

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON MUKAVEMETİNİN  
BETONARME DONATI ADERANSİNİN YORULMASINA ETKİSİ

ÖZCAN KOÇ

TEMMUZ 2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürünün Onayı.

16/07/2009

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

\_\_\_\_\_  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak İnşaat Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ

\_\_\_\_\_  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

\_\_\_\_\_  
Ortak Danışman

Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

\_\_\_\_\_  
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Mehmet BARAN

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

\_\_\_\_\_

## ÖZET

### BETON MUKAVEMETİNİN BETONARME DONATI ADERANSININ YORULMASINA ETKİSİ

KOÇ, Özcan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Prof. Dr. Mustafa Yılmaz Kılınc

Ortak Danışman : Yrd. Doç. Dr. Orhan Doğan

Temmuz 2009, 77 sayfa

Aderans, betonun donatıya sıyrılmayacak şekilde tutunması olup, betonun basınç mukavemeti ile doğru orantılıdır.

Aderansın kalıcılığı beton ile demirin ısı genleşme katsayılarının yaklaşık eşit olmasıyla mümkündür. Ancak betonun boşluklu ve mukavemetinin düşük olması gibi etkilerin sonucunda korozyonla hızlı bir aderans kaybı olmaktadır. Bu bakımdan mekanik aderans oluşturabilmek için nervürlü donatı kullanımı da önem kazanmıştır.

Son yıllarda büyük can ve mal kaybına sebep olan depremlerin ardından tekrarlı yüklerin etkisini azaltabilmek için betonarme donatısının cinsine ve aderans boyuna ilişkin değişikliklere gidilmiştir.

Bu çalışmada değişken beton mukavemetleri için nervürlü donatı aderansında yorulma olup, olmadığı araştırılmıştır. Yapılan araştırmada farklı beton dayanımları için altışar adetden toplam 48 adet numune hazırlanarak, statik ve dinamik yorulma deneylerine tabi tutulmuştur.

Her grup için hazırlanan 6 numuneden üçü statik sıyırma deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen yükün %90'ı diğer üç numuneye dinamik yük olarak uygulanmış olup, 100 yükleme - boşaltma sonrasında numuneler tekrar statik sıyırılma deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar grafik ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler;** Beton, Nervürlü Betonarme Demiri, Aderans, Statik ve Dinamik Yükleme, Yorulma

## **ABSTRACT**

### **INFLUENCE OF STRENGTH OF CONCRETE TO THE ADHERENCE FATIGUE IN CONCRETE REINFORCEMENT**

KOÇ, Özcan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Eng, M. Sc. Thesis

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa Yılmaz Kılınc

Co-Supervisor : Asst. Prof. Dr. Orhan Doğan

July 2009, 77 pages

Adherence is a bond between steel and concrete without crip which is proportional to the strength of concrete.

Durability of adherence is possible if thermal expansion constants of concrete and steel are almost equal. Because of lower density and strength of concrete corossion groves, due to the corossion adherance around the steel bars embaded in concrete become weaker. Use of deformed reinforcement becomes important to get mechanical adherence.

There has been some changes in types of reinforcements and length of adherence to reduce effects of cyclic loads in earthquakes which causes many life and property losses.

Whether there is or not a fatigue in adherence of deformed reinforcement because of variable concrete strengths is investigated in this study. After the tests, for each different strength of concrete six samples are casted and totally 48 samples are prepared and these samples are tested in static and dynamic fatigue experiments.

3 of 6 samples prepared for each group of concrete strength are tested under static load. 90 % of observed load is applied as dynamic load to other 3 samples of each group and 100 cyclic load applied then, samples are tested under static load again. Results are showed by graphs and charts.

**Key Words:** Concrete, Deformed Reinforcement, Adherence, Static and Dynamic Load, Fatigue

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca tecrübelerinden faydalandığım, desteklerini esirgemeyen saygı değer hocam, danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ'a, tez çalışmam süresince bana rehberlik eden, yardım ve katkıları ile beni yönlendiren değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, deneyler sırasında katkılarını esirgemeyen Sayın Doç Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU'na, Bölüm Başkanımız Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ'a ve diğer hocalarıma teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında laboratuvar imkanlarını bize sunan Kırıkkale Fatih Hazır Beton tesisi sahiplerine ve tesis çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca yardımcı olan, Yüksel Proje Uluslararası A.Ő. firmasının müşavirliğini yaptığı, Kırıkkale – Delice Yolu çalışanlarından Kalite Kontrol Müh. Sayın Turhan TOZKOPARAN'a, Jeoloji Müh. Sayın Fatih CENGİZ'e ve diğer çalışma arkadaşlarıma en kalbi duygularıyla teşekkür ederim. Ayrıca desteklerinden dolayı Sayın Demir KALKAN'a teőekkürlerimi bildiririm.

Tez çalışmam süresince maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen, beni bu günlere büyük emeklerle getiren babama, özellikle canım anneme ve kardeşlerime sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
SİMGELER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Özetleri .....	7
1.1.1. Çalışmanın Amacı .....	13
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	14
2.1. Genel .....	14
2.2. Betonun Basınç, Çekme ve Yorulma Dayanımı .....	14
2.3. Çeliğin Mekanik Özellikleri ve Çekme Dayanımı .....	18
2.4. Aderans ve Aderans Tipleri .....	20
2.4.1. Eğilme Aderansı .....	21
2.4.2. Kenetlenme Aderansı .....	23
2.5. Aderans Gerilmesinin Değişimi ve Dağılımı .....	28
2.6. Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması .....	31
2.7. Aderansa Etkiyen Faktörler .....	36
2.8. Tekrarlanan ve Tersinir Yük Altında Davranış .....	37
2.9. Deneysel Çalışma .....	41



2.9.1. Deney Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzeme	
Özellikleri .....	41
2.9.1.1. Agrega Özellikleri .....	41
2.9.1.2. Çimento Özellikleri .....	43
2.9.1.3. Katkı Özellikleri .....	44
2.9.1.4. Su .....	44
2.9.1.5. Elek Analizi Sonuçları .....	44
2.9.1.6. Çelik Donatının Özellikleri .....	44
2.9.1.7. Beton Karışım Oranları .....	46
2.9.1.8. Beton Deney Programı ve Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	46
2.10. Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler .....	50
2.10.1. Beton Basınç Dayanım Deneyleri .....	50
2.10.1.1. Küp Beton Numunelerin Basınç Deneyi .....	50
2.10.2. Aderansta Sıyırılma Deneyi .....	51
2.10.2.1. Deney Düzeneğinin Hazırlanması .....	52
2.10.2.2. Numunelerde Statik ve Dinamik Deneyler .....	53
3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	64
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	73
KAYNAKLAR .....	75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

2.1 Agregaların Fiziksel Özellikleri .....	42
2.2 Çimentonun Kimyasal Özellikleri .....	43
2.3 Çimentonun Fiziksel Özellikleri .....	43
2.4 Hazırlanan Beton Gruplarına Ait Elek Analizi Sonuçları .....	45
2.5 Beton Karışım Oranları .....	46
2.6 28 Gün Kür Edilen Betonların Basınç Dayanım Değerleri .....	51
2.7 Yapılan statik ve dinamik yükleme deneyleri ile ilgili sonuçlar .....	63
3.1. Beton Basınç Dayanımları – Ortalama Sıyırılma Yükleri Arasındaki İlişki .....	64
3.2. Beton Basınç Dayanımları – Birim Alana Gelen Aderans Kuvveti İlişkisi .....	66
3.3. Beton Basınç Dayanımları – Sıyırılma Yükleri Arasındaki İlişki .....	68
3.4. Beton Basınç Dayanımlarına Göre Dinamik Yükler Ve Sıyırılma Yükleri Arasındaki İlişki .....	70

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

2.1. Rüşch'ün Kullandığı Eksenel Çekme Deney Numune Geometrisi ...	16
2.2. Gerilme-Yük Tekrarı Sayısı .....	18
2.3. (a) Doğal Sertlikte, (b) Soğukta İşlem Görmüş Çelik İçin $\sigma - \epsilon$ Eğrisi .....	20
2.4. (a) Kiriş Detayı, (b) Donatının 1 ve 2 Noktaları Arasında Serbest Kuvvet Diyagramı .....	22
2.5. Düz Yüzeyle (a) ve Nervürlü (b) Donatıların Kenetlenme Boyları .....	25
2.6. Kanca Ve Fiyongların Sağlaması Gereken Koşullar .....	25
2.7. Kenetlenme Aderansı .....	26
2.8. Moment Farkından Meydana Gelen Eğilme Aderans Gerilmeleri ...	29
2.9. Eğilme Çatlaklarının Aderans Gerilmesi Üzerine Etkisi .....	30
2.10. Aderans Kuvvetinin Kaynağı .....	33
2.11. Betonun Yivler Arasında Sıyırılması, Kayma Göçmesidir. Reaksiyonun Yatay Bileşeni, Beton İçindeki Kayma Gerilmeleridir .....	35
2.12. Çatlak Elemanda, Donatı, Beton ve Aderans Gerilmeleri .....	35
2.13. Tekrarlanan Yük Altında Aderansta Zayıflama .....	39
2.14. Kenar Kiriş Kolon Birleşimi .....	40
2.15. 33,05 N/mm <sup>2</sup> Beton Basınç Dayanımı Veren Beton Grubuna Ait Karışım Dane Çapı Dağılım Eğrisi .....	45
2.16. Tahta Kalıplar .....	47
2.17. Basınç Deneyi İçin Hazırlanmış Küp Numuneler .....	49

2.18. Aderans Deneyi İçin Hazırlanmış Küp Numuneler .....	49
2.19. 2000 kN Kapasiteli Beton Test Presi .....	50
2.20. Instron 8516 Yorulma Test Cihazı Ve Çelik Kalıp .....	52
2.21. Çekme Kalıbı Ve 2 cm Delik Çaplı Çelik Plaka .....	53
2.22. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	54
2.23. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	55
2.24. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	56
2.25. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	57
2.26. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	57
2.27. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	58
2.28. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	59
2.29. Çelik Çubuğun Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği .....	59
2.30. Sabit Frekans Değişken Genlikli Sinüzoidal Dinamik Yük Eğrisi ...	61
2.31. Çelik Çubuğun Sıyırıldığı Andaki Yük-Uzama Grafiği .....	61
3.1. Beton Basınç Dayanımları – Ortalama Sıyırılma Yükleri Arasındaki Regresyon Modeli .....	65
3.2. Beton Basınç Dayanımları – Birim Alana Gelen Aderans Kuvveti Arasındaki Regresyon Modeli .....	66
3.3. Beton Basınç Dayanımları – Ortalama Sıyırılma Yükleri Arasındaki Regresyon Modeli .....	68
3.4. Uygulanan Dinamik Yükler ile Yorulma Testi Sonrasında Bulunan Ortalama Sıyırılma Yükleri Arasındaki Regresyon Modeli .....	70
3.5. Beton Basınç Dayanımları – Dinamik Yükler Yüzdesi Arasındaki Regresyon Modeli .....	71

3.6. Beton Basınç Dayanımları – Statik Yükler Yüzdesi Arasındaki	
Regresyon Modeli .....	72

## SİMGELER DİZİNİ

$A_b, A_s$	Donatı birim alanı
$C$	Toplam beton basınç mukavemeti
$F$	Birim boya gelen aderans kuvveti
$f_c$	Beton basınç gerilmesi
$f_{ck}$	Betonun karakteristik basınç dayanımı
$f_{ctd}$	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
$f_s, \sigma_s$	Gerilim (birim alana düşen yük)
$f_{su}$	Çelik çekme dayanımı
$f_y$	Çelik akma dayanımı
$f_{yd}$	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
$l, l_b$	Donatı çubuğunun beton içerisinde kalan boyu
$P, T$	Kenetlenen çubuğa tatbik edilen çekme kuvveti
$P_{alt}$	Minimum dinamik yük kuvveti
$P_{Dort}$	Uygulanan dinamik yükler ortalaması
$P_{maks}$	Ortalama sıyrılma kuvveti
$P_{S_ort}$	Statik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvveti
$P_{üst}$	Maksimum dinamik yük kuvveti
$R$	Çubuk tarafından betona tatbik edilen kuvvetlerin radyal bileşkesi
$R^2$	Belirtme katsayısı
$T_s$	Çatlaksız kesitte çekme kuvveti

$T'_s$	Çatlak kesitte çekme kuvveti
$U_u$	Kabul edilen sabit değerli aderans kuvveti
$Y_D$	Dinamik yükler yüzdesi
$Y_S$	Statik yükler yüzdesi
$\epsilon_e$	Çelik çubuğun beton içinde ki bir noktasında çelik uzaması
$\epsilon_b$	Çelikle temasta olan beton lifte ki uzama
$\epsilon_o$	Artan yükler altında çelikte ki uzama
$\Sigma_o$	Çubuğun çevresi
$\mu$	Çatlak elemanda aderans gerilmesi
$\zeta$	Birim alana gelen aderans kuvveti
$\zeta_b$	Kenetlenme boyunca etkiyen aderans (bağ) kuvveti

## 1. GİRİŞ

Beton, kendi başına çekme gerilmelerine ve darbelere karşı dayanıklı olmayan bir malzemedir. Betonun bu zaafalarını gidermek için çelik çubuklarla takviye yoluna gidilmiştir. Betonun çelik çubuklarla güçlendirilmesi ile oluşan bu malzemeye betonarme denilmiştir. Bu sistemde beton basınç gerilmelerine, çelik çekme gerilmelerine karşı koyar. Betonarme elemanlarda, beton ve çeliğin birbirleriyle uyum içinde çalışması şarttır. Çelik ve betonun birlikte çalışması bu iki malzeme arasındaki aderans olarak adlandırılan bağ kuvvetine bağlıdır.

Eğilme etkisindeki bir kirişte, donatı içinde ve beton içinde gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmelere ilaveten donatı çubuğunun beton içinden sıyrılıp çıkmasına mani olan, çubuk yüzeyi ile beton arasında gerilmeler meydana gelir. Çubuk dış yüzeyi ile beton arasında oluşan bu gerilmelere aderans gerilmesi denilir. İki malzemenin birlikte çalışması için donatı çubuklarının beton içinden sıyrılıp çıkmaması gerekir. Eğer donatı kayma yaparsa donatıdaki gerilme sıfıra iner ve donatı yokmuş gibi davranış ortaya çıkar. Beton ile donatının birbirlerine yekpare davranacak şekilde bağlanması için donatı çubuklarının kenetlenmesi sağlanmalıdır<sup>(1)</sup>.

Betonarmede en fazla ihtiyaç duyulan özelliklerden birisi de iyi bir aderansının olmasıdır. Onun içindir ki aderans konusu, çoğu zaman araştırmalara konu olmuştur. Beton ile çeliğin birlikte kullanılmasının en önemli sebebi de bu iki malzeme arasında hiçbir kimyasal reaksiyonun



olmaması ve ısı genleşme katsayılarının yaklaşık birbirine eşit olmasıdır. Bunun sonucu olarakta sıcaklık değişimlerinden etkilenmemektedirler.

Beton ile donatı meydana gelen etkiler nedeniyle şekil değiştirirler. Bu sırada iki malzeme arasında gerilme geçişi meydana gelir. Arada sıyrılmadan bu tür gerilme geçişinin ortaya çıkmasına aderans denir. Aderans olayı betonarmenin en önemli faydalı özelliklerinden biridir. Bu suretle iki malzemenin beraberce kullanılması ve birbirini tamamlaması mümkün olur. Donatıda meydana gelen gerilme azalması ve çoğalması komşu beton bölgelerine gerilme geçişiyle meydana gelir. Bu durum düz yüzeyli çelik çubuklarda kayma gerilmelerinin doğrudan oluşmasıyla açıklanabilir. Nervürlü çubuklarda ise geçişin nervür etrafında oluşan karmaşık bir gerilme durumunun bileşkesi olarak ortaya çıkan kayma gerilmeleri tarafından sağlandığı kabul edilebilir. Her iki durumda da ortaya çıkan gerilmeler eşdeğer bir kayma gerilmesine dönüştürülerek aderans gerilmesi olarak da isimlendirilir<sup>(2)</sup>.

Genellikle aderansın çubuk düz yüzü ile çimento harcı arasındaki kimyasal yapışma sonucu ortaya çıktığı düşünülse de düşük zorlamalar bile bu yapışmayı çözer ve çubuk sıyrılır. Bu tür sıyrılmaya başlamasıyla sürtünme ve kayma etkisi ile oluşan aderans başlar. Sürtünme sonucu ortaya çıkan aderans donatı çubuğunun pürüzlülüğüne bağlıdır. Dikkatli incelendiğinde düz yüzeyli çubukta da pürüzlülüğün bulunduğu görülür. Donatının paslanmaya başlamasıyla pürüzlülükle beton ile çelik arasındaki aderans artar. Ancak pasın bir tabaka oluşturması, donatının bu tabakadan sıyrılmalarını kolaylaştırarak, aderansın kolayca kaybına sebep olur<sup>(2)</sup>.

Beton içerisine bir çelik çubuk konulsun ve beton sertleştikten sonra bu çubuk çekilip çıkarılmak istensin. Çelik çubuğun beton içindeki bir noktasında çelik uzaması (çekme kuvveti, betonun rötresi, sünmesi gibi tesirlerin etkisi dahil olmak üzere)  $\epsilon_e$  ve bu noktada çelikle temasta olan beton lifteki uzama da  $\epsilon_b$  ise;

$$\epsilon_e = \epsilon_b \quad (1.1)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu tanım, bir beton bloğa gömülmüş yani ankre edilmiş bir çelik çubukla beton arasındaki aderansın deformasyonlar cinsinden değerini vermektedir.

Çelik çubukla beton arasındaki aderansı deformasyonlar cinsinden veren (1.1) denklemi gergilerde ve eğilmeye maruz elemanların çekme bölgelerinde uzamanın belirli bir değerine kadar doğrudur. Betonun uzama limitinin çeliğin uzama kapasitesi yanında çok küçük olması nedeniyle çelikte uzamalar belirli bir değeri geçince beton çatlak ve (1.1) bağıntısı çatlama yerlerinde geçerliliğini kaybeder. Bu tip elemanlarda eleman boyunca mevcut çatlakların çubuk hizasındaki genişlikleri toplamının çubuk boyuna oranı  $\epsilon_o$  olsun. Çelik çubukla beton arasında kayma olmadığını gösteren ve aderansı deformasyonlar cinsinden ifade eden bağıntı ise,

$$\epsilon_o = \epsilon_e + \epsilon_b \quad (1.2)$$

şeklinde yazılabilir<sup>(3)</sup>.

Donatının akma sınırına erişmeden betondan sıyrılması veya ayrılması, kimi durumlarda, elemanın göçmesine neden olabilir. Bu nedenle, donatıdan kapasitesinde yararlanmak, yani çalışmasını sağlamak için,

aderans güvenliğinin sağlanması, yani betona tam olarak kenetlenmesinin sağlanması gerekir. Bu tür aderansa kenetlenme aderansı adı verilir. Bir başka deyişle, donatı kendisindeki kuvveti güvenli şekilde betona aktarabilmelidir. Bu durum ise, donatıya yeterli bir kenetlenme (ankraj) boyunun sağlanması ile olanaklı kılar. Donatı çubuğunun betondan sıyrılmadan veya betonu yarmadan akma gerilmesine ulaştıracak boya kenetlenme boyu denir<sup>(4)</sup>.

Maksimum statik gerilme değerinin altındaki gerilme değerlerinin tekrar tekrar uygulanmaları sonucunda malzemede yer alan kırılma olayına yorulma denir<sup>(5)</sup>.

Depremde, betonarme elemanlar tekrarlanan ve tersinir yüklere maruzdur. Bu tür yükleme aderansı olumsuz yönde etkilemekte, böylece elemanın yer değiştirmesi artarken, rijitliğinde önemli azalmalar gözlenmektedir. Sıyrılan bir çubuğu geri getirmek mümkün değildir. Benzer şekilde, ilk yükleme sırasında oluşan çatlaklar da yükün boşaltılması ile tamamen kapanmayacaktır. Kalıcı sıyrılanın mertebesi ve kapanmayan çatlakların genişliği daha önce uygulanmış yük veya yüklerin büyüklüğüne bağlıdır. Bu durumda eleman tekrar aynı yönde veya ters yönde yüklendiğinde, artık aderansı zayıflamış bir eleman söz konusudur. Tersinir ve tekrarlanır yük etkileri altında gözlenen aderans zayıflamasının, yapının deprem davranışını olumsuz yönde etkileyeceğini göstermektedir. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapıların oluşturulmasında kenetlenme sorunu son derece önemlidir<sup>(6)</sup>.

Aderans ve kenetlenme davranışı hakkındaki bilgilerin çoğu normal dayanımlı betonun statik yükleme durumları hakkındadır. Oysa deprem; yeri, zamanı, şiddeti ve periyodu belli olmayan bir unsur olup, yapıya statik yüklemekten ziyade tekrarlanan yükler altında etki etmektedir. Bunun için deprem kuşağındaki bölgelerde yapılacak yapılar için tekrarlanan yükler altında donatı kenetlenme özelliklerinin belirlenmesinde normal dayanımlı betonlarda statik yükleme sonuçlarına dayalı hesap ilkelerinin yerine tekrarlanan yüklerin sonuçlarına dayalı hesap uyarlaması için daha fazla veriye ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada; donatı türü, donatı çapı, çekmedeki frekansı, genliği ve deney modeli sabit tutularak, farklı dayanımlarda hazırlanmış beton numuneler içerisindeki donatıya statik ve dinamik sadece çekme (pull-out) kuvveti uygulayarak, beton ile donatı arasındaki aderansta yorulma deneyleri yapılmıştır.

Hazırlanan sekiz farklı beton grubundan, statik çekme ve tekrarlı çekme deneyi için, altışar tane olmak üzere toplamda kırk sekiz adet 6x10x10 ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Ayrıca her beton sınıfı için üçer tane olmak üzere toplamda yirmi dört adet 15x15x15 küp numune 28 gün sonra basınç mukavemetine tabi tutulmak üzere hazırlanmıştır. Çekme ve tekrarlı çekme deneyleri için her numune hazırlanırken orta eksenlerine S420 nervürlü Ø8 çaplı 12 cm boyunda çelik çubuk yerleştirilmiştir.

Daha sonra hazırlanan numuneler 2 cm delik çaplarında çelik plakalardan sabit yükleme hızıyla statik çekme deneyine tabi tutulmuş olup

her beton sınıfı için üçer adet olmak üzere, toplamda yirmi dört numune teste tabi tutulmuştur.

Yapılan statik çekme deneylerinde çatlamadan sıyrılan numunelerde beton mukavemeti arttıkça çekme kuvvetinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu deney bize betonun mukavemeti arttıkça çekme (aderans) kuvvetlerinde arttığını göstermektedir.

Dinamik yükleme deneyinde ise uygulanan minimum dinamik yük 1 kN olarak, maksimum dinamik yük ise, sabit yükleme hızıyla statik çekme deneyi sonucu bulduğumuz ortalama sıyrıma kuvveti değerlerinin % 90'ı alınarak etki ettirilmiştir. 2 cm delik çaplarında çelik plakalarda dinamik yükleme deneyi sonucu numuneler daha sonra statik çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Her beton grubu için üçer adet olmak üzere, toplamda yirmi dört numune teste tabi tutulmuştur.

Dinamik yükleme deneyi sonrası statik çekme deneyine tabi tutulan numuneler için elde edilen sıyrıma kuvvetleri değerleri, ilk olarak bulduğumuz statik çekme deneyi sonucunda ki sıyrıma kuvveti değerlerinden düşük çıkmıştır. Bu da dinamik yükleme sonucu yorulma etkisinin var olduğunu göstermektedir. Söz konusu olan yorulma etkisinin değeri, yüksek beton basınç dayanımları veren numunelerden, düşük basınç dayanımı veren numunelere doğru artmaktadır. Yorulma etkisi sonucu statik yük değerlerindeki azalmanın, statik yük yüzdelerine baktığımızda % 1,15 ile % 6,23 arasında olduğu görülmüştür.

## 1.1. Kaynak Özetleri

Ferguson ve Thompson 1962 yılında yaptıkları çalışmalarda aderansla kenetlenme boyu arasında doğrusal bir orantı olmadığını göstermişler, ayrıca donatı için gerekli kenetlenme boyundan daha fazla kenetlenme boyu kullanmanın aderansı artırıcı yönde bir etki yapmadığı gözlemlenmiştir<sup>(7)</sup>.

Bresler ve Bertero'nun 1968 yılında yaptıkları çalışmada ortasında çentik açılan elemana, tekrarlanan yük uygulamışlar, sonuçta aderans zayıflamasının tekrarlanan yüke bağlı olduğunu göstermişlerdir. Donatının akmasına neden olacak yüksek düzeyde uygulanan tersinir tekrarlanan yükler, donatıyı akma konumuna getirmeyecek düzeyde uygulanan yüklere oranla aderansı çok daha fazla zayıflattığı ortaya konulmuştur<sup>(8)</sup>.

Ersoy, Karaesmen ve Yaltkaya, tarafından 1969 yılında yapılan deneylerde tor çelikle (nervürlü çelik) donatılmış numunelerde; çatlak oluşumu, sıyrılma deplasmanı ve betonda kırılma durumunu araştırmışlardır. Bazı gruplarda çatlak oluşumu tespit edilirken, bazı gruplarda görülmemiştir. Sıyrılmanın gruplara göre farklı boyutlarda olduğu görülmüş, kırılmanın ise bazı numunelerde akma ve yarılmının aynı anda kendini gösteren ortaklaşa etkisiyle, bazılarında ani beton yarılmalarıyla, bazılarında ise çeliğin akmasıyla gerçekleştiğini tespit etmişlerdir<sup>(9)</sup>.

Takeda, Sözen ve Nielsen, 1970 yılında yaptıkları çalışmalarında aderans çürümesi nedeni ile gözlenen rijitlik azalmasının enerji yutma kapasitesini de aynı oranda azalttığını belirtmişlerdir<sup>(10)</sup>.

İsmail ve Jirsa, 1972 yılında yaptıkları çalışmalarında yüksek düzeyde uygulanan ve tersinerek tekrarlanan yükün neden olduğu aderans

çürümesinin eleman rijitliğini önemli ölçüde azalttığını ve dolayısıyla deplasman artışına neden olduğunu gözlemişlerdir<sup>(11)</sup>.

Jy Naaman ve Shah, 1976 yılında yaptıkları çalışmada sıyrılma deneyini uygulayarak, gerilme hattının yönüne bağlı olarak aderansın değiştiğini gözlemlemiştir. Gerilme yönüne paralel yerleştirilmiş donatılara bağlı olarak aderansın değiştiğini savunmuşlardır<sup>(12)</sup>.

Burakiewicz, 1978 yılında yaptığı çalışmada donatı tipleri farklı deneyler yapmıştır. Çekme gerilmesi–birim uzama eğrisinin donatı tipine bağlı olarak değiştiğini gözlemlemiştir. Kancalı donatıların diğerlerine göre daha az uzama gösterdiği ve nervürlü donatıların düz donatılara göre daha çok dayanım gösterdiği bulunmuştur<sup>(13)</sup>.

Gopalaratnam ve Abu-Mathkour, 1987 yılında yaptıkları çalışmada aderans boyu, donatı çapı ve beton kalitelerine bağlı olarak aderansı incelemiştir. Aderans dayanımının, aderans boyu ile ters orantılı olarak arttığını, donatı çapının artmasının aderansı arttırdığını beton basınç dayanımının aderans ile doğrudan bağlantılı olmadığını savunmuşlardır<sup>(14)</sup>.

Larrard (1988), geleneksel ve yüksek başarımlı betonlarla ürettiği bir doğrultuda çalışan döşeme plaklarının donatılarını en büyük gerilme değerine kadar çalıştırarak, çatlak genişliklerinin yüksek başarımlı beton döşeme plaklarda daha düşük olduğunu gözlemiştir<sup>(15)</sup>.

Maton (1988), Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyleri'nde yüksek başarımlı betonlarda erişilen en büyük kaymaya karşılık elde edilen yüklerin geleneksel betonlara göre daha büyük olduğunu gözlemlemiştir ve kalın

donatıların aderansının ince donatılardan düşük olduğunu savunmuştur<sup>(16)</sup>.

De Larrard ve Malier (1991), araştırmalarında bu durumun ancak bünyesel büzülme ile açıklanabileceği iddia edilmektedir<sup>(17)</sup>.

Naaman ve Husamiddin, 1991 yılında yaptıkları çalışmada aderans sıyrılma deneyleri ile incelemişler, üç farklı donatı, beton karışımı, katkı maddesi ve farklı uzunlukta kenetlenme boyu kullanmışlardır. Numunelerde sıyrılma deneyi uygulamışlardır. Deney sonuçlarında kancalı ve nervürlü donatılar, düz donatılara göre sıyrılma kuvvetine daha fazla dayanım göstermiştir. Donatı çapı ve aderans boyunun aderans fazla etkilemediği görülmüştür. Karışımın dayanımını arttırdıkça beton-çelik arasındaki aderansın da arttığı gözlenmiştir. Katkı maddelerinden Latex maksimum sıyrılma kuvvetini arttırmış, mikrosilika fazla değiştirmemiş, uçucu külün ise az katkısı olmuştur<sup>(18)</sup>.

Larrard, 1993 yılında yaptığı çalışmada farklı dayanımlardaki betonlarda Belçika türü aderans deneyleri yaparak aderansa donatı çapının etkisini inceleyip, yüksek dayanımlı betonlarda aderans dayanımının, normal dayanımlı betonlara göre, Ø10mm çapındaki donatı için %80, Ø25mm çapındaki donatı için ise sadece %30 oranında aderanslarında artış olduğunu sonucuna varmıştır<sup>(19)</sup>.

Yerlici ve Özturan, 1995 yılında yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı beton elemanlarda beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde donatısı miktarındaki artışların aderans dayanımını arttırdığı, donatı



çapındaki artışın ise düşürdüğü gözlenmiş ve bu değişiklikleri belirleyen formüller türetmişlerdir<sup>(20)</sup>.

Gambarova ve Rosati, 1997 yılında yaptıkları çalışmada küçük çaplı (çapları 14mm küçük ve eşit) çubuklar için çelikle beton arasında meydana gelen aderansın, büyük çaplı çelik çubuklar içeren elemanlara göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir<sup>(21)</sup>.

Baradan, 1997 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında farklı koşullarda, değişik tipte çimento kullanılan betonlarda aderans özelliğinin değişimini incelemiştir. Yapmış olduğu istatistiksel değerlendirmede aderans dayanımı ile çekme dayanımı arasında doğrusal bir oran olduğunu gözlemlemiştir<sup>(22)</sup>.

Ünal, 1998 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, beton kalitesi arttıkça, en büyük agrega tane çapı arttıkça aderans dayanımının da arttığını tespit etmiştir<sup>(23)</sup>.

Çağlar, 2005 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, beton sınıfı, donatı türü ile çapı ve deney modeli sabit tutularak, farklı genlikteki tekrarlı çekme yükleri altında donatı ile beton arasında aderans yorulmasını incelemiştir. Sonuçta aderans gerilmeleri arasındaki farkı %1.6 gibi çok küçük bir değer bulmuş ve yorulmanın olmadığını tespit etmiştir<sup>(24)</sup>.

Durmuş, Dahil ve Arslan, 2006 yılında yaptıkları çalışmada TS 500-2000'de ki geleneksel betonlarla üretilen betonarme elemanlarda beton ile donatı arasında yeterli aderansın sağlanabilmesi için gerekli kenetlenme boyu sınırlarının, yüksek dayanımlı beton kullanılması halinde %50 mertebesinde azaltılabileceğini söylemişlerdir<sup>(25)</sup>.

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006 yılında yaptıkları çalışmada silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonlarda nervürlü donatı aderansının düz donatıya göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca silis dumanı katkılı betonların aderans ve basınç dayanımlarının, uçucu kül katkılı betonlara göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır<sup>(26)</sup>.

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006 yılında yaptıkları başka bir çalışmada betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanımına en iyi kr koşulunun su kr olduğunu, daha sonra naylon kr ve hava krnn geldiğini bulmuşlardır<sup>(27)</sup>.

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006 yılında yaptıkları başka bir çalışmada silis dumanı ve uçucu kül kullanılarak numuneler hazırlamışlar. Bu numuneleri 800 C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Sonuçta bütün numunelerin basınç dayanımlarındaki kayıp yaklaşık olarak %60, aderans dayanımlarındaki kayıp ise yaklaşık % 70-75 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca silis dumanı katkılı beton numuneler bütün sıcaklıklarda en büyük basınç ve aderans dayanımı değerlerini vermiştir<sup>(28)</sup>.

şener, 2006 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, yüksek ve normal dayanımlı betonlarda, düz ve nervürlü donatıları simetrik yerleştirilmiş aderans ekinde eksenel yükleme etkisi altında göçme biçimleri ile çatlak dağılımları incelemiştir. Deney sonucunda, nervürlü donatı için büyük boyutlu ve büyük çaplı donatılı numunelerde göçme biçimi daha gevrek, kk boyutlu kk çaplı numunelerde ise daha çok plastik aderans gemesinin olduğunu, büyük ve orta boyutlu numunelerde ayrılma

göçmesinin, küçük boyutlu numunelerde kesme göçmesinin olduğunun tespit etmiştir<sup>(29)</sup>.

Duran, 2008 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, donatı türü, çapı, beton sınıfı ve deney yükleme modeli sabit tutularak, aynı delik çaplarındaki çelik plakalarla desteklenmiş farklı yüzey açlarına sahip numunelerde çekme ve tekrarlı çekme yükleri altında donatı ile beton arasındaki statik ve dinamik aderansı araştırmıştır. Sonuç olarak yüzey açısı artan numunelerde yüzey açısı arttıkça aderans artar beklentisinin aksine, aderansın artmadığı görülmüştür. Diğer çalışmasında ise farklı delik çaplarındaki çelik plakalar kullanılarak yapılan statik ve dinamik çekme deneyleri sonucunda delik çapı arttıkça aderans dayanımının azaldığını tespit etmiştir<sup>(30)</sup>.

TS 500-2000'de, betonarme bir yapı elemanının gerektiği gibi davranabilmesi için donatının betona kenetlenmesi zorunludur. Aderansın da tam olarak sağlanabilmesi için gerekli kenetlenme boyu, kesitteki donatı çubuklarının betonlama sırasındaki konumuna bağlıdır.

Herhangi bir betonarme kesitinde, donatının öngörülen çekme veya basınç gerilmesini güvenle taşıyabilmesi için her iki yönde yeterli kenetlenme boyuna sahip olması gereklidir. Kenetlenme, düz kenetlenme ile, manşon ve benzeri mekanik bağlantılarla veya kanca ile sağlanabilir. Düz kenetlenmeye ancak nervürlü çubuklarda izin verilir<sup>(31)</sup>.

### **1.1.1. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada; düşük ve normal dayanımlı betonlarda donatı türü, donatı çapı, çekmedeki frekansı, genliği ve deney modeli sabit tutularak, farklı türdeki numunelerimize 2 cm delik çaplı çelik plakalarda çekme (pull-out) ve tekrarlı çekme yükleri uygulayıp, donatı ile beton arasında aderans yorulması olup olmadığı araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Genel

Bu çalışmada, sadece deneysel yöntem kullanılmış olup, beton basınç dayanımının tespitinde 2000 kN'luk beton basınç test aleti, 6x10x10'luk normal dayanımlı beton küp numunelerin beton-donatı aderansı dinamik ve statik yükleme deneylerinde ise 100 kN kapasiteli Instron 8516 model üniversal (çekme-basma) test cihazı kullanılmıştır. Deneyler yapılırken TS ve ASTM 'de belirtilen konuyla ilgili standart numune hazırlama ve deney metotları kullanılmıştır.

### 2.2. Betonun Basınç, Çekme ve Yorulma Dayanımı

Beton dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır<sup>(5)</sup>.

Yapılan araştırmalar beton özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiğini göstermiştir<sup>(32)</sup>. Laboratuvar şartlarında kolayca ölçülebilen basınç dayanımı özelliği bilindiğinde betonun diğer birçok özelliği de (eğilme, çekme ve kesme dayanımları, elastik özellikleri...) yaklaşık olarak belirlenebilir ve betonun yıpratıcı etkilerin birçoğuna karşı muhtemel davranışı tahmin edilebilir<sup>(33)</sup>.

Betonun basınca karşı dayanımı olumlu ve olumsuz yönde olmak üzere birçok etken tarafından etkilenmektedir. Bu etkenler agrega türü ve

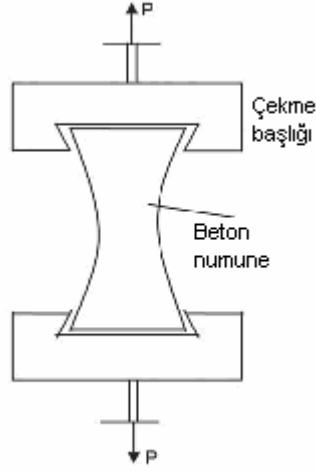
gradasyonu, çimento türü ve miktarı, su/çimento oranı, betonun bakımı, kimyasal ve mineral katkı maddesi kullanımı, taze betonun üretim metodu, karıştırılma süresi, karışım aşamaları, yerleştirme metodlarındaki değişkenler şeklinde sıralanabilir<sup>(33)</sup>.

Çimento hamurunun dayanımını etkileyen faktörler, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki bağda etkilemektedir. Ör; Su/Çimento oranı yüksek olan betonlarda elde edilen dayanım ve aderans daha az olmaktadır. Ayrıca bu bağın iyi olması için, betonun çok iyi sıkıştırılması gerekir<sup>(5)</sup>.

Basınç dayanımı tayini TS-EN 12390-3'e göre silindir ve küp numuneler kullanılarak yapılır. Silindir dayanımları küp dayanımlarının %80 - 85'i civarındadır.

Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnç olarak tanımlanır<sup>(5)</sup>. Betonun basınç dayanımı iyi olmasına rağmen çekme dayanımı oldukça düşüktür. Yüksek basınç dayanımı ile bilinen betonun çekme dayanımı basınç dayanımının % 10'u kadardır. Betonun direkt çekme altındaki davranışının incelenmesi ve direkt çekme dayanımının tayini kolay değildir.

Yaklaşık 20 yıl önce Rüşch betonda eksenel çekme deneyleri yapmayı başarmıştır. Rüşch'ün kullandığı deney numune geometrisi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Prizma ve silindir şeklindeki bu deney numunesinde pres çenesinin numuneyi kavradığı yerdeki yerel kırılmayı önlemek için iki uçta kesit büyütülmüştür. Yük, beton deney numunesine yüksek dayanımlı yapıştırıcılar ile tutturulan, çelik plakalardan yararlanarak uygulanmıştır<sup>(34)</sup>.



**Şekil 2.1.** Rüşch'ün kullandığı aksenal çekme deney numune geometrisi

Betona etki eden kuvvetler sonucunda betonda çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Betonun çekme dayanımının tayini için kullanılan üç değişik yöntem vardır. Bunlar, doğrudan çekme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı tayinidir.

Malzeme yavaşça artan yükler altında denendiği zaman, belirli bir sınır gerilmeye dayanımı sona erişip kopmaktadır. Bulunan bu gerilme değerine malzemenin statik dayanımı adı verilir. Ancak aynı malzemeyi, zorlayan gerilmeler zaman ile değişecek olursa, malzeme çekme deneyindeki kopma değerinin altındaki bir gerilmeye, sünek de olsa plastik şekil değiştirmeden kırılır. Bu olaya yorulma denilir<sup>(35)</sup>.

Yüklemeye ve boşaltmanın periyodik olarak çok sayıda tekrarı sonucunda cisim içinde oluşan karmaşık termik ve mekanik olaylar nedeniyle, cisimde çözülme, yıpranma ve ayrışmalar meydana gelir. Bu olayın nedeni yükün şiddetinden çok onun, periyodik olarak uzun bir süre

değişmesidir. İç mekanizması oldukça karışık olan bu olaya kısaca malzemenin yorulması denmektedir. Yorulma olayı üç aşamada değerlendirilebilir: çatlak başlangıcı, çatlak ilerlemesi ve kopma<sup>(35)</sup>.

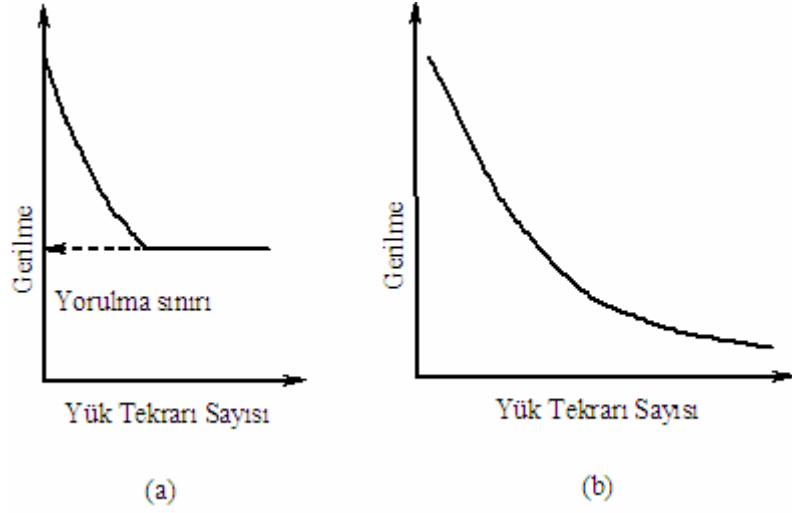
Yorulma olayında malzeme ani olarak göçtüğü için tehlikelidir. Bu tip gevrek kırılma olaylarına çelik köprülerde, kötü yolda giden arabalarda, uçak kanatlarında rastlanabilir.

Bir malzemenin ne kadar sayıdaki yük tekrarında kırılacağı o malzemeye uygulanan toplam gerilme miktarı ile tekrarlanma sayısı ve tekrarlı gerilmenin genliğine bağlıdır. Uygulanan toplam gerilme miktarı veya genliği azaldıkça kırılmaya yol açacak yük tekrarı artacaktır.

Şekil 2.2. (a), çeliğin yorulma özeliğini göstermektedir. Burada görüldüğü üzere, uygulanan gerilme değeri, belirli bir gerilme değerinin altında uygulandığında, çeliğin kırılmasını sağlayacak yük tekrar sayısı sonsuza kadar büyümektedir. Yani tekrarlanan gerilme etkisiyle çeliğin kırılabilmesi için tekrarlanan yüklerin belirli bir değerin üzerinde olması gerekir. Bu gerilme değerine de "yorulma sınırı" denilmektedir.

Şekil 2.2. (b), betonun yorulma özeliğini göstermektedir. Betonda belirgin bir yorulma sınırı yoktur. Betona uygulanan tekrarlı gerilme değeri küçüldükçe, betonun kırılmasına yol açacak tekrar sayısı artar, gerilme değeri büyüdükçe, tekrar sayısı azalır. Genel olarak, betondaki yorulma sınırı, 10 milyon yük tekrarına karşılık gelen gerilme değeri olarak kabul edilmektedir<sup>(5)</sup>.





**Şekil 2.2.** Gerilme-yük tekrarı sayısı

### 2.3. Çeliğin Mekanik Özellikleri ve Çekme Dayanımı

Betonarme yapılarda çekme dayanımı zayıf olan beton, basınç dayanımını karşılarken, çelik çekme etkilerini karşılamaktadır. Çeliğin çekme dayanımının betona oranla çok daha yüksek olması, çeliğin betonla çok iyi aderans sağlaması ve çelik ile betonun termik genişleme katsayılarının birbirlerine yakın olması betonla çeliğin uyum içinde ortak kullanımını sağlamaktadır.

TS 708 standardına<sup>(36)</sup> göre, beton çelik çubukları haddeleme yöntemi ile veya haddeleme sırasında ısıtma işlemi uygulanmasıyla oluşan sertliklerine göre:

- Sıcak haddeleme işlemi ile üretilen (doğal sertlikte) (a)
- Sıcak haddeleme sırasında ısıtma işlemi uygulanmasıyla oluşan sertlikte (doğal sertlikte) (a)

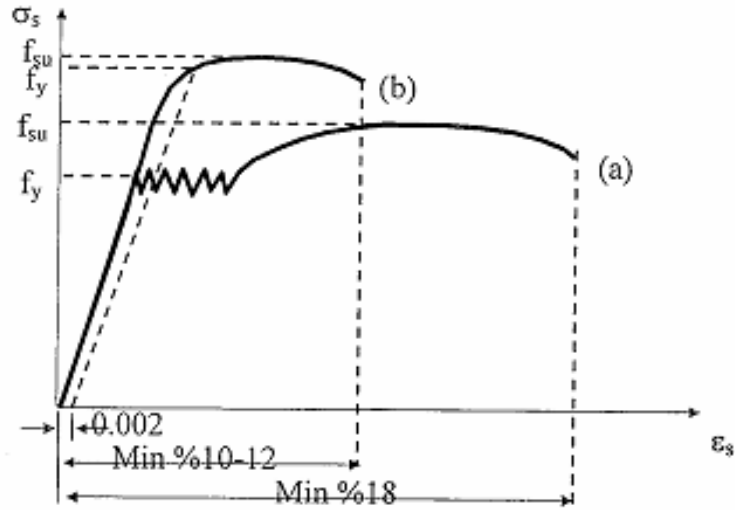
- Soğuk mekanik işlem (soğuk haddeleme, burma) görerek sertleşmiş (b) olmak üzere üç sınıfa;

en küçük akma sınırlarına göre:

- 2200 kgf/cm<sup>2</sup> (220 N/mm<sup>2</sup>) (I)
- 4200 kgf/cm<sup>2</sup> (420 N/mm<sup>2</sup>) (III)
- 5000 kgf/cm<sup>2</sup> (500 N/mm<sup>2</sup>) (IV) üç sınıfa ve yüzey özelliklerine göre ise:
- Düz yüzeyli (D), Nervürlü (N), Yüzey profili (P) olmak üzere üç tipe ayrılmıştır.

Çelik çubuğun mekanik özellikleri çekme deneyi ile belirlenmektedir.

Bu deney ile çeliğin akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve kopma uzaması gibi mühendislik açısından çok önemli özellikleri elde edilmektedir. Yapı inşasında kullanılacak çelikler için bu özelliklerin standart deneylerle doğru bir şekilde belirlenerek güvenilir bir yapı için uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Şekil 2. 3'deki iki eğriden (a) doğal sertlikte, (b) ise soğukta işlem görmüş çelik içindir.



**Şekil 2.3.** (a) Doğal sertlikte, (b) Soğukta işlem görmüş çelik için  $\sigma - \epsilon$  eğrisi

#### 2.4. Aderans ve Aderans Tipleri

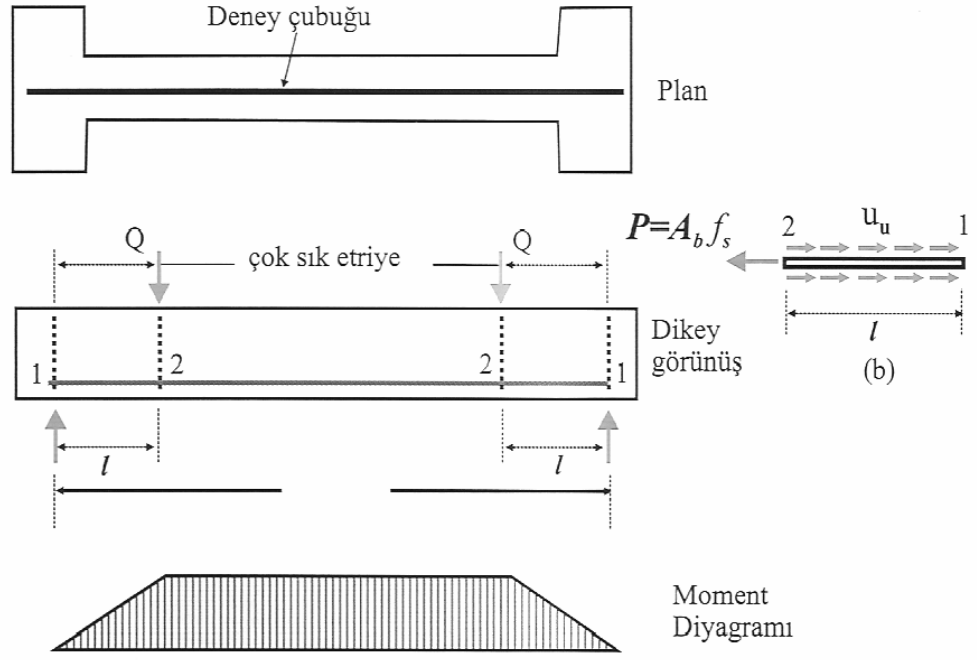
Bilindiği gibi betonarme, donatı ile betonun birlikte yük taşıması demektir. Beton basınç kuvvetlerini, donatı da çekme kuvvetlerini taşır. Birlikte yük taşıma beton ile donatı arasında tam yapışma, aderans, demektir. Donatı, kendisine gelen çekme kuvvetini beton ile ara yüzeyinde olan yapışma kuvveti ile betona aktarır. Eğer donatı betona yeterli boyda, uzunlukta, konulmamış ise ya da betonla donatı arasındaki yapışma yetersiz ise betonla donatı arasındaki aderans kuvveti zayıf kalır ve demir betondan sıyrılır. Eğer aderans yeterli ya da donatı yeterli boyda konulmuş ise, donatı betondan sıyrılmaz, donatı kopar. İstenilen ikinci durumdur; yani donatı istenilen ya da izin verilen düzeylerde çekme kuvveti taşıırken betondan sıyrılmaz.

Genellikle aderansın çubuk düz yüzü ile çimento harcı arasındaki kimyasal yapışma sonucu ortaya çıktığı düşünülürse de, düşük zorlamalar

bile bu yapışmayı çözer ve çubuk sıyrılır. Bu tür sıyrılmanın başlamasıyla sürtünme ve kama etkisi ile oluşan aderans başlar. Dikkatli incelendiğinde düz yüzeyli çubukta da pürüzlülüğün bulunduğu görülür. Donatının paslanmaya başlamasıyla pürüzlülükle beton ile çelik arasındaki aderans artar. Ancak, pasın bir tabaka oluşturması, donatının bu tabakadan sıyrılmasını kolaylaştırarak, aderansın kolayca çözülmesine sebep olur. Bu nedenle, çok az paslanma aderansı olumlu yönde etkilediği halde, genellikle paslanma aderansın kaybolmasına neden olur. Bunun yanında, sürtünme kuvvetinin dolayısıyla aderansın artmasına, yanal gerilmelerin bulunması ve betonun büzülmesi de (sünme) olumlu katkıda bulunur<sup>(2)</sup>.

#### **2.4.1. Eğilme Aderansı:**

Aderans mukavemeti, beton kiriş içerisine gömülü bir donatı çubuğunun belli miktarda veya tamamen sıyrılıp çıkarılması tertibindeki deneylerle de belirlenebilir. Kiriş numune kullanılarak aderans gerilmesinde: eğilme çatlağı, beton örtü kalınlığı, kesme, komşu donatı çubuklarına mesafe ve diğer etken faktörler incelenebilir. Kiriş uçlarının T biçiminde olması mesnet reaksiyonlarının donatıya basınç uygulamaması içindir (Şekil 2.4.). Kirişte kenetlenme boyu donatı uç kısmında (1) ve (2) noktaları arasındaki mesafedir. Bu mesafede donatı içerisindeki kuvvet maksimum değerdeki (2) noktasından (1) noktasına yani sıfır değere iner.



**Şekil 2.4.** (a) Kiriş detayı, (b) Donatının 1 ve 2 noktaları arasında serbest kuvvet diyagramı

Eğer kesme tipinde aderans gerilmesi sabit değerli, (1) ve (2) noktaları arasında  $l$  boyunca donatı çubuğu yüzeyinde etkidiği kabul edilerek, donatını yatay denge denklemleri (1) ve (2) noktaları arasında yazılırsa;

$$U_u * (\Sigma_0) * l = P \quad (2.1)$$

Burada

$U_u$ : Kabul edilen sabit değerli aderans mukavemeti,

$P$ : Kenetlenen çubuğa tatbik olunan çekme kuvveti,

$\Sigma_0$ : Çubuğun çevresi,

$l$ : Donatı çubuğunun beton içine gömülü olan boyu<sup>(1)</sup>.

#### 2.4.2. Kenetlenme Aderansı:

Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için, donatı çubuklarının betona kenetlenmesi gerektiği bilinmektedir<sup>(37)</sup>.

Betonarme elemanların en önemli özelliklerinden biri beton ve çeliğin beraber çalışacak, yani yük taşıyacak şekilde bir araya gelmesidir. Donatı ile onu saran beton arasında herhangi bir relatif yerdeğiştirmenin, kaymanın olmaması gerekir. Donatının betondan sıyrılması veya ayrılması karma bir malzeme olan betonarmede beraber çalışmayı önlediği gibi, bazı durumlarda da elemanın göçmesine sebep olabilir. Bu nedenle, donatının tam kapasitesinin kullanılabilmesi için, göz önüne alınan kesite gelinceye kadar donatının betona tam olarak kenetlenmesinin sağlanması gerekir<sup>(2)</sup>.

Beton ve donatının arasındaki kenetlenmenin aşağıda belirtilen üç asıl sebepten ileri geldiği kabul edilmektedir;

1. Beton ve donatı yüzeyleri arasında kimyasal olay sonucu yapışmaya sebep olan bağ (adhezyon) kuvvetleri,
2. Donatı yüzeyindeki pürüzlerin betona tutunmasından ileri gelen sürtünme kuvvetleri,
3. Donatı yüzeyindeki sürekli ya da süreksiz nervürlerin ve enine çıkıntılardan ileri gelen mekanik dış kuvvetleri<sup>(38)</sup>.

Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüşse, çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp

çıkabilir veya etrafındaki beton kütleyi yarabilir. Betona gömülen çubuk boyu, "kenetlenme boyu" olarak adlandırılır ve bu tür aderansa da "kenetlenme aderansı" denir.

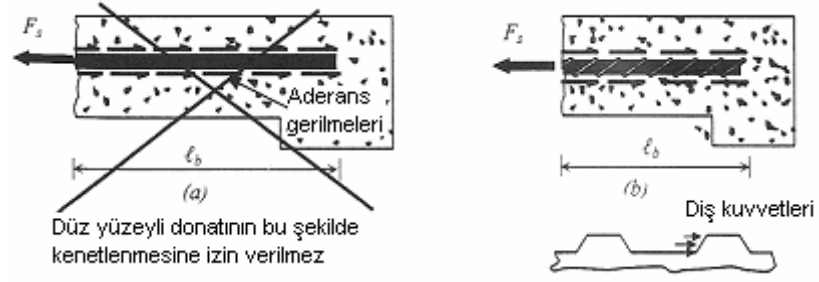
TS 500' de bu boy için aşağıdaki parametreler dikkate alınmaktadır:

1. Donatının yüzey özellikleri (düz ya da nervürlü oluşu),
2. Donatının konumu (Konum I, Konum II),
3. Donatı çapı ( $\emptyset$ , 32 mm den küçük mü? Büyük mü?)
4. Donatının çekme ya da basınç etkisinde oluşu,
5. Kanca bulunup bulunmaması,
6. Donatının kalitesi (Akma dayanımı),
7. Betonun kalitesi (Çekme dayanımı)<sup>(38)</sup>.

Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine eriştiğinde veya depremde olduğu gibi, akma ötesinde belirli bir birim deformasyona ulaştığında betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır.

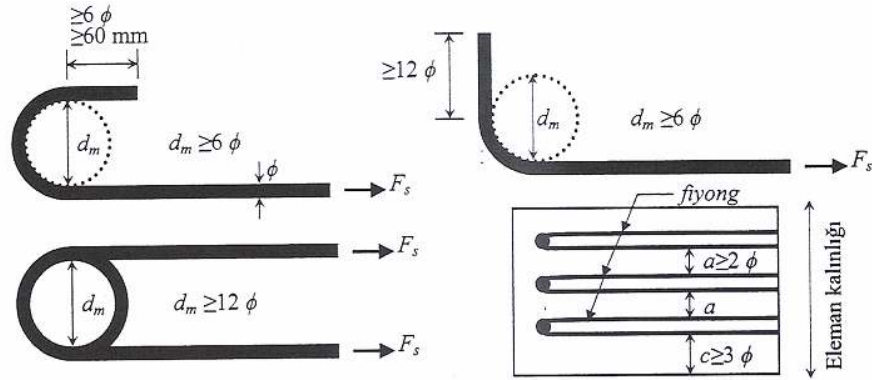
Kenetlenme çeşitli şekillerde donatı düzenlemeleri yapılarak gerçekleştirilmektedir;<sup>(38)</sup>

- 1 Düz kenetlenmede, donatının gerek duyulmadığı noktadan itibaren beton içine düz olarak uzatılması ile sağlanmaktadır. Düz yüzeyli ve nervürlü donatıların düz kenetlenme boyları Şekil 2.5'de şematik olarak gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi nervürlü donatılarda kenetleme düz yüzeyli çubuklara göre daha küçük bir boy ile sağlanabilmektedir.



**Şekil 2.5.** Düz yüzeyli (a) ve nervürlü (b) donatıların kenetlenme boyları

- 2 Kanca ya da fiyongla kenetlenme yapılıyorsa, kenetlenme boyu  $\frac{3}{4}$ 'ü kadar alınabilir. Dolayısıyla kenetlenme boyu  $\frac{1}{3}$  oranında azaltılmış olmaktadır. TS500'deki standart kanca ve fiyonglar Şekil 2.6'da görülmektedir.



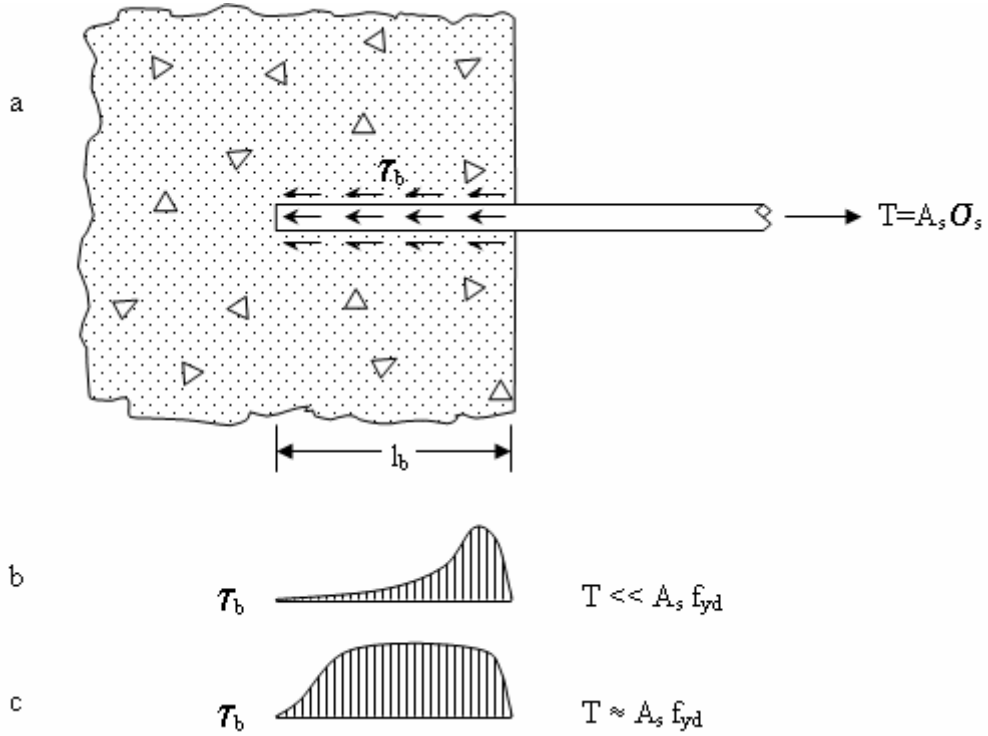
**Şekil 2.6.** Kanca ve fiyongların sağlaması gereken koşulları

- 3 Kaynaklı enine çubukla kenetlenmede, gerekli kenetlenme boyu çubuğa kaynaklanmış enine çubuklar ile sağlanmaktadır. Nokta



kaynaklı hasır çeliklerde bu tür kenetlenme yaygın olarak kullanılmaktadır.

- 4 Mekanik kenetlenmede, donatı ucuna kaynaklanan ya da vidalanan plakalarla da sağlanabilir. Bu gibi özel durumlarda, öngörülen düzenleme laboratuvarında deneye tabi tutulmalı ve projede kullanılacak çubuk hesap kuvveti, kırılma yükünün %70'ini geçmemelidir. Mekanik kenetlenme yeterliliği sağlanmış özel manşonlarla sağlanmalıdır.



**Şekil 2.7.** Kenetlenme aderansı

Şekil 2.7 (a)'da beton bir kütleye gömülen bir çubuk gösterilmiştir. Çubuğun  $\tau_b$ , olarak gösterilen kenetlenme boyunca etkiyen bağ kuvvetleri, uygulanan çekme kuvvetini dengelemek durumundadır. Donatıdaki çekme kuvveti de,  $T=A_s\sigma_s$  olarak gösterilmiştir. Yeterli kenetlenmenin sağlanabilmesi için,  $\sigma_s = f_{yd}$  olduğunda, çubuk çevresinde oluşan bağ kuvvetlerinin toplamının çekme kuvvetine eşit olması gerekir,  $\Sigma\tau_b = A_s f_{yd}$ . Eğer  $\tau_b$  olarak gösterilen aderans gerilmeleri kenetlenme boyunca düzgün yayılı olsaydı veya bu gerilmelerin dağılımı kesin olarak bilinseydi, gerekli kenetlenme boyunun hesabı oldukça kolay olurdu. Yapılan deneyler, aderans gerilmelerinin kenetlenme boyunca düzgün yayılmadığını ve gerçek dağılımın birçok değişkene bağlı olduğunu göstermiştir. Şekil 2.7 b ve c'de gösterildiği gibi, aderans gerilmelerinin dağılımı düzgün değildir ve bu dağılım, diğer değişkenlerin yanı sıra, çubuktaki gerilme düzeyine göre değişmektedir.

Aderans gerilmeleri ile kenetlenme boyu arasındaki ilişkiyi yaklaşık olarak saptayabilmek için, aderans gerilmelerinin kenetlenme boyunca değişmediği varsayılabilir. Gerçek dağılım varsayılandan çok değişik olduğundan, elde edilecek bağıntının gerçeğe tam uymadığı unutulmamalıdır.

$$\Sigma \tau_b = T \quad T = A_s \cdot f_{yd} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} f_{yd} \quad (2.2)$$

$$\tau_b (\pi \cdot \phi) l_b = A_s \cdot f_{yd} = (\pi\phi^2/4) f_{yd} \quad (2.3)$$

$$l_b = \frac{f_{yd}}{4\tau_b} \phi \quad \tau_b = \frac{f_{yd} \cdot \phi}{4.l_b} \quad (2.4)$$

Denklemdaki  $\phi$ , çubuğun çapıdır. Yapılan deneyler, aderans dayanımının birçok değişkene bağlı olduğunu göstermiştir. Bu değişkenlerden en önemlisi, betonun çekme dayanımıdır.

$$\tau_b = C_1 \cdot f_{ctd} \quad \text{ve} \quad \frac{1}{4C_1} = C_0 \quad (2.5)$$

varsayılırsa, denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$l_b = C_0 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \quad (2.6)$$

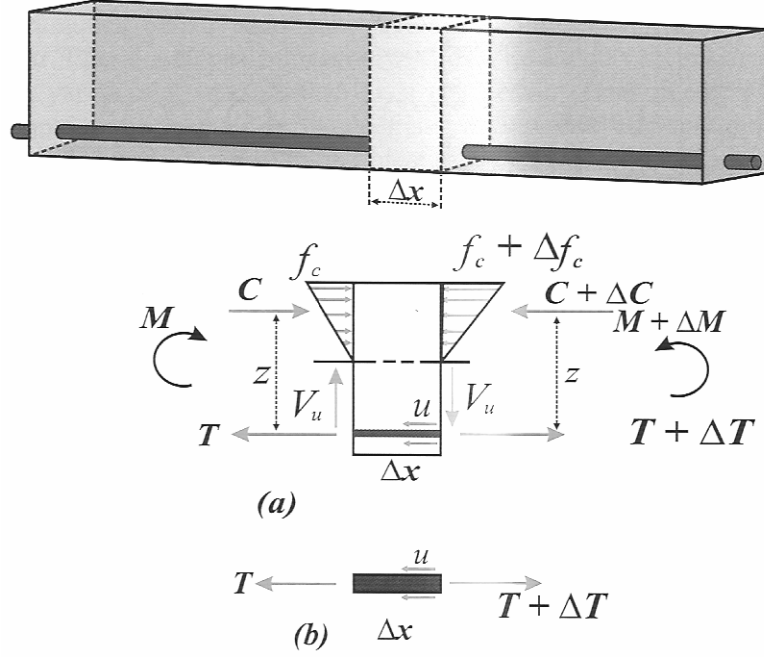
Denklemin (2.6)'da, kenetlenme boyunu veren temel denklemdir. Katsayısı  $C_0$  'ın deneysel olarak saptanması gerekir<sup>(37)</sup>.

## 2.5. Aderans Gerilmesinin Değişimi ve Dağılımı

Aderans gerilmesi, kiriş boyunca donatıdaki çekme kuvvetinin farklı değerler almasına bağlı olarak değişir. Eğilme momenti değerinin değişmesi veya çekme çatlakları oluşumu donatıdaki gerilmeyi değiştirir, dolaylı olarak donatı yüzeyinde aderans gerilmelerini de değiştirir. Eğilme momentinin ani değişim gösterdiği bölgelerde donatıdaki gerilme değişimi de büyüktür. Dolayısıyla Şekil 2.8'de görüldüğü gibi iki kesit arasında eşitliği sağlayan aderans gerilmeleri büyük değerler almak durumundadır<sup>(1)</sup>.

Beton içine gömülü bir donatı çubuğunun betondan çıkmasına çubuk boyunca direnç gösteren aderans gerilmesidir. Çubuk ne kadar beton içine gömülürse, donatı çubuğunun çekilmesi halinde çubuk kopana kadar sıyrılıp betondan çıkmaz sorusuna cevap bulmak için deneysel çalışmalar

yapılmıştır. Çubuğun kopma noktasına kadar tutacak gömülü boy kenetlenme boyu veya aderans boyu olarak adlandırılır<sup>(1)</sup>.

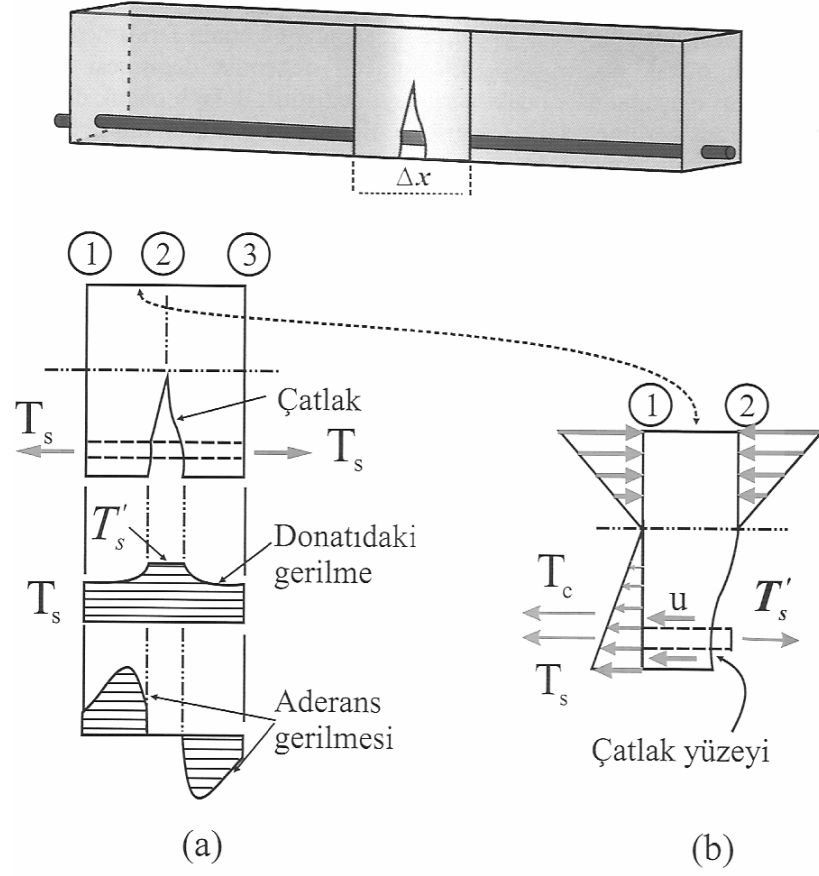


**Şekil 2.8.** Moment farkından meydana gelen eğilme aderans gerilmeleri

Kirişin kısa bir boy dilimindeki çatlaklı elemanın dengesi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Anlatımı basitleştirmek için kabul edelim ki eleman boyunca momentin değeri de sabittir ve dolayısıyla aderans gerilmesinin meydana gelmesi moment değişiminden dolayı değildir<sup>(1)</sup>.

Çatlak kesit (kesit 2) çekme kuvveti  $T_s$  sadece donatı tarafından taşınır. Çatlağın diğer tarafındaki çatlaksız kesitte (kesit 1 veya 3) çekme etkisi hem donatı tarafından hem de çatlama yapmış beton tarafından taşınır. Dolayısıyla, 1 ve 2 kesitleri arasında çelikteki çekme miktarı, betonun taşıdığı

kadar farklıdır. Çatlak ve çatlaksız kesit arasında çekme donatısındaki ( $T'_s - T_s$ ) kuvvet farkı aderans sayesinde dengelenmek durumundadır. Çatlak olduğu yerde donatı çubuğu betondan ayrıldığı için aderans söz konusu değildir<sup>(1)</sup>.



**Şekil 2.9.** Eğilme çatlaklarının aderans gerilmesi üzerine etkisi

## 2.6. Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması

Aderans olayının nedenleri henüz kesin olarak açığa çıkarılamamıştır. Ancak çelik ile beton arasındaki bağın aşağıda belirtilen üç ana sebepten ileri geldiği genellikle kabul edilmektedir.

- a- Çelik ve beton arasında yapışmaya sebep olan molekül sel ve kapiler bağ kuvvetleri: Bu yapışma çok düşük değerli olup, zayıf zorlamalar altında, çelik ve betonun birbirine göre pek küçük yer değiştirmeleri sonunda kopar. O kadar ki, bazı araştırmacılar bu bağın ihmal edilmesi gerektiği kanısındadırlar.
- b- Çubukların düz denilen yüzeyinde, yeni imal edilmiş olsalar bile, var olan pürüzlerin betona tutunmasından ileri gelen sürtünme kuvvetleri: Sürtünme kuvvetleri molekül sel kuvvetlerden çok daha önemlidir. Düz yuvarlak çeliklerin aderansının hemen tamamı ikinci olarak ele alınan bu sürtünme kuvvetlerinden ileri gelmektedir.
- c- Çubuk yöresindeki betonun makaslama ve basınç mukavemetlerini de olaya karıştıran, helisel, tek veya çok sayıda, sürekli veya süreksiz nervürlerden ve enine çıkıntılardan ileri gelen mekanik dış kuvvetleri: Bu neden aderansı geliştirilmiş çubuklarda ortaya çıkar. Seçilen yüzey biçimlerinin uygun olması halinde aderans önemli ölçüde artar<sup>(30)</sup>.

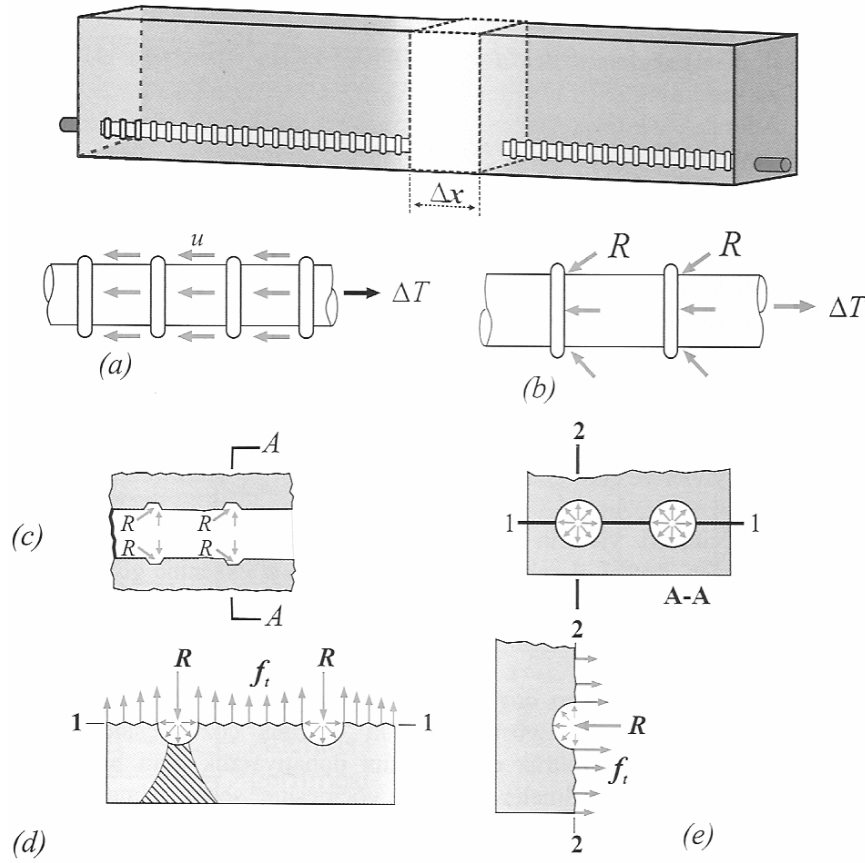
Düz yüzeyli çubuklarda aderans, ilk iki nedene yani yapışma ve sürtünmeye dayanmaktadır. Nervürlü çubukların aderansında ilk iki nedenin etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu tür çubukların aderansı, çubuk üzerindeki çıkıntıların betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere, mekanik dış kuvvetleri denmektedir.

Kimyasal olarak betonun demir üzerine yapışması, yüzeylerin sürtünmesi, donatı üzerindeki pürüzlerin betona karşı direnç göstermesi aderans gerilmesini etkiler. Aderansı etkileyen her bir etkenin ne kadar payı olduğu donatıda ki gerilme seviyesine bağlı olarak değişir. Küçük gerilmelerde, aderans direnci kimyasal yapışkanlıktan ibarettir. Kimyasal direncin sınırı yaklaşık 2 Mpa civarına kadar devam edebilir ve donatıda sıyrılma olması halinde bu kimyasal yapışkanlık tümüyle kaybolur. Kimyasal yapışkanlık bozulunca bir miktar izafi kayma meydana geldikten sonra, sürtünme ve donatı üzerindeki yivler ve pürüzler betona karşı direnç gösterir. Daha fazla sıyrılma olması durumunda donatı üzerindeki yivlerin, çıkıntılarının aderansa katkısı daha da artar<sup>(1)</sup>.

Donatı yüzeyindeki yivlerin yüzey açıları betondaki iç çatlak ve çatlak yönlerini etkiler. Açısal olarak pürüz yüzeyleri donatı eksenine göre 45 ile 80 derece açı yapmaktadır. (Şekil 2.10 b) Bu nedenle yivlerin taşıma direncinin donatıya dik olan bileşeni, donatıya paralel olan direncinden daha büyüktür. Deneysel veriler göstermiştir ki aderans çözülmesinden dolayı göçmeler, donatının yiv-pürüz dirençlerinin donatıya dik olan bileşeninden oluşur. Yani radyal gerilmeler aderans göçmesine sebep olmaktadır. Radyal gerilmelerin donatı çıkıntısından ileri geldiği düşünülürse, donatı çevresi boyunca eşit değerde olduğu yazılabilir (Şekil 2.10 d). Yarım daireye gelen radyal gerilmelerin bileşkesi olan R kuvveti beton örtüyü dik olarak etkiler ve beton örtüyü dışa doğru iter, kesit boyunca beton içinde çekme gerilmeleri oluşturur. Oluşan çekme gerilmelerinin değeri betonun çekme mukavemetine ulaştığında yatay kesit boyunca beton örtü çatlar. Donatı arasındaki mesafe

azalır, beton örtünün kalınlığı azalır ve daha küçük alanda beton çekme gerilmeleri gelişme gösterir yatay yarıma riski artar.

Şekil 2.10 d’de gösterildiği gibi beton örtü kalınlığının az olması durumunda aderans etkisiyle donatının altındaki örtünün üçgen biçiminde yarılarak aderans göçmesine sebep olan yine radyal kuvvet bileşeni ( $R$ ) olmaktadır<sup>(1)</sup>.



**Şekil 2.10.** Aderans kuvvetinin kaynağı;

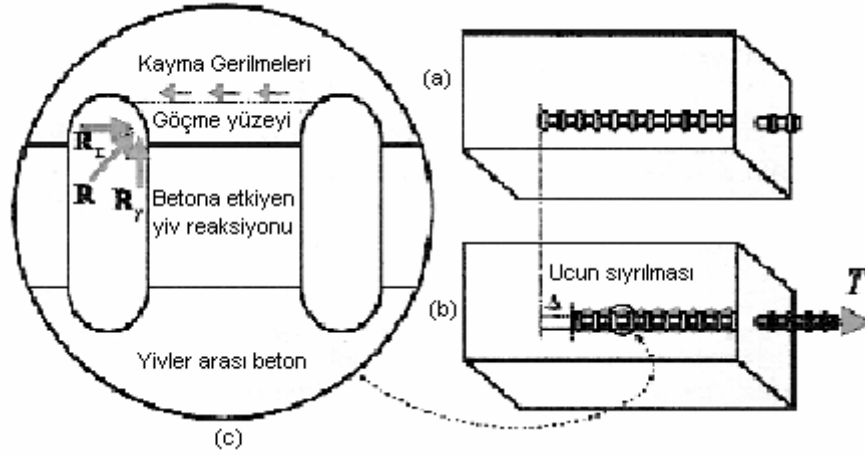


- a) Beton ile donatı yüzeyi arasında sürtünme ve kimyasal yapışkanlıktan oluşan aderans kuvveti
- b) Donatının serbest kuvvet diyagramı, donatı yivi üzerine beton tarafından tatbik edilen kuvvetler
- c) Betonun serbest kuvvet diyagramı, donatı yivinin betona tatbik ettiği kuvvetler, çubuk tarafından betona tatbik edilen kuvvetin radyal bileşkesi (donatıyı çevreleyen betonu çatlatıp yarmaya çalışır)
- d) Radyal kuvvetler tarafından beton örtünün yarılıp yatay çatlak meydana gelmesi, (V tipi göçme)
- e) Alt örtü tabaka kalınlığının artırılması ile yatay çatlak oluşmaması ve 2-2 kestinden oluşan çekme etkisi ile dikey çatlakların oluşması

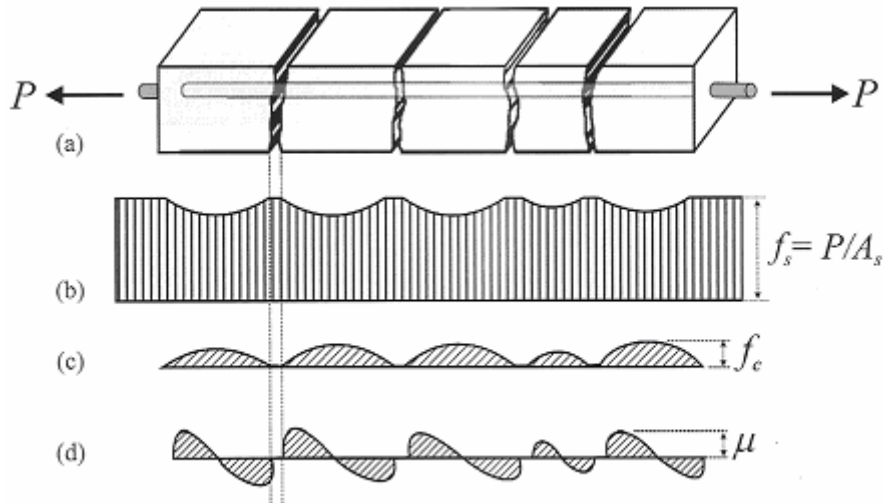
Deneysel veriler göstermiştir ki, örtü kalınlığı donatı çubuk çapının 2.5 katı ise ve çubuk ara mesafesi donatı çapının 5 katı ise, yarılma oluşmaz ve olsa olsa sıyrılarak çıkma oluşur. Beton içindeki bir yivli çubuğun sıyrılması Şekil 2.11'de gösterilen yiv arası beton çıkıntısının kesilip kayması veya yiv önündeki betonun ezilmesi sonucu olabilir. Donatının sıyrılıp çıkması durumu zayıf betonlarda veya boşluklu betonlarda görülen bir davranıştır<sup>(1)</sup>.

İçerisinde bir çubuk bulunan, aksenal çekme altındaki prizmatik bir elemanın çatlak durumundan sonra donatıda ve betonda oluşan gerilme değişimi Şekil 2.12'de görülmektedir. Çatlaklar arasında bir miktar yük, betona aderans yoluyla aktarılmakta ve bunun bir sonucu olarak betonda ve çelikteki gerilme, şekilde görüldüğü gibi değişim gösterir. Aderans

gerilmelerinin değişimi de şekilde görülmektedir ve eleman boyunca aderans gerilmelerinin toplamı sıfır olmaktadır<sup>(1)</sup>.



**şekil 2.11.** Betonun yivler arasında sıyrılması, kayma gçmesidir. Reaksiyonun yatay bileşeni, beton içindeki kayma gerilmeleridir.



**şekil 2.12.** atlak elemanda, donatı, beton ve aderans gerilmeleri.

## 2.7. Aderansa Etkiyen Faktörler<sup>(39)</sup>

### 1. Donatıyla ilgili faktörler:

- a) Çeliğin doğal veya kabul edilmiş elastiklik sınırı
- b) Çubuk çapı
- c) Çubuk yüzeyinin niteliği
- d) Çubuğun özel profili
- e) Çubuktaki gerilme

### 2. Betonla ilgili faktörler:

- a) Betonun basınç veya çekme mukavemeti
- b) Betonun bileşimi
- c) Betonun sıkıştırılması ve muhafazası
- d) Betonun yaşı

### 3. Betonarme kesit ve elemanın bütünüyle ilgili faktörler:

#### 3.1 Kesitin geometrik özellikleriyle ilgili faktörler:

- a) Ankraj boyu
- b) Donatıyı örten betonun kalınlığı
- c) Çelik çubuğun betonlanma sırasındaki konumu ve seviyesi
- d) Çubuğun kesitteki diğer çubuklara göre konumu
- e) Boyuna donatı %'si
- f) Enine donatı

#### 3.2 Kesitin mekanik özellikleriyle ilgili faktörler:

- a) Donatıdaki çekme ve basınç gerilmelerinin büyüklüğü

- b) Çubuğu saran betonun çubuk eksenine dik doğrultudaki gerilme durumu
- c) Çubuğu saran betonun çubuk eksenine doğrultusundaki gerilme durumu

4. Zamanla ilgili faktörler:

- a) Zorların tesir süresi
- b) Yükleme hızı

5. Yorulma etkeni,

6. Elektrokimyasal etki.

## 2.8. Tekrarlanan ve Tersinir Yük Altında Davranış

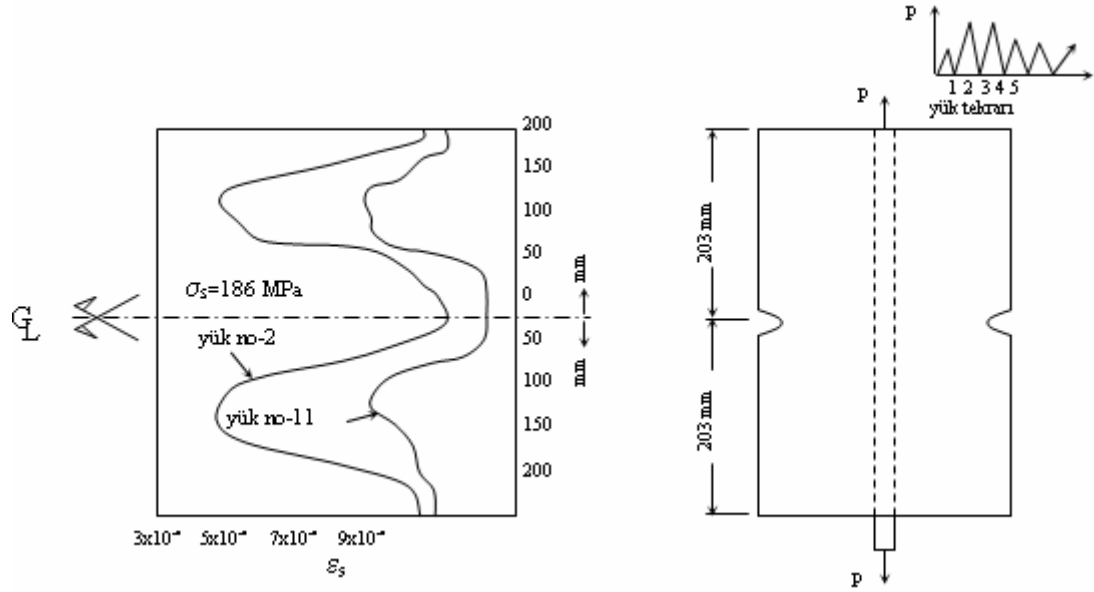
Depremde, betonarme elemanlar tekrarlanan ve tersinir yüklere maruzdur. Bu tür bir yükleme aderansı olumsuz yönde etkilemekte, böylece elemanın yer değiştirmesi artarken, rijitliğinde önemli azalmalar gözlenmektedir. Burada, tekrarlanan tersinir yükler nedeni ile gözlenen değişimler ve bunların nedenleri kısaca irdelenecektir.

Kenetlenme mekanizmasında, nervürlerin betona tam olarak yaslanabilmesi için, çubuğun betona göre bir miktar kayması gerekmektedir. Bu aşamada Şekil 2.13'de gösterildiği gibi, donatı çubuğu çevresinde iç çatlaklar oluşacaktır. Bu nedenle, yük boşaltıldığında (donatıda gerilmenin sıfır olduğu durum) donatının eski durumuna gelmesi olanaksızdır. Başka bir deyişle, sıyrılan çubuğu geri getirmek mümkün değildir. Benzer şekilde, ilk yükleme sırasında oluşan çatlaklar da yükün boşaltılması ile tamamen

kapanamayacaktır. Kalıcı sıyrılmanın mertebesi ve kapanmayan çatlakların genişliği, daha önce uygulanmış yük veya yüklerin büyüklüğüne bağlıdır. Bu durumda eleman tekrar aynı yönde veya ters yönde yüklendiğinde, artık aderansı zayıflamış bir eleman söz konusudur.

Şekil 2.13'de, tekrarlanan yük altında aderansta gözlenen zayıflama (aderans çürümesi) gösterilmiştir. Bu şekildeki eğri, Bresler ve Bertero'nun bir raporundan alınmıştır. Deneyde, betona 40.6 cm gömülen 29 mm çapında bir çubuk, aksenal çekmeye tabi tutulmuştur. Deney elemanının ortasında, döküm sırasında bırakılan çentik, çatlağı simgelemektedir. Şekil 2.13'de eleman boyunca donatıda ölçülen birim uzamalar gösterilmiştir. ( $\sigma_s=1860$  kgf/cm<sup>2</sup>). Şekilden hemen görüleceği gibi, uygulanan gerilmenin aynı olmasına karşın, 2 nolu ve 11 nolu yük tekrarlarında elde edilen birim uzamalar birbirinden çok farklıdır. 11 nolu yüke gelindiğinde, eleman boyunca birim deformasyonda gözlenen değişim, 2 nolu yüke oranla çok azdır. Bu da aderansın nedenli zayıfladığını göstermektedir.

Şekil 2.13'de gösterilen eleman tekrarlanan yük altında denenmiştir. Buna ek olarak yükün tersinmesi, aderansı daha da zayıflatacaktır. Tekrarlanan, tersinir yük altında elemanın her iki yüzünde oluşan çatlaklar birleşecek ve birbirini kesecektir. Çatlakların kesiştiği yörelerde beton ufalanarak parçalanacak ve bu olumsuz etki yük tekrarlandıkça artacaktır.

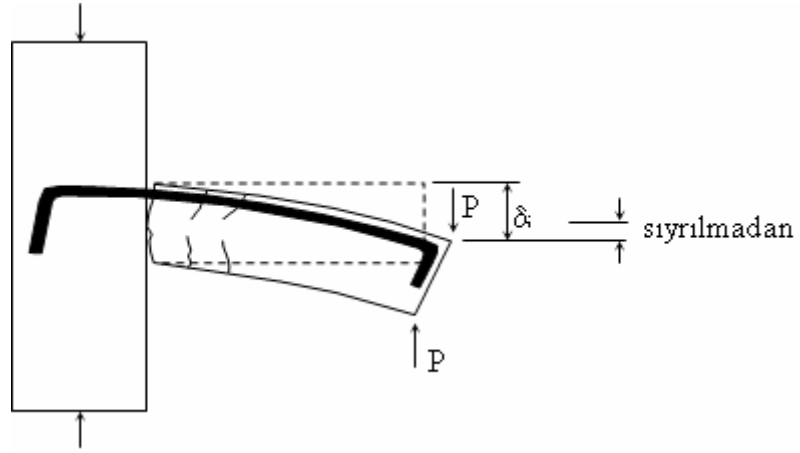


**Şekil 2.13.** Tekrarlanan yük altında aderansta zayıflama

Donatının iki yönde de sıyırılması ve yaslandığı beton dişi ezmesi, aderansta büyük çapta zayıflamalara neden olacaktır. Yapılan deneyler, adersans zayıflamasının tekrarlama sırasında uygulanan yükün düzeyine bağlı olduğunu göstermektedir. Donatının akmasına neden olacak kadar yüksek düzeyde uygulanan tersinir tekrarlanan yükler, donatıyı akma konumuna getirmeyecek düzeyde uygulanan yüklere oranla adersansı çok daha fazla zayıflatmaktadır.

Adersans zayıflaması nedeni ile rijitlikte gözlenen azalmanın, eleman ve yapının deplasmanını artırıp, enerji yutma kapasitesini azaltacağı söylenmişti. Adersans zayıflamasına örnek olarak, bir kenar kiriş-kolon birleşimi ele alınacaktır. Şekil 2.14'te gösterildiği gibi, yüksek düzeyde uygulanan tersinir tekrarlanan yük nedeni ile kirişin kolona birleştiği yerdeki kiriş donatısı, hem üst yüzde hem de alt yüzde akarak, plastik mafsallaşmaya

neden olacaktır. Yükleme tekrarlandıkça akma mesnet içine doğru ilerleyerek donatının kenetlenme boyunu azaltacaktır. Azalan kenetlenme boyu nedeni ile sıyrılma artacak, bunun doğal bir sonucu olarak da kolon-kiriş birleşim noktasındaki dönme büyüyecektir. Seçkin ve Uzumeri yapmış oldukları deneylerde, donatının sıyrılması nedeni ile kiriş uç deplasmanında büyük artışlar görmüşler ve aynı nedenle enerji yutma kapasitesinde önemli azalmalar gözlemişlerdir.



**Şekil 2.14.** Kenar kiriş kolon birleşimi

Tekrarlanan tersinir yük, bindirmeli ekleri de olumsuz yönde etkilenmektedir. Ek yöresinde oluşan aderans çürümesi ve sıyrılma nedeni ile eleman dayanımı ve rijitliğinde gözlenen büyük azalmalar, depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli sorunlar yaratmaktadır. Yapılan deneyler, elemanın taşıma gücünün %75'ine karşılık olan yük düzeyinde uygulanan tersinme ve tekrarlanmaların fazla olumsuz etkisi olmadığını göstermektedir. Ancak, tekrarlanma ve tersinme taşıma gücünün %95 'inde veya daha yüksek

düzeyde olduğunda, bindirmeli ekler yöresinde aşırı zayıflamalar olmaktadır. Donatıyı akma konumuna getiren tersinme ve tekrarlamalarda, bindirimli eklerde gözlenen zayıflama, tekrarlanan yük sayısına göre artmaktadır. Deneyler, ek boyunca yerleştirilen sargı donatısının dayanım ve davranışı olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Eklerin aynı kesitte yapılması yerine şaşırtılarak düzenlenmesi de davranışı olumlu yönde etkilemektedir.

Yukarıdaki irdelemenin ışığında aşağıdaki öneriler oluşturulabilir:

- a- Yüksek düzeyde tersinerek tekrarlanan yüklerin söz konusu olduğu durumlarda (şiddetli deprem gibi), kenetlenme ve bindirmeli ek boyu %30 kadar arttırılmalıdır.
- b- Bindirmeli ekler olabildiğince şaşırtılarak yapılmalıdır.
- c- Bindirmeli ek veya kenetlenme boyunca bulundurulacak sargı donatısında olabildiğince cömert davranılmalıdır.
- d- Plastik mafsalın oluşması olasılığı olan yerlerde kenetlenmeye aşırı özen gösterilmelidir<sup>(6)</sup>.

## **2.9. Deneysel Çalışma**

### **2.9.1. Deney Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzeme Özellikleri**

#### **2.9.1.1. Agreganın Özellikleri**

Beton karışımında; kaba ve ince agreganın olarak kırma taş kullanılmış ve agreganın maksimum çapı  $D_{maks} = 30$  mm olarak seçilmiştir. Kullanılan agreganın Ankara – Elmadağ'daki Kayadibi Taş Ocağı Özyılmaz Çakıl Ltd.



Şirketi tarafından üretilen 0 - 3 mm, 7 - 15 mm ve 15 - 30 mm tane boyutundaki kırmataş agregasıdır. Agregaların deneyleri, TS 706 EN 12620+A1 beton agregaları standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve agregada dane dağılım grafiği çizilmiştir. Kullanılan agregaların bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Agregaların fiziksel özellikleri

DENEY ADI	AGREGA		
	0 - 3	7 - 15	15 - 30
Kuru Birim Özgül Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	2.64	2.69	2.70
Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	2.66	2.70	2.71
Zahiri Özgül Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	2.69	2.71	2.71
Kuru Gevşek Birim Hacim Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	1.53	1.53	1.58
Kuru Sıkışık Birim Hacim Ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	1.55	1.58	1.65
Su Emme Oranı, %	0.60	0.30	0.20
Aşınma Kaybı, % (B Tipi)	-	27.20	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> İle Kayıp (Donma Mukavemeti), %	0.97	0.97	0.97
Yassılık İndeksi, %	-	19.70	
Kil Topakları ve Ufalanabilir Taneler, %	0.18	-	
Organik Madde Miktarı, %	Yok	Yok	Yok
Kırılmışlık, %	100	100	100
Cilalanma Değeri	-	42.60	
Soyulma Mukavemeti, %	-	70 - 75	

### 2.9.1.2. Çimento Özellikleri

Deneyler de BAŞTAŞ Başkent Çimento San. ve Tic. A.Ş. tarafından Ankara – Elmadağ tesislerinde üretilen TS EN 197–1 standardına uygun CEM I 42.5 N çimentosu kullanılmış olup bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Çimentonun kimyasal özellikleri

MALZEME	KİMYASAL ÖZELLİKLER						
	M <sub>g</sub> O, (%)	SO <sub>3</sub> , (%)	Cl, (%)	Na <sub>2</sub> O, (%)	K <sub>2</sub> O, (%)	Kızdırma Kaybı	Çözünmeyen Kalıntı
Çimento	2.09	3.3	0	0.36	0.7	3.42	0.81

**Çizelge 2.3.** Çimentonun fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	MALZEME
	Çimento
Blaine (İncelik), (cm <sup>2</sup> /gr)	3566
Özgül Ağırlık, (gr/cm <sup>3</sup> )	3.12
İncelik (40 Mikron), %	14
İncelik (90 Mikron), %	1
Priz Başı, (dakika)	156
Priz Sonu, (dakika)	239
Hacim Genleşmesi, (mm)	1
Dayanım (2 Günlük) N//mm <sup>2</sup>	22.1
Dayanım (7 Günlük), N//mm <sup>2</sup>	36.5
Dayanım (28 Günlük), N//mm <sup>2</sup>	47.7

### **2.9.1.3. Katkı Özellikleri**

Beton karışımlarında Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. firmasının üretimi olan Sikament-MR 50W orta akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Lignin polimeri esaslı kimyasal katkının yoğunluğu 1.18 kg/lit tespit edilmiştir.

### **2.9.1.4. Su**

Karışımlarda normal içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır.

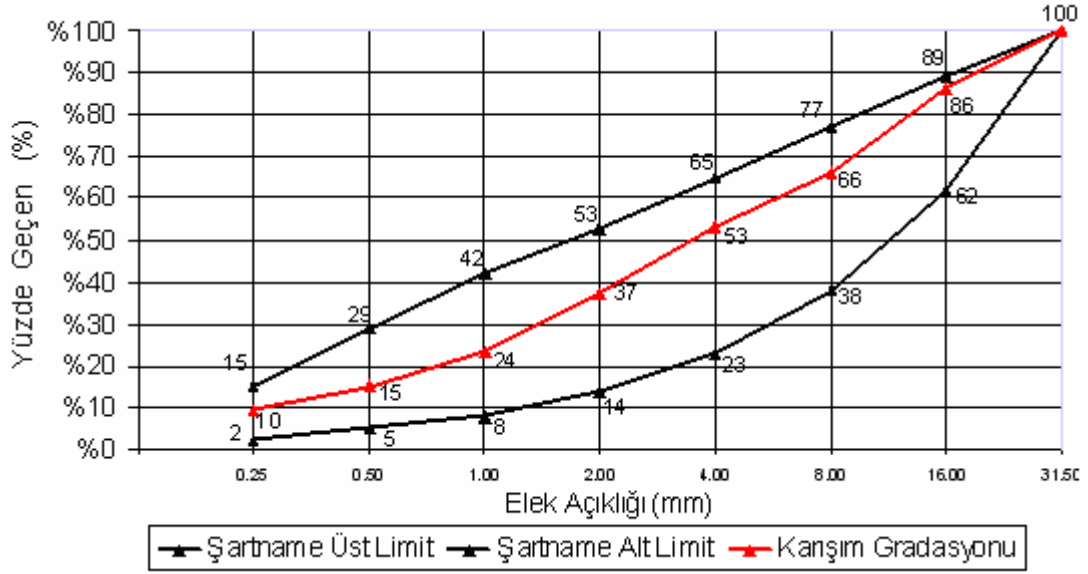
### **2.9.1.5. Elek Analizi Sonuçları**

Elek analizleri TS 3530 EN 933-1'de öngörülen elek serisi kullanılarak standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 33.05 N/mm<sup>2</sup> beton basınç dayanımı veren beton grubuna ait karışım dane çapı dağılım eğrisi Şekil 2.15'de verilmektedir.

Diğer beton gruplarına ait elek analizi sonuçları Çizelge 2.4'de gösterilmektedir.

### **2.9.1.6. Çelik Donatının Özellikleri**

Deneylerde TS 708 standardına uygun 8 mm'lik nervürlü donatı kullanılmıştır. Donatı boyu 6x10x10 küp numuneler için 12 cm boyunda seçilmiştir.



**Şekil 2.15.** 33.05 N/mm<sup>2</sup> beton basınç dayanımı veren beton grubuna ait karışım dane çapı dağılım eğrisi

**Çizelge 2.4.** Hazırlanan beton gruplarına ait elek analizi sonuçları

Tane Boyutu	Karışım %'leri	Elekler (mm)	Beton Basınç Dayanımları (N / mm <sup>2</sup> )								Karışım % Geçen
			2,96	4,42	6,28	13,17	15,14	16,46	20,33	33,05	
			Kümülatif Kalan Miktarlar (kg / m <sup>3</sup> )								
15 - 30 Micir	27%	31,5	0	0	0	0	0	0	0	0	100
		16	281	276	273	263	260	260	255	253	86
7 - 15 Micir	21%	16									
		8	691	682	672	649	642	639	625	620	66
		4	951	936	923	894	884	875	856	851	53
0 - 3 Kirma Kum	52%	4									
		2	1275	1256	1238	1197	1184	1172	1149	1140	37
		1	1561	1538	1517	1465	1449	1434	1408	1395	23
		0,5	1731	1705	1681	1623	1606	1589	1562	1546	15
		0,25	1847	1821	1795	1732	1714	1695	1667	1650	9
Toplam Malzeme Ağırlıkları			2038	2008	1980	1910	1890	1870	1840	1820	0

### 2.9.1.7. Beton Karışım Oranları

2.96, 4.42, 6.28, 13.17, 15.14, 16.46 N/mm<sup>2</sup> basınç dayanımları veren düşük mukavemetli betonlar ile TS 802 standardına göre hazırlanmış 20.33 ve 33.05 N/mm<sup>2</sup> ortalama basınç dayanımları veren normal betonlar için Çizelge 2.5 görüldüğü gibi karışımlar hazırlanmıştır.

**Çizelge 2.5.** Beton karışım oranları

Beton Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	0–3 İnce Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	7-15 Orta Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	15-30 İri Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	Orta Akış. Katkı (kg/m <sup>3</sup> )
2.96	110	152	1060	428	550	2
4.42	130	162	1044	422	542	2
6.28	150	170	1030	415	535	2
13.17	200	175	990	405	515	2
15.14	220	180	980	400	510	2
16.46	240	185	970	390	510	2
20.33	270	190	960	380	500	2
33.05	290	190	945	380	495	2

### 2.9.1.8. Beton Deney Programı ve Deney Numunelerinin Hazırlanması

Beton numuneleri ilgili standartlara, TS EN 12350-1; Beton-Taze Beton Deneyleri - Bölüm 1: Numune Alma, TS EN 12390-2; Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, TS EN 12390-3; Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç

Dayanımının Tayini, uygun olarak Kırıkkale Fatih Hazır Beton Tesisi Laboratuvarlarında hazırlanmıştır.

Basınç dayanım deneyinde standart 15x15x15 cm ebatlarında küp kalıplar kullanılmıştır. TS 500'de belirtildiği gibi, her üretim biriminden en az bir grup (3 numune) deney elemanı alınmıştır.

Çekme deneyinde kullanılmak üzere Şekil 2.16'da görüldüğü gibi 10x10x10 cm ebatlarında bölmelendirilmiş 4 adet tahta kalıp hazırlanmıştır. Kalıplara çimento harcından etkilenmemeleri ve karışım sularını emmemeleri için su izolasyon özellikli koruyucu astar malzeme uygulanmıştır. Aderans dayanım deneyinde de her grup için üçer adet statik, üçer adet dinamik olmak üzere toplam altışar adet numune hazırlanmıştır.



**Şekil 2.16.** Tahta kalıplar

İlgili beton sınıflarına göre oluşturulan karışım dizaynları, miks dizayn olarak düzenlendikten sonra sırayla herbir karışım için ayrı ayrı olmak üzere agrega ve çimento ağırlıkları tartılarak 56 litre kapasiteli beton mikserine yerleştirilmiştir. Beton mikseri çalıştırılıp karışım homojen olarak dağıldıktan sonra her beton sınıfı için gerekli su ve katkı ağırlıkları da tartılarak karışımlara yavaş yavaş eklenmiştir. Karışımlar yeterli kıvama geldikten sonra beton mikseri durdurulmuştur.

Hazırlanan karışım Şekil 2.17'de görüldüğü gibi 15x15x15 cm lik küp kalıplara üçer tabakada yerleştirilmiştir. Çekme deneyinde ise 16 cm boyundaki Ø8'lik donatı Şekil 2.18'de görüldüğü gibi 10x10x10 cm lik bölmelere ayrılmış kalıplara düzgün bir şekilde yerleştirildikten sonra karışım iki tabakada dökülmüştür.

Uygun koşullarda yerlerinden hareket ettirilmeden 24 saat bekletildikten numuneler yeterli sertliğe ulaştıktan sonra kalıplardan çıkartılıp  $23 \pm 2$  °C de laboratuvar ortamında kür havuzunda kırılacağı güne kadar bekletilmişlerdir. 28 gün sonra sudan çıkartılan numuneler suyunu atması için bekletildikten sonra basınç deneyine tabii tutulmuşlardır.



**Şekil 2.17.** Basınç deneyi için hazırlanmış küp numuneler



**Şekil 2.18.** Aderans deneyi için hazırlanmış küp numuneler



## 2.10. Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

### 2.10.1. Beton Basınç Dayanım Deneyleri

#### 2.10.1.1. Küp Beton Numunelerin Basınç Deneyi

Standart 15x15x15 cm boyutundaki küp beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyi Kırıkkale Fatih Hazır Beton Tesisleri laboratuvarında yapılmıştır. Basınç dayanım deneyi, TS EN 12390–3 standardına uygun olarak, Şekil 2.19’da görüldüğü gibi 2000 kN kapasiteli ve yükleme hızını otomatik olarak azaltıp artırabilen otomatik kontrollü pres kullanılarak gerçekleştirildi. Yükleme deney numuneleri kırılıncaya kadar devam edildi.

Basınç dayanımı deneyleri, 28 gün kür havuzunda bekletilen numuneler üzerinde gerçekleştirildi. Her beton sınıfı için üçer adet numune test edilmiştir (Çizelge 2.6).



**Şekil 2.19.** 2000 kN kapasiteli beton test presi

**Çizelge 2.6.** 28 gün kür edilen betonların basınç dayanım değerleri

Beton Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Num. Yaşı, (Gün)	Ortam Sic. (°C)	Beton Sic. (°C)	Kırılma Yüğü, (kN.)			Mukavemet, (N/mm <sup>2</sup> )		
2,96	28	20	22	62,2	72,2	65,1	2,62	3,18	3,08
				66,5			2,96		
4,42	28	21	23	102,5	98,6	97,4	4,48	4,32	4,46
				99,5			4,42		
6,28	28	21	23	139,3	144,2	140,5	6,04	6,36	6,44
				141,3			6,28		
13,17	28	18	20	299,4	291,5	298,0	13,14	13,10	13,27
				296,3			13,17		
15,14	28	19	21	340,2	341,6	340,5	15,09	15,17	15,16
				340,8			15,14		
16,46	28	19	21	370,1	370,8	370,3	16,35	16,63	16,40
				370,4			16,46		
20,33	28	20	22	453,5	466,7	452,3	20,11	20,67	20,21
				457,5			20,33		
33,05	28	21	23	738,5	743,2	749,2	32,72	33,25	33,18
				743,6			33,05		

### 2.10.2. Aderansta Sıyırılma Deneyi

28 gün sonra kür havuzunda çıkarılan, ortasında Ø8'lik donatı bulunan, 6x10x10 cm ebatlarındaki küp numunelerin statik çekme ve dinamik yorulma deneyleri Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarında Şekil 2.20'de görüldüğü gibi 100 kN kapasiteli Instron 8516 model üniversal (çekme-basma) test cihazı ile yapılmıştır.



**Şekil 2.20.** Instron 8516 yorulma test cihazı ve çelik kalıp

#### **2.10.2.1. Deney Düzeneyinin Hazırlanması**

İlk olarak Şekil 2.21’de görülen çelik kalıp, yük uygulandığında istenmeyen hareketlere sebebiyet vermemek ve yükün dengeli olarak etkimesini sağlamak için makineyi tam olarak ortalayacak şekilde tutturulmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalarda değişik delik çaplı çelik plakalar kullanılarak, yapılan sıyırma deneylerinde; çelik plakanın delik çapı arttıkça sıyırma yükünün azaldığı ve çeliğin çekildiği bölgede çeliğin çekildiği taraf etrafında çekme konisi oluştuğu ve bu çekme konisinin derinliğinin de delik çapının artması ile orantılı olarak arttığı görülmüştür<sup>(30)</sup>. Şekil 2.21’deki çelik kalıba bakıldığında da görüldüğü üzere çeliğin çekildiği taraftaki delik çapının büyük olduğu görülmektedir. Bundan dolayı numunelerde oluşacak çekme konisini minimuma indirmek ve direk çekme kuvveti uygulamak için yine Şekil

2.21'de görüldüğü gibi delik çapı 2 cm olan çelik plaka çelik kalıba yerleştirilmiştir. Daha sonra makine çalıştırılıp gerekli kontroller yapıldıktan sonra deneye hazır hale getirilmiştir.



**Şekil 2.21.** Çekme kalıbı ve 2 cm delik çaplı çelik plaka

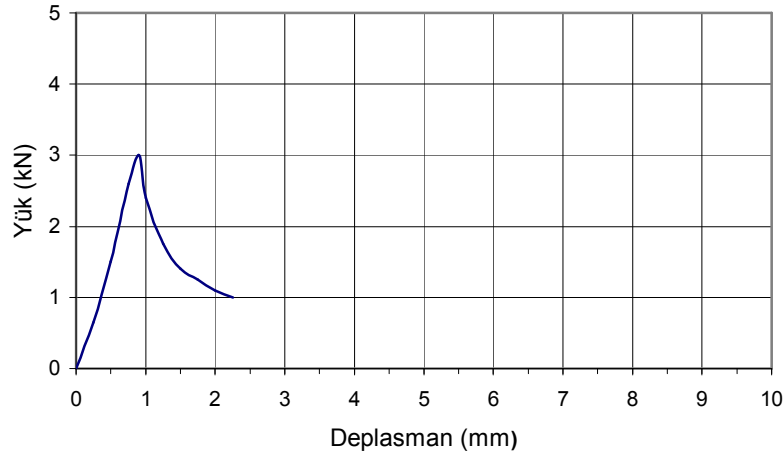
#### **2.10.2.2. Numunelerde Statik ve Dinamik Deneyler**

Deneye başlamadan önce, yük uygulandığı esnada beton yüzeyinin tam olarak düz olmaması sebebiyle kaynaklanacak düzensiz mesnetlenmeleri engellemek ve yükü üniform olarak etkimek amacıyla beton numune ve çelik plaka arasına ortası 2 cm delikli kontra plak levha eklendi. Daha sonra deneye başlamak için numune kalıba yerleştirildi.

Statik yükleme testine başlamadan önce programa deney esnasında maksimum uygulanacak yük değerleri, testin başlanıp bitirilmesi için geçecek süre ve uygulanacak çekme kuvvetinin mm/dak hız değeri girilmiştir.

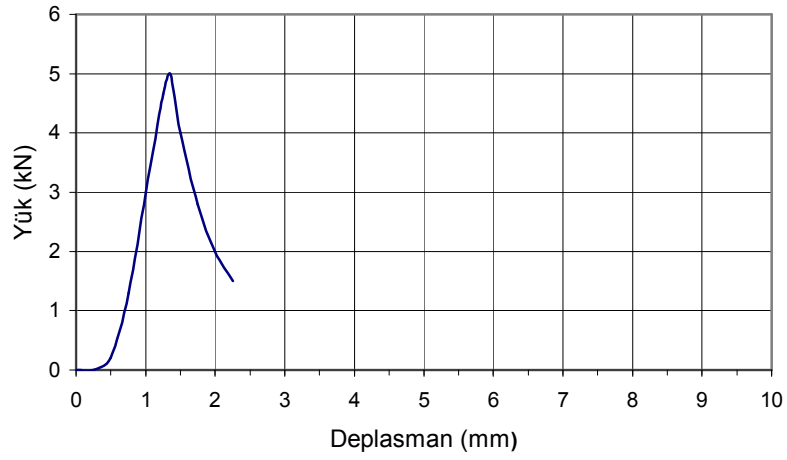
Statik ekme deneyi sonucu elde edilen yüklemeler ile ilgili yük-deformasyon grafikleri yazdırıldı, ancak dinamik test sonrası elde edilen verilerin grafik ortamına aktarılmasını test ekipmanı desteklemediği için dinamik yüklemelere ait grafiklerin çizimi alınamamıştır.

Statik yükleme yapılırken,  $2.96 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T ekme kuvveti 3 mm/dak hızla uygulandı ve nervürlü elik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri 3.00 kN olarak okundu. nce donatı sıyrılması sonra çekme çatlağı olduğu görüldü. elik ubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.22'de görüldüğü gibi çizdirildi.



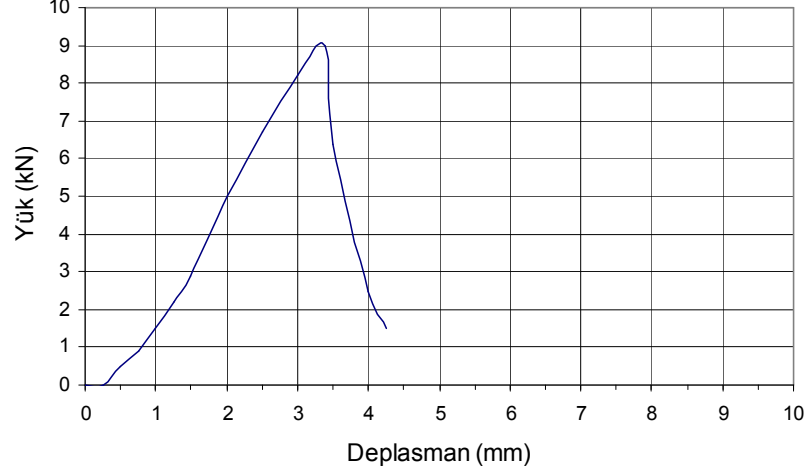
**Şekil 2.22.** elik çubuğun sıyrılma yük - deformasyon grafiği

Statik yükleme yapılırken,  $4.42 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T çekme kuvveti  $3 \text{ mm/dak}$  hızla uygulandı ve nervürlü çelik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri  $5.02 \text{ kN}$  olarak okundu. Önce donatı sıyrılması sonra çekme çatlağı olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.23'de görüldüğü gibi çizdirildi.



**Şekil 2.23.** Çelik çubuğun sıyrılma yük - deplasman grafiği

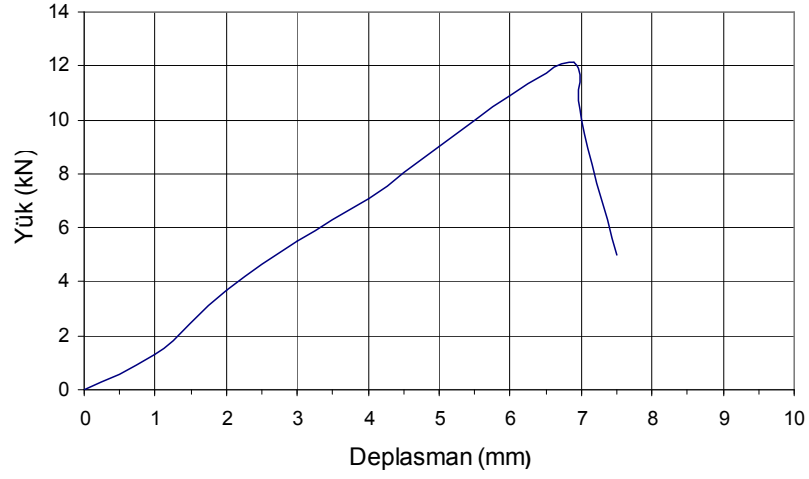
Statik yükleme yapılırken,  $6.28 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T çekme kuvveti  $3 \text{ mm/dak}$  hızla uygulandı ve nervürlü çelik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri  $8.98 \text{ kN}$  olarak okundu. Önce donatı sıyrılması sonra çekme çatlağı olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.24'te görüldüğü gibi çizdirildi.



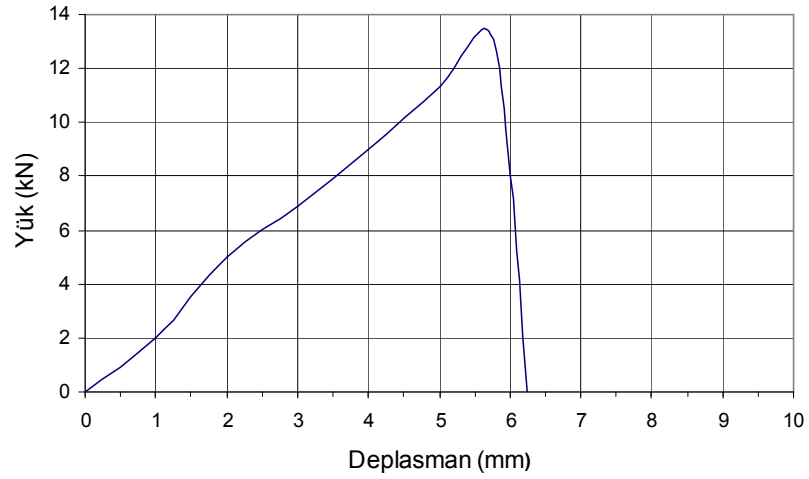
**Şekil 2.24.** Çelik çubuğun sıyrılma yük - deformasyon grafiği

Statik yükleme yapılırken,  $13.17 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T çekme kuvveti  $3 \text{ mm/dak}$  hızla uygulandı ve nervürlü çelik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri  $12.11 \text{ kN}$  olarak okundu. Önce donatı sıyrılması sonra çekme çatlakları olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.25'de görüldüğü gibi çizdirildi.

Statik yükleme yapılırken,  $15.14 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T çekme kuvveti  $3 \text{ mm/dak}$  hızla uygulandı ve nervürlü çelik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri  $13.35 \text{ kN}$  olarak okundu. Önce donatı sıyrılması sonra çekme çatlakları olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.26'da görüldüğü gibi çizdirildi.



**Şekil 2.25.** Çelik çubuğun sıyrılma yük - deformasyon grafiği

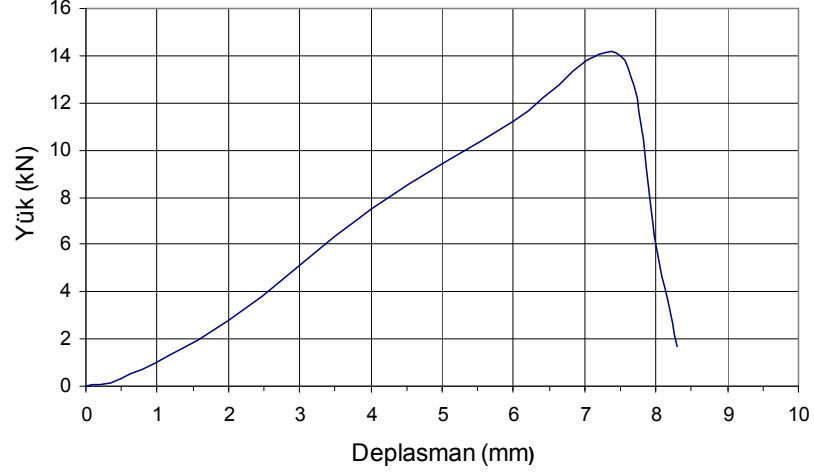


**Şekil 2.26.** Çelik çubuğun sıyrılma yük - deformasyon grafiği

Statik yükleme yapılırken,  $16.46 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T çekme kuvveti  $3 \text{ mm/dak}$  hızla uygulandı ve nervürlü çelik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri  $14.01 \text{ kN}$  olarak okundu.

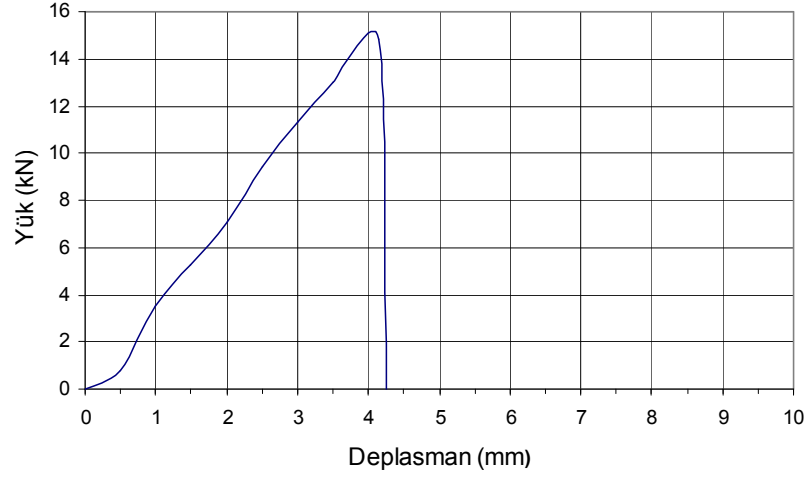


Önce donatı sıyrılması sonra çekme çatlağı olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.27'de görüldüğü gibi çizdirildi.



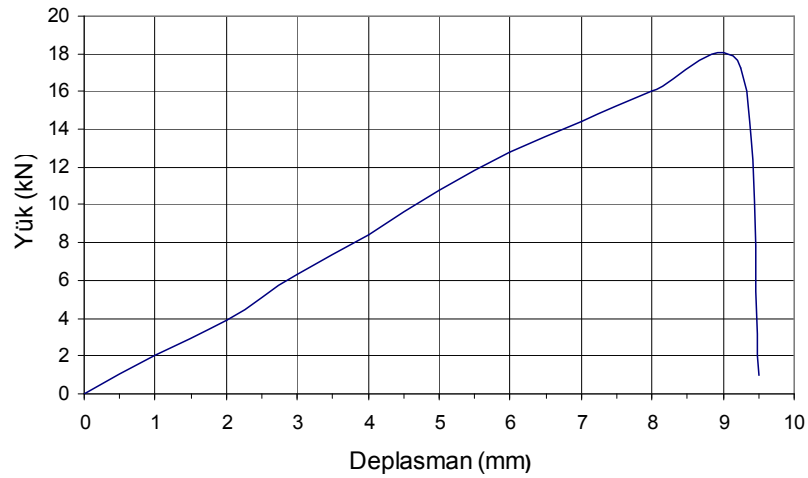
**Şekil 2.27.** Çelik çubuğun sıyrılma yük - deplasman grafiği

Statik yükleme yapılırken,  $20.33 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T çekme kuvveti 3 mm/dak hızla uygulandı ve nervürlü çelik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri 14.83 kN olarak okundu. Önce donatı sıyrılması sonra çekme çatlağı olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.28'de görüldüğü gibi çizdirildi.



**Şekil 2.28.** Çelik çubuğun sıyrılma yük - deformasyon grafiği

Statik yükleme yapılırken,  $33.05 \text{ N/mm}^2$  ortalama basınç dayanımı veren numunelere T çekme kuvveti 3 mm/dak hızla uygulandı ve nervürlü çelik çubuğun betondan sıyrıldığı andaki yük değeri 18.08 kN olarak okundu. Önce donatı sıyrılması sonra çekme çatlakları olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı yük - deplasman grafiği Şekil 2.29'da görüldüğü gibi çizdirildi.



**Şekil 2.29.** Çelik çubuğun sıyrılma yük - deformasyon grafiği

Statik yükleme deneyleri sonucunda bulunan sıyrılma kuvvetlerine bağlı olarak dinamik yükleme deneylerine geçilmiştir. Dinamik yükleme deneyine başlamadan önce test cihazının kumanda paneline; minimum dinamik yük kuvveti ( $P_{alt}$ ) 1 kN. olarak, maksimum dinamik yük kuvveti ( $P_{üst}$ ) ise statik çekme deneyinde bulunan ortalama sıyrılma kuvvetinin ( $P_{maks}$ ) % 90'ı alınarak uygulandı. Yükleme tipi (sinüzoidal, testere dişi, kare dalga gibi) belirlendi. Uygulanan yükün frekansı  $2.96 \text{ N/mm}^2$ ,  $4.42 \text{ N/mm}^2$  ve  $6.28 \text{ N/mm}^2$  basınç dayanımlarını veren numuneler için Şekil 2.30 a'daki gibi 0,5 Hz. olarak ve diğer numuneler için ise Şekil 2.30 b'deki gibi 1 Hz. olarak sabit tutulup 100 tekrarlanan yükleme yapıldı. Her deney için geçen süre;

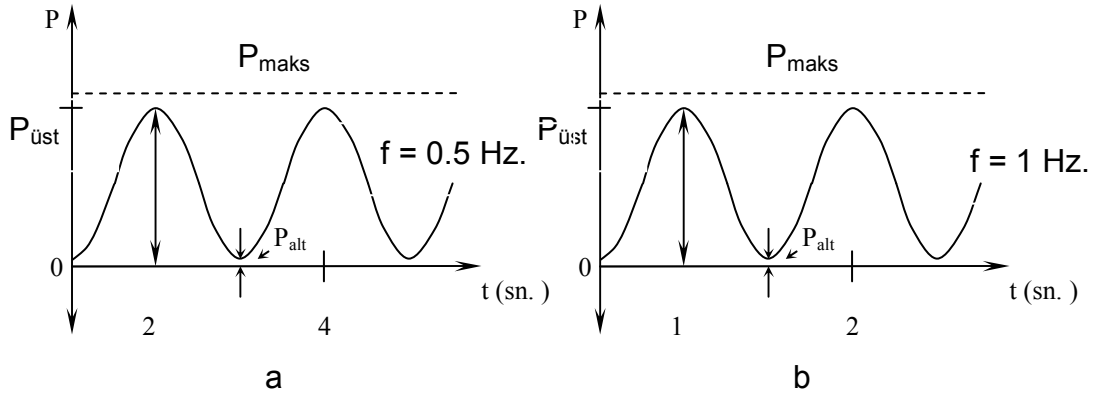
$f = 0.5 \text{ Hz. için}$

$$t = \frac{S_{toplam}}{60 \cdot f} = \frac{100}{60 \cdot 0,5} = 3,33 \text{ dak.} \quad (2,7)$$

$f = 1 \text{ Hz. için}$

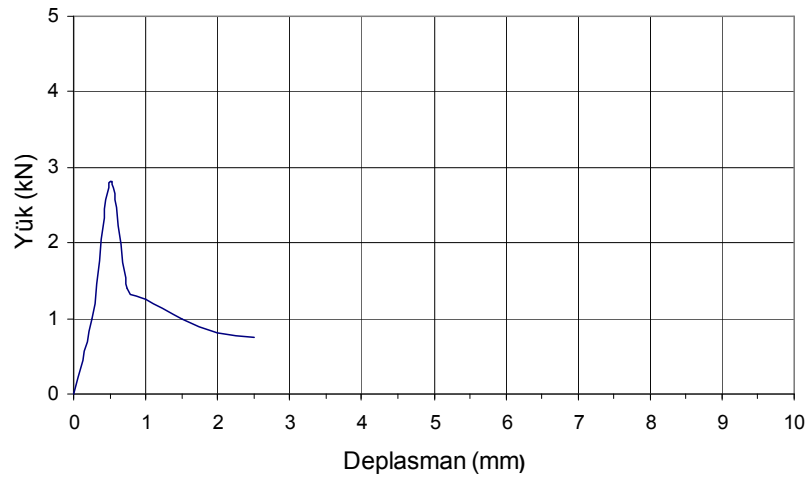
$$t = \frac{S_{toplam}}{60 \cdot f} = \frac{100}{60 \cdot 1} = 1,67 \text{ dak.} \quad (2,8)$$

olarak bulundu.



**Şekil 2.30.** Sabit frekans değişken genlikli sinüzoidal dinamik yük eğrisi

Dinamik yükleme yapılırken, 2.96 N/mm<sup>2</sup> ortalama basınç dayanımı veren numuneler 1 kN ile 2.70 kN arasında 0.5 Hz frekansında 100 tekrarlanan yükleme yapıldıktan sonra statik çekme deneyine tabii tutuldu. Statik test sonucu ortalama sıyırılma kuvveti 2.82 kN olarak belirlendi. Sıyırılma sonrasında çatlama veya kırılma olmadığı görüldü. Sıyırılma anındaki yük-uzama grafiği Şekil 2. 31’de görüldüğü gibi çizdirildi.



**Şekil 2.31.** Çelik çubuğun sıyırıldığı andaki yük - uzama grafiği

Aynı şekilde diğer numune grupları için dinamik yükleme deneyinde uygulayacağımız maksimum yükler, Hz. ve yük tekrar sayısı değerleri girilip deneye tabi tutulmuşlardır. Yapılan dinamik yükleme deneyleri için girilen verilerin ve deney sonuçlarının olduğu bilgiler Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Dinamik yükleme deneyi sonucu tekrar statik çekme deneyine tabi tutulan numunelere ait sıyrılma kuvvetleri değerlerini ilk olarak bulduğumuz ortalama sıyrılma kuvveti değerleri ile karşılaştırarak dinamik yükleme deneyinin numunelerde yorulmaya sebep olup olmadığı araştırılmıştır.

Çizelge 2.7’de statik yükler yüzdesi sütununa bakıldığında her beton basınç dayanımı için dinamik yükleme deneyi sonucu bulunan sıyrılma kuvveti değerlerinin, statik yükleme deneyi sonucu bulunan sıyrılma kuvveti değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Buda bize dinamik yükleme sonucu yorulma etkisi ile aderans kuvvetinin azaldığını göstermektedir.

**Çizelge 2.7.** Yapılan statik ve dinamik yükleme deneyleri ile ilgili sonuçlar

Beton Basınç Dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )	Statik Yükleme Deney Sonuçları			Dinamik Yükleme Deney Bilgileri						Dinamik Yükleme Deneyi Sonrası Yapılan Statik Yükleme Deneyi Sonuçları			
	Sıyırılma Kuvveti Değerleri (kN)		Ortalama Sıyırılma Kuv. (kN), $P_{max}$	Ort. Sıyırılma Kuv.'nin %90'ı Dinamik Yük Olarak Uygulandı $0.90 \cdot P_{max}$	Uygulanan Yük Tekrar Sayısı	Test Sonunda Yapılan Yük Tekrar Sayısı		Tekrar Statik Teste Tabi Tutulan Num. Sıyırılma Kuv., (kN)			Statik Test Sonucu Ortalama Sıyırılma Kuv. (kN),	Uygulanan Dinamik Yük %'si	Statik Yükleme %'si
	1	2				3	1	2	3	f			
	a	b	c	$e = d \cdot 0.90$				f	g	h	$k = \frac{(f+g+h)}{3}$	$m = e / k$	$n = k / d$
2,96	2,82	2,96	3,23	2,70	100	100	100	2,87	2,80	2,78	2,82	95,97	93,77
4,42	5,08	4,94	5,03	4,51	100	100	100	4,70	4,79	4,69	4,73	95,52	94,22
6,28	8,92	8,96	9,06	8,08	100	48	100	Göçtü	Göçtü	8,52	8,52	94,86	94,87
13,17	11,99	12,18	12,16	10,90	100	100	100	11,61	11,56	11,70	11,62	93,77	95,98
15,14	13,32	13,41	13,33	12,02	100	93	100	Göçtü	12,87	Göçtü	12,87	93,39	96,37
16,46	14,07	13,96	14,00	12,61	100	100	100	13,48	13,55	13,65	13,56	93,00	96,78
20,33	14,83	14,72	14,94	13,35	100	100	100	14,42	14,64	14,45	14,50	92,03	97,79
33,05	18,04	18,06	18,14	16,27	100	100	100	17,98	17,79	17,84	17,87	91,05	98,85

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

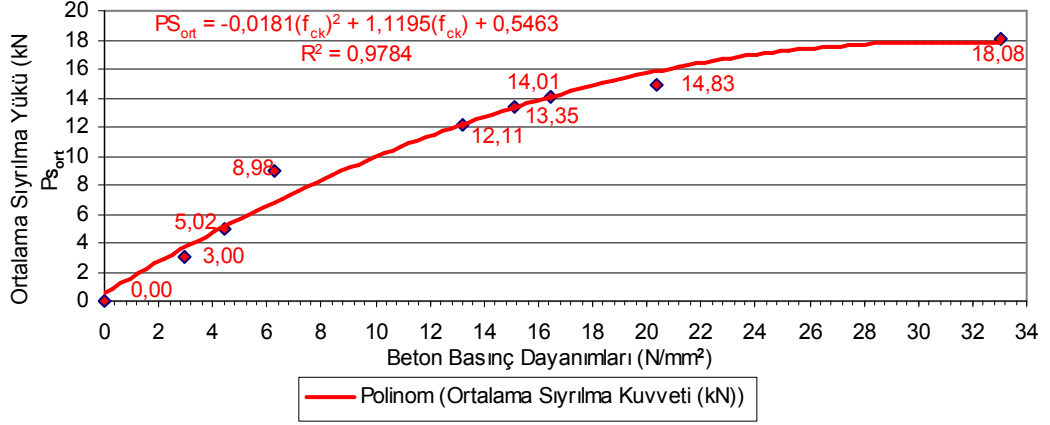
İlk olarak farklı beton basınç dayanımlarına göre ortalama sıyırılma yükleri (statik test sonucu elde edilen) bulundu. Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları arttıkça sıyırılma yüklerinin de (aderans kuvvetleri) arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.1’de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – ortalama sıyırılma yükleri arasında yapılan doğrusal olmayan regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.9784$  olarak, bağımlı değişken  $P_{Sort}$  (statik test sonrası bulunan ortalama sıyırılma kuvveti) ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  (betonun karakteristik basınç dayanım değeri) arasında regresyon denklemi;

$$P_{Sort} = -0.0181(f_{ck})^2 + 1.1195(f_{ck}) + 0.5463 \quad (3.1)$$

olarak bulundu.

**Çizelge 3.1.** Beton basınç dayanımları – ortalama sıyırılma yükleri arasındaki ilişki

Beton Basınç Dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )	Statik Test Sonrası Bulunan Ortalama Sıyırılma Kuvveti (kN)
2,96	3,00
4,42	5,02
6,28	8,98
13,17	12,11
15,14	13,35
16,46	14,01
20,33	14,83
33,05	18,08



**Şekil 3.1.** Beton basınç dayanımları – ortalama sıyrılma yükleri arasındaki regresyon modeli

Farklı beton basınç dayanımlarına sahip numunelere, statik çekme deneyi uygulanması sonucunda beton basınç dayanımlarının artmasıyla birlikte, birim alana gelen aderans kuvveti (gerilmesi) değerinde arttığı görülmüştür (Çizelge 3.2.). Birim alana gelen aderans kuvvetine  $\zeta$  dersek;

$$\zeta = F / A_y \quad (3.2)$$

Burada F birim boya gelen aderans kuvveti (sıyrılma kuvveti),  $A_y$  beton içerisinde kalan donatı yanal alanıdır.

$$\text{Donatı yanal alanı; } \emptyset * \pi * h = 0.8 * 3.14 * 6 = 15.07 \text{ cm}^2$$

Ayrıca Şekil 3.2'de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – birim alana gelen aderans kuvveti arasında yapılan doğrusal regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.8662$  olarak, bağımlı değişken  $\zeta$  ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  arasında regresyon denklemi;

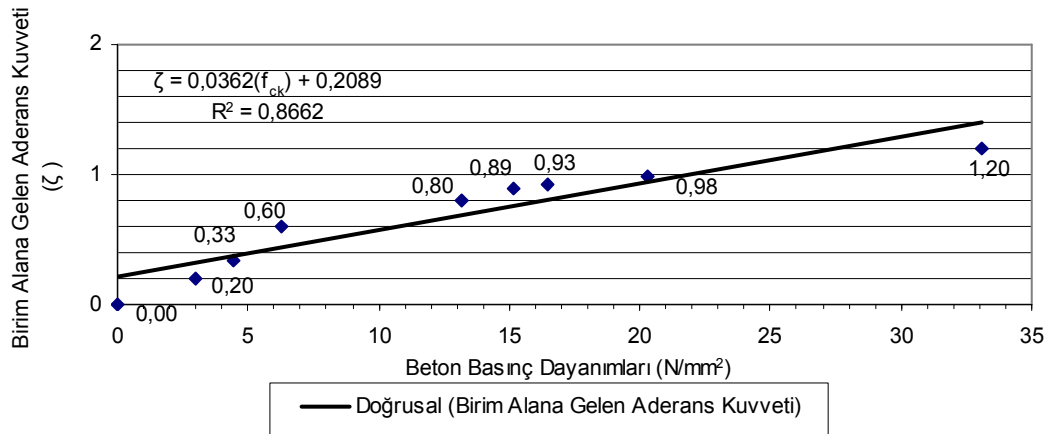
$$\zeta = 0.0362(f_{ck}) + 0.2089 \quad (3.3)$$



olarak bulundu.

**Çizelge 3.2.** Beton basınç dayanımları – birim alana gelen aderans kuvveti ilişkisi

Beton Basınç Dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )	Statik Test Sonrası Bulunan Ortalama Sıyırılma Kuvveti (kN)	ζ Değerleri (kN/cm <sup>2</sup> )
2.96	3.00	0.20
4.42	5.02	0.33
6.28	8.98	0.60
13.17	12.11	0.80
15.14	13.35	0.89
16.46	14.01	0.93
20.33	14.83	0.98
33.05	18.08	1.20



**Şekil 3.2.** Beton basınç dayanımları – birim alana gelen aderans kuvveti arasındaki regresyon modeli

Daha sonra; statik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvvetleri ile dinamik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvvetleri farklı beton basınç dayanımlarına göre karşılaştırıldı. Çizelge 3.3'de görüldüğü gibi dinamik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvveti değerleri, statik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvveti değerlerinden düşük çıkmıştır. Buradan dinamik yükleme sonucu yorulma etkisi ile aderans kuvvetinin azaldığı sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca Şekil 3.3'de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – statik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma yükleri arasında yapılan doğrusal olmayan regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.9784$  olarak, bağımlı değişken  $P_{S_{ort}}$  (statik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvveti) ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  arasında regresyon denklemi;

$$P_{S_{ort}} = -0.0181(f_{ck})^2 + 1.1195(f_{ck}) + 0.5463 \quad (3.4)$$

olarak bulundu.

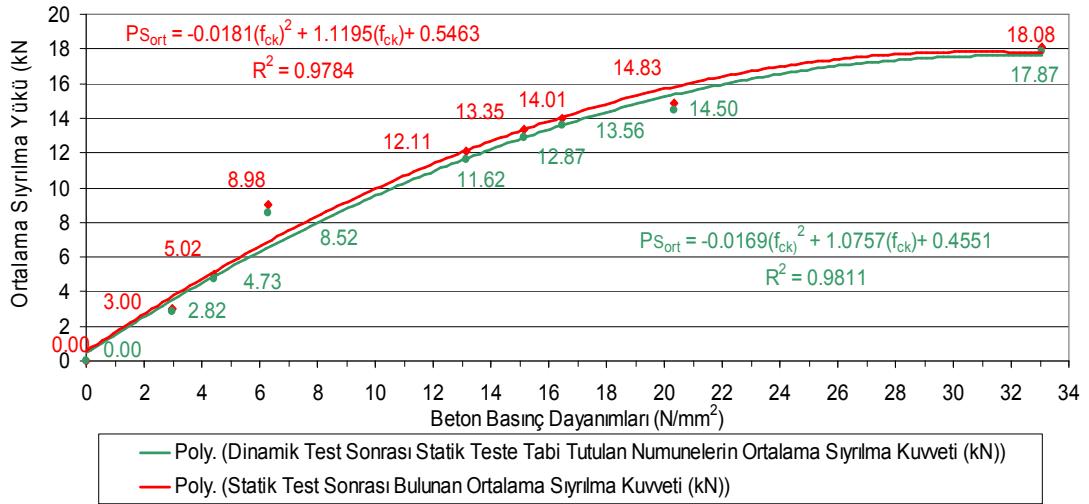
Yine Şekil 3.3'de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – dinamik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma yükleri arasında yapılan doğrusal olmayan regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.9811$  olarak, bağımlı değişken  $P_{S_{ort}}$  (dinamik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvveti) ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  arasında regresyon denklemi;

$$P_{S_{ort}} = -0.0169(f_{ck})^2 + 1.0757(f_{ck}) + 0.4551 \quad (3.5)$$

olarak bulundu.

**Çizelge 3.3.** Beton basınç dayanımları – sıyırılma yükleri arasındaki ilişki

Beton Basınç Dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )	Statik Test Sonrası Bulunan Ortalama Sıyırılma Kuvveti (kN)	Dinamik Test Sonrası Bulunan Ortalama Sıyırılma Kuvveti (kN)
2.96	3.00	2.82
4.42	5.02	4.73
6.28	8.98	8.52
13.17	12.11	11.62
15.14	13.35	12.87
16.46	14.01	13.56
20.33	14.83	14.50
33.05	18.08	17.87



**Şekil 3.3.** Beton basınç dayanımları – ortalama sıyırılma yükleri arasındaki regresyon modeli

Daha sonra; dinamik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvvetleri ile statik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvvetleri değerlerinin % 90'ı alınarak uygulanan dinamik yük değerleri, farklı beton basınç dayanımlarına göre karşılaştırıldı. Çizelge 3.4'de görüldüğü gibi dinamik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvveti değerlerine yakın bir dinamik yük uygulandığı görülmektedir. Buda bize statik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma kuvvetleri değerlerinin % 90'ı mertebesinde uygulanan dinamik yük değerinden sonra bile, aderans kuvvetinde bir miktar azalmanın olmasına rağmen, hala malzemedeki göçme olmadan sıyrılmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca Şekil 3.4'de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – uygulanan dinamik yükler arasında yapılan doğrusal olmayan regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.9785$  olarak, bağımlı değişken  $P_{D_{ort}}$  (uygulanan dinamik yükler ortalaması) ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  arasında regresyon denklemi;

$$P_{D_{ort}} = -0.0163(f_{ck})^2 + 1.0081(f_{ck}) + 0.488 \quad (3.6)$$

olarak bulundu.

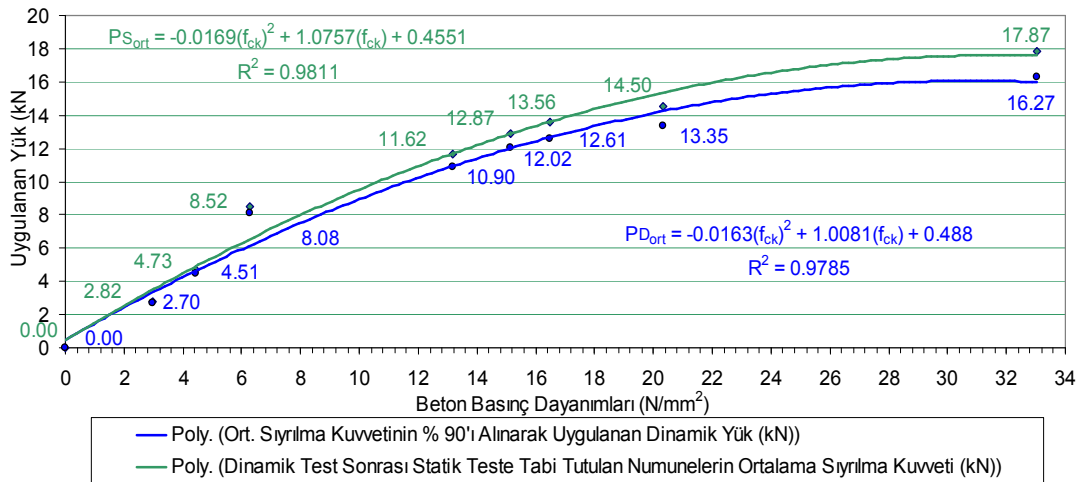
Yine Şekil 3.4'de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – dinamik test sonrası bulunan ortalama sıyrılma yükleri arasında yapılan doğrusal olmayan regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.9811$  olarak, bağımlı değişken  $P_{S_{ort}}$  ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  arasında regresyon denklemi;

$$P_{S_{ort}} = -0.0169(f_{ck})^2 + 1.0757(f_{ck}) + 0.4551 \quad (3.7)$$

olarak bulundu.

**Çizelge 3.4.** Beton basınç dayanımlarına göre dinamik yükler ve sıyırılma yükleri arasındaki ilişki

Beton Basınç Dayanımları (N/mm <sup>2</sup> )	Statik Ort. Sıyırılma Kuvvetinin %90'ı Dinamik Yük Olarak Uygulandı (kN)	Dinamik Test Sonrası Bulunan Ortalama Sıyırılma Kuvveti (kN)
2.96	2.70	2.82
4.42	4.51	4.73
6.28	8.08	8.52
13.17	10.90	11.62
15.14	12.02	12.87
16.46	12.61	13.56
20.33	13.35	14.50
33.05	16.27	17.87



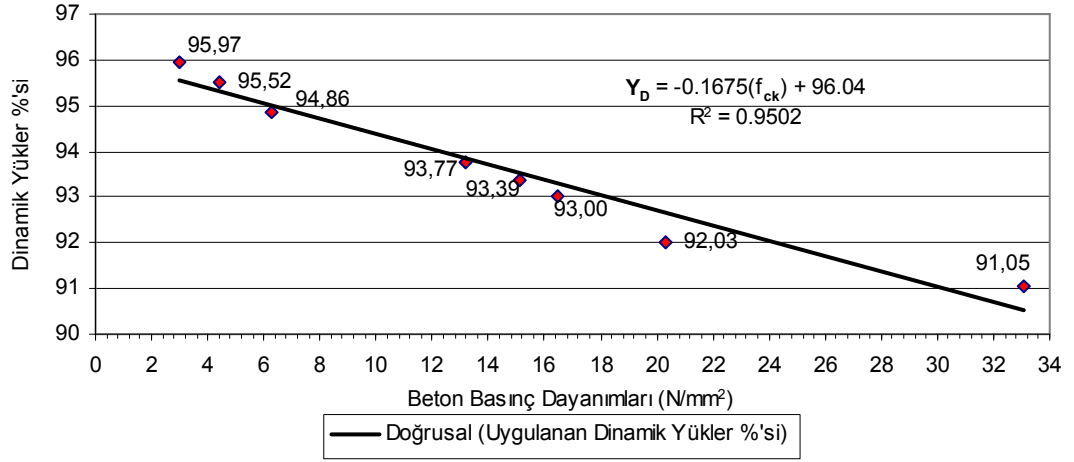
**Şekil 3.4.** Uygulanan dinamik yükler ile yorulma testi sonrasında bulunan ortalama sıyırılma yükleri arasındaki regresyon modeli

Çizelge 2.7’de verilen dinamik yükler yüzdesi için regresyon modeli hazırlandı. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – dinamik yükler yüzdesi arasında yapılan doğrusal regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.9502$  olarak, bağımlı değişken  $Y_D$  (dinamik yükler yüzdesi) ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  arasında regresyon denklemi;

$$Y_D = -0.1675(f_{ck}) + 96.04 \quad (3.8)$$

olarak bulundu.

Grafiğe bakıldığında beton basınç dayanım değerleri arttıkça, dinamik yükler yüzdesi değerlerinin azaldığı görülmektedir.



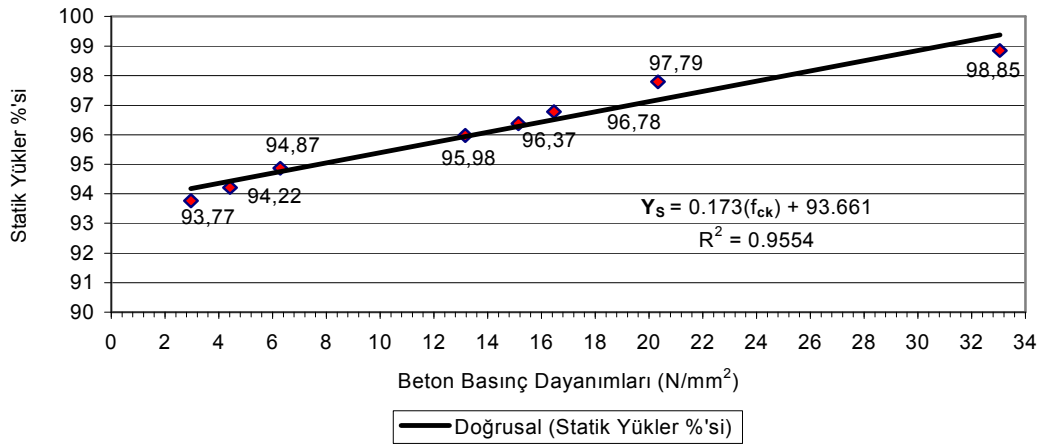
**Şekil 3.5.** Beton basınç dayanımları – dinamik yükler yüzdesi arasındaki regresyon modeli

Çizelge 2.7’de verilen statik yükler yüzdesi için regresyon modeli hazırlandı. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi beton basınç dayanımları – statik

yükler yüzdesi arasında yapılan doğrusal regresyon modelinde belirtme katsayısı  $R^2=0.9554$  olarak, bağımlı değişken  $Y_s$  (statik yükler yüzdesi) ile bağımsız değişken  $f_{ck}$  arasında regresyon denklemi;

$$Y_s = 0.173(f_{ck}) + 93.661 \quad (3.9)$$

olarak bulundu.



**Şekil 3.6.** Beton basınç dayanımları – statik yükler yüzdesi arasındaki regresyon modeli

Çizelge 2.7’de statik yükler yüzdesine baktığımızda, dinamik yükleme sonrasında statik teste tabi tutulan numunelerde sıyrılma yüklerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Buda yorulmanın varlığını göstermektedir.

Şekil 3.5’te de görüldüğü üzere beton basınç dayanım değerleri düşük olan numunelerde yorulma miktarı fazla iken beton basınç dayanım değerleri arttıkça yorulma miktarı değerlerinin azaldığı görülmektedir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Hazırlanan sekiz farklı beton numuneleri üzerinde yapılan beton basınç deneyi sonucunda 2.96, 4.42, 6.28, 13.17, 15.14, 16.46 MPa düşük basınç dayanımlı beton numuneleri ile 20.33, 33.05 MPa normal basınç dayanımlı beton numuneleri elde edilmiştir.

Bu çalışmada, hazırlanan sekiz farklı beton mukavemeti veren numuneler üzerinde yapılan statik ve dinamik yükleme deneyleri sonucu, nervürlü donatı aderansında yorulma olup olmadığı araştırılmıştır. Her grup için hazırlanan 6 numuneden üçü statik sıyrılma deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen yükün %90' ı diğer üç numuneye dinamik yük olarak uygulanmış olup, 100 yükleme - boşaltma sonrasında numuneler tekrar statik sıyrılma deneyine tabi tutulmuştur. Dinamik yükleme deneyi sonucu bulunan sıyrılma kuvveti değerleri, ilk olarak bulunan statik çekme deneyi sonucunda ki sıyrılma kuvveti değerlerinden düşük çıkmıştır. Buda bize dinamik yükleme sonucu yorulma etkisinin var olduğunu göstermektedir. Tekrarlanan yükler altında aderansın azaldığı ancak beton mukavemetinin artmasıyla aderansın daha az oranda etkilendiği gözlemlenmiştir. Beton basınç dayanımları, statik yükler yüzdesi oranlarına bakıldığında bu yorulma etkisinin %1.15 ile % 6.23 oranında değiştiği görülmüştür.

Günümüzde şartnameler gereği aderans boyları nervürlü donatı için kirişlerde 40 – 50Ø, kolon alt ve üstlerinde 75Ø, kolon ortalarında 50Ø olarak alınmaktadır. Son depremlerle birlikte kolon alt ve üstlerinde aderans boyları



50Ø'den 75Ø'ye artırılmıştır. Bu da tekrarlı deprem yükleri altında kolon birleşim bölgelerinde aderans kaybının ön plana çıktığını göstermektedir.

İleriki çalışmalar için hafif betonlar ile yüksek dayanımlı betonlar ile ilgili benzer çalışmalar yapılabilir, donatıların aderans boyları, donatı çapı, numunelere uygulanan dinamik yükün özellikleri, test modeli değiştirilerek beton ile donatı arası aderansta ki performans değişimi incelenebilir.

## KAYNAKLAR

1. S. A. Kaplan, Betonarme'ye Giriş, İstanbul, 2009.
2. Z. Celep, N. Kumbasar, Betonarme Yapılar, İstanbul, 2005.
3. K. Özden, Betonarme Malzemesi ve Kesit Hesapları, İstanbul, 1985.
4. A. Orbay, Betonarme I, İzmir, 2005.
5. T. Y. Erdoğan, Beton, Ankara, 2003.
6. U. Ersoy, Betonarme, Ankara, 1985.
7. P. M. Ferguson, Reinforced Concrete Fundamentals, John Willey and Sons, Newyork, 1979.
8. B. Bresler, and V. Bertero, ASCE, V. **94**, ST6, June (1968).
9. U. Ersoy, E. Karaesmer, ve E. Yaltkaya, Nervürlü Tor Çeliklerin Özellikleri, Ankara, 1969.
10. T. Takeda, M. A. Sozen and N. N. Nielsen , ASCE, V. **96**, ST12, Dec. (1970).
11. M. A. F. İsmail, and J. O. Jirsa, Journal of ACI, V. **69**, June (1972).
12. A. E. Naaman, And S. P. Shah, ASCE, V. **102**, ST8,(1976).
13. A. Burakiewicz, Testing of Fibre Bond Strength in Cement Matrix, RILEM Symposium, 353-365 pp., 1978.
14. V. S. Gopalaratnam, and H. J. Abu-Mathkour, Investigation of Pull-Out Characteristics of Steel Fibers from Mortar Matrices, Proceedings, International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, 2. 201-2. 211, 1987.
15. De Larrard, F. Formulation et Propriétés des Bétons á Très Hautes Performances, Thèse de Doctorale, ENPC-L.P. C. Research Report No. 149 (1988).
16. Maton, R. Adhérence Acier, Béton: Propriétés des Bétons á Hautes ét Très Hautes Performances, Thèse de l' Université Nancy I, France (1988).

17. F. De Larrard, ve Y. Malier, Çok Yüksek Mukavemetli Betonların Mühendislik Özellikleri, 2. Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 76-113, 1991.
18. A. E. Naaman, and N. Husamuddin, ACI Materials Journal, **88**, 135-145(1991).
19. F. Larrad, L. Schaller, and J. Fuchs, ACI Materials Journal, **90**, 333-339(1993).
20. V. Yerlici ve T. Özturan, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, **13**, Sayı 1, Ocak (2002).
21. G. P. Gamborova, and G. P. Rosati, Bond and Splitting in bar Pull-out, Milano, 1997.
22. S. Baradan, Çimento Tipinin Aderansa Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 1997.
23. Y. Ünal, Aderansın Betonun Agregata Tane Çapı ve Dayanımına Bağlı Olarak Değişimi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1998.
24. E. Çağlar, Tekrarlanan Yükler Altında Aderansta Yorulma. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Ocak 2005.
25. A. Durmuş, H. Dahil, M. E. Arslan, TMH, Sayı **441**, 45-52(2006).
26. H. Tanyıldızı, S. Yazıcıoğlu, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, **18** (3), 351-357(2006).
27. H. Tanyıldızı, S. Yazıcıoğlu, Betonarme Demiri ve Beton Arasındaki Aderans Dayanımına Kür Koşullarının Etkisi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ, 2006.
28. H. Tanyıldızı, S. Yazıcıoğlu, A. Çoşkun, Mineral Katkılı Betonun Aderans Dayanımına 800 °C'nin Etkisi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ, 2006.
29. H.D. Şener, Aderans Eki Deneyinde Göçme Biçimleri ve Çatlak Dağılımları, Ankara, Nisan 2006.
30. A. Duran, Betonarme Donatısında Aderans ve Yorulma. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Haziran 2008.

31. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara 2000.
32. O. Şimşek, Beton ve Beton Teknolojisi, pp 16-154, Ankara 2004.
33. C. D. Atış, İ. Özbebek, H. Özbebek, F. Özcan, O. Karahan, C. Bilim, U. K. Sevim, 'Beton Basınç Dayanımını Etkileyen Bazı Faktörlerin İrdelenmesi', Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
34. U. Ersoy, Betonarme Temel İlkeler Taşıma Gücü Hesabı, Cilt I, Evrim Yayınevi, 1985.
35. H. Ün, Malzeme Bilgisi Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü
36. TS 708, Beton Çelik Çubuklar, TSE, Ankara, 1996.
37. U. Ersoy, G. Özcebe, Betonarme, Geliştirilmiş Baskı, s.721, 2001.
38. A. Doğançün, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, s.90-93, İstanbul, 2008
39. M. Turan, Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği AB.D, Yapı Bilim Dalı Yüksek Lisans ders notları