

168997

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI YÜKSEK  
LİSANS TEZİ

TEKRARLANAN YÜKLER ALTINDA ADERANSTA YORULMA

EDA ÇAĞLAR

OCAK, 2005

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

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

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

Tez Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İ.TAŞKIRAN

## ÖZET

### TEKRARLANAN YÜKLER ALTINDA ADERANSTA YORULMA

ÇAĞLAR, Eda

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Ocak 2005, 44 sayfa

Betonarme, beton ile çeliğin bir arada kaymayacak şekilde bir yapı oluşturarak, gelecek yükleri birlikte karşılayan yapı malzemesidir. İki malzeme arasında bir bağ kuvveti meydana gelir ve bu kuvvet sürekli olur. Böylece çelik beton içerisinde kaymaz. Ayrıca beton ile çelik arasında herhangi bir kimyasal reaksiyon yoktur. Beton ile çeliğin ısıl genleşme katsayılarının yaklaşık aynı olması aderansı oluşturan en önemli etkenlerdendir.

Aderans ve kenetlenme davranışı hakkındaki bilgilerin çoğu normal dayanımlı beton hakkındadır. Ayrıca eldeki aderans ve kenetlenmeyi inceleyen çalışmalarda yalnız statik yükleme durumları ele alınmıştır. Oysa deprem kuşağında bulunan bölgelerde yapılacak yapılar için tekrarlanan yükler altında donatı kenetlenme özelliklerinin belirlenmesine gerek vardır. Normal dayanımlı

betonlarda, statik yükleme sonuçlarına dayalı hesap ilkelerinin, tekrarlanan yükleme sonuçlarına dayalı hesap ilkelerine uyarlanması için daha fazla veriye ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada dinamik yükleme altında normal dayanımlı betonda meydana gelebilecek aderans yorulmasına ilişkin bilgi boşluğunu doldurmak amacıyla deneysel bir araştırma yapılmıştır.

Çalışmada BS20 betonu ile S420 nervürlü elik donatısı kullanılmıştır. Burada dört adet 15x30 cm silindir numune hazırlanmış ve üç adedi basınç dayanım testinde kullanılmıştır. Dördüncüsü statik çekip çıkarma (pull-out) deneyine tabi tutulmuş fakat yanlış mesnetlenme nedeni ile yarılarak erken göçmeye neden olmuştur.

Daha sonra yirmi bir adet 15x15 cm silindir numune hazırlanmış ve bu elemanlar, ilk olarak frekansı sabit değişken genlikli dinamik yükler altında (maksimum statik çekme yükünün belirli bir yüzdesi alınarak) pull-out deneyine tabi tutulmuştur. İkinci olarak da sabit genlikli değişken frekanslı dinamik pull-out deneyine tabi tutulmuştur. Her iki grup için üçer elemandan oluşan toplam dokuzar numune test edilmiştir. İlk grup için dinamik yük uygulanmıştır. Sonuçlar tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Aderans, Yorulma, Statik Yükleme, Tekrarlanan Yk

## ABSTRACT

### FATIGUE IN ADHERENCE UNDER CYCLIC LOADS

ÇAĞLAR, Eda

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Civil Eng, M.Sc.Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

January 2005, 44 pages

Reinforced concrete is a structural material composed of concrete and steel to bear loads. In a reinforced concrete there exists a continuous adherence between concrete and steel, and thus the latter does not move within the first. The main cause of adherence between the two materials is due to their close thermal expansion values.

In literature, most of information about adherence and clapping is found for standard concrete under static loadings. However, there is an impressing need to determine adherence and clapping behavior of reinforced concrete under dynamic loadings for regions under high risk of earthquake. Obviously, more data are needed to adapt the results obtained from static loading to dynamic loadings.

In this thesis, an experimental study is carried out for examining the fatigue in adherence for normal strength concrete under cyclic loadings.

In the experiments, BS20 concrete and S420 ribbed steel were used. A total number of four cylindrical specimens of 15x30 cm were utilized in the static loading experiments. Three of them were tested under pressure loading, while the last one was used for pull-out testing during which the specimen cracked due to inadequate supporting.

Following the static loading tests twenty-one specimens were used in dynamic loading experiments. In the pull-out tests, the specimens were first exposed to variable dynamic loadings with a constant frequency taking a certain ratio of maximum static tension load. Later, they were exposed to a constant dynamic loading with variable frequencies. In each of experiments, a total number of nine specimens in three groups were tested. The results obtained from the experiments were given in tables and figures as well.

**Key Words:** Adherence, Fatigue, Static Loading, Dynamic Loading

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sũresince konu seçimi ve y¶nlendirmeleriyle bana yardımcı olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, deneyler sırasında emeğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. M. Hũsnũ DİRİKOLU'na, tez çalışmam boyunca ve her zaman manevi olarak destek olan çok saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ'a, numunelerin hazırlanmasında bana yardımcı olan kardeşim Arş. Gör. M. Kerem YEĞNİDEMİR'e, deneylerde ve hayatımda bana daima destek, yardımcı olan eşim Arş. Gör. Yasin ÇAĞLAR'a, beni bugũnlere getiren aileme, özellikle canım anneme, bugũnkũ bilgi seviyesine ulaşmamda katkısı bulunan tũm hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma teőekkũr ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Özetleri .....	2
1.2. Çalışmanın Amacı .....	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	9
2.1. Genel .....	9
2.2. Betonun Yorulma Dayanımı.....	9
2.3. Aderans .....	12
2.3.1. Eğilme Aderansı .....	12
2.3.2. Kenetlenme Aderansı .....	13
2.4. Aderans Nedenleri ve Aderans Mekanizması .....	16
2.5. Aderansa Tesir Eden Faktörler .....	16
2.6. Tekrarlanan ve Tersinir Yük Altında Davranış .....	20
2.7. Deneysel Çalışma .....	25
2.7.1. Deney Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzeme Özellikleri .....	25
2.7.1.1. Agrega Özellikleri.....	25



2.7.1.2. Elek Analizi Sonuçları .....	25
2.7.1.3. Çelik Donatının Özellikleri .....	25
2.7.1.4. Beton Karışım Oranları .....	26
2.7.1.5. Beton Deney Programı ve Deney Numunelerinin Hazırlanması .	28
2.7.2. Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler .....	31
2.7.2.1. Beton Basınç Dayanım Deneyi .....	31
2.7.2.2. Aderansta Yorulma Deneyi .....	32
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	38
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	42
KAYNAKLAR .....	43

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

2.1. Gerilme – Yük Tekrarı Sayısı .....	11
2.2. Eğilme Aderansı .....	13
2.3. Kenetlenme Aderansı .....	14
2.4. Çelik Çubuğun Yer ve Konumu .....	17
2.5. Pas Payları .....	18
2.6. Tekrarlanan Yük Altında Aderansta Zayıflama .....	22
2.7. Kenar Kiriş Kolon Birleşimi.....	23
2.8. Granülometri Eğrileri .....	27
2.9. Beton ve Kalıp Modeli .....	32
2.10. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği ...	34
2.11. Sabit Frekans Değişken Genlikli Sinüzoidal Dinamik Yük Eğrisi .....	35
2.12 Değişken Frekans Sabit Genlikli Sinüzoidal Dinamik Yük Eğrisi .....	36
3.13. Test Edilen 15x30 Boyutundaki Numunenin Yük-Deplasman Grafiği ...	38
3.14. Statik Test Sonucu Elde Edilen 15x15 Boyutundaki Numunenin Örnek Yük-Deplasman Grafiği .....	39
3.15. Dinamik+Statik Test Sonucu Elde Edilen 15x15 Boyutundaki Numunenin Örnek Yük Deplasman Grafiği .....	40

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

2.1. Beton Basınç Deneyi Sonuçları .....	33
--	----



## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

### FOTOĞRAF

2.1. Çelik Plaka .....	28
2.2. Beton Numuneler .....	29
2.3. Kür Havuzundaki Beton Numuneler Kenetlenme Aderansı .....	29
2.4. Numunelerin Kesilerek Hazır Hale Getirilmesi .....	30
2.5. Basınç Test Cihazı .....	31
2.6. Kalıp ve Kalıp +Numune +Dinamik Yükleme Cihazı .....	33
2.7. Numunelerin Dinamik+Statik Deneylerden Sonra Aldığı Şekil .....	34

## 1. GİRİŞ

Betonarme elemanların en önemli özelliklerinden biri beton ve çeliğin beraber çalışacak, yani yük taşıyacak şekilde bir araya gelmesidir. Donatı ile onusaran beton arasında herhangi bir rölatif yer değiştirmenin, kaymanın olmaması gerekir. Kaymanın olmaması için de iki malzeme arasında bir bağ kuvveti meydana gelebilmeli ve bu kuvvet kalıcı olmalıdır. Deneylerle varlığı kanıtlanan bu bağ kuvvetine aderans denir. Aderans olayı betonarmenin en önemli faydalı özelliklerinden biridir. Bu suretle iki malzemenin beraberce kullanılması ve birbirini tamamlaması mümkün olur.<sup>(1)</sup>

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 kenetlenmesi gerekir.

Maksimum statik gerilme değerinin altındaki gerilme değerlerinin tekrar tekrar uygulanmaları sonucunda malzemedede yer alan kırılma olayına 'yorulma' denir.<sup>(2)</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

sıyırılmanın 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>(3)</sup>

Bu çalışmada beton sınıfı, donatı çapı ve model sabit tutularak, farklı frekans ve genlikteki tekrarlı çekme yükleri altında donatı ile beton arasında aderans yorulması araştırılmıştır.

## 1. 1. Kaynak Özetleri

Larsson 1958 ve Saillard 1960 yılında yaptıkları çalışmalarında teknolojiye gelişmelere bağlı olarak betonarme elemanlar için nervürlü çubuklar kullanmışlardır. İlk sıralarda nervürlü çubukların kullanılması ile aderans sorununun çözümlendiği düşünülmüştür. Ancak nervürlü çubuklarda kenetlenme boyunun yetersiz olması halinde, donatıyı saran beton kütlede oluşan radyal çatlaklar nedeni ile betonun yarılması, sorunu daha karmaşık bir hale getirmiştir. Yüksek dayanımlı çelikten yapılmış, büyük çaplı nervürlü çubukların kenetlenme boyunun çubuk çapı yerine çubuk alanı ile değiştiğinin anlaşılması soruna yeni boyutlar kazandırmıştır.<sup>(4)</sup>

Ferguson ve Thompson 1962 yılında yaptıkları çalışmalarda aderansla kenetlenme boyu arasında doğru bir orantı olmadığını göstermiştir.<sup>(5)</sup>

Bresler ve Bertero'nun 1968 yılında yaptıkları çalışmalarında betona 40.6 cm gömülen, 2.9 cm çapında bir çubuk, aksenal çekmeye tabi tutulmuş, deney elemanının ortasında döküm sırasında bırakılan çentik çatlak simgelemiştir. Eleman tekrarlanan yük altında denenmiştir. Buna ek olarak yükün tersinmesi, aderansı daha da zayıflatmıştır. Tekrarlanan, tersinir yük altında elemanın her iki yüzünde oluşan çatlaklar birleşecek ve birbirini kesecektir. Çatlakların kesiştiği yörelerde beton ufalanarak parçalanacak ve bu etki yük tekrarlandıkça artacaktır. Donatının iki yönde sıyrılması ve yaslandığı beton dişi ezmesi, aderansta büyük çapta zayıflamalara neden olacaktır. Yapılan deneyler, aderans zayıflamasının tekrarlama sırasında uygulanan yükün düzeyine bağlı olduğunu göstermektedir. Donatının akmasına neden olacak yüksek düzeyde uygulanan tersinir tekrarlanan yükler donatıyı akma konumuna getirmeyecek düzeyde uygulanan yüklere oranla aderansı çok daha fazla zayıflatmaktadır. <sup>(6)</sup>

Ersoy, Karaesmen ve Yaltkaya, tarafından 1969 yılında yapılan deneylerde tor çelikle donatılmış, seriler halinde numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan deneylerde aşağıdaki davranışların gösterildiği belirlenmiştir:

- Birinci grubu oluşturan Ø12'lik çelikle donatılmış 36 cm (30Ø) boyundaki üç numunede hiçbir çatlak meydana gelmemiş, sıyrılma deplasmanının küçük kaldığı belirlenmiştir (Çekme kuvvetinin tatbik edildiği yüklenmiş uç kesitte, bir numunede 2,0 mm diğerlerinde 0,6 mm civarında, serbest uç kesitte ise maksimum 0.2 mm). Kırılma konumuna her üç grupta da çeliğin akmasıyla varılmıştır.
- İkinci gruptaki 24 cm (20Ø) boyundaki üç numunede sıyrılma deplasmanlarının biraz daha büyüdüğü belirlenmiştir. (Yüklenmiş uç

kesitlerde 2.5 mm ve serbest uç kesitlerde maksimum 2.0 mm). Yüklemeler boyunca çatlaklar görülmemiş, fakat kırılma konumuna ani beton yarılmalarıyla varılmıştır.

- Üçüncü grubu meydana getiren Ø16'lık çelikle donatılmış 48 cm (30Ø) boyundaki üç numunede yine küçük kayma deplasmanları belirlenmiştir. (Yüklenmiş uçta, maksimum 2.8 mm; serbest uçta 0.4 mm). Kırılma konumuna çeliğin akmasıyla varılmıştır.
- Ø16'lık çelikle donatılmış, fakat boyları 32 cm (20Ø) olarak alınmış, dördüncü grup numunelerde ise aderans kaymaları, yüklenmiş uç kesitte 4.0 mm'yi, serbest uç kesitte 1.0 mm'yi bulmuştur. Kırılmaya dördüncü grup (a) numunelerinde akma ve yarılmaya aynı anda kendini gösteren ortaklaşa etkisiyle, dördüncü grup (b) numunesinde yarılmayla; (c) numunesinde ise çeliğin akmasıyla varılmıştır.
- Ø24'lük çelikle donatılan numunelerden, gerek 72 cm (30Ø) boyunda ki beşinci grup numuneleri, gerekse 48 cm (20Ø) boyundaki hazırlanan altıncı grup numuneler, çeliğin akmasıyla kırılma konumuna varmışlardır. Ancak, beşinci grup numunelerde çatlak izleri görülmediği halde, altıncı grup numunelerinde, yarıma başlangıcı sayılabilecek boylamasına çatlaklar meydana gelmiş, fakat çeliğin akmasına, tam yarıma olmadan önce varılmıştır. <sup>(7)</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>(9)</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>(8)</sup>

Jy Naaman ve Shah 1976 yılında yaptıkları çalışmada, sıyırılma deneyini uygulayarak, gerilme hattının yönüne bağlı olarak aderansın değiştiğini gözlemlemişlerdir. Gerilme yönüne paralel yerleştirilmiş donatılara bağlı olarak aderansın değiştiğini savunmuşlardır. <sup>(10)</sup>

Pinchin ve Tabor 1978 yılında yaptıkları çalışmada, donatıyı çevreleyen betonun sıklığının sürtünme aderansını arttırdığını öne sürmüştür. Çalışmalarında nervürlü donatının düz donatıya kıyasla aderans dayanımının fazla olduğu sonucuna varmışlardır. <sup>(11)</sup>

Burakiewicz 1978 yılında yaptığı çalışmada, farklı donatı tipleri için deneyler gerçekleştirmiştir. 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>(12)</sup>

Popov 1984 yılında yaptığı çalışmasında, yorulma olayının aderansa etkisini araştırmış, bu amaçla periyodik ve normal yüklemeler yapılmış, uzun ve kısa çubuklar olarak iki farklı deney uygulanmıştır. Periyodik yükleme altında donatı ve beton arasındaki aderansa önemli kayıpların oluştuğunu gözlemlemiştir. Aderansın tamamen kaybolması halinde serbest kalan donatının kolon içinde ileri geri hareket ederek göçmeye yol açabileceğini savunmuştur. <sup>(13)</sup>

Gopalaratnam ve Abu-Mathkour 1987 yılında yaptıkları çalışmada, aderans boyu, donatı çapı ve beton kalitesi parametrelerini incelemişlerdir. Ortalama aderans dayanımının, aderans boyu ile ters orantılı olarak arttığını, donatı çapının artmasının aderansı arttırdığını beton basınç dayanımının aderans ile direkt bağlantılı olmadığını savunmuşlardır.<sup>(14)</sup>

Naaman ve Husamiddin 1991 yılında yaptıkları çalışmada, sıyırılma deneyleri ile aderans olayını incelemişler. Üç farklı donatı, beton karışımı, katkı maddesi ve uzunlukta aderans boyu kullanılmıştır. Örneklere sıyırılma deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarında kancalı ve nervürlü donatılar, düz donatılara göre sıyırılma kuvvetine daha fazla dayanım göstermiştir. Düz donatıların sıyırılma kuvveti, nervürlü ve kancalı donatıların % 25'i kadar ölçülmüştür. Nervürlü çubuklarda gecikmeli bir tepki gözlenmiştir. Donatı çapı ve aderans boyunun aderansı fazla etkilemediği görülmüştür. Aderans dayanımları; düz çubuklar için 1-2.8 MPa, kancalı donatı için 3.5 - 7 MPa, nervürlü donatı için ise 2.8 -6.7 MPa. arasında değiştiği gözlenmiştir. Karışımın dayanımını arttırdıkça beton-çelik arasındaki aderansın da arttığı gözlenmiştir. Katkı maddelerinden Latex maksimum sıyırılma kuvvetini arttırmış, mikrosilika fazla değiştirmemiş, uçucu külün ise az katkısı olmuştur.<sup>(15)</sup>

Larrard et. al., 1993 yılında yaptıkları çalışmalarında Belçika türü aderans deneyleri yaparak donatı çapının adersana etkisini inceleyip, yüksek dayanımlı betonlarda aderans dayanımının, normal dayanımlı betonlara göre, Ø10 mm çapındaki donatı için %80, Ø25 mm çapındaki donatı için ise sadece %30 oranında aderansı artırdığı sonucuna varmışlardır.<sup>(16)</sup>

Vedat YERLİCİ ve Turan ÖZTURAN, 1995 yılında yaptıkları çalışmalarında yüksek dayanımlı beton elemanlarda donatı çapı, beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde sarma donatısı miktarının, yüksek dayanımlı betonlardaki aderans dayanımı ve gerekli minimum kenetlenme boyu üstündeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın kapsamı içinde, beton basınç dayanımları, donatı çapları, beton örtü kalınlıkları değişen tek donatılı kırık eleman ile gövde sarma donatısı bulunmayan ve değişik miktarda gövde donatısına sahip, çift donatılı on iki eleman üstünde, dışmerkezli, tek yüklemeli çekip-çıkarma aderans deneyi yapılmıştır. 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>(17)</sup>

Darwin et al., 1996 yılında yaptıkları çalışmalarında 300'e yakın aderans deney verisini içeren istatistiksel bir çalışma sonucu, aderans gücünü; beton dayanımı, beton örtü kalınlığı, donatı aralığı, kenetlenme boyu, gövde donatısı ve donatı geometrisinin bir fonksiyonu olarak belirlemişlerdir. <sup>(18)</sup>

Gambarova, Rosati 1997 yılında yaptıkları çalışmada yapmış oldukları deneylerde küçük çaplı (çapları 14 mm küçük ve eşit) çubuklar için çelikle beton arasında meydana gelen aderansın, büyük çaplı çelik çubuklar içeren elemanlara göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. <sup>(19)</sup>

Selim BARADAN 1997 yüksek lisans tez çalışmasında, farklı tipte çimento kullanılan betonların değişik koşullarda aderans özelliğinin değişimini incelemiştir. Yaptığı istatistiksel değerlendirmede aderans dayanımı ile çekme dayanımı arasında doğrusal bir oran olduğunu gözlemlemiştir. <sup>(20)</sup>

Yeşim ÜNAL 1998 yüksek lisans tez çalışmasında, en büyük agrega tane çapı arttıkça ve beton kalitesi yükseldikçe aderans dayanımının da arttığını tespit etmiştir. <sup>(21)</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>(22)</sup>

## **1. 2. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada beton sınıfı, donatı türü ile çapı ve deney modeli sabit tutularak, farklı frekans ve genlikteki tekrarlı çekme yükleri altında donatı ile beton arasında aderans yorulması araştırılmıştır.

Çalışmanın kapsamı içinde beton sınıfı BS20 için 15x15 cm silindir numuneler kullanılmış ve ayrıca beton dayanımını tespit için 15x30 cm numuneler hazırlanmış. 15x15 cm boyutundaki silindir numunelerin orta eksenlerine nervürlü Ø12 sabit çaplı çelik çubuklar yerleştirilmiştir. Deney numuneleri üzerinde tekrarlanan farklı değerdeki yüklemeler altında, beton numunede meydana gelebilecek mekanik aderans yorulması incelenip, grafik haline dönüştürülecektir.

## 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 ve beton-donatı aderansı dinamik yükleme deneylerinde 100 kN kapasiteli Instron 8516 model üniversal (çekme-basma) test cihazı kullanılmıştır.

### 2.2. Betonun Yorulma Dayanımı

Betonun basınç veya eğilme dayanımını bulabilmek için, hazırlanan beton numunelere deney presinde oldukça düşük hızda yük uygulanarak, numunenin kırılmasına yol açan yük miktarı ölçüldükten sonra, betonun basınç veya eğilme yüklerine karşı gösterebildiği maksimum direnç (maksimum gerilme) hesaplanmaktadır. Bu şekilde elde edilen basınç veya eğilme dayanımları, "statik basınç dayanımı" veya "statik eğilme dayanımı" olarak adlandırılmaktadır.

Bazı yapı elemanları, üzerlerinde bulunan statik yük dışında, düşey hareketli yükler, deprem ve rüzgâr gibi yüklerden dolayı dinamik tekrarlı yüklere maruz kalabilmektedir. Örneğin, köprü kirişlerinin üzerinde bulunan yükün miktarı, köprünün üstüne gelen vasitanın ağırlığı ile artmakta, vasıta geçtikten sonra eski durumuna gelmektedir. Bu tür yapıların üzerinde hareketli yük olmadığı zamanda da belirli bir miktar gerilme mevcuttur. Hareketli yük geldikçe, yapıdaki gerilme miktarı artış göstermekte, sonra eski durumuna dönmektedir; yapının üzerine

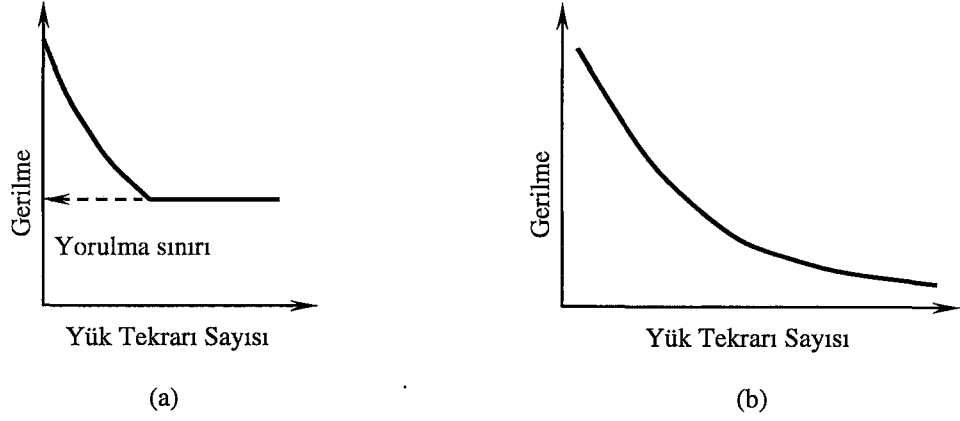
uygulanan gerilme miktarı, belirli bir minimum değerle, maksimum bir değer arasında değişiklikler göstermektedir.

Normal olarak, mevcut statik ve hareketli yükün oluşturduğu gerilme miktarı (uygulanmakta olan toplam gerilme miktarı), malzemenin sahip olduğu dayanımı geçmediği takdirde, bu büyüklükteki bir gerilmenin bir-iki kez uygulanması durumunda, malzemede kırılma yer almamaktadır. Ancak, malzemenin üzerine gelen mevcut statik ve hareketli yükün oluşturduğu gerilme miktarı malzemenin sahip olduğu emniyet gerilmesinden küçük olsa dahi, çok sayıda tekrar uygulandığında, malzemede yorulma sonucu kırılma olmaktadır.

Yorulma terimi, ilk olarak 1839 yılında Poncelet tarafından kullanılmış ve o yıllarda, tekrarlı yük altında kırılma olayını tanımlayan yerinde bir terim olarak kabul edilmiştir. Aslında, tekrarlı uygulanan yüklerin (gerilmelerin) etkisiyle, malzemenin bünyesinde yer almakta olan veya yeni oluşan mikro çatlaklar giderek daha büyük çatlaklara dönüşmekte; malzemenin kırılmasına yol açılmaktadır. O nedenle, modern otoriteler, bu olay için "ilerleyen kırılma" teriminin daha uygun olacağı görüşünü taşımaktadırlar.

Bir malzemenin ne kadar sayıdaki yük tekrarı altında kırılacağı, o malzemeye uygulanan toplam gerilme miktarı ve tekrarlı gerilmenin genliği ile ilgilidir. Uygulanan toplam gerilme miktarı veya tekrarlı gerilmenin genliği azaldıkça, malzemenin kırılmasına yol açacak yük tekrar sayısı artmaktadır.

"Yorulma dayanımı", belirli sayıdaki yük tekrarı altında, malzemenin kırılmadan direnebileceği en büyük gerilme değeri olarak tanımlanmaktadır.



ŞEKİL 2.1 Gerilme-Yük Tekrarı Sayısı

Şekil 2.1(a), çeliğin yorulma özeliğini göstermektedir. Buradan görülebileceği gibi, uygulanan gerilme değeri, belirli büyüklükteki bir gerilme değerinden daha az olduğu takdirde, çeliğin kırılmasına yol açacak yük tekrar sayısı sonsuza kadar büyümektedir. Yani, tekrar tekrar uygulanan bir gerilme etkisiyle çelikte kırılma olabilmesi için, bu malzemenin üzerine uygulanan gerilme değerinin belirli bir büyüklükten daha az olmaması gerekmektedir. Böyle bir gerilme değerine "yorulma sınırı" denilmektedir.

Şekil 2.1.(b), betonun yorulma özeliğini göstermektedir. Betonda belirgin bir yorulma sınırı yoktur. Betona tekrarlı olarak uygulanan gerilme değeri küçüldükçe, malzemenin kırılmasına yol açacak yük tekrar sayısı çok fazla artmaktadır. Genel olarak, betondaki yorulma sınırı, 10 milyon yük tekrarına karşılık gelen gerilme değeri olarak kabul edilmektedir.<sup>(2)</sup>

### 2. 3. Aderans

Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için, çubukların betona kenetlenmesi gerekir. Kenetlenmeyi sağlayan, çelik çubukla beton arasındaki kayma gerilmelerine karşı olan direnime, aderans denir. Donatı ve beton arasında var olan bu bağ kuvvetleri nedeniyle, donatıdaki gerilme moment değişimine paralel olarak eleman boyunca değişir ve büzülme ve sünme gibi betona özgü deformasyonlar donatıyı da etkiler.<sup>(1)</sup>

#### 2. 3. 1 Eğilme Aderansı:

Eğilmeye çalışan bir betonarme elemanda momentin bir kesitten diğerine değişebilmesi için, donatıdaki gerilmenin, de değişmesi gerekir. Şekil 2.2' de gösterildiği gibi, donatıdaki gerilmenin değişebilmesi, ancak donatı çevresinde oluşan ve aderans gerilmesi olarak adlandırılan kayma gerilmeleri ile mümkündür. Denge koşulu nedeniyle,  $\Delta x$  uzunluğundaki çubuk çevresindeki etkiyen aderans gerilmelerinin toplamı, çubuğun iki ucundaki çekme kuvvetleri farkına eşit olmalıdır.

$$\tau_b(u) \Delta x = \Delta T = \Delta M/z \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemde,  $\tau$ , aderans gerilmesi,  $u$  ise çubuğun çevre uzunluğudur.  $\Delta M/\Delta x = V$  olduğundan, (2.2)

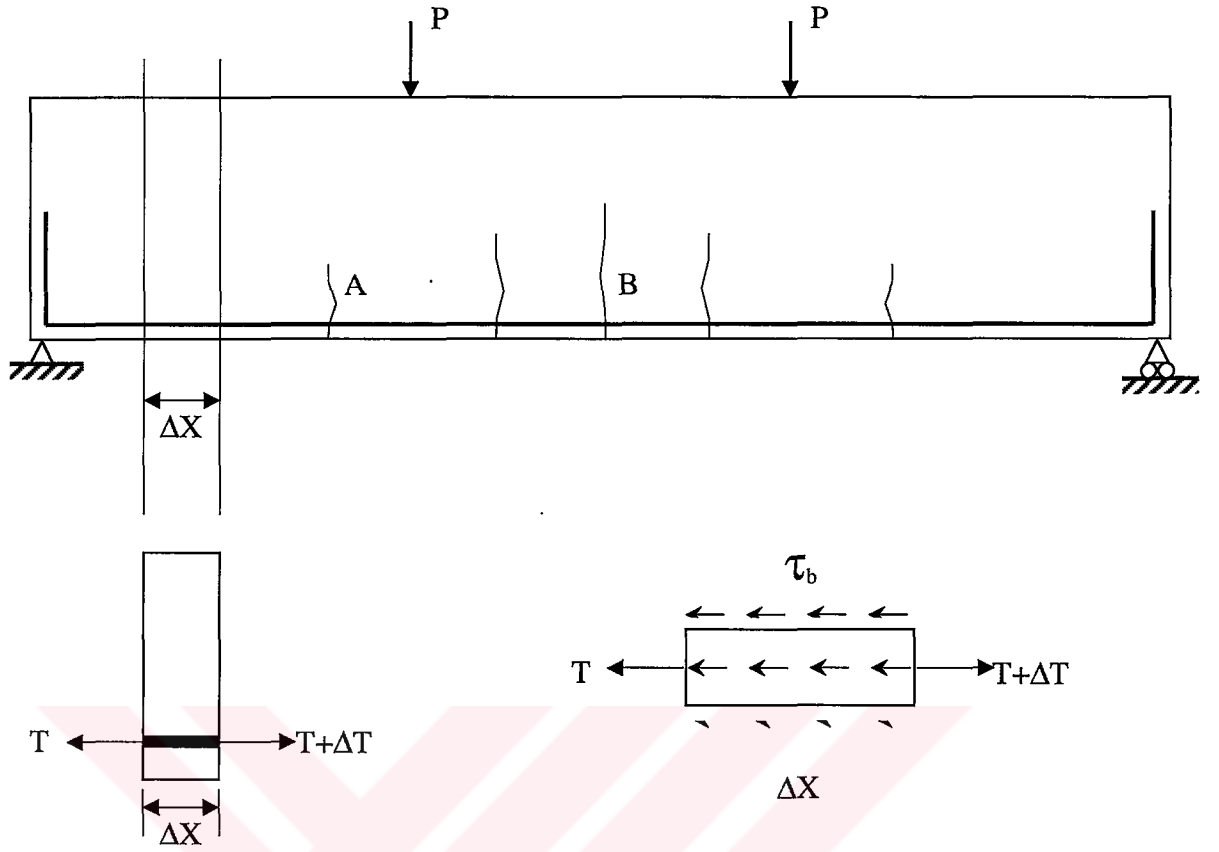
Denklem aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\tau_b = v/u(z) \quad (2.3)$$

$$V = (\Sigma A_s) f_{yd} \quad (2.4)$$

Denklem(2.3) ve (2.4) eğilme aderansı olarak tanımlanır.

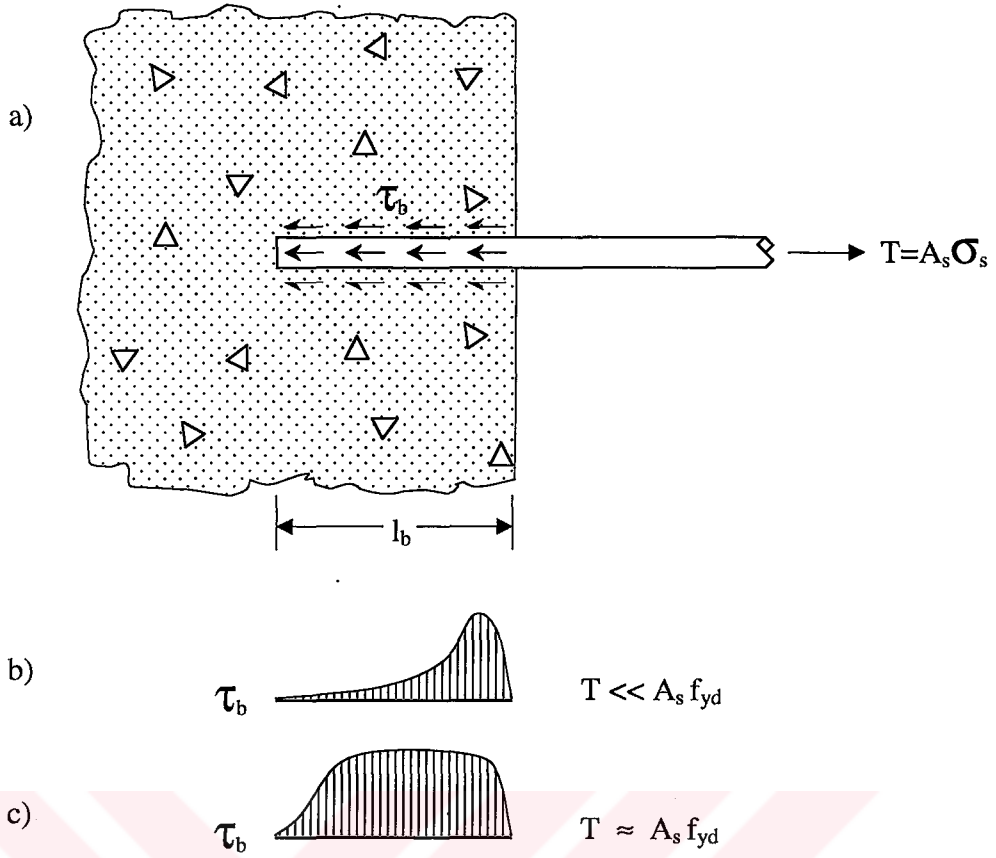




ŞEKİL 2.2 Eğilme Aderansı

### 2. 3. 2. Kenetlenme Aderansı:

Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüşse, çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütleyle yarabilir. Betona gömülen çubuk boyu, "kenetlenme boyu" olarak adlandırılır ve bu tür aderansa da "kenetlenme aderansı" denir. Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine eriştiğinde veya depremde olduğu gibi, akma ötesinde belirli bir birim deformasyona ulaştığında betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır.



ŞEKİL 2.3 Kenetlenme Aderansı

Şekil 2.3 (a)'da beton bir kütleyle 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  $\Sigma \tau_b = A_s f_{yd}$  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 2.3 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.

$$\Sigma \tau_b = T \quad T = A_s \cdot f_{yd} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} f_{yd} \quad (2.5)$$

$$\tau_b (\pi \cdot \phi) l_b = A_s \cdot f_{yd} = (\pi \phi^2 / 4) f_{yd} \quad (2.6)$$

$$l_b = \frac{f_{yd}}{4\tau_b} \phi \quad \tau_b = \frac{f_{yd} \cdot \phi}{4 \cdot l_b} \quad (2.7)$$

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

$$\tau_b = C_1 \cdot f_{ctd} \quad \text{ve} \quad \frac{1}{4C_1} = C_0 \quad \text{varsayılırsa,} \quad (2.8)$$

Denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$l_b = C_0 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \quad (2.9)$$

Denklem (2.9)’da, kenetlenme boyunu veren temel denklemdir. Katsayısı  $C_0$  ‘in deneysel olarak saptanması gerekir.

## 2. 4 Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması

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

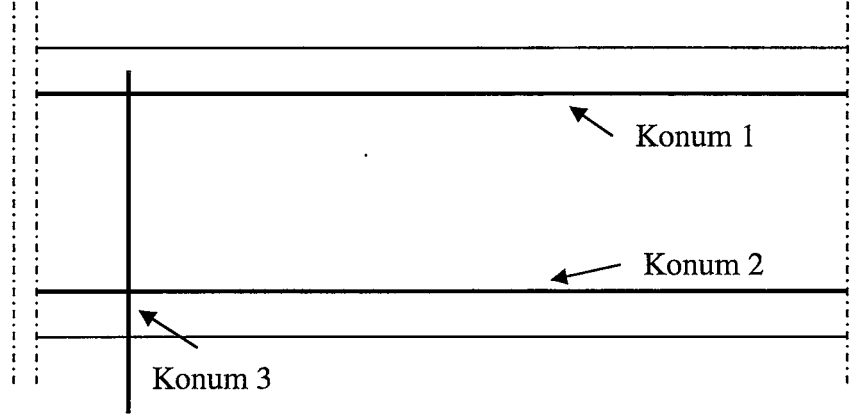
- a- Kimyasal : Çelik ve beton arasında "yapışma" olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri.
- b- Fiziksel : Beton ve çelik çubuk arasındaki pürüzlülüğten oluşan sürtünme kuvvetleri,
- c- Mekanik : Donatı çubuğu ve beton arasındaki mekanik dış kuvvetleri.

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

## 2. 5 Aderansa Tesir Eden Faktörler

Aderansa tesir eden faktörlerden önemlileri Özden. (1978) ve Ersoy (1987) 'a göre şöyle sıralanabilirler:

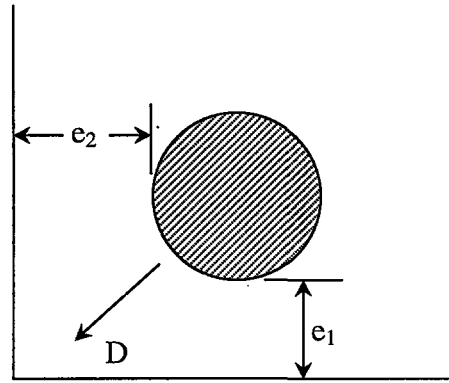
- a- Çelik çubuğun düz satırlı veya nervürlü oluşu: Aynı çaplı, aynı yerde kullanılan iki çubuktan yönetmeliklere uygun tarzda nervürlü olan çubuğun aderans emniyet gerilmesi, düz satırlı olan çubuğun emniyet gerilmesinin, beton tipine bağlı olarak, 2 ila 3 katıdır.



Şekil 2.4 Çelik Çubuğun Yer ve Konumu

- b-** Çelik çubuğun yer ve konumu: Aderansın iyi olabilmesi üzerine betonun çubuğu iyice sarmasının tesiri çok önemlidir. Bir kirişte Şekil 2.4'te üst kısımlarda betonun iyi sıkıştırılmaması, su/çimento oranının artması sonucu beton mukavemetinin azalması, üst çubukların altında betonun oturmasının alt çubuklara nazaran daha fazla olması, üstte veya üste yakın çubuklarda Şekil 2.4 'te 1 çubuğu gibi aderansın, alt çubuklara şekil 2.4'te 2 çubuğu gibi nazaran daha az olmasına sebep olmaktadır. Eğimi yatayla  $45^\circ$  ile  $90^\circ$  arası olan çubukları beton iyice sarabilmekte şekil 2.4'te 3 çubuğu gibi ve bunların aderansı 2 çubuğu kadar iyi olabilmektedir. Buna göre eğimi yatayla  $45^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında olan çubuklarla eğimi daha az veya yatay olup da betonun üst yüzeyinden en az 30 cm altta olan veya elemanın alt yarısı içinde bulunan çubukların yer ve durumları örneğin, konum 2 ve bu tanımın dışında kalan çubukların yer ve durumları konum 1 olarak isimlendirilebilir. Aynı bir çubuğun konum 2'deki aderansı, konum 1 'deki aderansından iki kat daha iyi olmaktadır.

- c- Elemana tesir eden yüklerde statik yüklerde statik yüklerin veya dinamik yüklerin hakim oluşu: Dinamik yüklerin hakim olduğu yapılarda aderansın devamlılığı zamanla bozulabilmektedir. Buna meydan vermemek için bu durumda kabul edilebilir maksimum aderans gerilmesini, statik yüklerin hakim olduğu hale nazaran daha küçük olarak tespit etmek zorunludur.
- d- Çubuğun kenar çubuk veya iç çubuk oluşu: Bir kesitte kenar çubuğun aderansı, kenardaki beton tabakası ince olduğu ve kolaylıkla enine deformasyon yaptığı için bir iç çubuk kadar iyi olmaz. Aderansın yeteri kadar iyi olması için beton çubuğu kenar ve alttan saran beton tabakasının bir minimum kalınlığı olmalıdır. Şekil 2.5 'te bu kalınlık özellikle nervürlü çubuklarda, Şekil 2.5'te görülen köşeye doğru olan D kuvvetleri sebebiyle betonun çatlamaması için de lazımdır. Yalnız bu sebeplerle, betonun içinde bulunduğu çevre şartlarını, karbonatlaşma olayını ve yangına karşı dayanıklılık gibi hususları düşünmeden, şeklideki  $e_1$  ve  $e_2$  mesafelerinin, BS 14 için 1.5 cm ile  $\phi$  çubuk çapı ve maksimum dane çapından büyüğü kadar olması lazımdır, denebilir.



Şekil 2.5. Pas Payları

- e- Enine donatı: Enine donatı, ankraj yerlerinde beton örtü tabakasının ince olduğu durumlarda ve özellikle nervürlü çubuklar kullanılması halinde, çubuklar boyunca meydana gelebilecek çatlakların ilerlemesine ve genişlemesine mani olur. Boyuna bir çatlak meydana geldiğinde, enine donatı bulunmazken aderansın sıfıra ineceği açıktır. Enine donatının varlığı halinde aderans küçülür, fakat yok olmaz, ankraj bölgesi büyüyerek çubuktaki kuvvet dengelenebilir. Enine donatı, kirişlerde eğilme aderans gerilmesinin büyük olduğu yerlerde (genellikle mesnetler civarı) beton örtü tabakasının yarılmamasını önlemekte faydalı olduğu gibi çubukların bindirme eklerinde dikiş donatısı rolünü oynar.
- f- Betonun çekme dayanımı: Nervürlü çubuklarla donatılmış elemanlarda kırılma yarıma ile olacağından, çekme dayanımı özellikle önemlidir.
- g- Çeliğin akma dayanımı: Kenetlenme boyunca aderans gerilmesi dağılımını etkileyeceğinden dolayı önemlidir.
- h- Donatı çapı: Çapı değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Ayrıca, yarıma kırılmasında betonda oluşan çekme gerilmeleri de çapla orantılı olmaktadır.
- i- Kenetlenme boyu: Aderans kenetlenme boyu ile değişir. Ancak aderans dayanımı, kenetlenme boyu ile orantılı değildir, yani kenetlenme boyunun iki katına çıkarılması, aderans dayanımının iki kat arttığı anlamına gelmez.
- j- Yerel gerilmeler: Yerel gerilmeler de aderansı etkileyebilir. Örneğin, mesnedin uyguladığı yerel basınç gerilmeleri, özellikle nervürlü donatı kullanılan durumlarda yarılmayı geciktirebilir.

**k-** Kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri de aderansı etkiler. Örneğin, hafif agrega ile yapılan betonun aderans dayanımı, normal agregayla yapılan orana daha düşüktür.

Yukarıda sözü edilen çok sayıda faktörün, aderans dayanımını, kenetlenme boyunu etkimesi nedeniyle, çıkarılan teorik formüllerin sağlıklı olduğunu söylemek doğru değildir. Özellikle nervürlü donatı kullanılması durumunda olay daha da karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle aderans dayanımlarını ve aderans ile ilgili parametreleri, deneyler sonucu belirlemek en akılcı yöntemdir.

## **2. 6. 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.

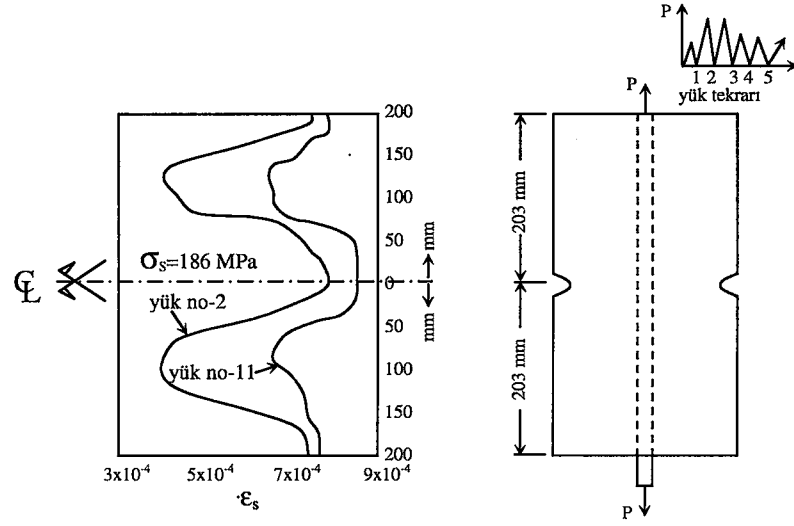
Kenetlenme mekanizmasında, nervürlerin betona tam olarak yaslanabilmesi için, çubuğun betona göre bir miktar kayması gerekmektedir. Bu aşamada Şekil 2.6 'da gösterildiği gibi, donatı çubuğu çevresinde iç çatlaklar oluşacaktır. Bu nedenle, yük boşaltıldığında (donatıda gerilmenin sıfır olduğu durum) donatının 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 2.6'da, 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 2.6'da eleman boyunca donatıda ölçülen birim uzamalar gösterilmiştir. ( $\sigma_s=1860 \text{ kgf/cm}^2$ ). 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 2.6'da 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.

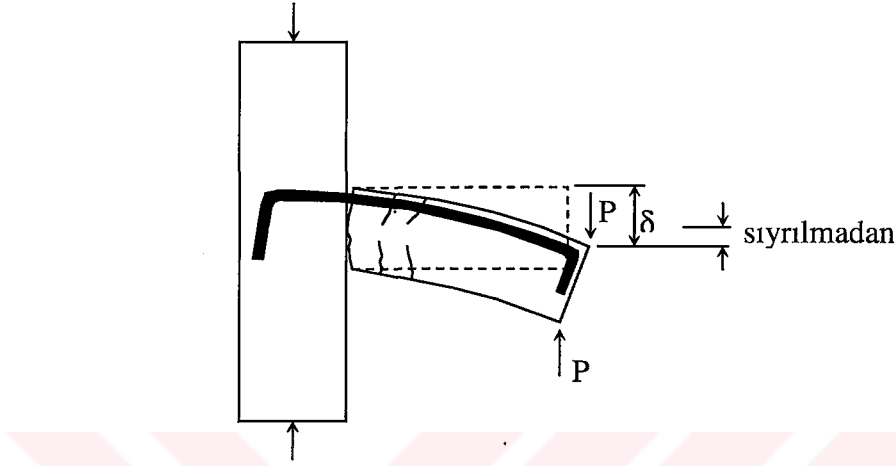


ŞEKİL 2.6 Tekrarlanan Yük Altında Aderansta Zayıflama

Donatının iki yönde de sıyrılması ve yaslandığı beton dişi ezmesi, aderansta büyük çapta zayıflamalara neden olacaktır. Yapılan deneyler, aderans 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 aderansı çok daha fazla zayıflatmaktadır.

Aderans zayıflaması nedeni ile rijitlikte gözlenen azalmanın, eleman ve yapının deplasmanını artırıp, enerji yutma kapasitesini azaltacağı söylenmişti. Aderans zayıflamasına örnek olarak, bir kenar kiriş-kolon birleşimi ele alınacaktır. Şekil 2.7 'de 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 2.7 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>(3)</sup>

## **2.7. Deneysel Çalışma**

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

#### **2.7.1.1 Agregaların Özellikleri:**

Beton karışımında; kaba agregalar olarak kırma taş, ince agregalar olarak da yıkanmış Kızılırmak kumu kullanılmıştır. Karışımında kalıp boyutları göz önüne alınarak maksimum agregaların çapı  $D_{maks}=16$  mm olarak seçilmiştir.

Agregaların deneyleri, TS 706 Beton Agregaları ve TS 802 Beton Karışım Hesapları standartlarına uygun olarak Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve agregaların dane dağılım grafiği çizilmiştir.

#### **2.7.1.2 Elek analiz sonuçları**

Elek analizleri TS 130 'da öngörülen elek serisi kullanılarak standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Granülometri eğrileri Şekil 2.8'de verilmektedir.

#### **2.7.1.3 Çelik donatının özellikleri**

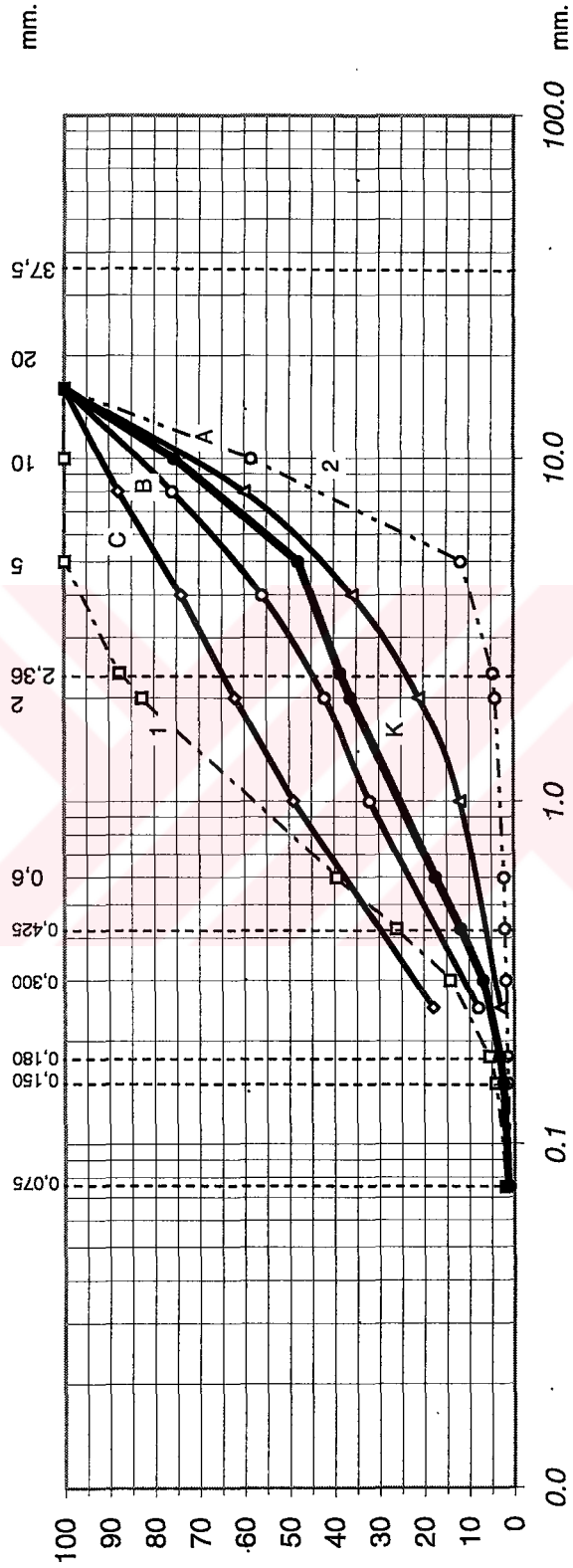
Deneylerde 35 cm boyunda, 12 mm. çaplı nervürlü donatı kullanılmıştır. Daha sonra 25 cm. olacak şekilde kısaltılmıştır.

#### **2.7.1.4 Beton karışım oranları**

BS20 beton sınıfı için karışım lar TS 802 standardına uygun şekilde hazırlanmıştır. Beton karışım larında herhangi bir katkı maddesi kullanılmamıştır.



### Dane Çapı Dağılımı Eğrisi



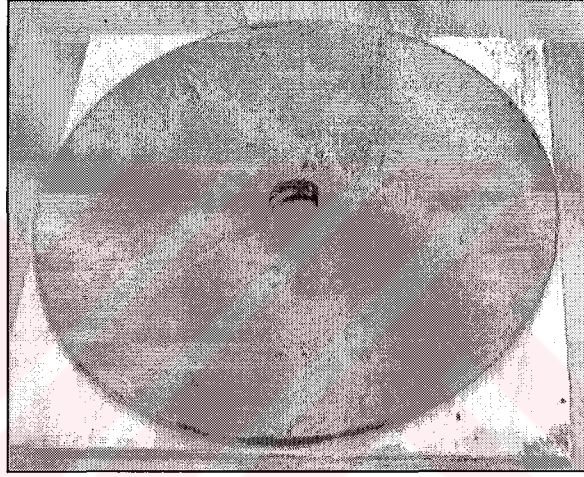
SİLT+KİL                      KUM                      ÇAKIL

Numune No	ÇAKIL (%)	KUM (%)	SİLT (%)	KİL (%)	D60	D30	D10	Cu	Cc
1	17.4	80.8	1.8						
2	96.0	3.0	1.0						
Karışım	63.8	34.9	1.3						

### 2.7.1.5 Beton Deney Programı ve Deney Numunelerinin Hazırlanması

Basınç deneyinde 15x30 cm.lik standart silindir kalıplar kullanıldı. Orta ekseninde çelik donatı bulunmayan silindir beton numunelerin üç tanesi basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Kırıkkale Üniversitesi Laboratuvarlarında yapılan aderansta yorulma deneylerinde beton sınıfı (BS20) ve donatı ( $\varnothing 12$  nervürlü) sabit tutuldu. Uygulanan dinamik yük değişken olarak kullanıldı.

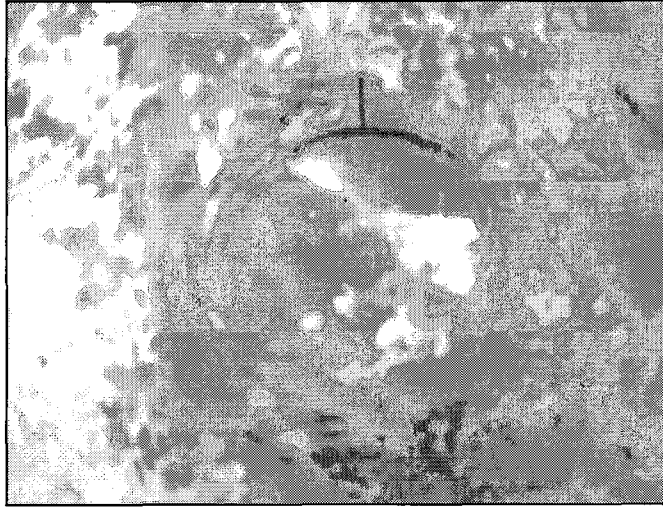


Fotoğraf 2.1 Çelik Plaka

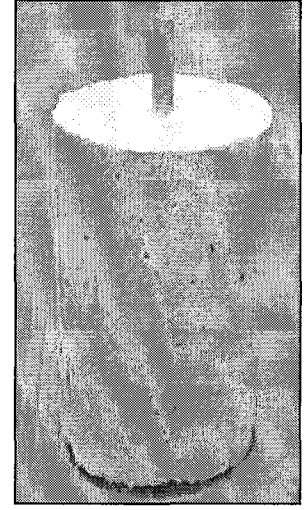
Aderansta yorulma deneyinde çekme çubuğunu merkezde sabitlemek için ortası delikli daire şeklinde çelik plakalar hazırlandı. Fotoğraf 2.1

Bu plakalar 15x30 silindir kalıplara beton dökülmeden önce özenle yerleştirildi. Sonra  $\varnothing 12$ lik nervürlü donatılar bu plakaların ortasına gelecek şekilde yerleştirildi. BS20 betonu kalıplara döküldükten sonra donatıları sabitlemek için hazırlanan plakalardan dökülen betonun üzerine de yerleştirildi. Fotoğraf 2.2 'de görülmektedir. Numuneler prizini aldıktan sonra kalıptan çıkarılarak kür havuzuna donatıları ıslanmayacak şekilde bırakıldı. Fotoğraf 2.3 'de görülmektedir.



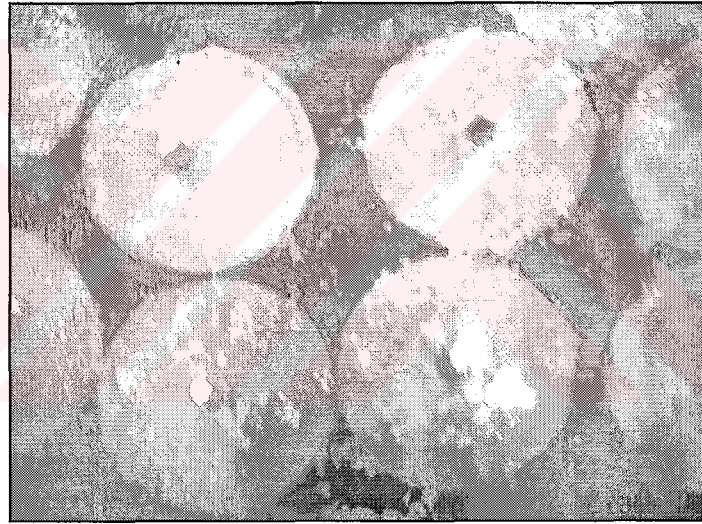


a



b

Fotoğraf 2.2 Beton Numuneler



Fotoğraf 2.3 Kür Havuzundaki Beton Numuneler

Örnekler standart sıcaklık koşullarında ( $23 \pm 2$  °C ) laboratuvar ortamında su içinde tutulmuştur. Basınç dayanımı ölçülecek numuneler 7 gün su içerisinde, adansta yorulma deneyine tabi tutulacak numuneler 28 gün su içerisinde bırakılmıştır. Standart silindir numuneler su içine bırakıldıktan 7 gün sonra basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Çelik donatılı numunelerin boyları 15 cm kısaltılarak,

28 gün sonra dinamik yükleme altında aderansta yorulma deneyine alınmıştır. elik donatılı 15x30 ve 15x15 silindir numuneler aşağıdaki fotoğrafta görülmektedir.



Fotoğraf 2.4 Numunelerin Kesilerek Hazır Hale Getirilmesi

Araştırmalarda basınç deneyi için 3, aderansta yorulma deneyi için 23 silindir örnek üzerinde çalışılmıştır. .

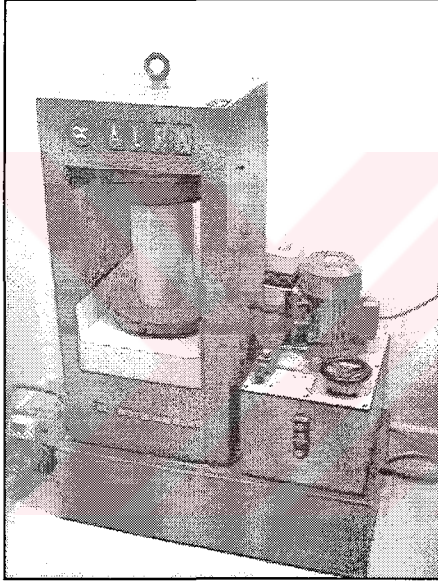


## 2.7.2. Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

### 2.7.2.1. Beton Basınç Dayanım Deneyi

15x30 cm.lik standart silindir beton numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

Numuneler deney presine TS 3114 'ün öngördüğü şekilde yerleştirildi ve deney numunesi kırılıncaya kadar devam edildi.



Fotoğraf 2.5 Basınç Test Cihazı

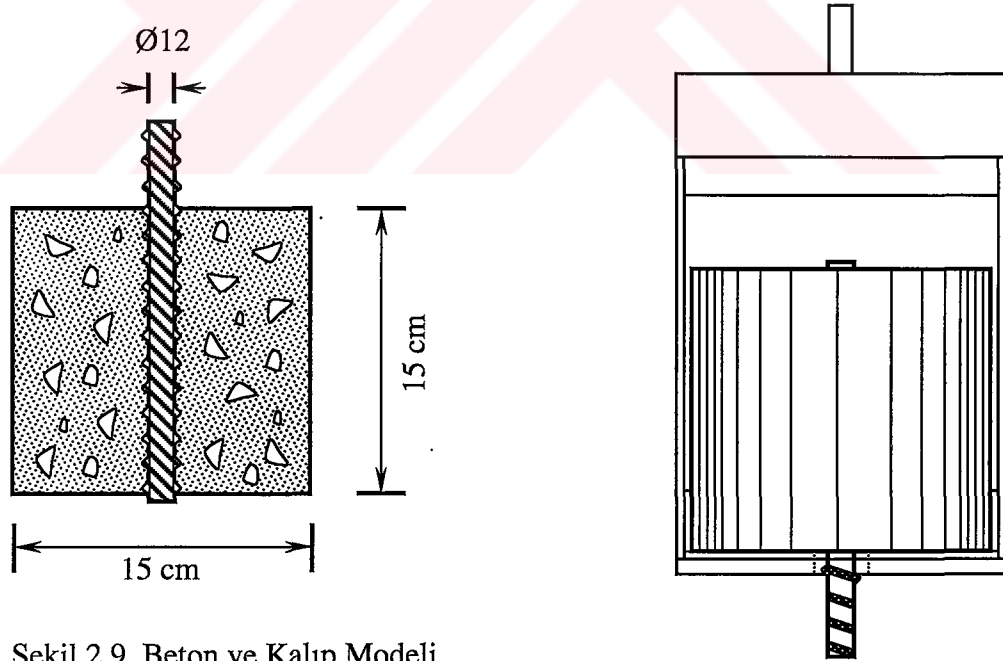
Basınç dayanımı deneyi, üç numune üzerinde yapıldı. Deney numunesinin kırıldığı andaki değeri bilgisayardan okunup kaydedildi. Ortalama basınç dayanımı değeri öngörülen BS20 mukavemet değerini sağlamıştır. Sonuçlar Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Beton Basınç Deneyi Sonuçları

Numune No	1	2	3	Beton Özgül Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
7 günlük silindir test basınç mukavemeti ( $\frac{kg}{cm^2}$ )	157,30	142,04	148,26	
28 Günlük Silindir Bas. Muk.(MPa)	23,40			2371,68
Betonun Cinsi	C20(BS20)			

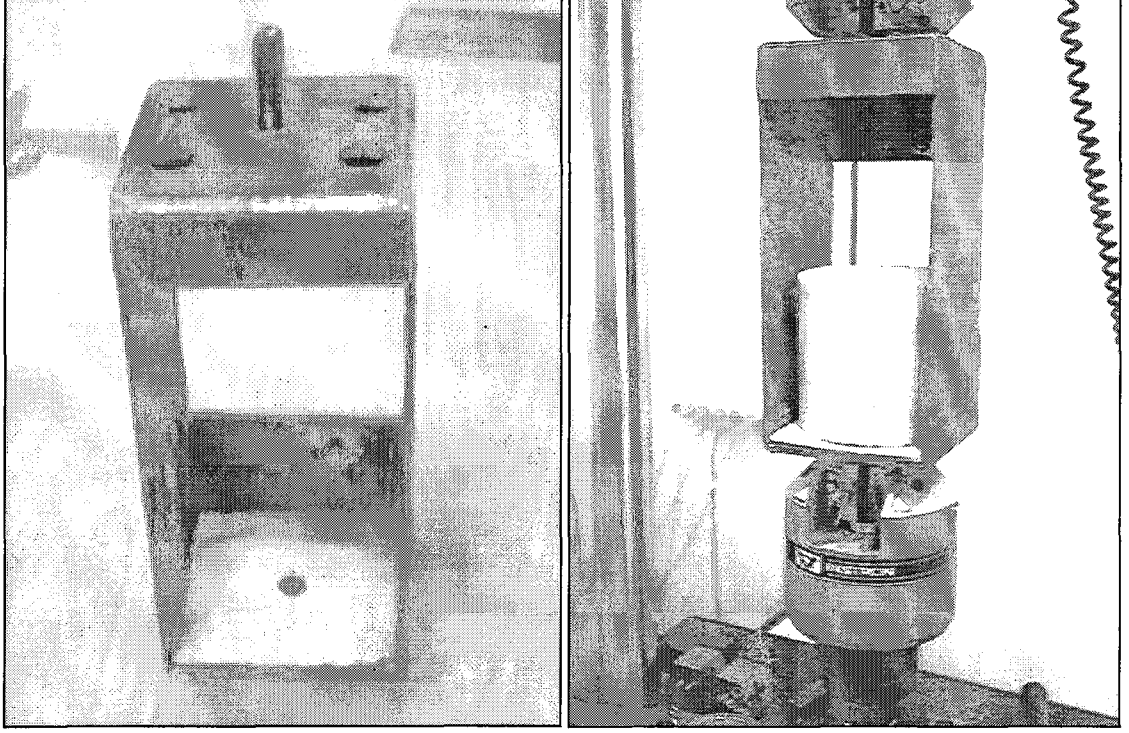
### 2.7.2.2. Aderansta Yorulma Deneyi

BS20 beton sınıfına ait 15x30 cm boyutunda üretilen daha sonra kesilerek 15x15 cm. haline getirilen orta ekseninde  $\varnothing 12$ 'lik nervürlü çelik çubuk bulunan numunelerin, 28 gün su içerisinde standardın öngördüğü şekilde kür uygulandıktan sonra, aderansta yorulma deneyleri yapılmıştır.



Şekil 2.9. Beton ve Kalıp Modeli

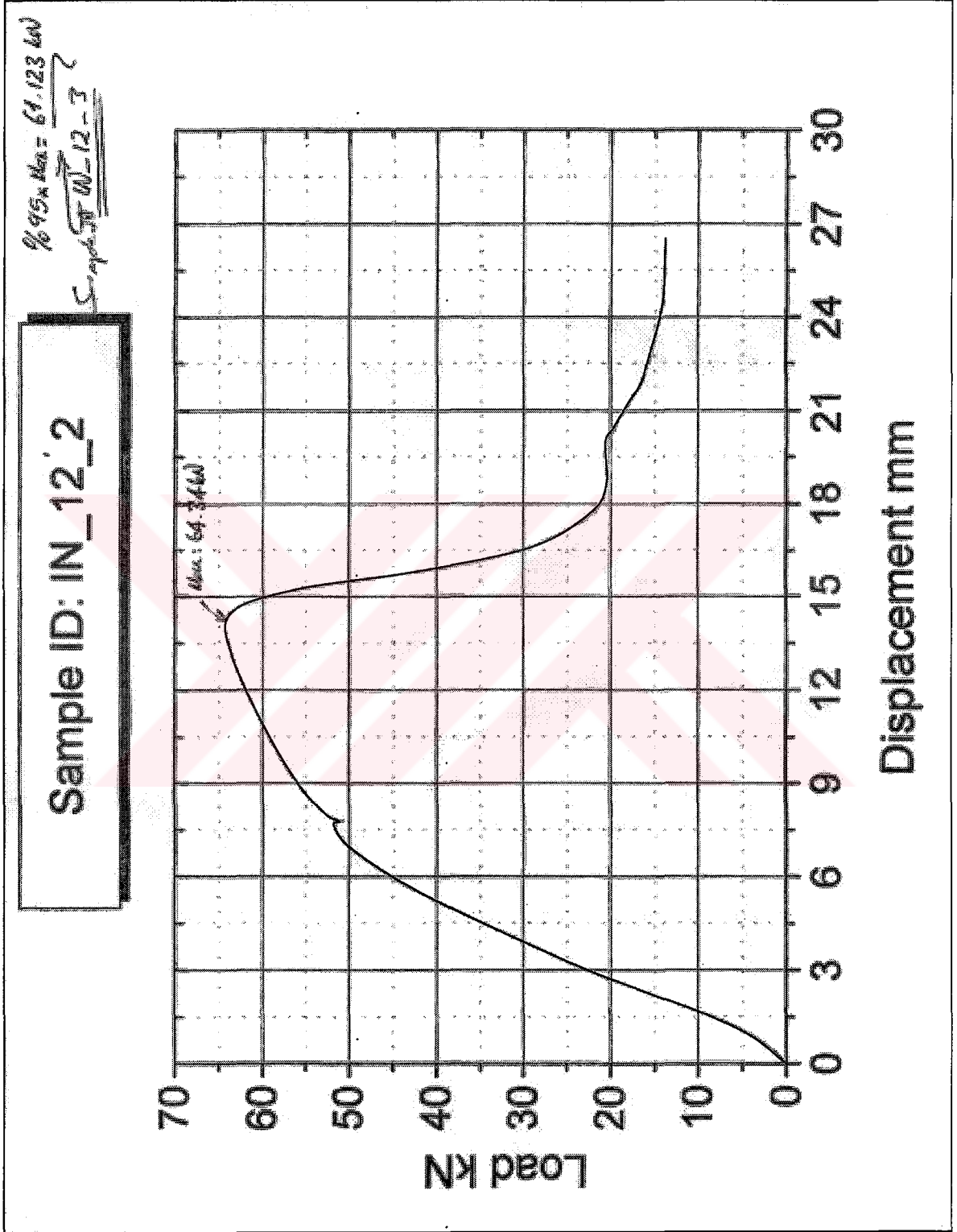
Numunelere istenilen yükleme tipini uygulayabilmek için yukarıdaki test kalıp modeli geliştirilmiştir.



Fotoğraf 2.6 Kalıp ve Kalıp +Numune +Dinamik Yükleme Cihazı

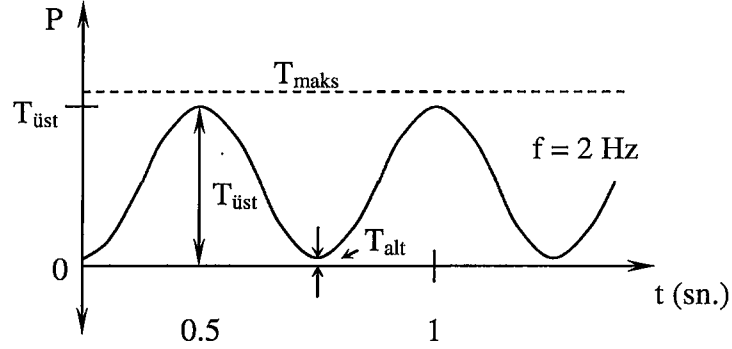
Cihazın mevcut yazılımı dinamik yüklemenin grafiklerini çizmeye uygun değildir. Uygulanacak yük miktarı (maksimum ve minimum değerleri), frekansı, yükleme tipi (sinüzoidal, testere dişi, kare dalga gibi), emniyet sınırları (ani göçme durumlarında sistemin otomatik olarak yükü boşaltması ile ilgili parametreler) ve benzeri bilgiler cihazın kumanda panelinden girilmiştir.

Öncelikle çelik kalıp deney aletine takıldıktan sonra numune test kalıbı içerisine yerleştirildi. Önce statik olarak T çekme kuvveti ile nervürlü çubuk çekilip betondan sıyrıldı. Çelik donatının betondan sıyrıldığı andan bir süre sonra deneyin yapıldığı sistem durduruldu. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değerini ve yük-uzama grafiğinin çıktısı alındı. Bu değer ve Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

Daha sonra statik çekme deneylerinden elde edilen veriler ışığında dinamik yükleme deneylerine geçilmiştir.



Şekil 2.11 Sabit Frekans Değişken Genlikli Sinüzoidal Dinamik Yük Eğrisi

İlk olarak, statik çekme deneyinden elde edilen maks. T çekme kuvvetinin %90, %95 ve %98'i alınarak dinamik yüklemeler yapılmıştır. Minimum değer olarak ise maksimum çekme kuvvetinin %5'i uygulanmıştır. Yükleme frekansı 2 Hz. alınmıştır. Frekans sabit tutularak 3000 saykılık yükleme yapılmıştır. Her bir yükleme 25 dakika sürmüştür.

$$T_{üst1} = 0,95 \cdot T_{maks} , \quad T_{üst2} = 0,95 \cdot T_{maks} , \quad T_{üst3} = 0,98 \cdot T_{maks}$$

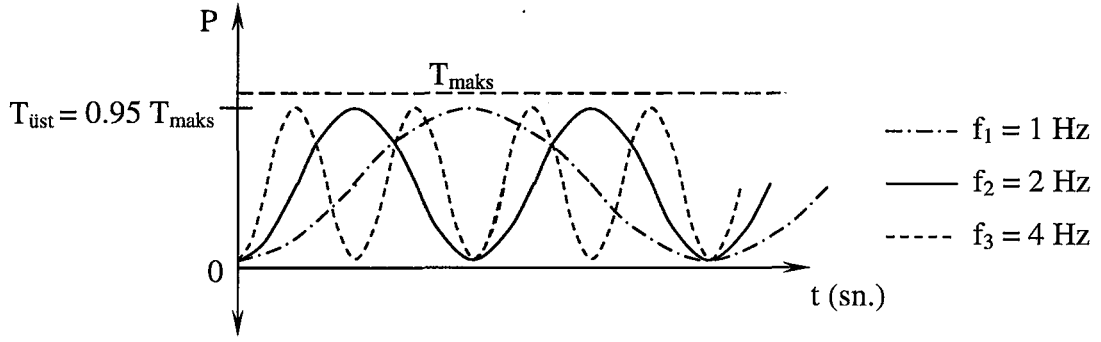
$$T_{alt} = 0,05 \cdot T_{maks}$$

$$f = 2 \text{ Hz.} \quad S_{toplam} = 3000 \text{ saykıl}$$

$$t = \frac{S_{toplam}}{60 \cdot f} = \frac{3000}{60 \cdot 2} = 25 \text{ dak.} \quad (2.10)$$

Dinamik yüklemelerle yorulan numuneler tekrar statik çekme deneyine alınarak yorulmanın varlığı araştırılmıştır.





Şekil 2.12 Değişken Frekans Sabit Genlikli Sinüzoidal Dinamik Yük Eğrisi

İkinci olarak, statik çekme deneyinden elde edilen maks. T çekme kuvvetinin %95'i sabit alınarak dinamik yükün frekansı değiştirilmiştir. Yükün frekansı 1, 2, ve 4 Hz. alınmıştır. Minimum değer olarak ise yine maksimum çekme kuvvetinin %5'i uygulanmıştır. Genlik sabit tutularak 3000 sayıklık yükleme yapılmıştır.

$$T_{üst} = 0,95 \cdot T_{maks}$$

$$T_{alt} = 0,05 \cdot T_{maks}$$

$$S_{toplam} = 3000 \quad f_1 = 1 \text{ Hz.} \quad f_2 = 2 \text{ Hz.} \quad f_3 = 4 \text{ Hz.}$$

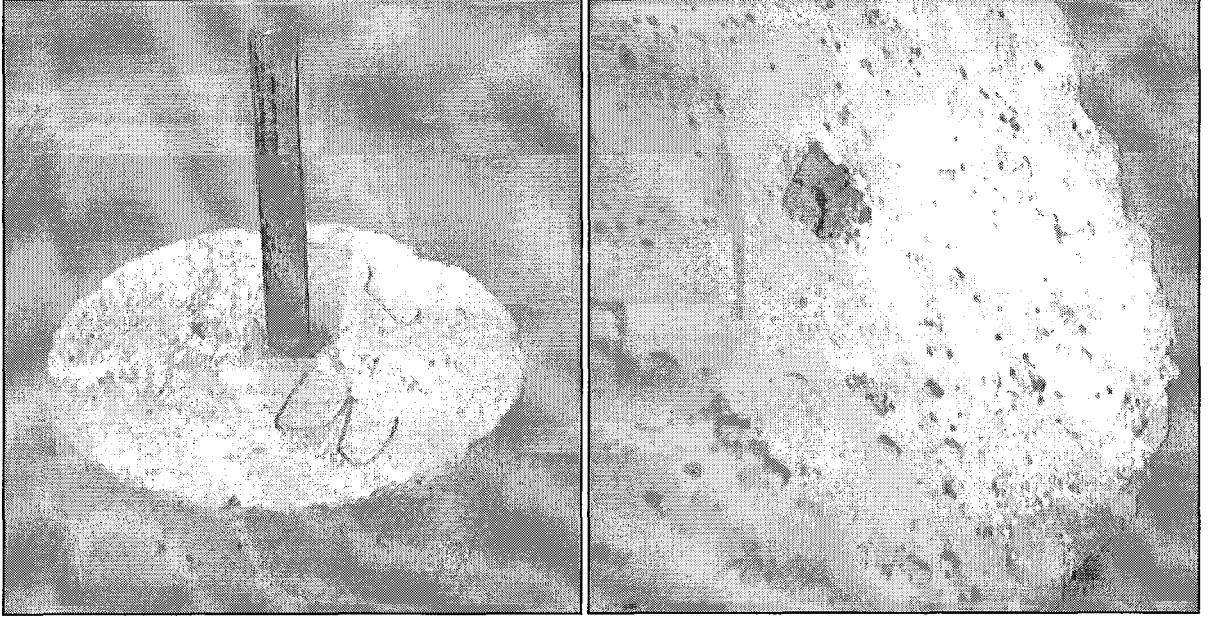
$$t_1 = \frac{S_{toplam}}{60 \cdot f} = \frac{3000}{60 \cdot 1} = 50 \text{ dak.} \quad (2.11)$$

$$t_2 = \frac{S_{toplam}}{60 \cdot f} = \frac{3000}{60 \cdot 2} = 25 \text{ dak.} \quad (2.12)$$

$$t_3 = \frac{S_{toplam}}{60 \cdot f} = \frac{3000}{60 \cdot 4} = 12,5 \text{ dak.} \quad (2.13)$$

Dinamik yüklemelerle yorulan numuneler tekrar statik çekme deneyine alınarak yorulmanın varlığı araştırılmıştır.



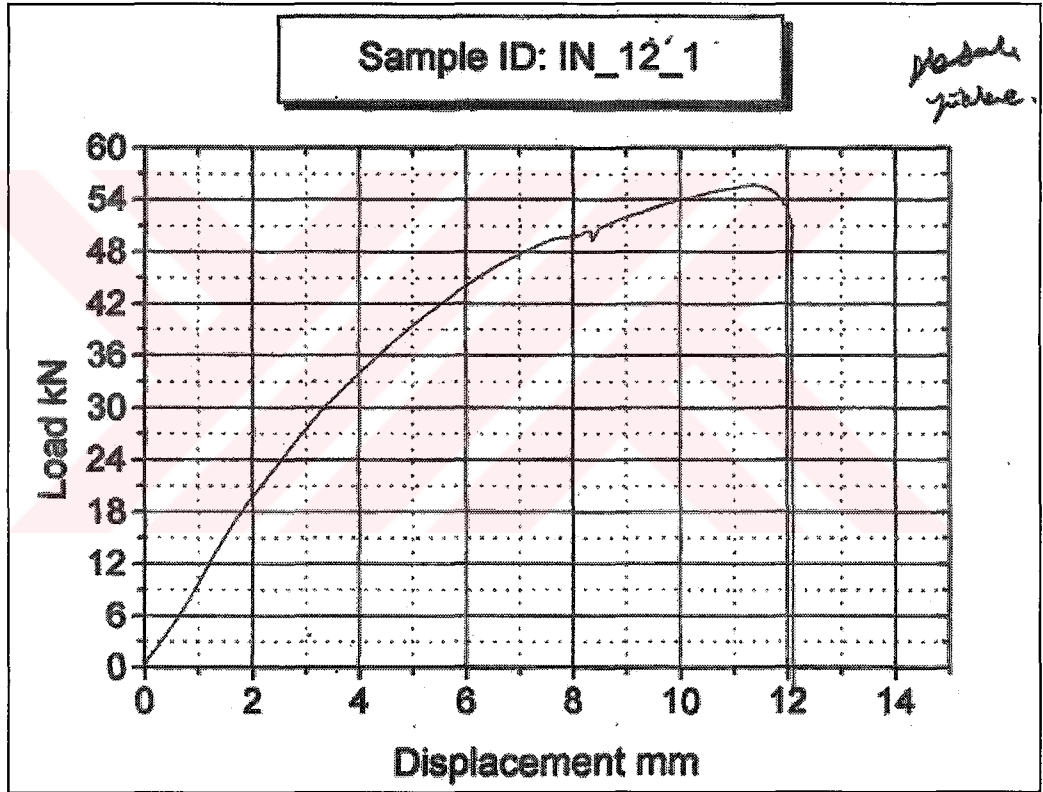


**Fotoğraf 2.7** Numunelerin Dinamik+Statik Deneylemlerden Sonra Aldığı Şekil

Fotoğraf 2.7 'de dinamik yüklemesi yapıldıktan sonra tekrar statik yüklemesi yapılmış bir numunenin donatısının sıyrılmış hali yer almaktadır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneme amaçlı ilk test edilen 15x30 boyutundaki numunenin kalıba oturan yüzeyindeki pürüzler ve eğrilik nedeniyle test esnasında betonda istenmeyen çekme/kayma gerilmeleri oluşturmuştur. Bu da numunenin aniden yarılarak erken göçmesine neden olmuştur. Bu yüklemenin grafiği Şekil 3.13’de verilmiştir.

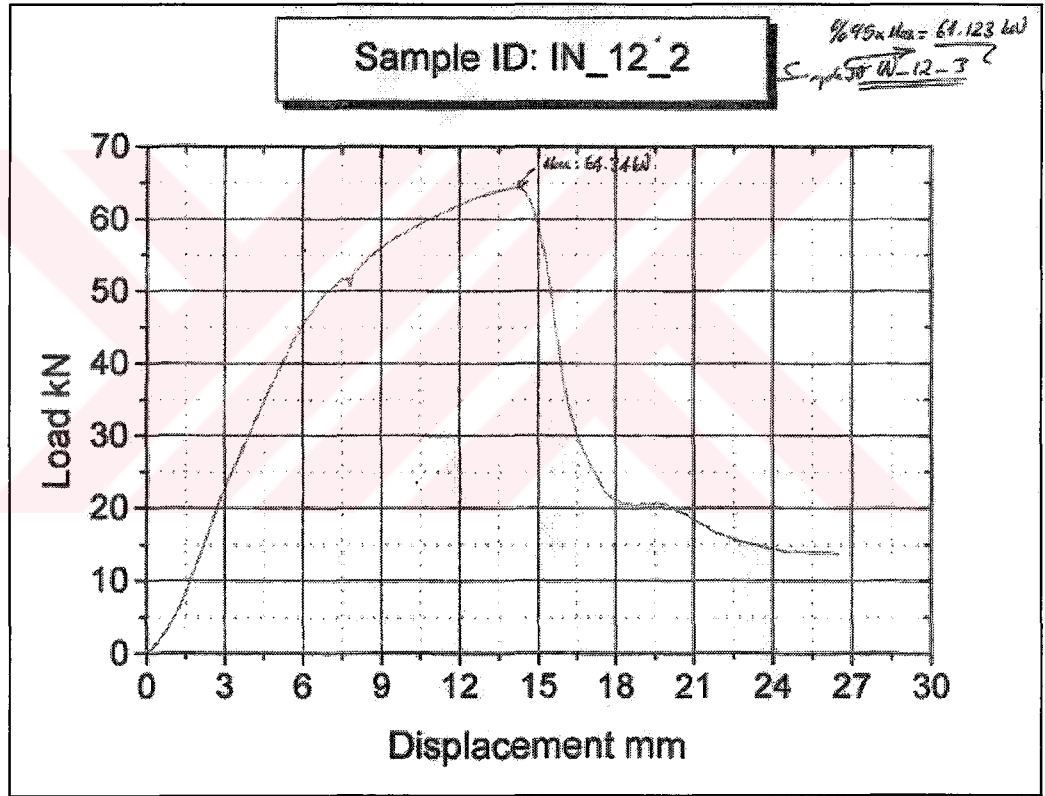


Şekil 3.13. Test Edilen 15x30 Boyutundaki Numunenin Yük-Deplasman Grafiği

Şekil 3.13’te görüldüğü üzere ani yarıma neticesinde erken göçmeye uğrayan numunenin yükü dinamik yükleme cihazı tarafından otomatik olarak durdurulmuştur. Bu deneyde okunan maksimum çekme yükü yaklaşık 56 kN ‘dur.

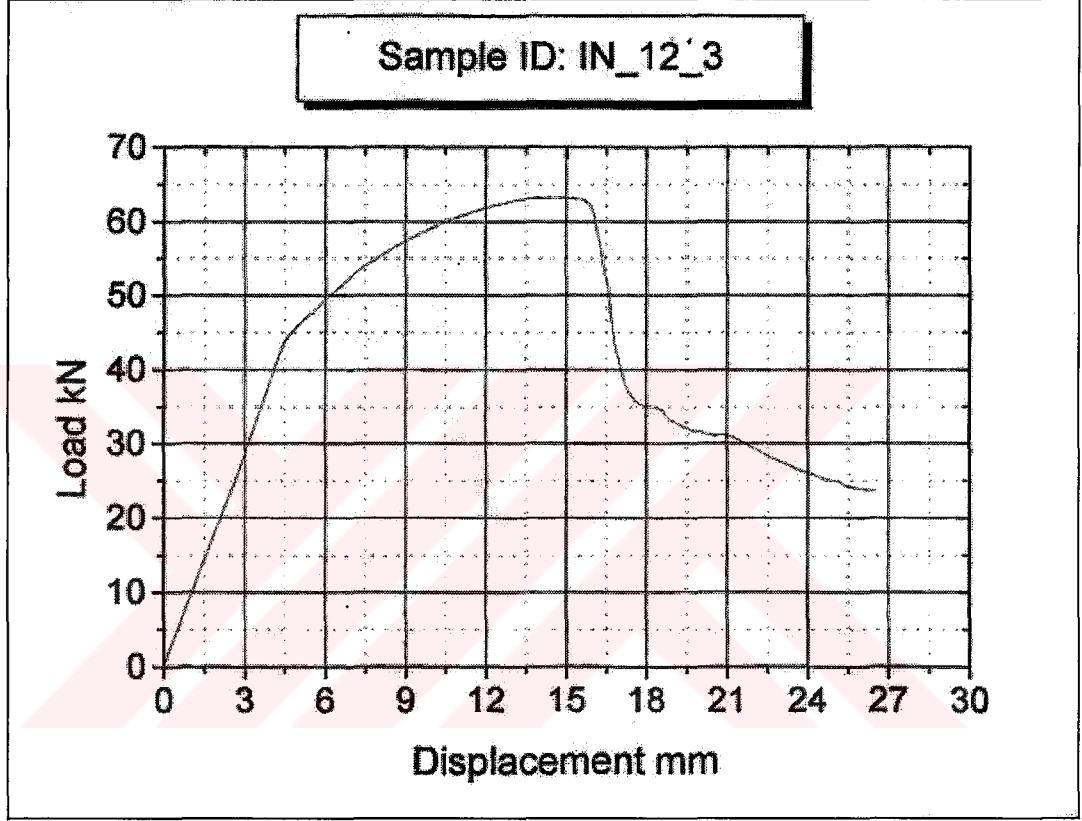
Cihazın kapasitesinin 100 kN olduğu göz önünde bulundurularak diğer test edilecek numunelerin boyutları 15x15 olarak değiştirilmiştir. Ayrıca test esnasında oluşabilecek yanlış mesnetlenmelerin önüne geçebilmek ve uniform yük dağılımını sağlamak amacıyla kalıp ile beton arasına ortası delikli her test için değiştirilebilen kontra plak levhalar eklenmiştir.

Statik çekme deneylerinde elde edilen maks. T kuvvetinin değerleri ve yük-uzama grafikleri aşağıda şekil 3.14 'te verilmiştir.



şekil 3.14. Statik Test sonucu Elde Edilen 15x15 Boyutundaki Numunenin Örnek  
Yük-Deplasman Grafiği

Şekil 3.14 'te örnek grafiği verilen numunenin maksimum statik çekme yükü 64.34 kN olarak belirlenmiştir. Bu değer baz alınarak statik yükün %95'i ile yapılan 2 Hz frekansındaki dinamik yükleme testinde 3000 sayıklık yükleme yapılmış ancak herhangi bir göçme olmamıştır. Dinamik yüklemenin ardından aynı numune tekrar statik olarak yüklendiğinde Şekil 3.15'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.15. Dinamik+Statik Test Sonucu Elde Edilen 15x15 Boyutundaki Numunenin Örnek Yük-Deplasman Grafiği

Şekil 3.15 'de görüldüğü üzere dinamik yüklemeye sonra yapılan statik çekmenin maksimum değeri 63.33 kN'dur.

Burada statik yüklemeye elde edilen maksimum çekme kuvveti kullanılarak;

$$T = 64,34 \text{ kN.} \quad \phi = 12 \text{ mm.} \quad l = 150 \text{ mm.}$$

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4} l = 16964,60 \text{ mm}^2 \quad T = 64340 \text{ N.} \quad (3.13)$$

$$\tau = \frac{T_{\text{maks}}}{A} = 3,79 \text{ MPa} \quad (3.14)$$

olarak bulunmuştur.

Dinamik yükleden sonra yapılan statik yükleden elde edilen maksimum çekme kuvveti kullanılarak;

$$T = 63,33 \text{ kN.} \quad \phi = 12 \text{ mm.} \quad l = 150 \text{ mm.}$$

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4} l = 16964,60 \text{ mm}^2 \quad T = 63330 \text{ N.} \quad (3.15)$$

$$\tau = \frac{T_{\text{maks}}}{A} = 3,73 \text{ MPa} \quad (3.16)$$

olarak bulunmuştur.

İkisi arasındaki aderans gerilmesi azalması ise

$$\left( \frac{3,79}{3,73} - 1 \right) \times 100 = 1,6 \text{ 'dır.} \quad (3.17)$$

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan statik ve dinamik deneyler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Statik yükleme ile dinamik yükleme yapıldıktan sonra tekrar statik test edilen numunelerin aderans gerilmeleri arasındaki fark %1,6 gibi çok küçük bir değer çıkmıştır. Bu değer beklenenin aksine beton-nervürlü donatı arasındaki aderanstaki yorulmanın olmadığını göstermektedir.

Deney modelinde beton içerisinde çekme gerilmesi oluşmadığından herhangi bir ilerleyen kırılma meydana gelmemiş, dolayısıyla açılan ve kapanan çatlak hareketinden kaynaklanan yorulma da gözlemlenmemiştir.

Dinamik yükleme deneylerinde yükün frekansının (tekrarlama sıklığının) etkisi de araştırılmış, ancak değişen frekansa mukabil yorulma bakımından herhangi bir değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır.

### *Öneriler*

İleriki çalışmalar için aşağıda belirtilen konularda öneriler yapılmaktadır.

- a- Beton numunelerin dayanımları, donatıların gömme derinlikleri, betonda kullanılan agrega boyutları, test modeli değiştirilerek aderansta yorulma incelenebilir.
- b- Deney ekipmanı ve deney süresi göz önüne alınarak dinamik yüklemede bazı frekans (1, 2, 4 Hz.) ve saykılıarı (3000 say.) alındı. Bu değerler de değiştirilerek ileri çalışmalar yapılabilir.



## KAYNAKLAR

1. Zekai Celep, Nahit Kumbasar, Betonarme Yapılar, İstanbul, 1998
2. Turhan Y.Erdoğan, Beton, O.D.T.Ü, 2003
3. Uğur Ersoy, Betonarme, O.D.T.Ü, 1985
4. Larsson, 1958 and Saillard, 1960
5. Ferguson; P.M. , 'Reinforced Concrete Fundamentals', John Willey and Sons,, New york, 1979, 4.th Edition, pp. 169–210
6. Bresler, B. , and Bertero, V. , 'Behavior of Reinforced Concrete Under Repeated Load', Proceedings, ASCE, V. 94, ST6, June 1968
7. Ersoy, U., Karaesmer, E. ve Yaltkaya, E., (1969).Nervürlü Tor Çeliklerin Özellikleri, Ankara
8. Takeda, t., Sozen, M.A., and Nielsen, N.N., 'Reinforced Concrete Response to Simulated Erthquakes', Proceedings, ASCE, V. 96, ST12, Dec. 1970
9. Ismail, M.A.F., and Jirsa, J.O., 'Bond Deterioration in Reinforced Concrete Subjected to Low Cycle Loading', Journal of ACI, Proc. V. 69, June 1972
10. Naaman, A.E., and Shah, S.P., 1976, Pull-Out Mechanism in Steel Fibre Reinforced Concrete, Proceedings, ASCE, V.102, ST8
11. Pinchin ve Tabor, 1978
12. Burakiewicz, A., 'Testing of Fibre Bond Strength in Cement Matrix, RILEM Symposium, 353-365 pp., 1978
13. Popov, 1984

14. Gopalaratnam, V. S., and Abu-Mathkour, H. J., Investigation of Pull-Out Characteristics of Steel Fibers from Mortar Matrices, Proceedings, International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, 2.201-2.211, 1987
15. Naaman, A. E., and Husamuddin, N., Bond-Slip Mechanisms of Steel Fibers in Concrete, ACI Materials Journal, 88-m17,135-145pp., 1991
16. Larrard, F., Schaller, L., and Fuchs, J., Effect of Bar Diameter on the Bond Strength of Passive Reinforcement in High Performance Concrete, ACI Materials Journal, 90-M-333-339 pp., 1993
17. Vedat Yerlici ve Turan Özturan, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt 13, Sayı 1, Ocak2002
18. Gambarova, P., G., and Rosati, G., P., 'Bond and Splitting in bar Pull-out, Milano, 1997
19. Selim Baradan 'Çimento Tipinin Aderansa Etkisi'. Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 1997
20. Yeşim Ünal 'Aderansın Betonun Agregata Tane Çapı ve Dayanımına Bağlı Olarak Değişimi Üzerine Bir Araştırma' Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 1998
21. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara, 2000