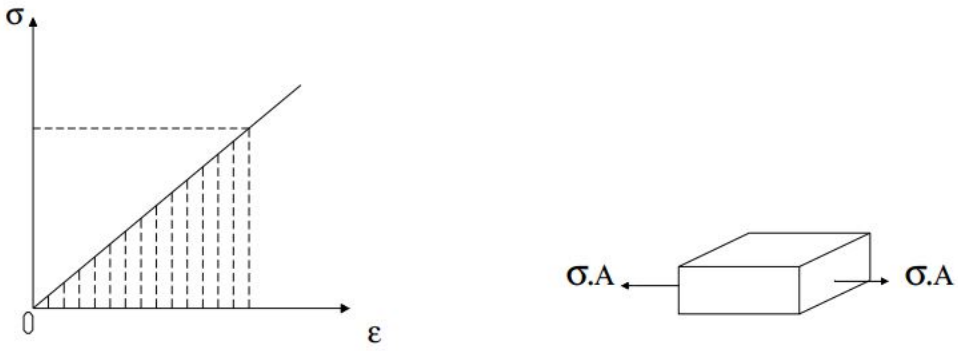
Birim hacme düşen enerji miktarı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir (Şekil 4.23) (İnan, 1970):

$$u_i = \frac{U_i}{V} = \frac{1}{2}\sigma.\varepsilon$$

(İnan, 1970), (4.13.)

σ = Gerilmeyi,

ε = Gerilme doğrultusundaki uzama oranını temsil etmektedir.



Şekil 4.23. Tek eksenli gerilme halinde plağın davranışı (Gürbüz, 2007).

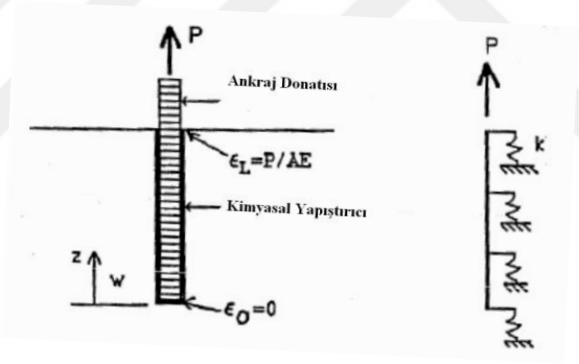
Kimyasal ankrajlarda bağ gerilmeleri modeli, 1993 tarihli Cook'un elastik teori modeline dayanmaktadır (Cook vd., 1993). Betona yapıştırılan çelik donatının yük taşıma kapasitesi aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$P = \left(\frac{\pi \tau_{max} d^{1.5}}{\lambda'} \right) \tanh \left(\frac{\lambda' l}{\sqrt{d}} \right) \tag{4.14.}$$

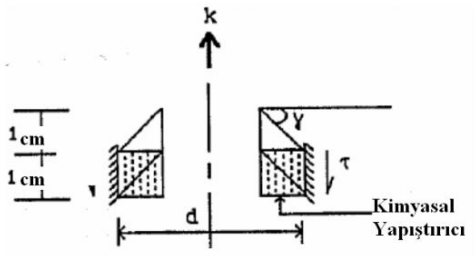
P = Uygulanan kuvveti tanımlamaktadır.

Denklemdeki λ elastik bir sabittir. (λ') bu sabitin dönüştürülmüş şeklidir.

$$\lambda' = \lambda \sqrt{d} = \sqrt{\frac{4G}{tE}} \tag{4.15.}$$



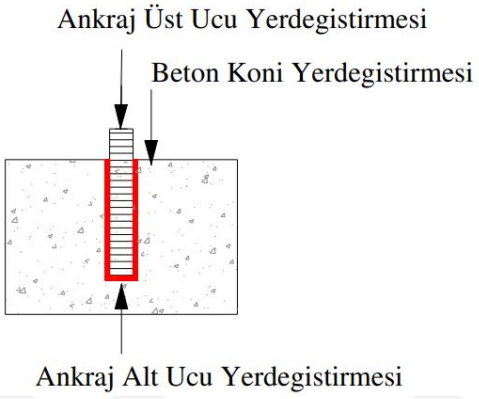
Şekil 4.24. Elastik teorisine dayalı olarak geliştirilmiş ankraj modeli (Cook vd., 1993).



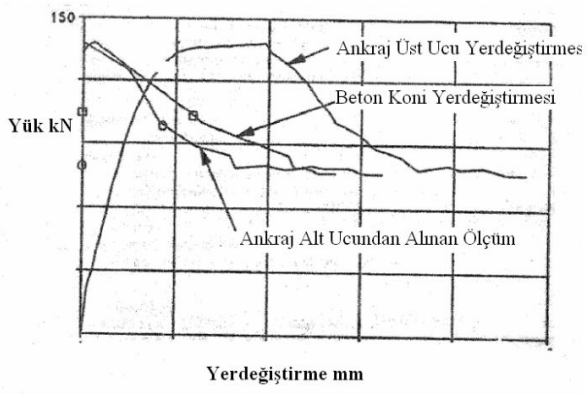
Şekil 4.25. Kayma modülü (Gürbüz, 2007).

4.6.3. Beton Konisi ve Sıyrılma Modeli

Kimyasal ankrajların göçme durumundaki davranışlarını tanımlayan teorilerden bir diğeri beton konisi ve sıyrılma modelidir. Bu modelle ilgili farklı araştırma ve deneyler bulunmaktadır. 1981 yılında Connon yaptığı çalışmalar sonucunda önce beton konisinin ardından sıyrılmanın oluştuğunu ifade ederken, Luke 1985'te önce sıyrılmanın sonra beton konisinin oluştuğunu belirtmiştir. Ardından Collins 1989 tarihli çalışmasında, ankrajın üç farklı bölgesi üzerinde deneyler yapmıştır (Şekil 4.26) (Cook, 1993).



Şekil 4.26. Collins'in koni ve sıyrılma mekanizmasının anlaşılmasına yönelik yaptığı deneylerdeki ölçüm yaptığı noktalar (Gürbüz, 2007).

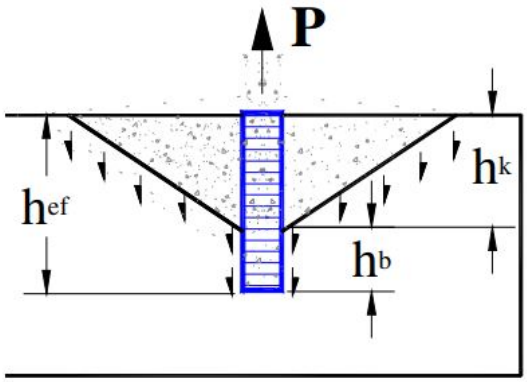


Şekil 4.27. Collins'in deneyi sonucunda ortaya çıkan yük-yerdeğiştirme grafiği (Gürbüz, 2007).

Collins'in yapmış olduğu üç ayrı ankraj noktasındaki yerdeğiştirme ölçümleri sonucunda ortaya çıkan 'ankrajın yük-yerdeğiştirme grafiği' Şekil 4.27'da yer almaktadır. Ankraj donatısı, uygulanan eksenel çekme etkisinde akmıştır. Grafik incelendiğinde görülmektedir ki (Gürbüz, 2007);

- Belirli bir yük değerine kadar yük ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki doğrusaldır (Gürbüz, 2007).

(Şekil 4.28) de belirli bir yükten sonra koni ile birlikte sıyrılmanın olduğu görülmektedir (Gürbüz, 2007).



Şekil 4.28. Betonun koni şeklinde kırılması ve yapıştırılan çelik donatının sıyrılması (Gürbüz, 2007).

$$P = P_{koni} + P_{sıyrılma} \tag{4.16.}$$

Çekme kapasitesi aşağıdaki formülle de ifade edilebilir (Mahrenholtz vd., 2015).

$$P_u = 0.92 h_k^{\,2} \sqrt{f_c} + \tau \pi d (h_{ef} - h_k) \tag{4.17.}$$

Ankraj kapasitesi; Cook'un elastik bağ teorisi ile birleştirildiğinde aşağıdaki şekilde de hesaplanabilmektedir.

$$P_u = 0.92 h_k^{\,2} \sqrt{f_c} + \tau_{\max} \pi d \left(\frac{d}{\lambda'} \tan \frac{\lambda' \left(h_{ef} - h_k \right)}{\sqrt{d}} \right) \tag{4.18.}$$

P_u : Ankraj eksenel çekme kapasitesini (N) ,

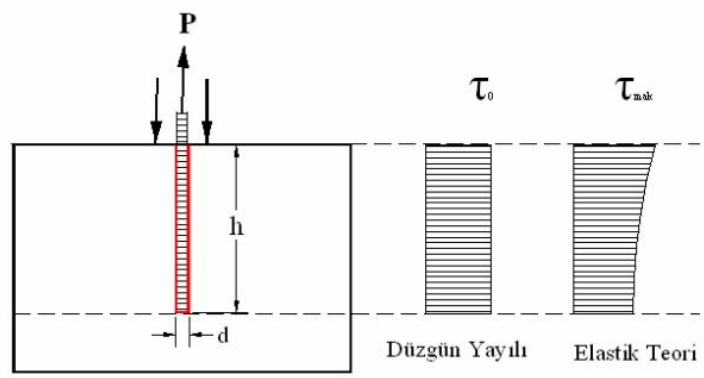
$P_{styrılma}$: Sıyrılma yükünü (N) ,

τ_{ort} : Ortalama yapışma dayanımını (MPa),

h_{ef} : Efektif ankraj derinliğini (mm) tanımlamaktadır.

4.6.4. Ankraj Davranışını Tanımlayan Modellerin Karşılaştırılması

Düzgün yayılı ve elastik bağ teorileri, kimyasal ankrajların tasarımında en çok tercih edilen bağ modelleridir (Şekil 2.26).



Şekil 4.29. Sabit kayma gerilme modeli ile elastik teoriye dayalı olarak geliştirilen modelin karşılaştırılması (Gürbüz, 2007).

Önceki bölümlerde incelendiği üzere elastik bağ teorisinde kapasite formülü aşağıdaki gibidir (Gürbüz, 2007).

$$P = \left(\frac{\pi \tau_{\max} d^{1.5}}{\lambda'} \right) \tanh \left(\frac{\lambda' l}{\sqrt{d}} \right) \tag{4.19.}$$

Düzgün yayılı bağ teorisinde kullanılan kapasite formülü de aşağıda yer almaktadır.

$$N_u = \tau_o \pi d h_{ef} \tag{4.20.}$$

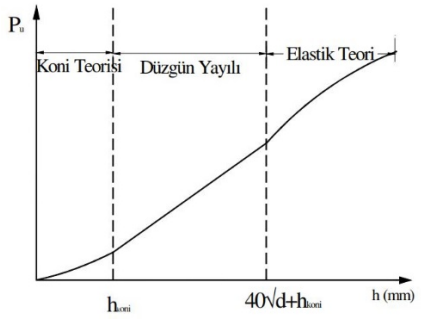
İki model için kullanılan kapasite formülleri karşılaştırıldığında, elastik yöntem ile düzgün yayılı model arasında benzerlik olduğu görülmektedir. Ancak düzgün yayılı bağ teorisinde τ_0 ifadesi kullanılırken, elastik teori hesabında τ_{max} ifadesi kullanılmaktadır. Bir diğer farklılık da; düzgün yayılı modelde h_{ef} terimi kullanılırken elastik teoride parantez içindeki ifadenin yer almasıdır (Cook, 1993).

Cook'un 1993 yılında yapmış olduğu çalışma sonucunda, ankraj tasarımı ile ilgili şu çıkarımlar yapılmıştır:

• koni derinliği aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır (Cook, 1993).

$$h_k = \frac{\tau \pi d}{1.84\sqrt{f_c}} \tag{4.21.}$$

Ankraj tasarımı yapılırken öncelikle; ankraj derinliğinin sığ mı, orta derinlikte mi yoksa derin mi olduğu belirlenip, bu üç ana kısımdan hangi aralıkta yer aldığı tespit edilmelidir. Ankrajda kullanılan her malzemenin yapışma dayanımı, yapılan deneylerle saptandıktan sonra (τ_0, τ_{max}, λ') Cook'un saptamış olduğu tasarım önerilerine göre ankrajların eksenel çekme dayanımı saptanabilmektedir (Cook, 1993).



Şekil 4.30. Betona yapıştırılan çelik donatılar için tasarım kriterleri (Gürbüz, 2007).

4.7. Betona Yapıştırılan Çelik Donatıların Yük Taşıma Kapasitesini Etkileyen Faktörler

Yapılan güçlendirme, onarım uygulamalarına ve bilimsel çalışmalara bakıldığında betona yapıştırılan çelik donatıların; yük taşıma kapasitesini, sünekliği, yatay-düşey-kesme

dayanımını, uygulanan yapı elemanının kapasitesini ve yapının performansını doğrudan etkilediği görülmektedir. Ancak ankrajlama detaylarına ve uygulanan bölgenin mevcut durumuna bağlı olarak çelik donatı ve beton arasındaki performans değişim gösterebilmektedir. Ankraj performansını ve yük taşıma kapasitesini etkileyen başlıca etkenler (Gürbüz, 2007);

- Ankrajda kullanılan bağlayıcı yapıştırıcının özellikleri (Yılmaz vd., 2010),
- Ankraj deliğinin durumu (Cook ve Konz, 2001),
- Ankrajda kullanılan çelik donatının çapı (Özkul vd., 2001),
- Ankraj ekme boyu (Yılmaz vd., 2010),
- Ankrajın uygulandığı betonun özellikleri (Gesoğlu, Özturan, Özel, Güneyisi, 2005),
- Ankrajın maruz kaldığı yükleme türü (Gesoğlu, Özturan, Özel, Güneyisi, 2004),
- Sıcaklık (Özkul vd., 2001),
-Ankraj konumudur (Gürbüz, Seyhan, İlki, Kumbasar, 2007).

4.7.1. Ankrajda Kullanılan Yapıştırıcılar

Mevcut çalışmalarda, epoksi esaslı bağlayıcılarla başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Cook, 1993) (Çolak, 2001). Yapışma mukavemetini belirleyen yapıştırıcı ile ilgili faktörler;

- Yapıştırıcı tipi (Cook, 1993) (Gürbüz vd., 2007) (Özkul vd., 2001),
- Karıştırma yöntemi (Cook vd., 2009),
- İlk yüklendiğinde yapıştırıcının kürlenme süresi (Cook vd., 2009),
- Yapışkan tabaka kalınlığı (Çolak, 2007),
- Yapıştırıcının agrega içeriği (Çolak, 2007),
- Kimyasal dayanım şeklinde sıralanabilir (Cognard, 2005).

Ankrajlarda yapışma mukavemetini etkileyen başlıca unsurlar Çizelge 4.1.'de derlenmiş, detaylı açıklamalara alt başlıklarda yer verilmiştir (Çizelge 4.1.).

Yapıştırıcı Tipi	• Yapıştırıcı içeriği yapışma mukavemetini değiştirir. • Epoksi bazlı yapıştırıcıların yapışma mukavemeti daha yüksektir.
Karıştırma Yöntemi	• Cam ve kapsül sistemler, enjeksiyon sistemleri ve diğerleri mevcuttur. • Yapıştırıcı-ankraj-delik arasındaki boşluk miktarı önemlidir.
Kürlenme Süresi	• Kürlenme süresi ile yapışma gücü doğru orantılıdır. • 1 ve 7 gün kürlenen ankrajlar arasında %20'lik perfonmans farkı vardır.
Yapışkan Tabaka Kalınlığı	• Tabaka kalınlığının mukavemete etkileri tam olarak bilinmemektedir. • İnce tabakanın, kayma gerilimine karşı direnci arttırabileceği yönünde çalışmalar mevcuttur.
Yapıştırıcının Lif İçeriği	• Yapıştırıcının lif içeriğinin arttırılmasının deformasyona karşı direnci arttırabileceği yönünde çalışmalar bulunmaktadır.
Kimyasal Dayanım	• Yapıştırıcı malzemenin uygulandığı bölgede maruz kaldığı maddeler, yapıştırıcıya nüfuz ederek ankraj veya beton ile yapışmayı zayıflatıp, bozabilmektedir.

Çizelge 4.1. Yapışma mukavemetini belirleyen başlıca faktörler.

4.7.1.1. Yapıştırıcı Tipi

Yapıştırıcıların yapışma mukavemetine etkisi, kullanılan yapıştırıcının içerdiği kimyasallara ve hatta bu kimyasalların kendi içindeki gruplarına göre değişim göstermektedir (Cook vd., 2013). Yapıştırıcının içeriği ve kimyasal yapısı kullanıldığı bölgeye göre farklılaşmakta, buna bağlı olarak kimyasal içeriği yapıştırıcı tipi ve grubunu belirlemektedir. Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (ASTM), sertleştirilmiş betonu diğer malzemelere yapıştırmak için taşıyıcı bölgede kullanılan yapıştırıcıları Tip IV olarak adlandırmaktadır, bu grup dâhilinde bağlayıcı epoksi reçineleri yedi farklı alt tipte sınıflandırmaktadır (Cook vd., 2013).

Yapıştırıcının kimyasal yapısı pek çok farklı yöntem ve deney ile incelenebilmektedir. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) gibi test yöntemleri ile yapıştırıcı kimyasal olarak karakterize edilebilmektedir. Bu tip çalışmalar sayesinde yapıştırıcıların kimyasal yapısı ve bağlanma mukavemetindeki korelasyonları ortaya konulmaktadır (Kumar, Patnaik, Chaudhary, 2017).

Yapılan uygulama ve deneyler doğrultusunda genel olarak epoksi bazlı yapıştırıcıların, ester bazlı yapıştırıcılardan daha yüksek bağlanma mukavemetine sahip olduğu gözlenmektedir. Yerinde dökme ve bağlı ankrajlarla yapılan deneylerde ise; en yüksek aderans kuvveti değeri, döküm harcı ile ekilen sistemlerden elde edilmektedir (Özkul vd., 2001).

16 farklı kimyasal yapıştırıcı üzerinde yapılan deneylerde; oluşan bağ gerilmelerinin her bir kimyasal yapıştırıcı için farklılık gösterdiği ve yapışma dayanımının ankraj rijitliği ile doğru orantılı olduğu kaydedilmiştir (Cook, 1993). Yapışma dayanımı düşük olan ankrajlarda, ankraj rijitliği de düşük olmaktadır (Cook, 1993).

Gürbüz, Seyhan, İlki ve Kumbasar'ın 2007'de farklı kimyasal yapıştırıcılarla yaptıkları çalışma göstermiştir ki; benzer kimyasal ankraj teknikleriyle uygulanan ankrajlarda yapışma dayanımı, kimyasal yapıştırıcının cinsine bağlı olarak 2 kata kadar değişebilmektedir. İlgili çalışmada yapışma dayanımı; M2 tipi kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlarda 4 ila 5 MPa arasındayken, M1 tipi kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlarda 9 ila 10 MPa olarak kaydedilmiştir (Gürbüz vd., 2007).

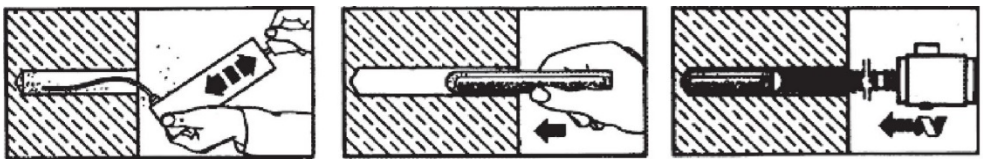
Yapılan uygulama ve bilimsel çalışmalara bakıldığında, ankraj uygulamalarında kullanılan yapıştırıcı tipinin ankraj davranışına oldukça büyük bir etkisi olduğu görülmektedir (Cook, 1993) (Cook vd., 2013) (Gürbüz vd., 2007) (Özkul vd., 2001).

4.7.1.2. Karıştırma Yöntemi

Yapıştırıcı malzeme bileşiminin, doğru ve en uygun biçimde bir araya getirilmiş olması yapışma mukavemetini doğrudan etkilemektedir (Cook vd., 2009). Yapıştırıcı sistemler, uygulanmaya hazır halde temin edilmezler, uygulama öncesinde uygun oranlarda ve yeterince karıştırılması gereken bileşenler bir araya getirilerek yapışkan bileşik elde edilir. Bazı sistemler, uygun oranlar ve tam karışmayı garanti edecek şekilde tasarlanırken, bazıları sonuç ürün ve adımları uygulamacının sorumluluğuna bırakmaktadır. Yapıştırıcı sistemler genel olarak aşağıdakilerden oluşmaktadır (Cook vd., 2009) :

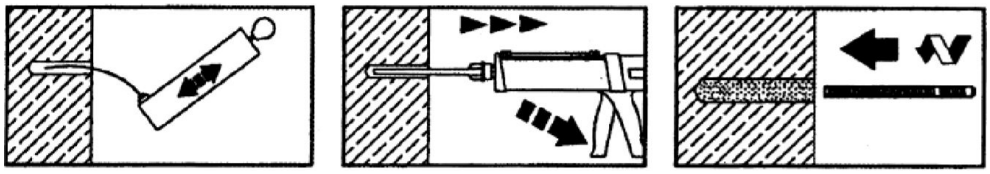
• Cam ve folyo kapsül sistemleri; Bu sistemler belirli miktarlarda polimer reçine, hızlandırıcı ve mineral agregası içerir. Cam ve folyo kapsüllerde, kapsüller deliğe

yerleştirilir ve (yontulmuş uçlu) ankraj montajı bu kapsülün içinden geçen bir darbeli matkapla gerçekleşir. Kapsül içindeki matkap aynı zamanda yapıştırıcıyı da karıştırır. Tipik bir kapsül ankraj sistemi Şekil 4.31'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.31. Tipik kapsül ankraj sistemi (Cook vd., 2009).

• Enjeksiyon sistemleri; Bu sistemler tipik olarak plastik reçine ve sertleştirici tüpleri içerir. Bileşenler genellikle uygulama esnasında özel bir bölmede karıştırılır. Yapıştırıcı deliğe enjekte edilir ve ardından ankraj takılır. Yapıştırıcıda boşluklara neden olan hava kabarcıklarının oluşumunu önlemek için ankraj genellikle kurulum sırasında yavaşça döndürülür. Şekil 4.32'de tipik bir enjeksiyon ankraj sistemi görülmektedir (Cook vd., 2009).



Şekil 4.32. Ankrajlamada kullanılan tipik enjeksiyon sistemi (Cook vd., 2009).

• Diğer sistemler; Bu sistemlerde, yapıştırıcı bileşenler poşetler içerisinde bulunur. Bileşenler elle karıştırıldıktan sonra ankraj deliğine dağıtılır. Bileşenleri ayrı ayrı satın almak ve manuel olarak karıştırmak da mümkündür (Cook vd., 2009).

Hangi sistem kullanılırsa kullanılsın önemli olan bileşenlerin iyice ve uygun oranlarda karıştırılmasıdır. Üretici firmalar, genel olarak karışımın belirli bir kıvama ve tutarlı bir renge ulaşana kadar karıştırılmasını önermektedir. Yapıştırıcı, ankraj ve

deliklerin kenarları arasındaki boşlukları tamamen doldurmalıdır. Çünkü herhangi bir boşluğun varlığı, yapışma gerilimine direnen etkili alanı azaltacaktır (Cook vd., 2009).

4.7.1.3. İlk Yüklendiğinde Yapıştırıcının Kürlenme Süresi

Yapıştırıcı kürlenme süresi, yapışma gücünü etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yapılan deney ve uygulamalar incelendiğinde; daha kısa yapışkan kürlenme süresine sahip ankrajların, yapışma kuvvetinin de daha az olduğu görülmektedir. 24 saatlik sertleşmeye sahip ankrajlar ile 7 günlük bir kürlenme geçiren ankrajların ortalama bağlanma güçleri arasında %20'ye yakın performans farkı bulunmaktadır (Cook vd., 2009).

4.7.1.4. Yapışkan Tabaka Kalınlığı

Yapıştırıcı tabaka kalınlığı, yapışma kuvvetine etki eden faktörler arasında gösterilmektedir, ancak yapışkan tabaka kalınlığının etkileri konusunda kesinlik arz etmeyen veriler de mevcuttur (Cook vd., 2009). Tabaka kalınlığının ankraj kapasitesine önemli ölçüde bir etkisinin olmadığını savunan çalışmalar olsa da, ankraj ile delik kenarı arasındaki boyut küçüldükçe kayma potansiyelinin de azalacağı varsayılmaktadır (Çolak, 2007). Benzer şekilde yapışkan tabaka kalınlığının ince olmasının, kayma gerilimlerine karşı direnci arttırabileceği yönünde çalışmalar da mevcuttur (Çolak, 2001).

4.7.1.5. Yapıştırıcının Agrega İçeriği

Yapışkanda optimum oranda agrega kullanılması yapışma dayanımlarını önemli ölçüde etkilememektedir (Çolak, 2001).

4.7.1.6. Kimyasal Dayanım

Yapıştırıcı malzeme uygulandığı bölgede çeşitli kimyasal, yağ, gres ve diğer bileşiklere maruz kalabilmektedir. Bu maddelerin yapıştırıcıya nüfuz etmesi sonucunda, ankraj ve beton arasındaki yapışmayı zayıflatıp, bozması mümkündür. Dolayısıyla kullanılacak yapıştırıcının farklı bileşenlere karşı duyarlılığının önceden test edilmesi gerekir (Cognard, 2005).

4.7.2. Ankraj Deliğinin Durumu

Ankraj davranışını belirleyen pek çok etken olmasına rağmen, bunlar arasından en kritik öneme sahip iki etken öne çıkmaktadır; birincisi önceki bölümde ele alınan yapıştırıcı ile ilgili kriterler, diğeri ise ankraj deliği ile ilgili özelliklerdir. Hem yapıştırıcı hem de ankraj deliği ile ilişkili olan 'yapıştırıcı ile ankraj deliği arasındaki boşluk miktarı' ankraj mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir (Gürbüz, 2007).

Ankraj deliğinin temiz/kirli olması da yine yapışma mukavemetini doğrudan etkileyen, ankraj deliğinin durumu ile ilgili bir diğer etkendir. Açılan deliğin yeterince temizlenmemesi; ankraj dayanımında ortalama olarak %29 azalmaya (Cook ve Konz, 2001), ankrajın eksenel yük kapasitesinde ise %40'lara varan bir düşüşe yol açabilmektedir (Gürbüz, 2007). Bağlayıcı yapıştırıcı uygulamasından önce ankraj deliği temizlenmemiş ise, ankraj deliğindeki toz ve taneciklerin yapıştırıcıya temas etmesi beton-ankraj arasındaki yapışmayı zayıflatacaktır (Gürbüz, 2007) (Özkul vd., 2001).

Ankraj deliğinin temizliği kadar nem seviyesi de ankraj davranışında etkili bir unsurdur. Ankraj uygulamasından önce, ankraj deliğinin nemli olması, ıslak olması, kuru ve temiz olmasının karşılaştırıldığı deneylerde; kuru ve temiz ankraj deliğindeki yapışma dayanımı %100 olarak alındığında, nemli ankraj deliklerindeki yapışma dayanımı %77, ıslak ankraj deliklerindeki yapışma dayanımı ise %43 olmuştur (Cook ve Konz, 2001). Su altında uygulanacak ankrajlarda ise dayanım büyük ölçüde düşmekte, kapsül tipi ankrajlar su altı uygulamalarında daha başarılı sonuçlar vermektedir (Özkul vd., 2001). Ankrajın uygulanacağı deliğin nem oranı arttıkça, eksenel yük kapasitesi düşmektedir. Mevcut çalışmalarda, nemli yüzeylere uygulanan ankrajların göçme yüklerinin %30 oranında azaldığı görülmektedir (Gürbüz, 2007).

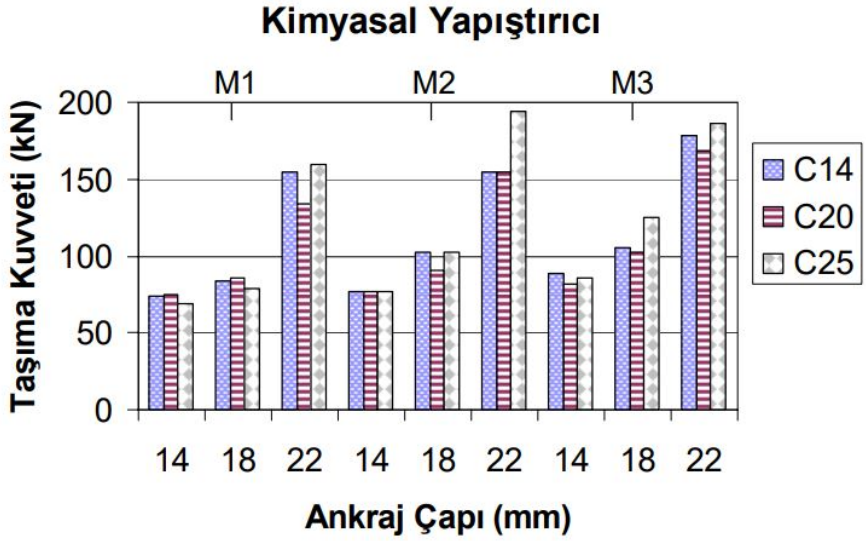
Yapılan deneylerde, ulaşılan verilerin ankrajlar arasındaki diğer etkenlere bağlı olabileceği de belirtilmekle birlikte; delik çapı daha büyük ve derin olan yerinde dökme ankrajların, yapıştırma yöntemi ile uygulanan kimyasal ankrajlardan daha yüksek aderans oluşturduğu kaydedilmiştir (Özkul vd., 2001). Buna bağlı olarak daha geniş ve derin ankraj delikleri için daha fazla miktarda yapıştırıcı ihtiyacı doğacağı ve bu durumun ekonomik etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

4.7.3. Ankrajda Kullanılan Çelik Donatının Çapı

Aderans gerilmelerinin oluştuğu yüzey alanı, ankrajda kullanılan çelik donatının yüzey alanıyla doğrudan ilişkidir. Dolayısıyla ankraj çapının değişmesi, ankraj kapasitesini arttırıp azaltmaktadır (Gürbüz, 2007).

Şekil 4.33'te; yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ve ankraj çapı – ankraj taşıma kuvveti ilişkisi görülmektedir. Mevcut çalışmalar, ankraj çapının büyümesinin;

- Ankrajdaki çelik donatının taşıyabildiği kuvvetin büyümesine neden olduğunu (Özkul vd., 2001),
- Yüzey alanının artmasına neden olduğu için ankraj kapasitesini artmasına neden olur (Gürbüz vd., 2007).



Şekil 4.33. Farklı beton dayanımlarında ankraj donatı çapı-ankraj taşıma kuvveti ilişkisi (Özkul vd., 2001).

Gesoğlu, Özturan, Özel ve Güneyisi'nin yapmış olduğu çalışmalarda aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir.

- Göçme yükündeki artış yüksek dayanımlı betonda daha büyük, normal dayanımlı betonda ise daha küçük olmuştur (Gesoğlu vd., 2004).

- Ankraj davranışı her iki derinlik için de benzer şekilde gerçekleşmiştir (Gesoğlu vd., 2004).

Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen çalışmalarda, donatı çapının artmasının, kesme dayanımını arttırdığı görülmüştür (Yılmaz, Çalışkan, Kaplan, Kıraç, 2009).

4.7.4. Ankraj Ekme Boyu

Onarılan betonarme yapılarda beton ile donatı arasında güçlü bir yapışma sağlanmalıdır (Yılmaz vd., 2010). Yapışma derinliği yük taşıma kapasitelerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir (Yılmaz vd., 2010).

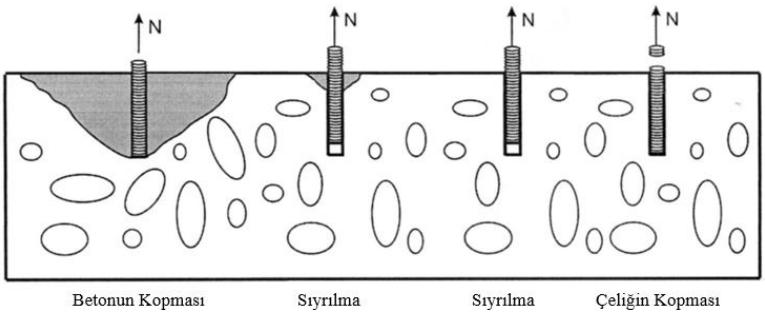
Derin ankrajlarla yapılan deneylerde çelik donatıda akma gözlenmiştir (Seyhan, 2006). Kaya, ankraj derinliğinin beton plakların göçme mekanizmasına etkisini araştırmıştır (Kaya, 2007).

4.7.5. Ankrajın Uygulandığı Betonun Özellikleri

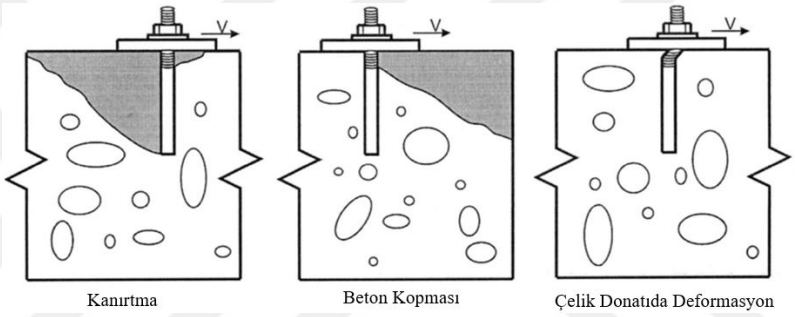
Ankrajın uygulandığı betonun nitelikleri, ankraj kapasitesini ve davranışını etkileyen parametrelerden biridir (Gürbüz, 2007). Betonun basınç dayanımı arttıkça, kimyasal ankrajların çekme kapasitesi artmaktadır (Gesoğlu vd., 2005). Düşük dayanımlı betonlarda betonun gevrek davranış gösterdiği gözlenmiştir (Yılmaz vd., 2010). Derin ankrajlarda beton dayanımı ve sınıfı göçme modunu belirlemektedir (Gesoğlu vd., 2004). Kimyasal ankrajlar beton koni göçmesi göstermektedir (Özkul vd., 2001).

4.7.6. Yükleme Türü

Ankrajın maruz kaldığı yükleme türüne bağlı olarak ankraj davranışı ve performansı da değişmektedir (Yılmaz vd., 2010). Çekme ve kesme yükleri altında ankrajda oluşabilecek hasar şekilleri Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir. Çekme etkisindeki ankrajlarda; (ankraj deliğinin yağlı veya kirli olması gibi) ankraj deliğinin durumuna ve (çelik donatının korozyona uğramış olması gibi) çelik donatının durumuna bağlı olarak donatının sıyrılması ile gevrek hasarlar oluşmaktadır.



Şekil 4.34. Betona yapıştırılan donatılarda çekme yükü altında oluşan hasarlar (Yılmaz vd., 2010).



Şekil 4.35. Betona yapıştırılan donatılarda kesme yükü altında oluşan hasarlar (Yılmaz vd., 2010).

Kesme yüklemesi altında, ankrajın kenar mesafesine bağlı olarak kenar göçmesi görülebilmektedir. Kesme yüklemesinde genel olarak; ankraj tipi, ekme boyu ve ankrajın uygulanacağı betonun ankrajların göçme yüküne etkisi bulunmamaktadır (Gesoğlu vd., 2004). Gesoğlu, Özturan, Özel ve Güneyisi'nin çalışmalarında yer alan harçlı ve kimyasal ankrajların farklı ekme boylarındaki göçme yükleri incelendiğinde (Gesoğlu vd., 2004) ;

- Harçlı ankrajlarda düşük ekme boyunda, göçme yükünün arttığı (Gesoğlu vd., 2004),
- Kimyasal ankrajlarda ise ekme boyu arttıkça göçme yükünün de arttığı görülmektedir (Gesoğlu vd., 2004).

4.7.7. Sıcaklık

Ankraj dayanımı, ısı ile ters orantılıdır. Sıcaklık arttıkça ankraj dayanımı düşmekte, aynı zamanda ankrajlarda sünme davranışı görülmektedir (Özkul vd., 2001). Genel olarak ortamdaki ısı değişimi; beton malzeme, yüzey veya yapı elemanlarında çatlak oluşmasına yol açmaktadır. Bu durumla birlikte çatlak betondaki ankraj dayanımının da düşmesi muhtemeldir. Cook ve Konz'un, kimyasal ankrajlarla yaptığı çalışmalarda 43°C'lik ısıda, kimyasal ankrajların bağ dayanımının %25 oranlarına kadar değişime uğradığı görülmüştür (Cook ve Konz, 2001).

4.7.8. Ankraj Konumu

Ankrajın uygulandığı betondaki konumu, ankrajda oluşacak hasarın şeklinde belirleyicidir. Sığ veya kenara yakın uygulanan ankrajlarda gevrek hasar şekilleri görülmektedir. Ancak aynı durumlarda; ankraj tasarımı ve uygulama tekniğine bağlı olarak çelik donatının koparak sünek davranış göstermesi de sağlanabilmektedir (Yılmaz vd., 2010).

Ankrajlar arasında yeterli mesafe olmadığında ankraj ekimi sırasında betonda meydana gelen hasar diğer ankrajların yük taşıma kapasitesini azaltabilir (Gürbüz, 2007).

ASTM E 488-84'göre elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2. de gösterilmiştir. Ancak yapılan çalışmalarda yapışma derinliği düşük ankrajlar için önerilen değerlerin yeterli olmadığı belirtilmiştir (Gürbüz vd., 2007).

	Kimyasal Ankrajlar	
Ekme boyu (l_d)	iki ankraj arası uzaklık	kenara ve yükleme çerçevesine 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

* d_0: ankraj çapı, l_d: ekme boyu

Çizelge 4.2. Ankraj ekme aralıkları ve kenar uzunlukları (ASTM, 1984).

BÖLÜM 5

SONUÇ ve ÖNERİLER

Mevcut uygulama, literatür ve deneysel çalışmalar sonucunda görülmektedir ki betona yapıştırılan çelik donatılar;

- Yük taşıma kapasitesini %60-70'e kadar arttırmakta,

- Şekildeğiştirme yapabilme kabiliyetini (sünekliği) iyileştirmektedir.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda çelik donatıların betona sıklıkla; epoksi, MMA (Methylmethacrylate) ve vinil ester gibi polimerlerle yapıştırıldığı görülmüştür. Betona polimer ile yapıştırılan çelik donatıların çekme kapasiteleri; tanh yada sinh ve cosh fonksiyonlarından oluşan matematiksel bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır. Bu bağıntılarda parametre olarak;

-Yapışma derinliği,

-Yapıştırıcı kalınlığı,

-Yapıştırıcı türü ele alınmıştır.

Ancak yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak hesaplanan teorik değerler, deneysel verilere uymamaktadır. Bu nedenle çalışmada bütün parametreleri dikkate alan bir matematiksel model geliştirmek amaçlanmıştır.

Betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitesini belirlemek için deneysel ve teorik denklemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en çok kullanılan model

Cook ve arkadaşlarının 1993 yılında yaptıkları çalışmada elde ettikleri denklemdir. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$P = \frac{\pi d^{1.5} \tau_{max} tanh\left(\frac{\lambda L}{\sqrt{d}}\right)}{\lambda} \quad (5.1.)$$

Denklemde;

P: Yük taşıma kapasitesini (MPa)

$\boldsymbol{\tau}_{max}$: Maksium kayma gerilmesini (MPa)

d: çelik donatı çapını (mm)

L: yapışma boyunu (mm)

$\boldsymbol{\lambda}$: Yapıştırıcı kalınlığını, yapıştırıcının kayma modülünü ve çelik donatının elastisite modülünü dikkate alan bir elastik sabiti temsil etmektedir ($t^{-1/2}$).

Deneysel hesaplamalarla sonuca ulaşmak için Cook ve arkadaşlarının geliştirdiği bağıntının aşağıdaki genelleştirilmiş şekli kullanılabilir.

$$P = Ctanh(DL) \quad (5.2.)$$

Denklemdeki C ve D katsayıları iki deney sonucuna bağlı olarak hesaplanabilir. Ancak C ve D katsayıları için elde edilen değerler yukarıdaki teorik denklemin katsayılarından oldukça farklı hesaplanabilir. Denklem bu şekliyle yük taşıma kapasitesini hem yapıştırıcı kalınlığına hem de yapışma boyuna bağlı olarak belirler. Oysa yukarıdaki teorik denklemle yapıştırıcı kalınlığının yük taşıma kapasitesine etkisi ters olarak hesaplanmaktadır. Ancak yapıştırıcı kalınlığının optimum bir değere sahip olması durumunda da genelleştirilmiş tanh fonksiyonu ile doğru sonuç almak mümkün değildir. Bu nedenle betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitesini belirlemek için farklı hesaplama metotları ve matematiksel fonksiyonlar kullanılmalıdır.

Laws (1982) yaptığı çalışmada lifli betonların deplasmanı ve uygulanan yük arasındaki ilişkiyi belirlemek için aşağıdaki bağıntıyı geliştirmiştir.

$$P = \frac{\Delta \beta E_f A_f sinh\left(\frac{\beta L}{2}\right)}{\cosh\left(\frac{\beta L}{2}\right) - 1} \quad (5.3.)$$

Bu denklemde;

P: Yük taşıma kapasitesini (MPa)

Δ: deplasmanı (mm)

L: Lifin çimentoya yapışma uzunluğunu (mm)

β: bir katsayıyı

Ef: Lifin elastisite modülünü (GPa)

A_f: Lifin kesit alanını temsil etmektedir (mm^2).

Laws denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P = \frac{Csinh(DL)}{\cosh(DL)+E} \tag{5.4.}$$

Denklemin C, D ve E katsayıları yukarıda bahsedilen metot kullanarak hesaplanabilir. Bu denklemde betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitesini belirlemede kullanılabilir. Ancak doğru bir sonuç elde etmek ve yukarıda anılan parametrelerin etkisini tam olarak belirleyebilmek için daha fazla sayıda test sonucuna ihtiyaç bulunmaktadır.

Yue ve Looi (1994, 2001), Yue ve Cheung (1992a, 1992b) yaptıkları çalışmalarda lifli kompozitlerin yük taşıma kapasitesini tahmin etmek üzere modeller geliştirmişlerdir. Modeller yükleme şekline bağlı olarak tanımlandıkları için katsayıları birbirinden farklıdır. Bu modeller aşağıda verilmiştir.

$$P = \frac{2\pi a\tau_{max}sinh(\alpha L)}{\alpha\psi-\alpha(1+\psi)cosh(\alpha L)} \tag{5.5.}$$

$$P = \frac{2\pi a\tau_{max}sinh(\alpha L)}{\alpha\psi cosh(\alpha L)+\alpha(1-\psi)} \tag{5.6.}$$

Burada;

P: Yük taşıma kapasitesini (MPa)

a:lifin çapını (mm)

$\boldsymbol{\tau}_{max}$: maksimum kayma gerilmesini (MPa)

α ve ψ Elastik sabitleri temsil etmektedir.

Yue ve Looi (1994, 2001), Yue ve Cheung (1992a, 1992b) modelleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P = \frac{Csinh(\alpha L)}{Dcosh(\alpha L)+E} \quad (5.7.)$$

Denklem bu şekliyle genelleştirilmiş Laws modelinin aynısıdır ve betona yapıştırılan çelik donatıların yük taşıma kapasitesini belirlemek üzere kullanılabilir.

Denklemdeki C, D ve E katsayıları üç adet deney sonucuna bağlı olarak hesaplanır. Böylece çelik donatının yük taşıma kapasitesi yapıştırıcı kalınlığına, yapışma boyuna ve yapıştırıcı cinsine bağlı olarak belirlenir. Katsayıların değeri yukarıda anılan parametrelere bağlı olarak değişecektir. Bu nedenle her bir yeni durumda katsayılar yeniden hesaplanmalıdır.

Sonuç olarak genelleştirilmiş Laws (1982), Yue ve Looi (1994, 2001), Yue ve Cheung (1992a, 1992b) modelleri yük taşıma kapasitesini ve kapasiteyi etkileyen diğer parametreleri istatistik analiz sonuçlarına bağlı olarak belirler. Genelleştirilmiş model bütün parametreleri dikkate alması açısından önemlidir. Bu nedenle yapılacak bilimsel çalışmalarda tanh fonksiyonundan ziyade sinh ve cosh fonksiyonlarının kombinasyonundan oluşan matematiksel fonksiyonların araştırılması gerekir.

KAYNAKLAR

ACI Committee 445 1R-12 (2013). Report on torsion in structural concrete. American Concrete Institute.

ACI Committee 349 – 97 (1997). Code requirements for nuclear safety related concrete structures. Detroit, MI: American Concrete Institute.

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

Amin, R. S. (2009). *End Anchorage At Simple Supports In Reinforced Concrete* (London South Bank University, Doctoral Thesis, 2009).

ASTM E 488 – 96 (Reapproved 2003). Standard test methods for strength of anchors in concrete and masonry elements.

Candan, Y. (2007). *Düşük Dayanımlı Beton Panellerin İleri Teknoloji Malzemeler İle Güçlendirilmesi* (İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2007).

Chronopoulos, P., Trezos, C., Chronopoulos, M. (2012). Behaviour of RC beams with inadequate lap splices, before and after upgrading by welding of reinforcement. 4th Int'l Symposium-Bond in Concrete. Brescia-Italy.

Cognard, P. (2005). Technical Characteristics and Testing Methods for Adhesives and Sealants (Chapter 2). *Handbook of Adhesives and Sealants*. 1. 21–99.

Cook, R. A. (1993). Behaviour of Chemically Bonded Anchors. *Journal of structural engineering*. American Society of Civil Engineers (ASCE). 119(9). 2744-2762.

Cook, R.A., Douglas, E. P., Davis, T. M., LİU, C. (2013). Long-Term Performance of Epoxy Adhesive Anchor Systems. National Cooperative Highway Research Program Report 757. University of Florida.

Cook, R.A., Douglas, E.P. , Davis, T.M. (2009). Adhesive Anchors in Concrete Under Sustained Loading Conditions. National Cooperative Highway Research Program Report 639. DC: The National Academies Press.

Cook, R.A., Konz, R.C. (2001). Factors influencing bond strength of adhesive anchors. *ACI Structural Journal*. Technical Paper. 98(1). 76-86.

Cook, R. A., Kunz, J., Fuchs, W., Konz, R. C. (1998). Behavior and design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete. *ACI Structural Journal*. 95(1). 9-26.

Çetinkaya, N., Kaplan, H., Ş. Şenel, M. (2004). Betonarme kirişlerin lifli polimer (Frp) malzemeler kullanılarak onarım ve güçlendirilmesi. *Pamukkale University Engineering College Journal of Engineerıng Science*. 10(3). 291-298.

Çırak, İ. F. (2015). Kimyasal ankrajların kesme dayanımında etkili parametreler. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 3(1). 329-334.

Çolak, A. (2007). Estimation of ultimate tension of methyl methacrylate bonded steel rods into concrete. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 27(8). 653-660.

Çolak, A. (2001). Parametric study of factors affecting the pull-out strength of steel rods bonded into precast concrete panels. *International Journal of Adhesives*.

Demir, İ., Şimşek, O., Yaprak H. (2009). Epoksi türünün ankraj performansına etkisi. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu.

Eligehausen, R., Cook, R.A., Appl, J. (2006). Behavior and design of adhesive bonded anchors. *ACI Structural Journal*. 822-831.

Eligehausen, R., Malee, R., Rehm, G. (1984). Befetigungen mit verbundankern (fixings formed with resin anchors). *Betonwerk + Fertigteil – Technik.* 12. 686- 692.

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

Cook, R.A., Doer, G.T., Klingner, R.E. (1993). Bond stress model for design of adhesive anchors. *ACI Structural Journal*. 90(5). 514-524.

Fuchs, W., Eligehausen, R., Breen, E. J. (1995). Concrete Capacity Design (CCD) approach for fastening to concrete. *ACI Structural Journal.* 92(1). 73 – 94.

Gesoğlu, M. , Özturan, T. , Özel, M. ve Güneyisi, E. (2005). Tensile behavior of post-installed anchors in plain and steel fiber-reinforced normal and high strength concretes. *ACI Structural Journal.* Technical Paper. 102(2). 224-231.

Gesoğlu, M. , Özturan, T. , Özel, M. ve Güneyisi, E. (2004). Kimyasal, harçlı ve mekanik ankrajların çekme ve kesme yükleri altındaki davranışları. *İMO Teknik Dergi.* 3105-3124.

Gökdemir, H., Tankut, T. (2017). Kiriş-kolon birleşim bölgesinin depreme karşı çelik donatılarla güçlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi.* 7977-7992.

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

Gürbüz, T., Seyhan, E., İlki, A., Kumbasar, N. (2007). Güçlendirme çalışmalarında kullanılan kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altında davranışları. 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul.

Hasol, D. (2009). *Mimarlık Cep Sözlüğü*. İstanbul: YEM.

İnan, M. (1970). *Cisimlerin Mukavemeti*. İstanbul: Ofset.

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

Kumar, P., Patnaik, A. , Chaudhary, S. (2017). A review on application of structural adhesives in concrete and steel–concrete composite and factors influencing the performance of composite connections. *International Journal of Adhesives 77.*

Laws, V. (1982). Micromechanical Aspects Of The Fibre-Cement Bond. *Composites*. 13. 145-151.

Mahrenholtz, P., Eligehausen, R. (2015). Post-Installed Concrete Anchors In Nuclear Power Plants: Performance And Qualification. *Nuclear Engineering and Design*. 287. 48-56.

Muratlı, H., Klingner, R.E., Graves, H.L. (2004). Breakout Capacity Of Anchors In Concrete-Part 2: Shear. *ACI structural journal*. 101(6). 821-829.

National Concrete Masonry Association (NCMA). Design of anchor bolts embedded ın concrete masonry. URL: ncma.org/resource/design-of-anchor-bolts-embedded-in-concrete-masonry

Özkaynak, H. (2002). *Deprem Bölgelerindeki Betonarme Yapılarda Donatı Düzenleme İlkeleri* (İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2002).

Özkul, H., Mutlu, M., Sağlam, A.R. (2001). Beton ankrajları. *Teknik Bülten*. Sayı:4.

Prieo Munoz, P.A., Yin, H.M. (2010). An elastic analalysist that predicts pull-out capacity of adhesive anchors. IOP Conference Series.

Seyhan, E.C. (2006). *Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi* (İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2006).

Standard Test Methods For Strength Of Anchors In Concrete And Masonry Elements, (ASTM E 488-84) (1984). Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.

Tanyıldızı, H. (2006). *Beton Tipi Ve Donatı Boyutlarının Beton Ve Çelik Yüzeyleri Arası Dayanıma Etkisinin Kür Şartları Altında İncelenmesi* (Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Doktora Tezi, 2006).

TMMOB. Hilti Mühendislik Ekibi. Ankraj (Beton - Çelik Birleşimleri) Tasarım Esasları. URL: www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b14fc20ba14eba8_ek.pdf?tipi=79&turu=X&sube=7

Ueda, T., Kitipornchai, S., Ling K. (1990). Experimental investigation of anchor bolts under shear. *ASCE Journal of Structural Engineering*. 116(4). 910- 924.

Yılmaz, S., Çalışkan, Ö., Kaplan, H., Kıraç, N. (2010). Kimyasal ankrajların dayanımını etkileyen faktörler. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 23(1). 123-134.

Yılmaz, S., Çalışkan, Ö., Kaplan, H. (2009). Düşük ve orta dayanımlı betonlara yapılan kimyasal ankrajların kesme performansı. Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu. Sakarya.

Yue, C.Y., Cheung, W.L. (1992a). Interfacial properties of fibrous composites part I model for debonding and pull-out process. *Journal of Materials Science*. 27. 3173-3180.

Yue, C.Y., Cheung, W.L. (1992b). Interfacial properties of fibrous composites part II determination of ınterfacial shear strength, ınterfacial coefficient of friction and the shrinkage pressure on the fibre. *Journal of Materials Science*. 27. 3181-3191.

Yue, C.Y, Looi, H.C. (2001). Factors which ınfluence the reliability of the assessment of ınterfacial bonding ın fibrous composites using the pull-out test. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 21. 309-323.

Yue, C.Y, Looi, H.C. (1994). Effect of the loading system on the stress distribution in the fully embedded fibre pull-out test. *Journal of Materials Science.* 29. 1901-1909.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER:

Adı-Soyadı : Sinem AK

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2016 - Dokuz Eylül Üniversitesi,
Mimarlık Fakültesi,
Mimarlık Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

Emek Prefabrik Yapı Elamanları	2019-2020, Mimar
ESM Proje	2016-2019, Mimar