

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME DONATISINDA ADERANS VE YORULMA

ALPER DURAN

HAZİRAN 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün Onayı.

25/06/2008

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Müdür V.

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

Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

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

Doç. Dr. M.Hüsnü DİRİKOLU

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

ÖZET

BETONARME DONATISINDA ADERANS VE YORULMA

DURAN, Alper

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ

Haziran 2008, 64 sayfa

Bu çalışmada, statik ve dinamik sıyrma yükleri altında, beton çekme mukavemetinin ve ankrajlama açısının betonarme donatı aderans kuvveti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Burada ankraj donatılarının çapı ve türü sabit tutularak, 15 cm çapında 10 cm yüksekliğinde 24 adet silindir numune, yüzey açıları farklı 33 adet küp numune kullanılmıştır.

Donatı çekme aletine aderansta sıyrılma deneyi yapabilmek için özel bir çelik kalıp hazırlanmıştır. Betonun çekme dayanımının aderans üzerindeki etkisini inceleyebilmek için, numune ile kalıbın yükleme yüzeyi arasına yerleştirilmek üzere 12 mm kalınlığında, delik çapı 2, 4, 7, 8 cm olan 4 adet çelik plaka hazırlanmıştır. Ayrıca 2 ve 8 cm delik çapındaki plakalar kullanılarak, betonun çekme dayanımının aderansta yorulmaya etkisi incelenmiş, 2000 yükleme ve boşaltmadan sonra statik çekme yapılmış, 2 cm

delik çapı için yorulmanın etkisinin buyk olduğu, ancak 8 cm için etkilemediği görülmüştür.

Sonuç olarak, delik çapı ve ankrajlama eğimi arttıkça dinamik ve statik donatı sıyırma aderans kuvvetlerinin azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aderans, Statik yükleme, Tekrarlanan Yk, Yorulma

ABSTRACT

ADHESIVE AND FATIGUE OF REINFORCEMENT IN CONCRETE

DURAN, Alper

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Civil Eng, M.Sc.Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Y. KILINC

June 2008, 64 pages

In this research, under the static and dynamic loads, the effect of tensile stress of concrete and anchorage angle on pull-out force of reinforcement adhesive is studied. Here in the type and diameter of steel anchorage is assumed constant for all the specimens and 24 plain and reinforced concrete cylindrical specimens 15 cm in diameter and 10 cm in height and 33 plain and reinforced concrete cube specimens are prepared. For the tensile machine a special steel model is prepared to pull-out the reinforcement through the concrete. To investigate the effect of tensile stress of concrete on adhesive to fit inner loading face four steel plates with a whole 2, 4, 7, 8 cm in diameter and 1.2 cm in thickness is prepared.

To investigate the effect of tensile stress of concrete on fatigue of adhesive, using plates with a whole of 2 and 8 cm in diameter, two tests is

conducted. It showed that after 2000 cycling the effect of fatigue is getting less when whole diameter of plate becomes bigger.

As a result of this study. it is investigated that when the whole diameter and angle of anchorage are increased the pull out force of reinforcement adhesive is decreased.

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

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sũresince konu seimi ve yœnlendirmeleriyle bana yardımcı olan, emeklerini hiç bir zaman inkar edemeyeceğim, çok kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, deneyler sırasında emeğini esirgemeyen Doç. Dr. M. Hũsnũ DİRİKOLU'na, tez çalıőmam boyunca tecrũbelerinden yaralandığım çok saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ'a, numunelerin hazırlanmasında desteklerini ve laboratuvarlarını esirgemeyen Kırıkkale Fatih Hazır Beton Tesisi sahipleri ve çalıőanlarına, statik çekme deneylerinde desteklerini ve laboratuvarlarını esirgemeyen Kırıkkale AKG Gaz Beton Tesisi Sahipleri ve çalıőanlarına, beni bugũnlere getiren maddi ve manevi olarak desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli babama, biricik anneme, manevi desteğini esirgemeyen bir tanecik kardeőime teőekkũr ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	7
1.2. Çalışmanın Amacı.....	13
2.MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
2.1. Genel.....	14
2.2. Betonun Yorulma Dayanımı.....	14
2.3. Aderans.....	17
2.3.1 Eğilme Aderansı.....	17
2.3.2. Kenetlenme Aderansı.....	19
2.4. Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması.....	21
2.5. Tekrarlanan ve Tersinir Yük Altında Davranış.....	22
2.6. Deneysel Çalışma.....	26
2.6.1. Deney Numunelerin Üretiminde Kullanılan Malzeme	
Özellikleri	26
2.6.1.1. Agrega Özellikleri.....	26
2.6.1.2. Elek Analizi Sonuçları.....	27

2.6.1.3.Çelik Donatının Özellikleri.....	27
2.6.1.4. Beton Karışım Oranları.....	28
2.6.1.5. Beton Deney Programı ve Deney Numunelerinin Hazırlanması	29
2.6.2. Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler.....	33
2.6.2.1. Beton Basınç Dayanım Deneyleri.....	33
2.6.2.1.1. Silindir Beton Numunelerin Basınç Deneyi.....	33
2.6.2.1.2. Küp Beton Numunelerin Basınç Deneyi.....	36
2.6.2.2. Aderasta Sıyırılma Deneyi.....	37
2.6.2.2.1. Deney Düzeneğinin Hazırlanması.....	37
2.6.2.2.2 Silindir Numunelerde Statik ve Dinamik Deneyler.....	39
2.6.2.2.3. Yüzey Açısı Farklı Küp Numunelerde Statik Çekme deneyi.....	46
3.ARAŞTIRMA BULGULARI.....	54
4.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Gerilme-Yük Tekrarı Sayısı.....	16
2.2. Aderans deneylerinde Çekip Çıkarma Deneyi.....	17
2.3. Eğilme Aderans Gerilmeleri.....	18
2.4. Kenetlenme Aderansı.....	19
2.5. Tekrarlanan Yük Altında Aderansta Zayıflama.....	24
2.6. Kenar Kiriş Kolon Birleşimi.....	25
2.7. Silindir Numunedeki Dane Çapı Dağılım Eğrisi.....	28
2.8. Küp Numunedeki Dane Çapı Dağılım Eğrisi.....	29
2.9. Çelik Çubuğun Aderansta Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği....	40
2.10. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	41
2.11. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	41
2.12. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	42
2.13. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	43
2.14. Sabit Frekans Değişken Genlikli Sinüzoidal Dinamik Yük Eğrisi.....	43
2.15. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	44

2.16. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	45
2.17. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri.....	47
2.18. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	48
2.19. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	49
2.20. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	50
2.21. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	51
2.22. Çelik Çubuğun Kurtulduğu Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	52
2.23. Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük Uzama Grafiği.....	53
3.1. Çekme Konisi.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. Silindir Numune 7 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları.....	35
2.2. Silindir Numune 28 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları.....	35
2.3. Silindir Numune 28 GünlükYarma deneyi Sonuçları.....	35
2.4. Küp Numune 7 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları.....	36
2.5. Küp Numune 28 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları.....	37

1.GİRİŞ

Betonarme, beton ile çelik olan donatı çubuklarının birlikte çalışarak ve birbirlerinin eksikliklerini tamamlayacak biçimde bir araya getirilmesiyle, yük taşıyacak donatılandırılmış beton demektir. Betonun basınç kuvvetini, çeliğin çekme kuvvetini karşıladığını, çeliğin bazen basınç kuvvetinin taşınmasında betona yardımcı olduğu, kesme ve kayma kuvvetinde ise her iki malzeme tarafından karşılandığı bilinmektedir. Beton ile çeliğin birlikte kullanılmasının en önemli sebebi de bu iki malzeme arasında hiçbir kimyasal reaksiyonun olmaması ve ısı genleşme katsayılarının birbirine eşit olmasıdır. Aderans çözülmeyi müddetçe çelik çevresini saran beton ile aynı uzamayı ve kısalmayı gösterir. Yani çelik ve betonun birim şekil değiştirmeleri her noktada aynıdır.

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 yüklemeden 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 dinamik yükleme altında normal dayanımlı betonda aderans yorulması ile betonun çekme kuvveti arasındaki bilgi boşluğunun

doldurulması amacıyla deneysel bir araştırma yapılmıştır.

Çalışmada BS20 betonu ile S420 nervürlü çelik donatı kullanılmıştır. Burada dokuz adet 15x30 silindir numune hazırlanmış, altı adedi basın dayanımı testine, üç adedi yarıma testine tabi tutulmuştur.

Daha sonra hazırlanmış yirmi dört adet 15x15 cm silindir numune ilk olarak değişken çaplı çelik plakalarda çekip çıkarma (pull-out) deneyine tabi tutulmuş, yapılan üç deneyden sonra dördüncü deneyde hazırlanan çekme kasesini büktüğü için numuneler 15x10'a kesilmiştir, kasanın boyu küçültülerek yeniden dizayn edilmiştir. Delik çapı değişken çelik plakalardan çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır sonrasında maksimum statik çekme yükünün belirli bir yüzdesi alınarak pull-out deneyine tabi tutulmuştur.

Statik çekme deneyinde altı numuneden, dinamik çekme deneyi için iki numuneden oluşan toplam on yedi numune test edilmiştir. Sonuçlar tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

Yapılan statik ve dinamik deneyler incelendiğinde; 2000 defa dinamik yükleme yapıldıktan sonra tekrar statik test edilen iki numuneden; 2cm delikli çelik plakadan çekilen numunenin aderans gerilme kuvvetinin 2cm delikli çelik plakada statik test edilen numunenin aderans gerilme kuvvetine oranı %89 olduğu görülmüş olup bu değer beklenenden çok aşağı değerdedir. 8cm delikli çelik plakadan çekilen numunenin aderans gerilme kuvvetinin 8cm delikli plakada statik test edilen numunenin aderans gerilme kuvvetine oranın %99 olduğu görülmüştür 2cm delikli statik deney sonucu dikkate alındığında %1 gibi çok küçük bir değer çıkmıştır.

Farklı delik çaplarındaki elik plakalardan çekilen numunelerin, elik plakanın delik çapı arttıkça çekme kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Buda aderansın betonun çekme kuvvetinden büyük olduğunu göstermektedir.

Ayrıca yüzey açıları farklı beton numunelerde aderans araştırması için küp numuneler hazırlanmıştır.

Çalışmada BS20 betonu ile S420 nervürlü elik donatı kullanılmıştır. Burada altı adet küp numune basınç dayanımı testine, sonrasında yüzey açıları 0°,2°,4°,6°,8°,9°,11°,13° ve 15° olan küp numuneler çekip çıkarma deneyine tabi tutulmuştur. Her numuneden üçer adet olup toplam otuz üç küp numune hazırlanmıştır.

Daha sonra hazırlanan numuneler 2cm delik çaplarında elik plakalardan sabit yükleme hızıyla statik çekme deneyine tabi tutulmuştur, yedi numune test edilmiş, toplam on üç numune test edilmiştir.

Yapılan statik deneylerde sadece yüzey açısı 0° olan numune çatlamadan sıyrıldığı, diğerk numunelerde aderans yorulması olmadan beton numunelerin kırıldığı görülmüştür. Bu nedenle tekrarlanan yükler altında dinamik yükleme yapılmamıştır.

Farklı yüzey açılarına sahip küp numunelerin farklı delik çaplarındaki elik plakalarda sabit yükleme hızıyla statik çekme deneyinde; yüzey açısı farklı aynı delik çaplı elik plakada statik çekme deneyine tabi tutulan numunelerde yüzey açısı arttıkça aderans yorulmasına maruz kalmadan numuneler daha az kuvvetle çatladığı görülmüştür. Bu sonuç beklediğimizin aksine yüzey açısı artan numunelerde yüzey açısı arttıkça aderans artar

beklentimizin aksine aderansın artmadığını, betonun açu arttıkça karşıladığı yükün artmasından dolayı kırıldığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Beton – Çelik Aderansı, Yorulma

Beton ile donatı meydana gelen etkiler nedeniyle şekil değiştirirler. Bu sırada iki malzeme arasında gerilmelerin geçişi meydana gelir. Arada sıyrılma olmadan 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. ⁽¹⁾

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 kılınır. Donatı çubuğunun betondan sıyrılmadan veya betonu yarmadan akma gerilmesine ulaştıracak boyu kenetlenme boyu denir. ⁽²⁾

Maksimum statik gerilme değerinin altındaki gerilme değerlerinin tekrar tekrar uygulanmaları sonucunda malzemede yer alan kırılma olayına 'yorulma' denir. ⁽³⁾

Depremde, betonarme elemanlar tekrarlanan ve tersinir y¼klere maruzdur. Bu t¼r y¼kleme aderansı olumsuz y¼nde etkilemekte, b¼ylece elemanın yer değiştirmesi artarken, rijitliğinde önemli azalmalar gözlenmektedir. Sıyrılan bir çubuğu geri getirmek m¼mk¼n değildir. Benzer şekilde, ilk y¼kleme sırasında oluşan çatlaklar da y¼k¼n boşaltılması ile tamamen kapanmayacaktır. Kalıcı sıyrılmanın mertebesi ve kapanmayan çatlakların genişliği daha önce uygulanmış y¼k veya y¼klerin b¼y¼kl¼ę¼ne bağlıdır. Bu durumda eleman tekrar aynı y¼nde veya ters y¼nde y¼klendięinde, artık aderansı zayıflamış bir eleman söz konusudur. Tersinir ve tekrarlanır y¼k etkileri altında gözlenen aderans zayıflamasının, yapının deprem davranışını olumsuz y¼nde etkileyeceğini g¼stermektedir. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapıların oluşturulmasında kenetlenme sorunu son derece önemlidir. ⁽⁴⁾

Aderans ve kenetlenme davranışı hakkındaki bilgilerin çoğu normal dayanımlı betonun statik y¼kleme durumları hakkındadır. Oysa deprem; yeri, zamanı, şiddeti ve periyodu belli olmayan bir unsur olup, yapıya statik y¼klemeden ziyade tekrarlanan y¼kler altında etki etmektedir. Bunun için deprem kuşağındaki b¼lgelerde yapılacak yapılar için tekrarlanan y¼kler altında donatı kenetlenme özelliklerinin belirlenmesinde normal dayanımlı betonlarda statik y¼kleme sonuçlarına dayalı hesap ilkelerinin yerine

tekrarlanan yüklerin sonuçlarına dayalı hesap uyarlaması için daha fazla veriye ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada donatı türü ve çapı ve deney yükleme modeli sabit tutularak, çelik plakalarla desteklenmiş farklı beton dayanımında farklı açılarda eğimle donatılı numuneler çekme ve tekrarlı çekme yükleri altında donatı ile beton arasındaki statik ve dinamik aderans araştırılmıştır.

1.1. Kaynak Özetleri

Ferguson ve Thompson 1962 yılında yaptıkları çalışmalarda aderansla kenetlenme boyu arasında doğrusal bir orantı olmadığını göstermişlerdir. Donatı için gerekli kenetlenme boyundan daha fazla kenetlenme boyu kullanmanın aderansı artırıcı yönde bir etki yapmadığı gözlenmiştir. ⁽⁵⁾

Bresler ve Bertero'nun 1968 yılında yaptıkları çalışmalarında 2.9cm çapında bir çubuğu betona 40.6 cm yerleştirip döküm sırasında deney elemanın ortasına çentik açılmış sonra aksel çekme deneyine tabi tutmuştur. Döküm esnasında deney elemanın ortasında yapılan çentik çatlağı simgelemektedir. Eleman tekrarlanan yük altında denenmiş, yükün tersinmesi, aderansı daha da zayıflatmıştır. Elemanın her iki yüzeyinde oluşan çatlaklar, tekrarlanan tersinir yük altında birleşip, birbirini kesecektir. Çatlakların kesiştiği yerlerde beton ezilerek parçalanacak ve yük tekrarlandıkça artacaktır. Donatının birleştiği beton dişi ezerek sıyrılması aderansın bitmesine sebep olacaktır. Deney sonuçlarında aderans zayıflamasının tekrarlama sırasında uygulanan yüke 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.
(6)

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 $\varnothing 12$ 'lik çelikle donatılmış 36cm (30 \varnothing) boyundaki üç numunede hiçbir çatlak meydana gelmemiş, sıyrılma deplasmanının küçük kaldığı belirlenmiştir (Çekme kuvvetinin tatbik edildiği yüklenmiş uç kesitte, bir numunede 2,0mm diğerlerinde 0,6mm civarında, serbest uç kesitte ise maksimum 0.2mm). Kırılma konumuna her üç grupta da çeliğin akmasıyla varılmıştır.
- İkinci gruptaki 24cm (20 \varnothing) boyundaki üç numunede sıyrılma deplasmanlarının biraz daha büyüdüğü belirlenmiştir. (Yüklenmiş uç kesitlerde 2.5mm ve serbest uç kesitlerde maksimum 2.0mm). Yüklemeler boyunca çatlaklar görülmemiş, fakat kırılma konumuna ani beton yarılmalarıyla varılmıştır.
- Üçüncü grubu meydana getiren $\varnothing 16$ 'lık çelikle donatılmış 48cm (30 \varnothing) boyundaki üç numunede yine küçük kayma deplasmanları belirlenmiştir. (Yüklenmiş uçta, maksimum 2.8mm; serbest uçta 0.4mm). Kırılma konumuna çeliğin akmasıyla varılmıştır.

- Ø16'lık çelikle donatılmış, fakat boyları 32cm (20Ø) olarak alınmış, dördüncü grup numunelerde ise aderans kaymaları, yüklenmiş uç kesitte 4.0mm'yi, serbest uç kesitte 1.0mm. yi bulmuştur. Kırılmaya dördüncü grup (a) numunelerinde akma ve yarılmamanın aynı anda kendini gösteren ortaklaşa etkisiyle, dördüncü grup (b) numunesinde yarılmayla; (c) numunesinde ise çeliğin akmasıyla varılmıştır.
- Ø24'lük çelikle donatılan numunelerden, gerek 72cm (30Ø) boyunda ki beşinci grup numuneleri, gerekse 48cm (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. ⁽⁷⁾

Takeda, Sözen ve Nielsen, 1970 yılında yaptıkları çalışmalarında aderans çürümesi nedeni ile gözlenen rijitlik azalmasının enerji yutma kapasitesini de aynı oranda azalttığını belirtmişlerdir. ⁽⁸⁾

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. ⁽⁹⁾

Jy Naaman ve Shah 1976 yılında yaptıkları çalışmada, sıyrılma deneyini uygulayarak, gerilme hattının yönüne bağlı olarak aderansın değiştiğini gözlemişlerdir. Gerilme yönüne paralel yerleştirilmiş donatılara bağlı olarak aderansın değiştiğini savunmuşlardır. ⁽¹⁰⁾

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. ⁽¹¹⁾

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. ⁽¹²⁾

Naaman ve Husamiddin 1991 yılında yaptıkları çalışmada, aderansı sıyırılma deneyleri ile incelemiştir. Üç farklı donatı, beton karışımı, katkı maddesi ve farklı uzunlukta kenetlenme boyu kullanılmıştır. Numunelerde 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. ⁽¹³⁾

Larrard et. al., 1993 yılında yaptıkları çalışmalarında 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 varmışlardır. ⁽¹⁴⁾

Vedat YERLİCİ ve Turan ÖZTURAN, 1995 yılında yaptıkları çalışmalarında yüksek dayanımlı beton elemanlarda aderans dayanımının, donatı çapı, beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde sarma donatısı miktarının, yüksek dayanımlı betonlardaki aderans dayanımı ve gerekli minimum kenetlenme boyu üstündeki etkilerini 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 artırdığı, donatı çapındaki artışın ise düşürdüğü gözlenmiş ve bu değişiklikleri belirleyen formüller türetmişlerdir. ⁽¹⁵⁾

Gambarova, Rosati 1997 yılında yaptıkları çalışmada yapmış oldukları deneylerde 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. ⁽¹⁶⁾

Selim BARADAN 1997 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. ⁽¹⁷⁾

Yeşim ÜNAL 1998 yüksek lisans tez çalışmasında, beton kalitesi arttıkça, en büyük agrega tane çapı arttıkça aderans dayanımının da arttığını tespit etmiştir. ⁽¹⁸⁾

Eda Çağlar 2005 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. 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. ⁽¹⁹⁾

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. ⁽²⁰⁾

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada donatı türü ve çapı ve deney yükleme modeli sabit tutularak, çelik plakalarla desteklenmiş farklı beton dayanımında farklı açılarda eğimle donatılı numuneler çekme ve tekrarlı çekme yükleri altında donatı ile beton arasındaki statik ve dinamik aderans araştırılmıştır.

Çalışmamızda donatı türü olarak Ø12'lik nervürlü çelik kullanılmıştır, Aderansta direk sıyrılma ve betonun çekme dayanımının etkisini araştırabilmek için Fotograf 1'deki gibi bir yükleme kalıbı ve destekleme yüzeyine Ø20-Ø80 çapında delikli plakalar hazırlanmıştır. 15 cm çapında 10 cm yüksekliğinde silindir numuneler hazırlanarak destekleme yüzeyine farklı çaplarda deliği bulunan plakalar yerleştirilerek statik ve dinamik yüklemelerde betonun çekme dayanımının aderans ve aderans boyuna etkisi araştırıldı. Yüzey açıları farklı küp numuneler hazırlanarak yine destekleme yüzeyine 2 cm çaplı deliği bulunan plakalar yerleştirilerek farklı yüzey açılı numunelerde betonun çekme dayanımının adersana etkisi araştırıldı.

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, silindir numunelerin beton-donatı aderansı dinamik ve statik yükleme deneylerinde 100 kN kapasiteli Instron 8516 model üniversal (çekme-basma) test cihazı, yüzeyine açığı verilmiş küp numunelerin beton-donatı aderansı statik yükleme deneylerinde 100 kN kapasiteli ZWING Material Prüfung Z100 test cihazı kullanılmıştır. Deneyler yapılırken TS ve ASTM 'de belirtilen konuyla ilgili standart numune hazırlama ve deney metotları kullanılmıştır.

2.2. Betonun Yorulma Dayanımı

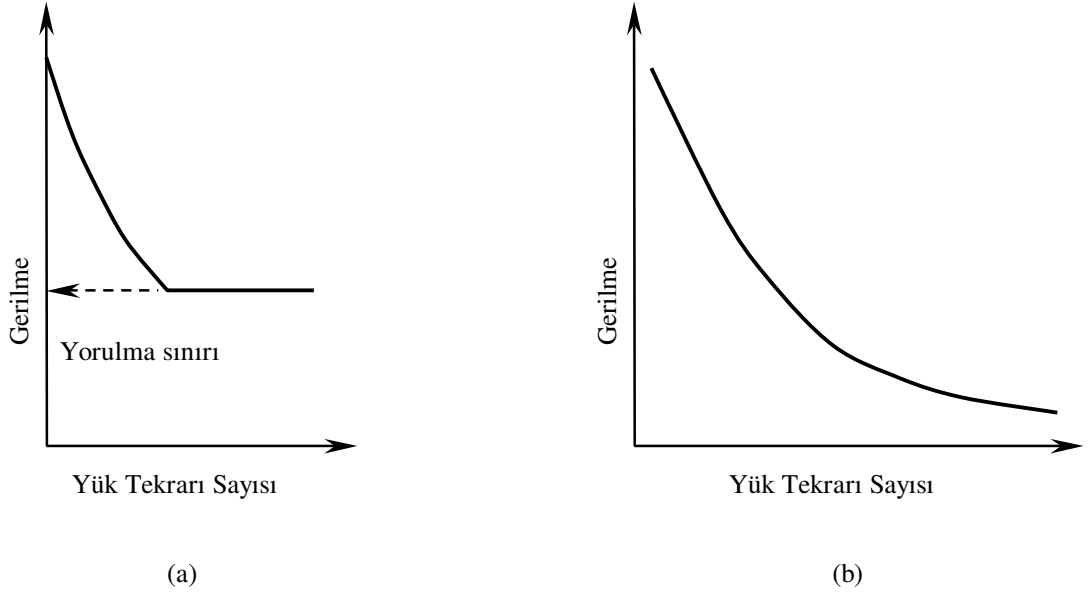
Hazırlanan beton numuneler düşük hızda deney presinde betonun basınç veya eğilme dayanımını bulabilmek için kırılarak kırılmaya yol açan yük miktarı ölçülür, betonun basınç veya eğilme yüklerine gösterdiği maksimum gerilme hesaplanmakta, bu şekilde elde edilen değer statik basınç dayanımı veya statik eğilme dayanımı olarak adlandırılmaktadır.

Betonun tekrarlanan yükler altında kırılma mukavemetine beton yorulma sınırı adı verilir. Gerilmenin gerektirdiği kadar çok sayıda tekrarı ile kırılma meydana getirmeyen değerine de yorulma mukavemeti denir.

Yapı elemanlarının bazılarında; betonarme kren kirişleri, makine temelleri, köprü ve garaj elemanları gibi üzerlerinde bulunan statik yük dışında, hareketli yükler, deprem ve rüzgâr gibi yüklerden dolayı dinamik tekrarlı yüklere maruz kalmakta olup beton yorulma sınır değeri bu tür yapı elemanlarının hesabı için çok önemlidir. Örneğin, betonarme kren kirişlerinde üzerinde bulunan yükün miktarı, kiriş üstüne gelen yükün ağırlığı artmakta, ağırlık boşaltıldıktan sonra eski durumuna gelmektedir. Bu tür yapıların üzerinde hareketli yük olmasa dahi en azından kendi zati ağırlığı olup, yapıda gerilme mevcuttur, yapı her zaman maksimum ve minimum değer arasında muhakkak bir gerilmeye maruzdur. 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.

Yapı elemanının mevcut statik yüküyle birlikte hareketli yükünün toplam gerilme miktarı yapı elemanının gerilme dayanımını geçmediği takdirde bir kaç kez uygulanmasıyla elemanda kırılma olmaz. belli bir gerilme değerinin çok sayıda tekrarlanması durumunda statik yüklemeye gerilmesi değerinden aşağıda kırılır. Yükleme sayısı az ise dinamik yüklemeye statik yüklemeye yakındır.

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.



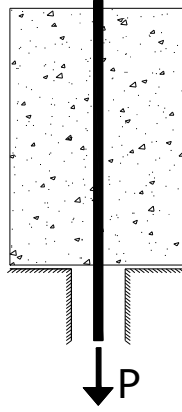
ŞEKİL 2. 1 Gerilme-Yük Tekrarı Sayısı

Şekil 2. 1(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. 1. (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.⁽³⁾

2.3. Aderans

Beton bir kütleye gömülü çelik bir çubuk çekip çıkarılmak istendiğinde, betondan sökülmeden önce büyük bir direnç gösterir (Şekil 2. 2). Aderans adı verilen çelik ve betonun bu birbirlerine yapışması olayı her iki malzemenin genleşme katsayılarının aynı olması dolayısıyla sıcaklık değişmelerinde zarar görmez. Daha genel bir deyişle, donatıların çevrelerini sarsan betona göre, eksenlerine paralel olarak kaymalarına karşı gelen bağ kuvvetlerine aderans adı verilmektedir. ⁽²¹⁾



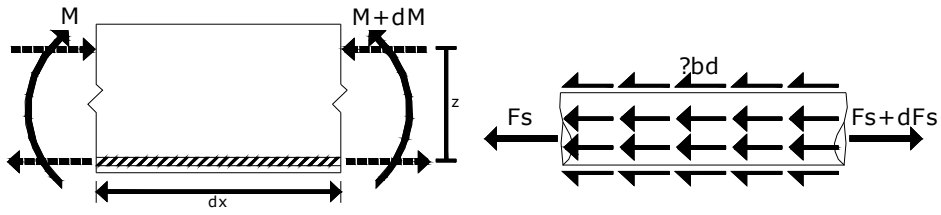
ŞEKİL 2. 2 Aderans deneylerinde çekip çıkarma deneyi

2.3. 1 Eğilme Aderansı:

Kesit kuvvetlerinin beton ve çelik arasındaki geçişi aderans sayesinde gerçekleşmektedir. Bu iki malzeme arasındaki gerilme geçişi meydana gelir ve kayma olmadan bu gerilme geçişi aderans ile sağlanır. Örneğin, bir kiriş elemanının açıklığının 'dx' kadar aralıklı iki enkesitindeki farklı moment

büyükükleri nedeniyle, çekme çubuğunun bu iki noktada oluşan farklı kuvvetlerden dolayı çubuğu beton içinde dengede tutan, hareketini engelleyen, çubuk yüzeyi boyunca oluşan kayma (aderans) gerilmeleridir (Şekil 2.3). Bir diğer deyişle, donatı ile beton arasındaki kenetlenmeyi sağlayan kayma gerilmeleri denir. Olaya bir diğer bakış açısı ise, aderans gerilmelerinin donatıdaki gerilmelerde oluşan değişimle ortaya çıktığıdır.

Bir başka tanım ile de, donatıda gerilmelerin değişebilmesinin ancak aderans gerilmelerinin bulunması olanaklı olabildiğidir.



Şekil 2. 3 Eğilme Aderans Gerilmeleri

Şekil 2.3 deki çubuk için denge koşulu yazılarak (u =donatı çevresi) aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$F_s + \tau_a u dx = F_s + dF_s$$

Sadeleştirilir

$$\tau_a u dx = dF_s = dM/z$$

Ve düzenlenirse

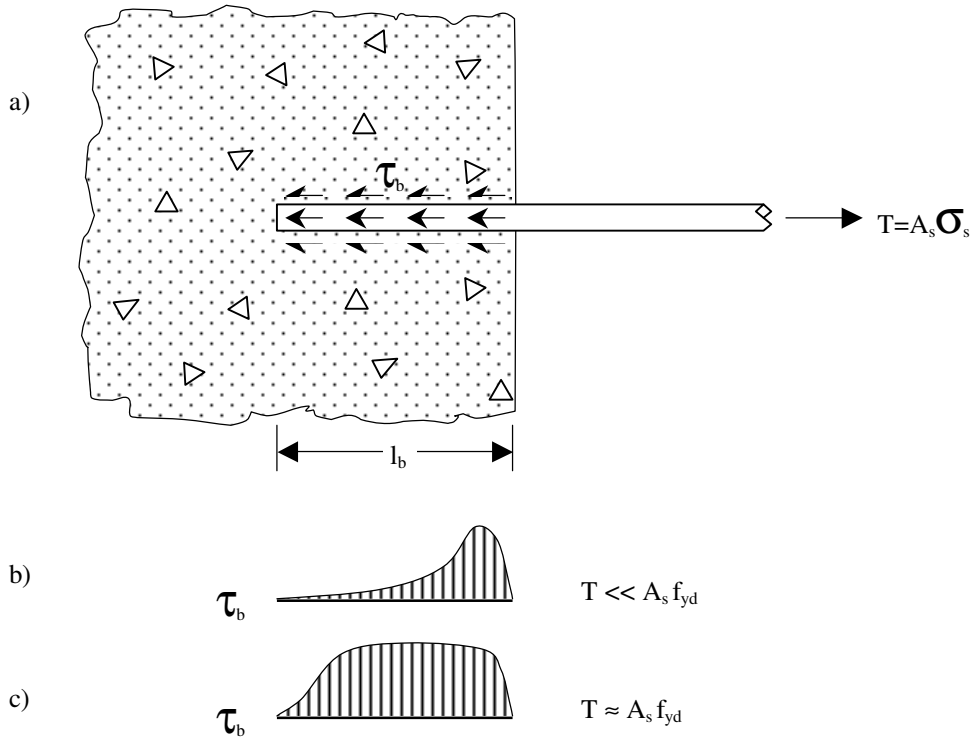
$$\tau_a = (1/uz) (dM/dx) = V/uz \quad (2. 1)$$

Aderans gerilmesi τ_a 'nın kesitteki kesme kuvvetine bağılı olarak tanımlanabildiği görülür. Bu tür aderans, eğilme aderansı adını alır. ⁽²⁾

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. 4 Kenetlenme Aderansı

Şekil 2. 4 (a)'da beton bir kütleye gömülen bir çubuk gösterilmiştir. Çubuğun τ_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 τ_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 2.4 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.

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

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

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

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

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

Varsayırsa, 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.

2. 4 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 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 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 basıncı mukavemetlerini de olaya karıştıran, helisel, tek veya çok sayıda, sürekli veya süreksiz nervrlerden ve enine çıkıntılardan ileri gelen mekanik diş kuvvetleri: Bu neden aderansı geliştirilmiş çubuklarda ortaya çıkar. Seçilen yüzey biçimlerinin uygun olması halinde aderans önemli ölçüde artar. ⁽²⁵⁾

Düz yüzeyli çubuklarda aderans, yapışma ve sürtünmeyle olmakta, nervürlü çubuklarda ise aderans ve sürtünme nedeni etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Nervürlü ubukta aderansın en önemli sebebi mekanik diş kuvvetleridir.

2. 5. Tekrarlanan ve Tersinir Yük Altında Davranış

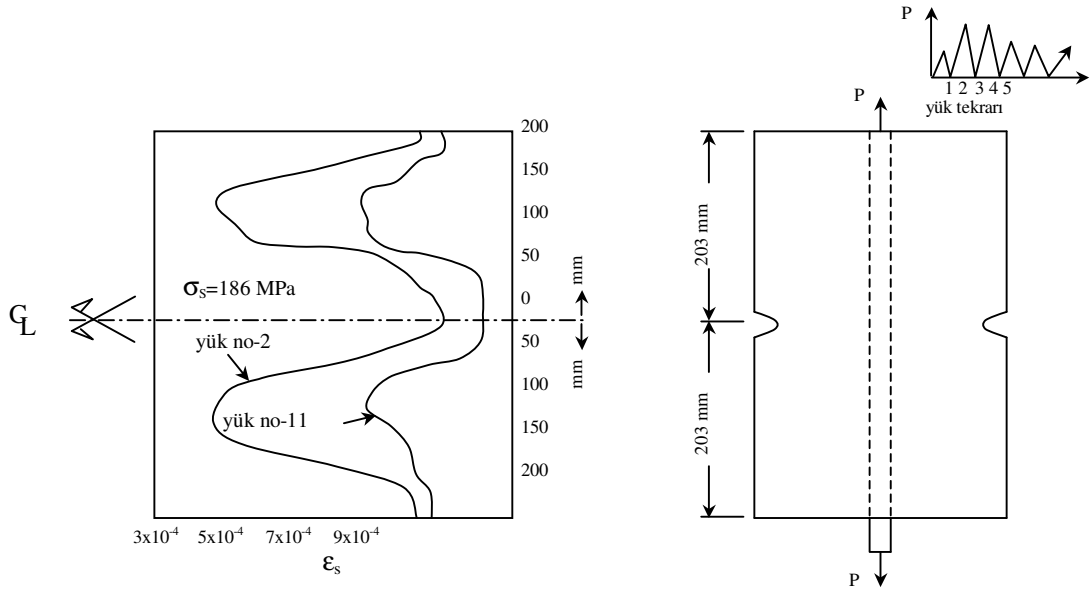
Depremde, betonarme elemanlar tekrarlanan ve tersinir yüklere maruzdur. Bu tür bir yükleme aderansı olumsuz yönde etkilemekte, böylece elemanın yer değiştirmesi artarken, rijitliğinde önemli azalmalar gözlenmektedir. Burada, tekrarlanan tersinir yükler nedeni ile gözlenen değişmeler ve bunların nedenleri 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 i çatlaklar oluşacaktır. Bu nedenle, yk 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 2.5'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 2.5'de eleman boyunca donatıda ölçülen birim uzamalar gösterilmiştir. ($\sigma_s=1860$ kgf/cm²). 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 2.5'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.

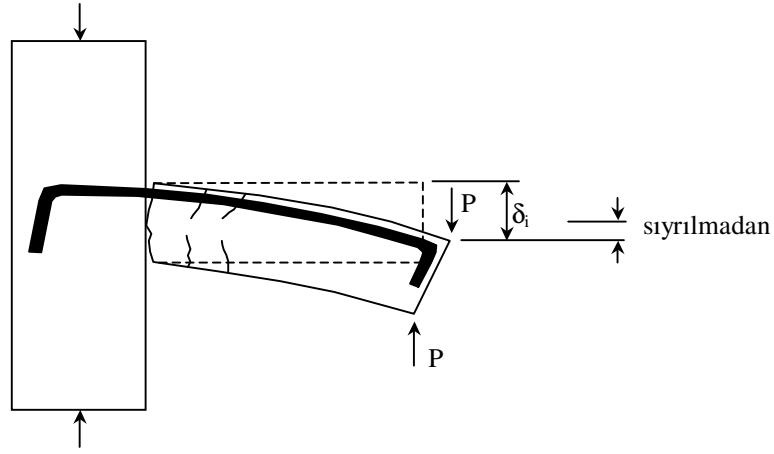


ŞEKİL 2.5 Tekrarlanan Yük Altında Aderansta Zayıflama

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 2.6 '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. 6 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. ⁽⁴⁾

2. 6. Deneysel Çalışma

2. 6. 1. Deney Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzeme Özellikleri

2. 6. 1. 1 Agreg a Özellikleri:

Silindir numune beton karışımında; kaba agreg a olarak kırma taş, ince agreg a olarak da yıkanmış Kızılırmak kumu kullanılmış ve agreg a maksimum

apı $D_{maks}=16$ 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 Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve agregada dane dağılım grafiği çizilmiştir.

Küp numune beton karışımında; kaba ve ince agregada olarak kırma taş kullanılmış ve agregada maksimum apı $D_{maks}=32$ mm olarak seçilmiştir. Agregaların deneyleri, TS 706 Beton Agregaları ve TS 802 Beton Karışım Hesapları standartlarına uygun olarak Kırıkkale Fatih Hazır Beton Laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve agregada dane dağılım grafiği çizilmiştir.

2. 6. 1. 2 Elek analizi sonuçları

Elek Analizleri TS 130'da öngörülen elek serisi kullanılarak standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Silindir numune ve küp numunede kullanılan malzemeler için granülometri eğrileri Şekil 2.7 ve 2.8'de verilmektedir.

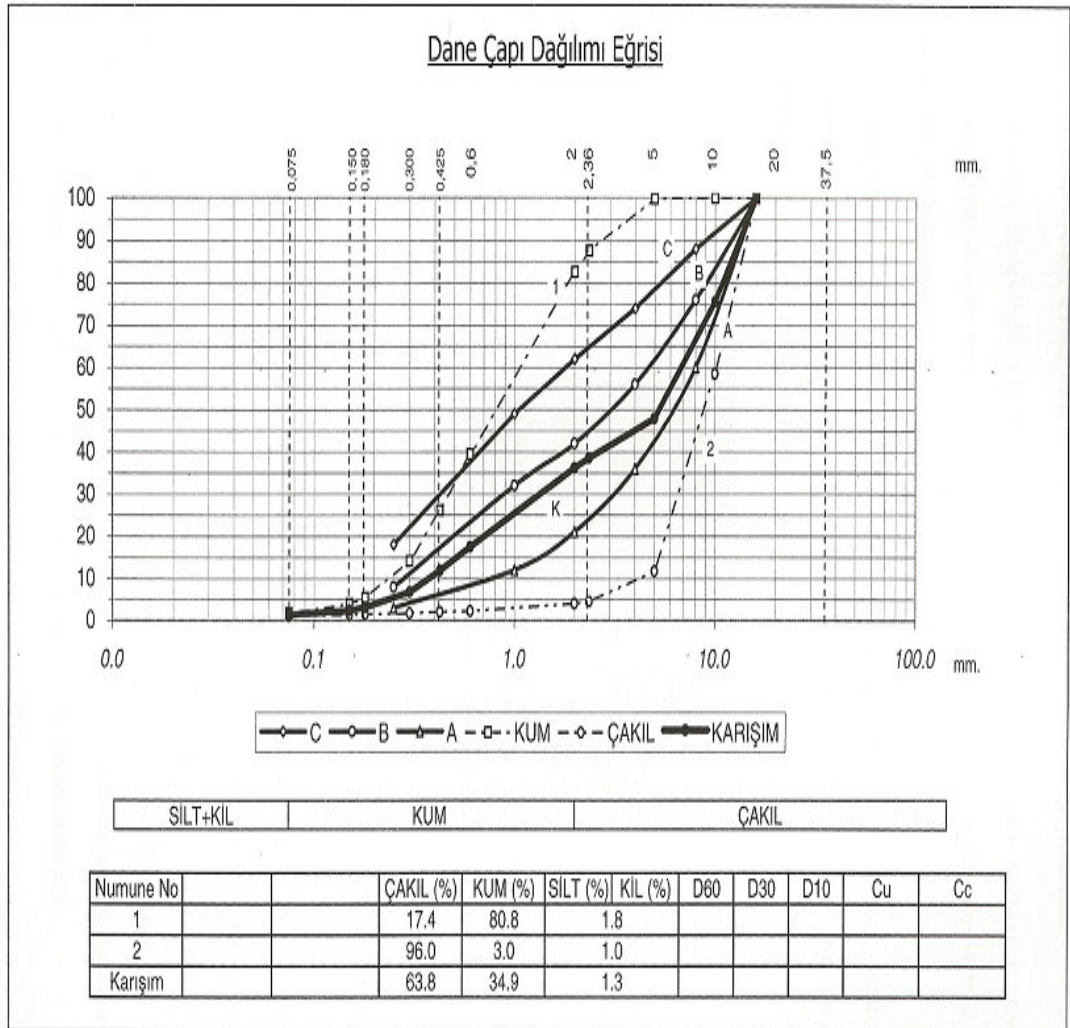
2. 6. 1. 3 elik donatının zellikleri

Deneylerde 12 mm'lik nervürlü donatı kullanılmıştır. Donatı boyu 15x15 silindir numunelerde 35 cm boyunda seçilmiş ancak göçmenin beklenmedik bir Şekilde sıyrılma yerine donatının akması ile gerçekleşmesi üzerine daha sonra silindir numuneler 15x10 cm donatı ise 20 cm olarak kısaltılmıştır. Kp numunelerde ise 12 mm çapında 25 cm boyunda nervürlü donatı kullanılmıştır.

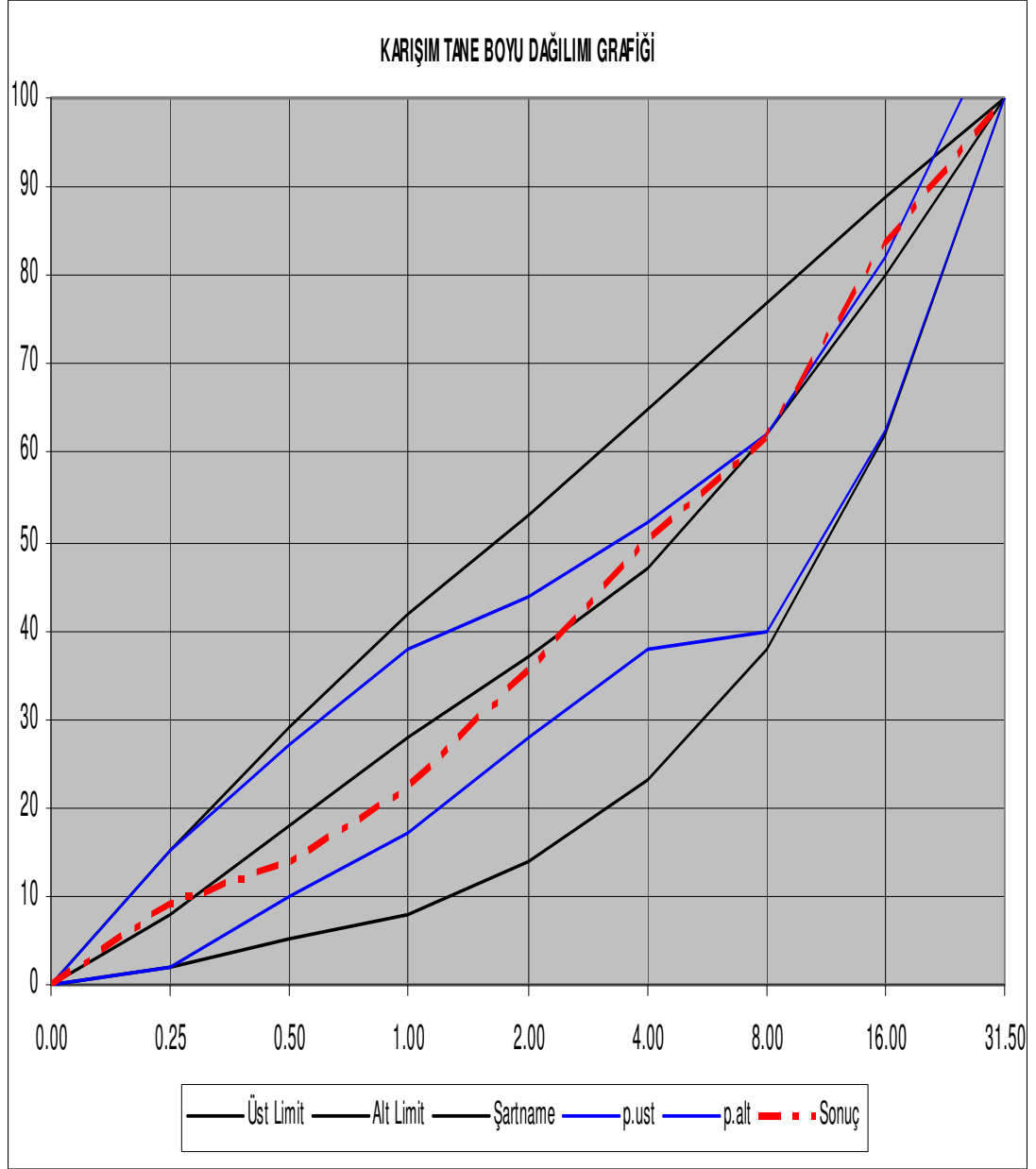
Ayrıca çekme aletinin donatı tutma yanaklarında sıyrılma olmaması için donatıların tutunma ucu 6Ø kadar spiralle iki taraflı tıraşlanmıştır.

2. 6. 1. 4 Beton karışım oranları

BS20 beton sınıfı için karışımlar TS 802 standardına uygun şekilde hazırlanmıştır. Beton karışımlarında herhangi bir katkı maddesi kullanılmamıştır.



Şekil 2. 7 Silindir Numunedeki Dane Çapı Dağılım Eğrisi



Şekil 2. 8 Küp Numunedeki Dane Çapı Dağılım Eğrisi

2. 6. 1. 5 Beton Deney Programı ve Deney Numunelerinin Hazırlanması

Basınç deneyinde üç adet donatısız 15x30 cm'lik standart silindir numune ile üç adet donatısız küp numune basınç deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca üç adet 15x30 cm standart silindir numune yarma deneyine tabi tutulmuştur.

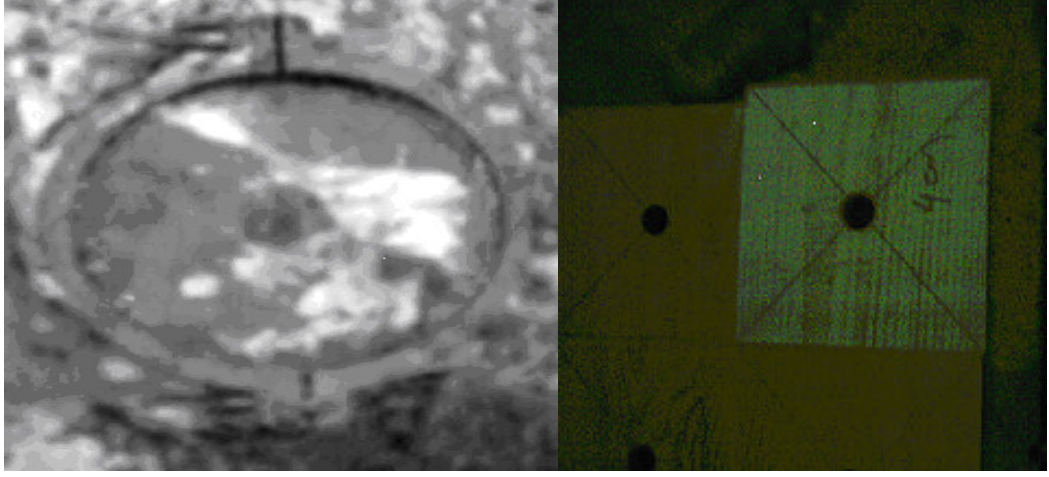
Donatılı silindir numuneler hazırlanırken donatı çubuğunu merkezde sabit tutabilmek için ortası delikli daire şeklinde çelik plakalar hazırlandı.

Fotoğraf 2. 1



Fotoğraf 2. 1 Çelik Plaka

15x30 silindir çelik kalıplara beton dökülmeden önce tabanına bu plakalardan biri yerleştirildi. Küp kalıpların merkezinde sabitlemek için delik olduğundan onlara herhangi bir plaka kullanılmadı. Sonra Ø12lik nervürlü donatılar silindir kalıplarda bu plakaların ortasına gelecek şekilde, küp kalıplarda ise plastik kalıbın merkezindeki boşluğa oturacak şekilde yerleştirildi. BS20 betonu kalıplara döküldükten sonra silindir kalıplarda donatıları sabitlemek için hazırlanan plakalardan ikincisi Fotoğraf 2. 2'de görüldüğü gibi dökülen betonun üzerine yerleştirildi.



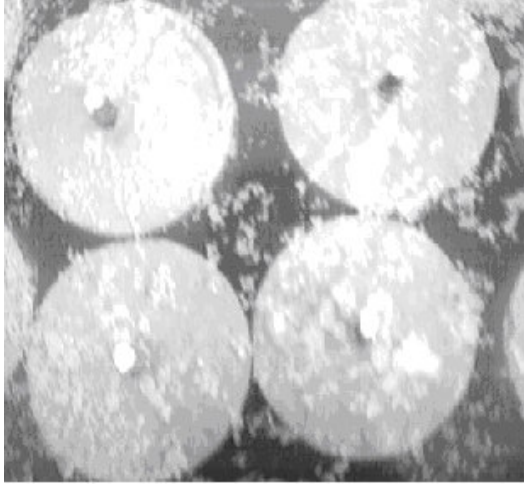
Fotoğraf 2.2 Beton Numuneler

Fotoğraf 2.3 Ahşap Kalıp

Küp numunelerde ise Fotoğraf 2. 3'de görülen farklı açılarda ki ortası delik ahşap plakalar Fotoğraf 2.4'de görüldüğü gibi yerleştirildi. Küp ve silindir numuneler prizini aldıktan sonra, Fotoğraf 2.5-2.6'da görüldüğü gibi, kalıptan çıkarılarak kür havuzuna bırakıldı.



Fotoğraf 2.4 Küp Numune



Fotoğraf 2. 5 Silindir Numuneler
Kür Havuzunda



Fotoğraf 2. 6 Küp Numunele
Kür Havuzunda

Numuneler standart sıcaklık koşullarında (23 ± 2 °C) laboratuvar ortamında su içinde tutulmuştur. Basınç dayanımı deneyinde kullanılacak numuneler 7 gün; aderansta yorulma deneyine tabi tutulacak numuneler 28 gün su içerisinde bırakılmıştır. Standart silindir numuneler ve küp numuneler su içine bırakıldıktan 7 ve 28 gün sonra basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Çelik donatılı numunelerin boyları 15 cm kısaltılarak, 28 gün sonra dinamik yükleme altında aderansta yorulma deneyine alınmıştır. Fotoğraf 2.7'de görüldüğü gibi taş kesme aleti ile, çelik donatılı 15x30 silindir numuneler, Fotoğraf 2.8'de görüldüğü gibi 15x15 silindir numuneler haline getirilmiştir.



Fotoğraf 2.7 Numunelerin Kesilmesi



Fotoğraf 2.8 15x15 Silindir Numune

15x15 Silindir numunelerle yapılan üç deney yapıldı, dördüncüde deney numune kasasını çok zorladığı ve flambajlara neden olduğu için numuneler 15 cm iken Fotoğraf 2.9'da görüldüğü gibi kesilerek 10 cm.'e küçültülmüştür.



Fotoğraf 2.9 15x10 Silindir Numune

Bu çalışmada, 3 adet basınç deneyi, 3 adet yarma deneyi ve 24 adet aderansta yorulma deneyi için olmak üzere toplam 30 adet silindir numune, 3 adet basınç deneyi ve 27 adet aderansta yorulma deneyi için olmak üzere toplam 30 adet küp numune hazırlanmıştır.

2. 6. 2 Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

2. 6. 2. 1 Beton Basınç Dayanım Deneyleri

2. 6. 2. 1. 1 Silindir Beton Numunelerin Basınç Deneyi

15x30 cm'lik standart silindir beton numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır.

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



Fotoğraf 2.10 Bilgisayar Kontrollü Basınç Test Cihazı

Basınç dayanımı deneyleri, 7 günlük ve 28 günlük olmak üzere üçer numune test edilmiş ve ortalama basınç dayanımı değeri öngörülen BS20 mukavemet değerini sağladığı görülmüştür.

Çizelge 2. 1 Silindir Numune 7 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları

Numune No	1	2	3	Ortalama
7 günlük silindir test basınç mukavemeti ($\frac{kg}{cm^2}$)	23.02	22.38	23.56	22.98
Kırılma Yüğü (kg)	4067.9	3954.8	4163.3	4062
Betonun Cinsi	C20(BS20)			

Çizelge 2. 2 Silindir Numune 28 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları

Numune No	1	2	3	Ortalama
28 günlük silindir test basınç mukavemeti ($\frac{kg}{cm^2}$)	32.85	31.57	30.85	31.75
Kırılma Yüğü (kg)	5805.03	5578.87	5451.62	5611.84
Betonun Cinsi	C20(BS20)			

Çizelge 2. 3 Silindir Numune 28 Günlük Yarma Deneyi Sonuçları

Numune No	1	2	3	Ortalama
28 günlük silindir test yarma mukavemeti ($\frac{kg}{cm^2}$)	29.02	27.86	28.77	28.55
Kırılma Yüğü (kg)	6837.67	6564.35	6777.75	6726.59
Betonun Cinsi	C20(BS20)			

2. 6. 2. 1. 1 Küp Beton Numunelerin Basınç Deneyi

Standart küp beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyi Kırıkkale Fatih Hazır Beton Tesisleri laboratuvarında yapılmıştır.

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



Fotoğraf 2. 11 Basınç Test Cihazı

Basınç dayanımı deneyleri, 7 ve 28 günlük olmak üzere üçer numune test edildi ve ortalama basınç dayanımı değerinin öngörülen BS20 mukavemet değerini sağladığı görülmüştür.

Çizelge 2. 4 Küp Numune 7 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları

Numune No	1	2	3	Ortalama
7 günlük küp numune test basınç mukavemeti $(N/mm)^2$	27.02	25.65	26.35	22.98
Kırılma Yüğü (kN)	608.2	577.4	592.8	4062
Betonun Cinsi	C20(BS20)			

Çizelge 2. 5 Küp Numune 28 Günlük Beton Basınç Deneyi Sonuçları

Numune No	1	2	3	Ortalama
28 günlük küp numune test basınç mukavemeti ($\frac{N}{mm^2}$)	30.78	30.66	31.01	30.81
Kırılma Yüğü (kN)	692.5	689.9	696.4	692.9
Betonun Cinsi	C20(BS20)			

2. 6. 2. 2 Aderansta Sıyırılma Deneyi

15x30 cm boyutunda üretilen BS20 beton sınıfına ait silindir numuneler sonra kesilerek 15x15 cm, daha sonrasında 15x10 cm haline getirilen orta ekseninde $\varnothing 12$ 'lik nervürlü çelik bulunan numunelerin, 28 gün standartların ön gördüğü kür uygulandıktan sonra aderansta yorulma deneylerine başlanmıştır.

2. 6. 2. 2. 1 Deney Düzeneyinin Hazırlanması

Üç adet çekme yorulma deneyinden sonra dördüncü deneyde kalıbı deforme olduğu için daha sonra, numunelere istenilen büyüklükte yükleme uygulayabilmek için test kalıbının ebatları yeniden tasarlandı ve küçültüldü.



Fotoğraf 2. 12 Çekme Kalıbı



Fotoğraf 2. 13 Çekme Kalıbı+Numune+Dinamik Yükleme Cihazı

Ayrıca silindir numunelerinde boyu 15 cm'den 10 cm'e kesilerek küçültüldü.

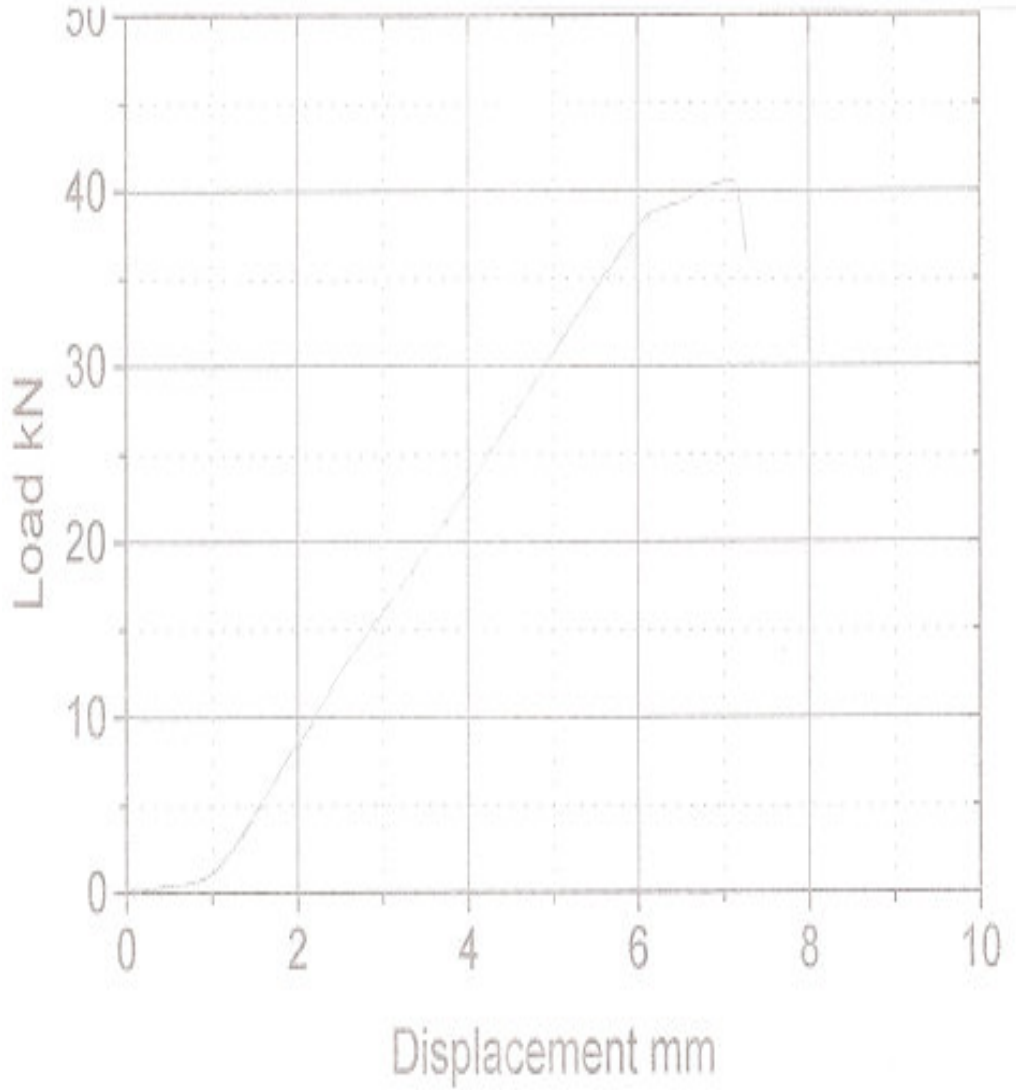
Bu nedenle ilk üç numunenin sonuçları değerlendirmeye alınmadı.

2. 6. 2. 2. 2 Silindir Numunelerde Statik ve Dinamik Deneyler

Öncelikle çelik kalıp deney aletine takıldı, sonrasında orta deliği 7 cm olan çelik plaka, çelik kalıp deney aletine yerleştirildi, numune test kalıbı içerisine yerleştirilmeden test esnasında oluşabilecek yanlış mesnetlenmelerin önüne geçebilmek ve uniform yük dağılımını sağlamak amacıyla çelik plaka ile beton arasına ortası delikli her test için değiştirilebilen kontra plak levha eklendi sonrasında numune kalıba yerleştirildi.

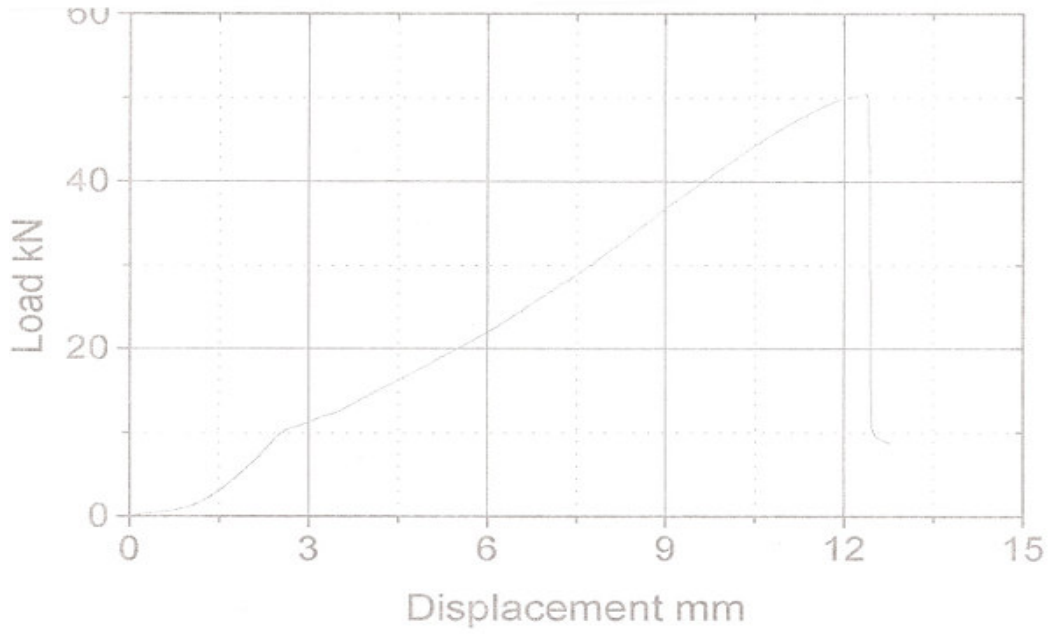
Statik yüklemelerde yük-deformasyon grafikleri yazdırıldı, ancak teknik donanımların yetersizliği nedeniyle dinamik yüklemelere ait grafiklerin çizimi alınamamıştır. Dinamik yüklemelerde uygulanacak yükün miktarı (maksimum ve minimum değerleri), frekansı, yükleme tipi (sinüzoidal, testere dişi, kare dalga gibi), emniyet sınırları (ani göçme durumlarında sistemin otomatik olarak yükü boşaltma) ile ilgili bilgiler cihazın kumanda panelinden girilmiştir.

Statik yükleme yapılırken, T çekme kuvveti 3 mm/dak hızla uygulandı ve nervürlü çubuğun 40,155 kN'da betondan çekilerek sıyrıldığı görüldü. Çekme çatlağı sıyrılmadan önce meydana geldiği için bu değer değerlendirmeye alınmadı. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.9'da görüldüğü gibi çizdirildi.



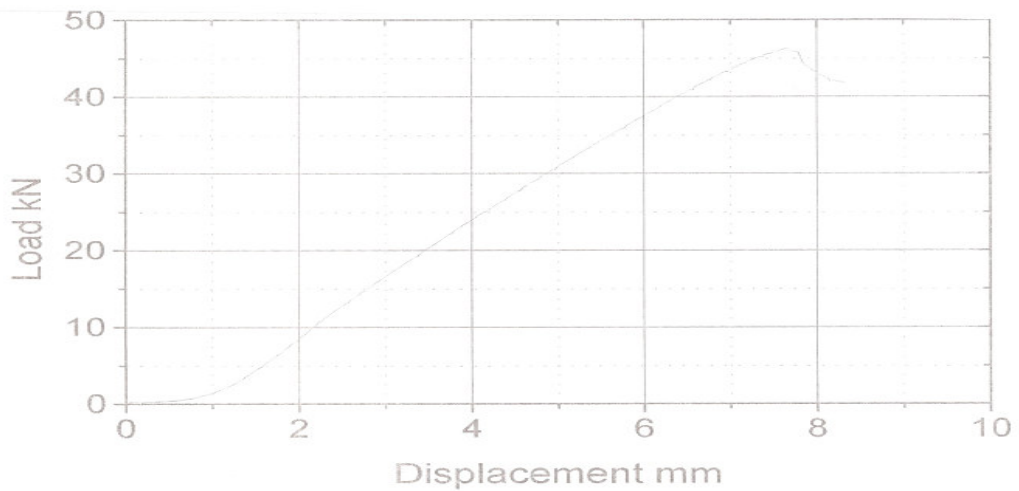
Şekil 2.9 Çelik Çubuğun Aderansta Sıyırılma Yük-Deformasyon Grafiği

Orta deliği 2 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, T çekme kuvveti 3mm/dak. hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü çubuğun betondan 50.275 kN'da sıyrıldığı görüldü. Çelik donatının betondan sıyrıldığı andan sonra numune beklemedik bir şekilde Şekil 2.10'de görüldüğü gibi ani olarak çatladı.



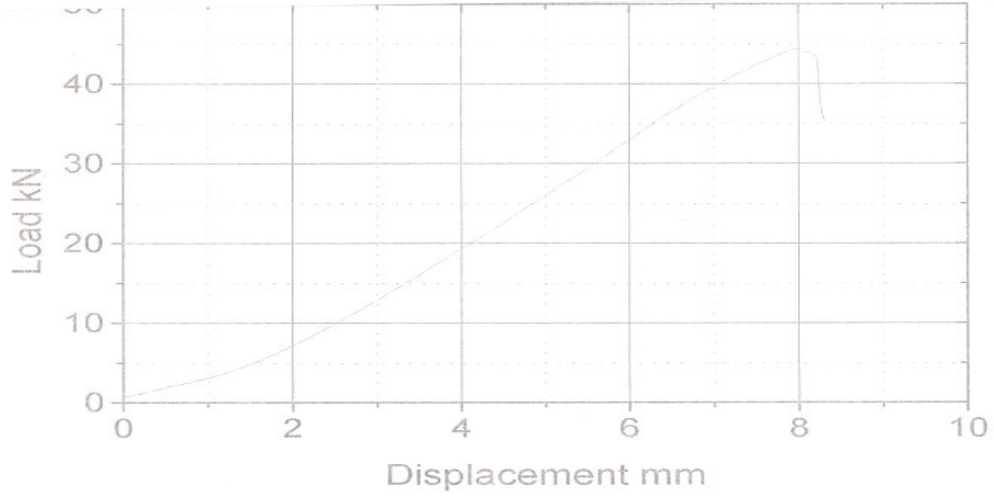
Şekil 2.10 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

Orta deliği 4 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, T çekme kuvveti 3mm/dak hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü çubuğun betondan 46.143 kN'da sıyrıldığı, çelik donatının betondan sıyrıldığı andan sonra numune ön tarafında hafif bir çatlama olduğu görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.11'de görüldüğü gibi çizdirildi.



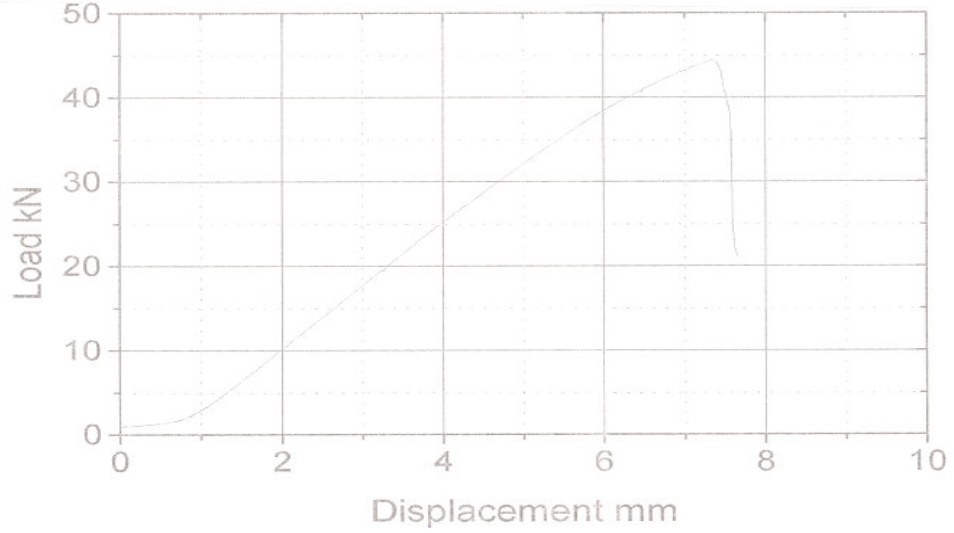
Şekil 2.11 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

Orta deliği 7 cm olan elik plakalı çekme deneyinde, T ekme kuvveti 3mm/dak hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü ubuğun betondan 43.622 kN'da sıyrıldığı görüldü. elik donatının betondan sıyrılmasından sonra betonda herhangi bir çatlama olmadığı görüldü. elik ubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.12'de görüldüğü gibi çizdirildi.



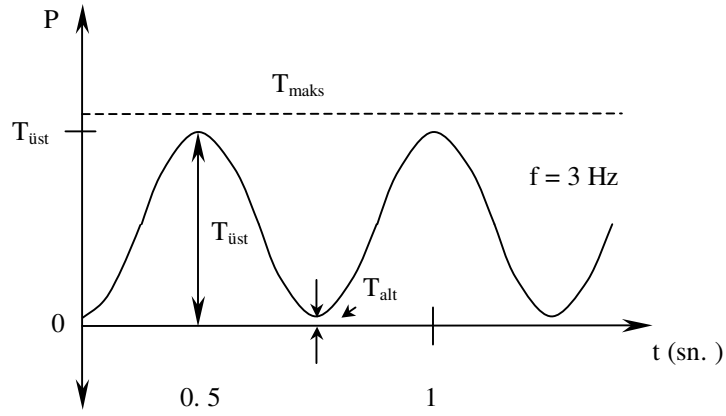
Şekil 2. 12 elik ubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

Orta deliği 8 cm olan elik plakalı çekme deneyinde, T ekme kuvveti 3mm/dak hızla statik olarak uygulandı Nervürlü ubuğun betondan 43.454 kN'da sıyrıldığı görüldü. elik donatının betondan sıyrıldığı andan sonra numunenin ön tarafından çatladığı görüldü elik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.13'de görüldüğü gibi çizdirildi.



Şekil 2. 13 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

Sonrasında statik çekme deneyleri sonucuna bağlı olarak dinamik yükleme deneylerine geçildi.



Şekil 2. 14 Sabit Frekans Değişken Genlikli Sinüzoidal Dinamik Yük Eğrisi

Dinamik yüklemeler; Statik çekme deneyinde elde edilen maksimum çekme kuvvetinin %90'i üst değer, 1 KN alt değer olmak üzere uygulandı. Yükün frekansı 3 Hz sabit tutularak 2000 saykılık yükleme yapılmıştır. Her bir yükleme 11. 1 dakika sürmüştür.

Tüst1 = 0, 90 Tmaks ,

Talt = 1 KN

f = 3 Hz. Stoplam = 2000 saykıl

$$t = \frac{S_{toplam}}{60.f} = \frac{3000}{60.3} = 11.1 \text{ dak.} \quad (2.7)$$

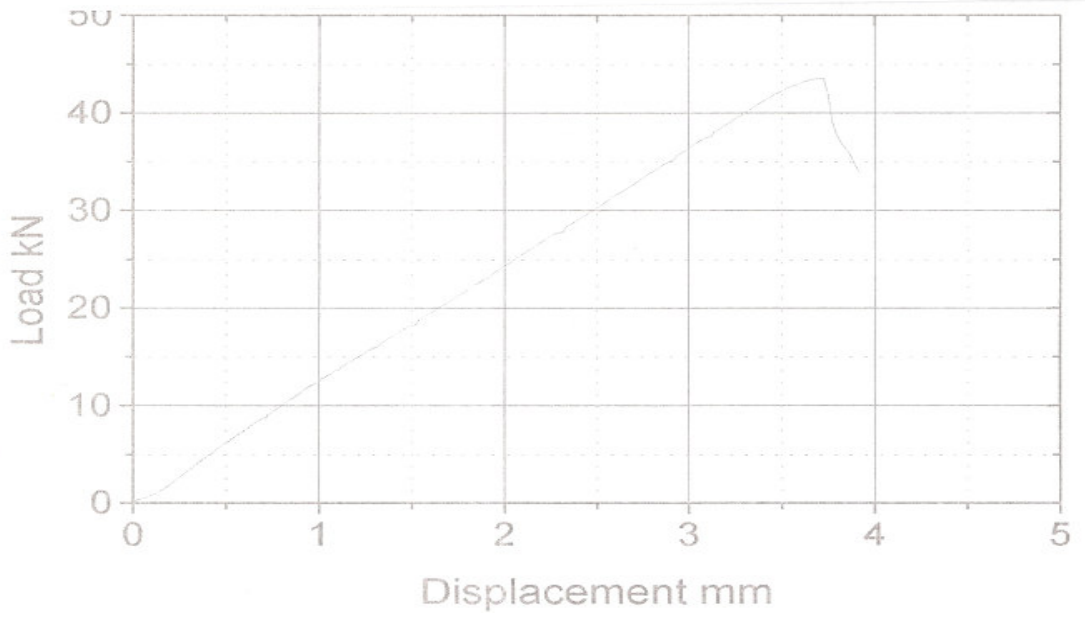
Orta deliği 2 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, 1 kN ile 45 kN arasında 3 Hz frekansında 2000 saykılılık yükleme yapıldıktan sonra statik çekme deneyine tabii tutulmuştur. Nervürlü çubuğun betondan 45. 154 kN'da sıyrıldığı, sonrasında çatlama veya kırılma olmadığı görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2. 15'de görüldüğü gibi çizdirildi.



Şekil 2.15 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

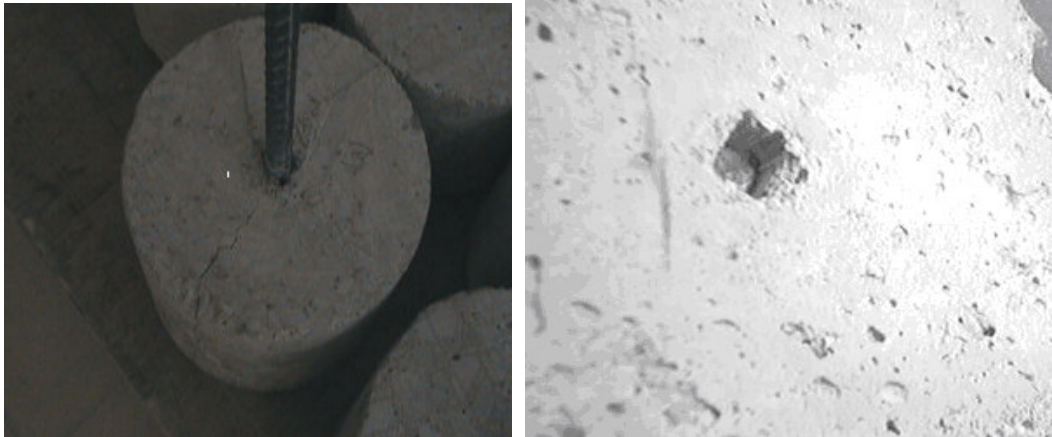
Orta deliği 8 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, 1 KN ile 39 KN arasında 3 Hz frekansında 2000 saykılılık yükleme yapıldıktan sonra statik çekme deneyine tabii tutulmuştur. Nervürlü çubuğun betondan 43.574 kN'da

sıyrıldığı, sonrasında kırıldığı görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2. 16'de görüldüğü gibi çizdirildi.



Şekil 2. 16 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

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



Fotoğraf 2. 14 Numunelerin Dinamik+Statik Deneylerden Sonra Aldığı Şekil

Fotoğraf 2.14'de dinamik yüklemesi yapıldıktan sonra tekrar statik yüklemesi yapılmış bir numunenin donatısının sıyrılmış hali yer almaktadır.

Bu deneyden sonra makina bozulduğu için dinamik deneylere devam edilemedi.

2.6.2.2.3 Yüzey Açısı Farklı Küp Numunelerde Statik Çekme Deneyi

BS20 beton sınıfına ait yüzey açısı 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 9°, 11°, 13°, 15° olarak hazırlanmış küp numunelerin orta ekseninde Ø12'lik nervürlü elik bulunmakta olup, 28 gün standartların ön gördüğü kür uygulandıktan sonra statik çekme deneyleri AKG Gaz Beton laboratuvarlarında yapılmıştır.



Fotoğraf 2. 15 Kalıp +Numune +Statik Yükleme Cihazı

Çekme deneyi ZWICG Material Prüfung Z100 markalı 100kN kapasiteli, 0.001 hassasiyetli aksenal çekme ve basınç makinesinde yapılmıştır.

Öncelikle elik kalıp deney aletine takıldı, sonrasında orta deliği 2 cm olan elik plaka, elik kalıp deney aletine yerleştirildi, numune test kalıbı içerisine yerleştirilmeden test esnasında oluşabilecek yanlış

mesnetlenmelerin önüne geçebilmek ve uniform yük dağılımını sağlamak amacıyla çelik plaka ile beton arasına ortası delikli her test için değiştirilebilen kontra plak levha eklendi sonrasında yüzey açısı 0° olan küp numune kalıba yerleştirildi.

T çekme kuvveti 5mm/dak hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü çubuğun betondan 53.792 kN'da sıyrıldığı görüldü. Çekmede çatlak veya kırılma olmadı. Grafiği alınmadı sadece sonuç değerleri yazıcıdan çıkarttırıldı. Bu değer, Şekil 2.19'da gösterilmiştir.

AKG KIRIKKALE GAZBETON İŞLETMELERİ
Donatı teli kaynak dayanımı test raporu

Date : 12.04.08 Time : 10:16:14

Malzeme Tipi: Testi yapan : ibrahim CENGİZ
Parti no : Vardiya : 08:00-16:00
Tarih : Test şekli : Çekme+uzama
Çap : 12 Gonderen Firma:

PARAMETER :

ölçme boyu L0	: 50	mm	Akma sınırı	: 0.2	%
ön yük Fv	: 2	N/mm ²	Referans değeri 2:	0	%
ön yükleme hızı	: 5	mm/min	Referans değeri 3:	0	%
Test hızı	: 0.5	mm/min	Referans değeri 4:	0	%

TEST RESULTS :

n	E-Modülü N/mm ²	Akma dayanımı N/mm ²	Çekme dayanımı N/mm ²	Uzama(Fmaks) %	Kopma dayanımı N/mm ²	Kopma uzaması %	Kesit mm ²	Test süresi s
1	512.65	---	475.62	18.76	414.66	19.15	113.10	110.8

Şekil 2. 17 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri

Yüzey açısı 0° olan küp numune, orta deliği 2 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, T çekme kuvveti 5mm/ dak hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü çubuğun betondan 51.746 kN'da sıyrılma anında çatladiğı görüldü.

Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri ve yük-uzama grafiği şekil 2. 18'de görüldüğü gibi çizdirildi.

AKG KIRIKKALE GAZBETON İŞLETMELERİ
Donatı teli kaynak dayanımı test raporu

Date : 12.04.08
Malzeme Tipi :
Parti no :
Tarih :
Çap : 12

Time : 10:34:07

Testi yapan : İbrahim CENGİZ
Vardiya : 08:00-16:00
Test şekli : Çekme uzama
Gönderen Firma:

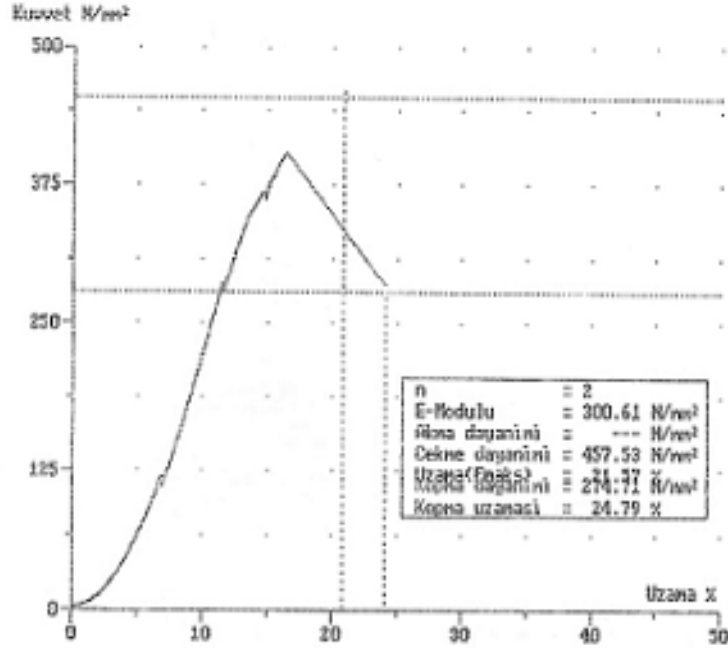
PARAMETER :

Ölçme boyu L0 : 50 mm
Ön yük Fy : 2 N/mm²
Ön yüklenme hızı : 5 mm/min
Test hızı : 5 mm/min

Akma sınırı : 0.2 %
Referans değeri 2: 0 %
Referans değeri 3: 0 %
Referans değeri 4: 0 %

TEST RESULTS :

n	E-Modülü N/mm ²	Akma dayanımı N/mm ²	Çekme dayanımı N/mm ²	Uzama (Fa) %	Kopma dayanımı N/mm ²	Kopma uzaması %	Kesit mm ²	Test süresi s
2	300.61	---	457.53	21.57	274.71	24.79	110.10	146.5



Şekil 2. 18 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Uzama Grafiği

Yüzey açısı 15° olan küp numune, orta deliği 2 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, T çekme kuvveti 5mm/dak hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü çubuğun betondan 42.941 kN'da sıyrılma anında numunenin sol tarafından çatladığı görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.19'de görüldüğü gibi çizdirildi.

AKG KIRIKKALE GAZBETON İŞLETMELERİ
Donatı teli kaynak dayanımı test raporu

Date : 12.04.08

Time : 11:36:59

Malzeme Tipi:

Parti no :

Tarih :

Çap : 12

Testi yapan : İbrahim CENGİZ

Vardiya : 08:00-16:00

Test şekli : Çekme+uzama

Gönderen Firma:

PARAMETER :

Ölçme boyu L_0 : 50 mm

Ön yük F_v : 2 N/mm²

Ön yükleme hızı : 5 mm/min

Test hızı : 5 mm/min

Akma sınırı : 0.2 %

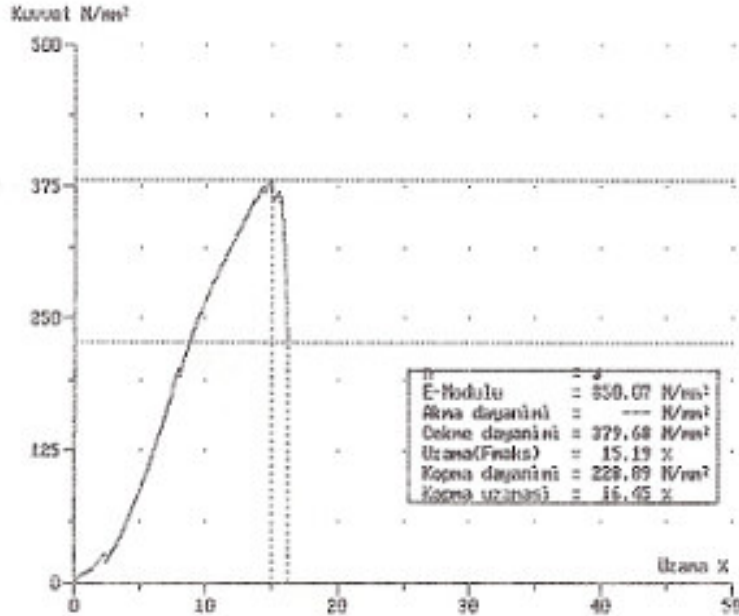
Referans değeri 2: 0 %

Referans değeri 3: 0 %

Referans değeri 4: 0 %

TEST RESULTS :

n	E-Modülü N/mm ²	Akma dayanımı N/mm ²	Çekme dayanımı N/mm ²	Uzama(Fmaks) %	Kopma dayanımı N/mm ²	Kopma uzaması %	Fesit mm	Test süresi s
3	850.07	---	379.68	15.19	228.89	16.45	113.10	98.1



Zwick PC Software Z1005

Şekil 2.19 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Uzama Grafiği

Yüzey açısı 8° olan küp numune, orta deliği 2 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, T çekme kuvveti 5mm/dak. hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü çubuğun betondan 48.001 kN'da sıyrılmasıyla birlikte çatladığı görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.20'de görüldüğü gibi çizdirildi.

AKG KIRIKKALE GAZBETON İŞLETMELERİ
Donatı teli kaynak dayanımı test raporu

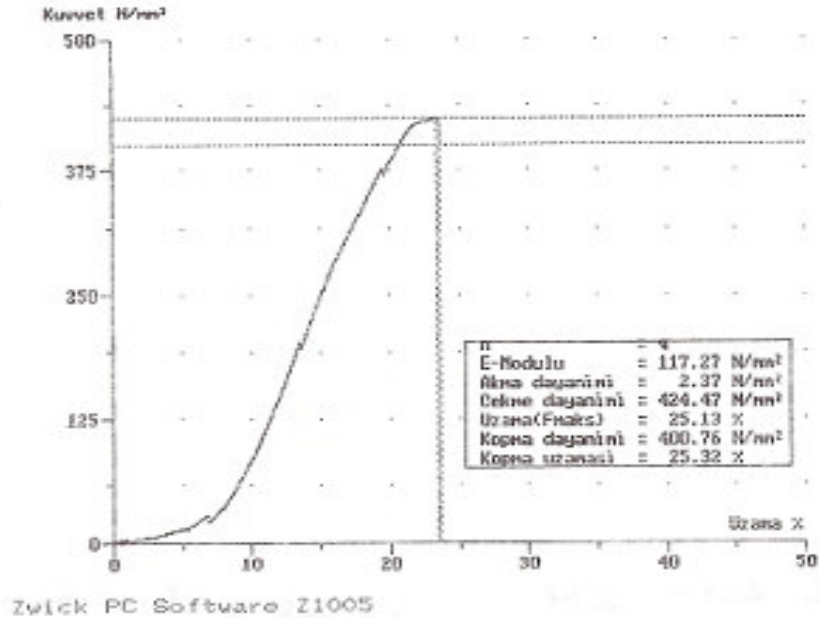
Date : 12.04.08 Time : 11:42:27

Malzeme Tipi: Testi yapan : İbrahim CENGİZ
Parti no : Vardiya : 08:00-16:00
Tarih : Test şekli : Çekme+uzama
Çap : 12 Gonderen Firma:

PARAMETER :
Çiçme boyu L0 : 50 mm Akma sınırı : 0.2 %
Ön yük Fv : 2 N/mm² Referans değeri 2: 0 %
Ön yükleme hızı: 5 mm/min Referans değeri 3: 0 %
Test hızı : 5 mm/min Referans değeri 4: 0 %

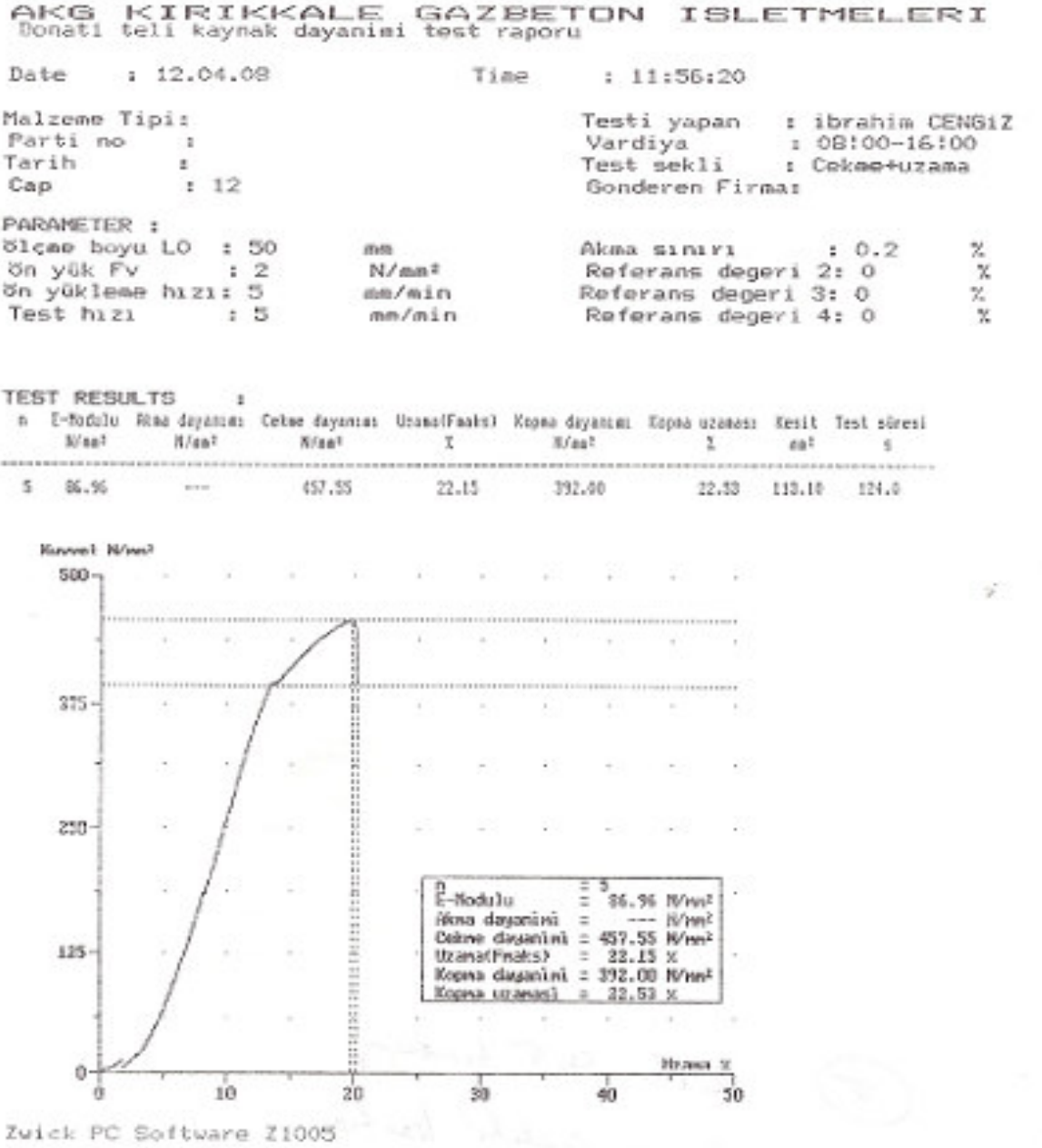
TEST RESULTS :

n	E-Modulu N/mm ²	Akma dayanımı N/mm ²	Çekme dayanımı N/mm ²	Uzama(Faakt) %	Kopma dayanımı N/mm ²	Kopma uzaması %	Kesit mm ²	Test süresi s
4	117.27	2.37	424.47	25.13	400.76	25.32	113.10	144.2



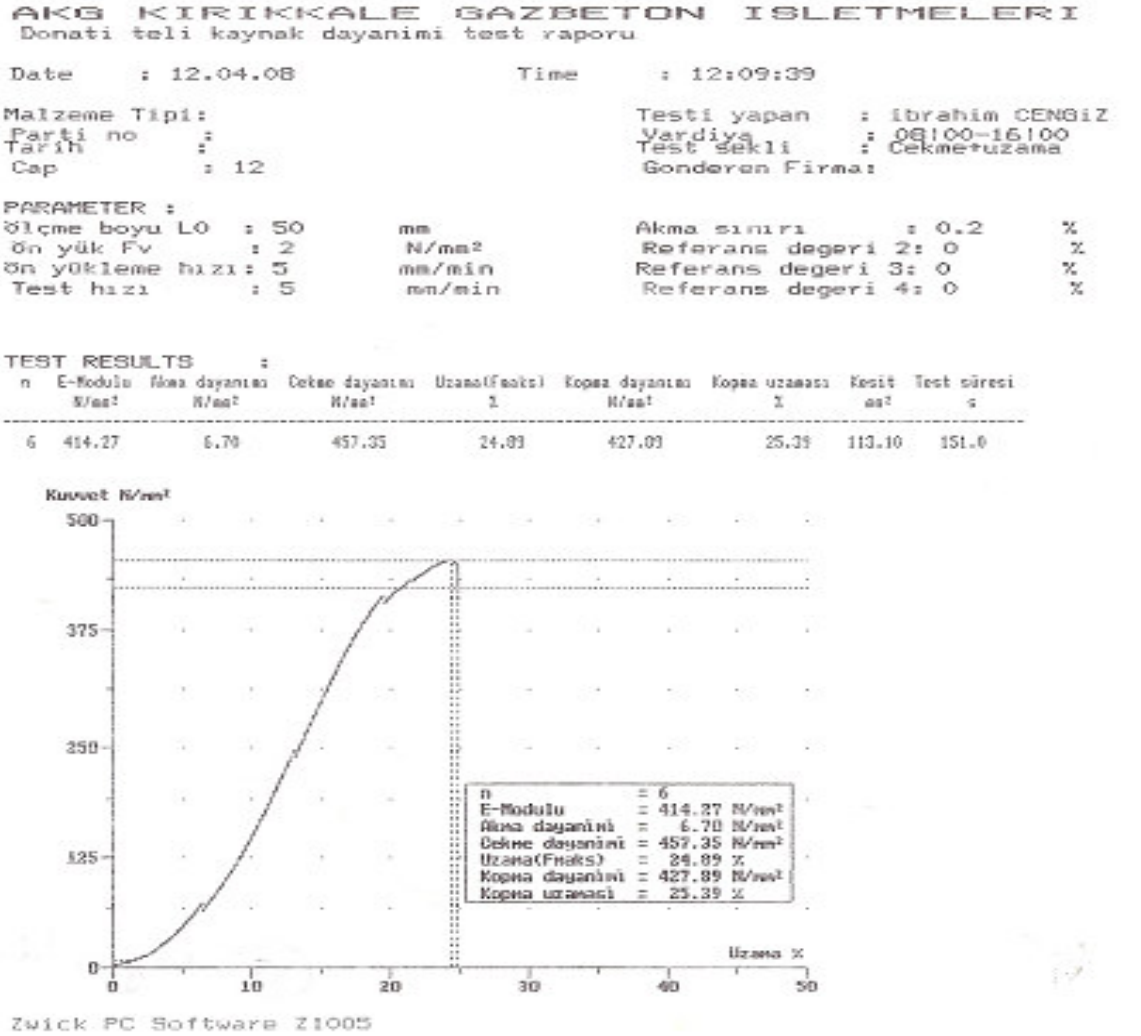
Şekil 2.20 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Yük-Uzama Grafiği

Yüzey açısı 2° olan küp numune, orta deliği 2 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, T çekme kuvveti 5mm/dak hızla statik olarak uygulandı. Nervürlü çubuğun betondan 51.748 kN'da sıyrılmayla birlikte çatladığı görüldü. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.21'de görüldüğü gibi çizdirildi.



Şekil 2. 21 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Uzama Grafiği

Yüzey açısı 0° olan küp numune, orta deliği 8 cm olan çelik plakalı çekme deneyinde, 5mm/dak hızla statik olarak T çekme kuvveti uygulandı, nervürlü çubuk çekilip 51.726 kN'da makine ağzından kurtuldu, Şekil 2.22'de bu ana kadar ki yükleme grafiği aşağıdadır. Sonrasında tekrar çekmeye tabi tutulmuştur. Nervürlü çubuğun betondan 52.991 kN'da sıyrılmayla birlikte çatladığı görülmüştür. Çelik çubuğun sıyrıldığı andaki yük değeri okundu ve yük-uzama grafiği Şekil 2.23'de görüldüğü gibi çizdirildi.



Şekil 2.22 Çelik Çubuğun Kurtulduğu Andaki Yük Değeri ve Uzama Grafiği

AKG KIRIKKALE GAZBETON İŞLETMELERİ

Donatı teli kaynak dayanımı test raporu

Date : 12.04.08

Time : 12:15:52

Malzeme Tipi:

Parti no :

Tarih :

Çap : 12

Testi yapan : İbrahim CENGİZ

Vardiya : 08:00-16:00

Test şekli : Çekme+uzama

Gönderen Firma:

PARAMETER :

Ölçme boyu L0 : 50 mm

Ön yük Fv : 2 N/mm²

Ön yükleme hızı : 5 mm/min

Test hızı : 15 mm/min

Akma sınırı : 0.2 %

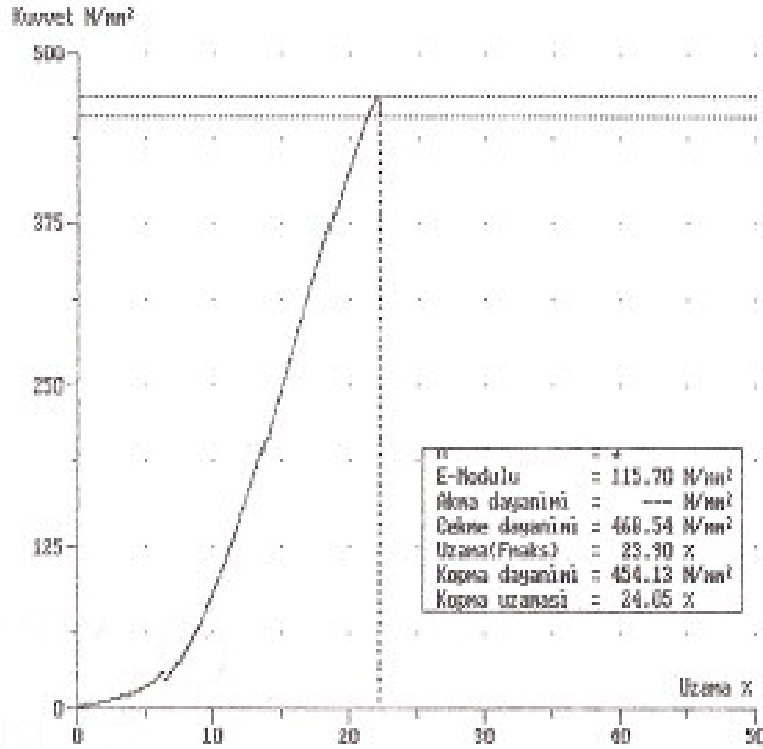
Referans değeri 2: 0 %

Referans değeri 3: 0 %

Referans değeri 4: 0 %

TEST RESULTS :

	E-Modülü N/mm ²	Akma dayanımı N/mm ²	Çekme dayanımı N/mm ²	Uzama(Frakts) %	Kopma dayanımı N/mm ²	Kopma uzaması %	Kesit mm ²	Test silresi :
7	115.70	---	468.54	23.90	454.13	24.05	113.10	46.8



Zwick PC Software Z1005

Şekil 2.23 Çelik Çubuğun Sıyrıldığı Andaki Yük Değeri ve Uzama Grafiği

3.ARAŞTIRMA BULGULARI

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.



Fotoğraf 3.1 Beton Numunenin Çekme Bölgesinde Ezilmesi

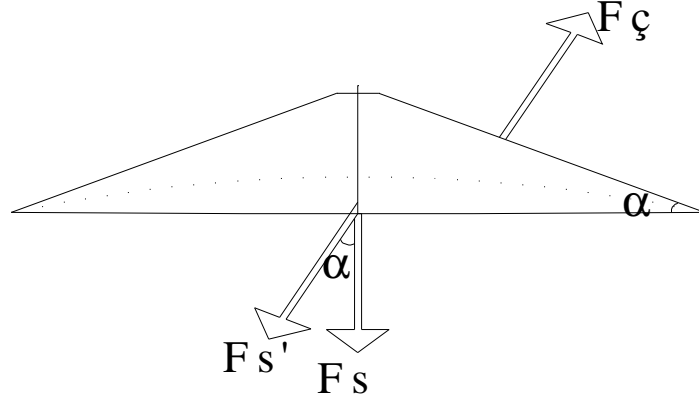
Yapılan deney sonuçlarına göre donatı çevresinde oluşan aderans kuvvetinin, betonun patlama yüzeyinde donatı çevresinde oluşan koni yüzeyinde oluşan aderans kuvvetinden daha büyük olması, betonun çekme mukavemetinin artması ile bu iki kuvvet farkının da arttığı görülmüştür.

$$F=(10-h)*A+(\pi*r*(\sqrt{r^2+h^2})*f_{ctk}) \quad (3.1)$$

$$A=(F-(\pi*r*(\sqrt{r^2+h^2})*f_{ctk}))/((10-h)) \quad (3.2)$$

$$\zeta=A/(2*\pi*r) \quad (3.3)$$

Burada F çubuğun sıyrılma kuvveti, A birim boya gelen aderans kuvveti, ζ birim alana gelen aderans kuvveti, h çekme ezilmesinin yüksekliği (koni yüksekliği), r çelik levhada delik yarıçapı, Φ çelik levha delik çapıdır.



Şekil 3. 1 Çekme Konisi

Beton ile donatı arasındaki F_s' sıyrma kuvvetinin koni yüzeyinde oluşan çekme $F_ç$ ile kıyaslandığında

$$A_s \cdot \zeta \cdot \cos \alpha > F_ç = f_{ctk} \cdot A_ç \quad (3.5)$$

Sıyrma kuvvetinin daha büyük olduğu görülür.

$$F_s' = h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \zeta > F_ç = f_{ctk} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (r + h) \quad (3.6)$$

Yapılan deneylerden 2 cm delikli çelik plaka kullanılan numunenin değerleri alınıp, formül 3.5-3.6'da uygulandığında $(0,5 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot 1,37538 > 0,29 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1(12 + 0,52))$ bağıntısından sıyrma kuvveti değeri 2.2897 kN olup, koni yüzeyindeki 2.037 kN değerden büyük olmaktadır. Bu yüzden numunelerde sıyrılmadan önce çatlayarak koni oluşmaktadır. (A_s =Çelik çubuğun çekme konisi içindeki alanı, $A_ç$ =Çekme konisi yüzey alanı)

Önce koni çatlıyor sonrasında sıyrılmamanın devreye girdiği anlaşılıyor. h kadar koninin çekme etkisiyle boyunun uzadığı uzarken de betonda

oluşturduğu çekme kuvvetinin etkisiyle koni şeklinde betonu patlattığı kalan ankrajlı kısmın daha sonra aderasta sıyrılma ile direndiği görülmüştür.

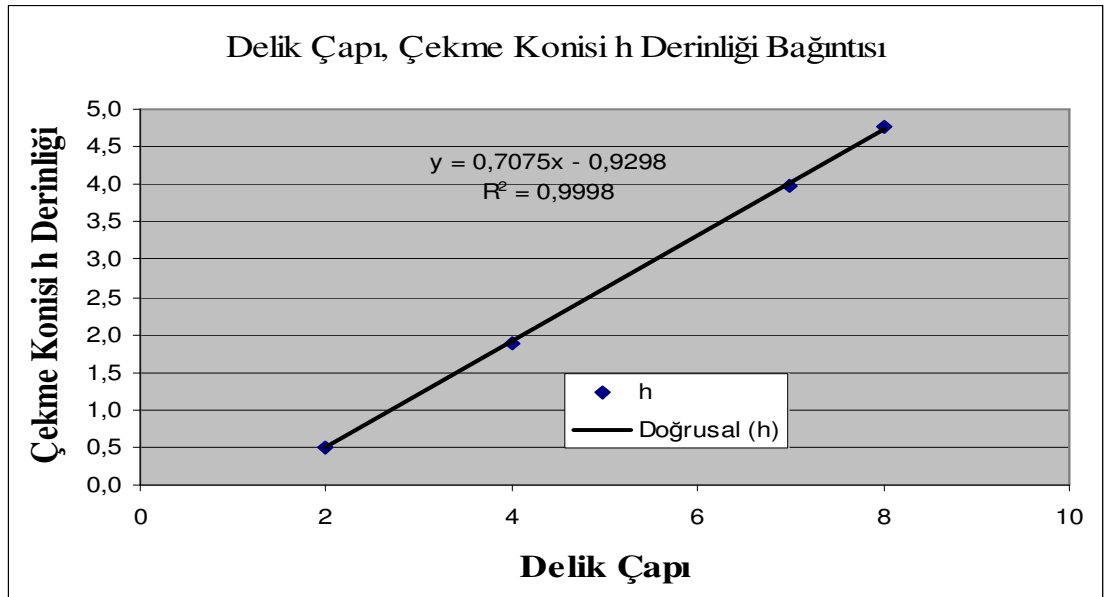
Beton çekme dayanımı tüm numunelerde eşit olduğu için ζ değerinin de sabit olduğu kabul edildiğinde, h (çekme ezilmesinin yüksekliği) ile Φ (delik çapı) değerleri arasında lineer bir bağıntının olduğu görülmüştür. Burada demirin çapı 12 mm ve betonun çekme dayanımı 0.29 kN/cm² alındığında çekme hunisinin derinliği ile delik çapı arasında, 0,9998 regregasyonla

$$y=0,7075x-0,9298 \quad (3.4)$$

bağıntısının olduğu görülmüştür.

Tablo 3. 1 Φ , h , F , A ve ζ arasındaki ilişki.

Φ (cm)	h (cm)	F (kN)	A (kN/cm)	ζ (kN/cm ²)
2	0,50	50,27	5,18	1,375
4	1,88	46,14	5,18	1,375
7	3,99	43,62	5,18	1,375
8	4,76	43,45	5,18	1,375

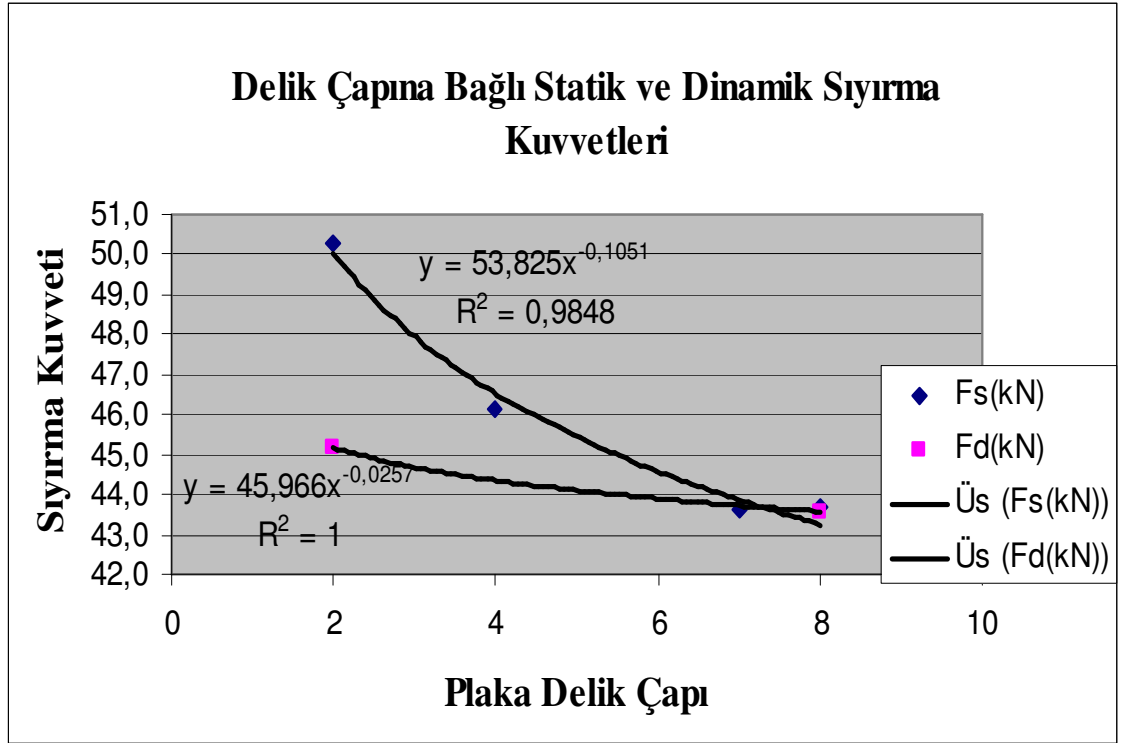


Grafik 3.1 h değeriyle delik çapı arasında ki bağıntı.

Silindir numunelerin değişik delik çaplı elik plakalardan statik ve dinamik deneyleri sonucunda, elik plakaların delik çapı arttıkça, sıyrılma yüklerinin, azaldığı görülmüştür.

Tablo 3.2 Φ , Statik ve Dinamik Sıyrılma Kuvvetleri arasındaki ilişki.

Φ (cm)	F _s (kN)	F _d (kN)
2	50,27	45,15
4	46,14	
7	43,62	
8	43,65	43,57



Grafik 3.2 Plaka delik çapına göre statik ve dinamik yükleme arasında ki bağıntı

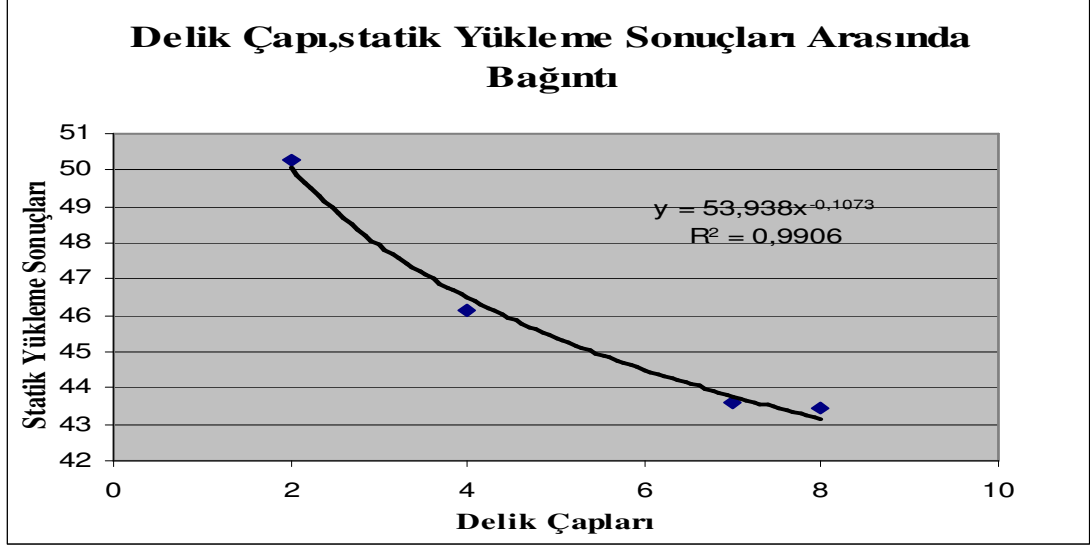
Silindir numunelerin değişik delik çaplı elik plakalarda sıyrılma deneyleri sonucunda, elik plakaların delik çapı arttıkça, sıyrılma yükünün, azaldığı görülmüştür. Delik apı sıyrılma yükü arasında 0,9906 regresyonla,

$$Y=53.938x-0,1073 \quad (3.5)$$

bağıntısının olduğu görülmüştür.

Tablo 3.3 Delik Çapı, Sıyırılma Yüğü arasındaki ilişki.

Delik Çapı (cm)	Sıyırılma Yüğü (kN)
2,0	50,27
4,0	46,14
7,0	43,62
8,0	43,45



Grafik 3. 3 Delik çapı ile Statik Yükleme Sonuçları arasında ki bağntı.

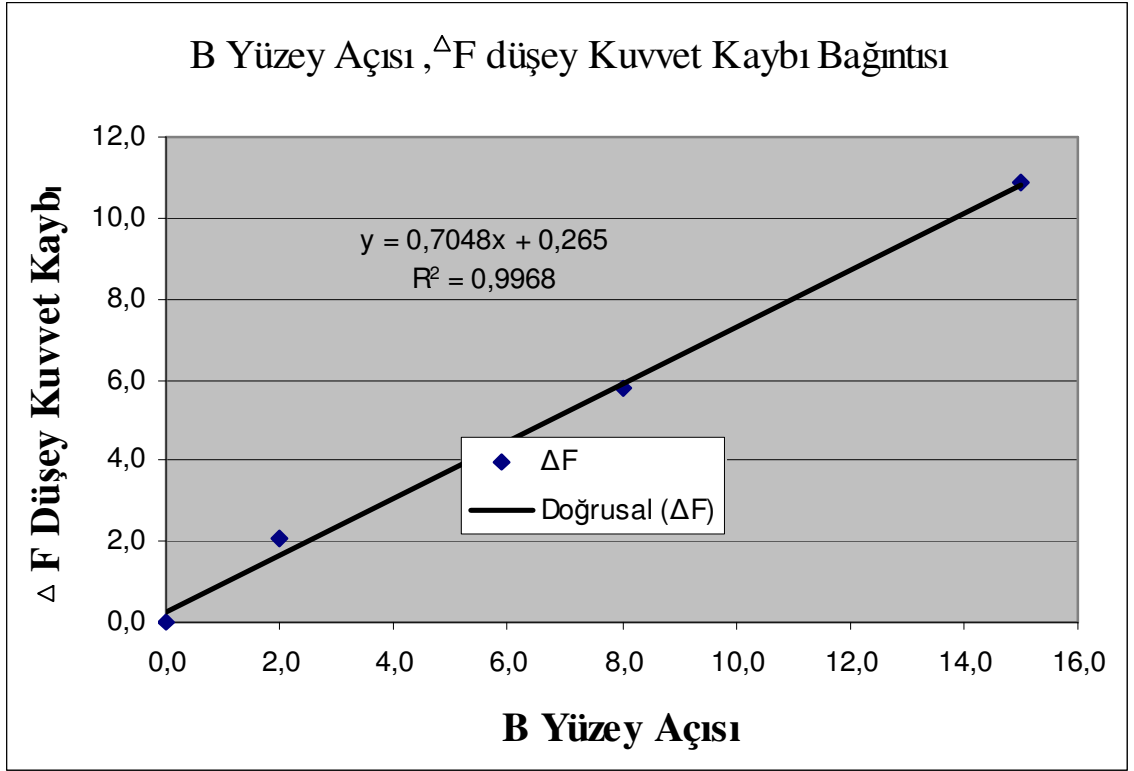
Yüzey açısı farklı küp numunelerin delik çapı 2 cm olan çelik plakalardan sıyırılma deneyleri sonucunda, küp numunenin β yüzey açısı arttıkça, sıyırılma yükünün açının sinüs bileşkesiyle azaldığı görülmüştür. β değeri değişken olup $\beta=0$ değeri için F kuvvetini sabit alıp diğer numunelerle kıyasladığımızda, ΔF düşey kuvvet kaybıyla arasında 0,9968 regrasyonla

$$Y=0.7048x+0.265 \quad (3.6)$$

bağıntısının olduğunu görülmüştür.

Tablo 3.4 β , F, ΔF arasındaki ilişki.

$\beta(^{\circ})$	F(kN)	ΔF (kN)
0	53,79	0,00
2	51,74	2,04
8	48,00	5,78
15	42,94	10,85



Grafik 3. 4 ΔF - β bağlantısı.

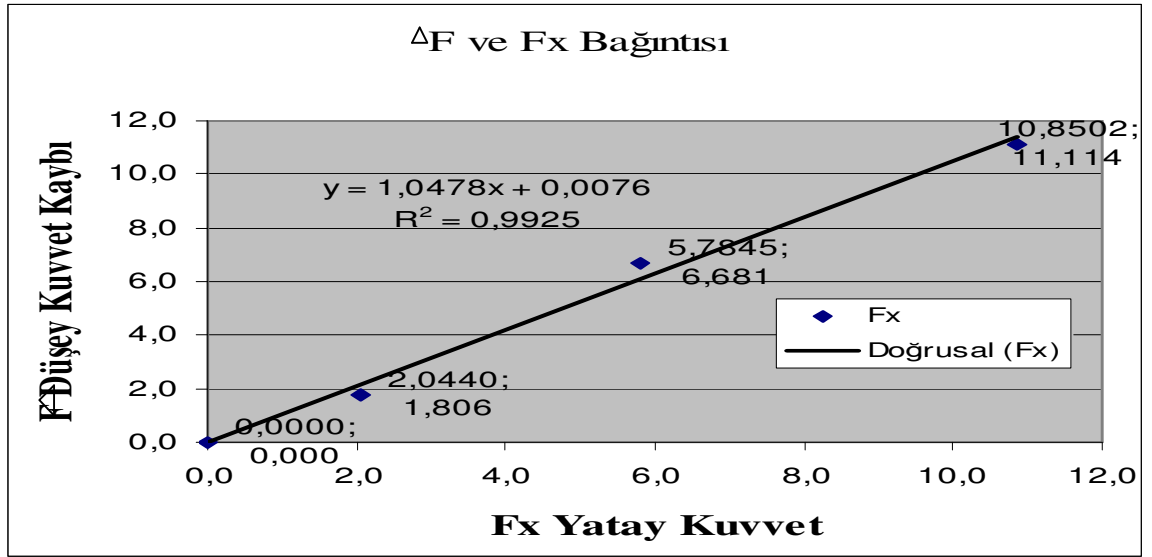
Yüzey açısı farklı küp numunelerin 2 cm delik çaplı çelik plakalardan sıyırılma deneyleri sonucunda, küp numunenin F_x yatay kuvvet ile ΔF düşey kuvvet kaybı arasında 0. 9925 regrasyonla

$$Y=1. 0478x+0. 0076 \quad (3.7)$$

bağlantısının olduğunu görülmüştür.

Tablo 3.5 β , ΔF ve F_x arasındaki ilişki.

β	ΔF	F_x
0,00	0,00	0,0
2,00	2,04	1,80
8,00	5,78	6,68
15,00	10,85	11,11



Grafik 3.5 ΔF ve F_x arasındaki bağıntı .

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan statik ve dinamik deneyler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Delik çapının küçükten büyüğe doğru gittikçe donatı çevresinde çekme konisinin yüksekliğinin arttığı görülmüştür.

2 cm delikli plakada dinamik yükleme sonucu statik yüklemeye göre % 11 gibi bir yorulma olduğu görülmekte, bu değerin beklenen değerlerin çok üzerinde olduğu için değerlendirilmeye alınmamış olup 8 cm delikli plakada dinamik yükleme sonucu statik yüklemeye göre %1 gibi bir yorulma olduğu görülmüştür.

Küçük delik çapı için ankraj boyunun tamamı sıyırma aderansı ile direndiği için statik sıyırma kuvveti yüksek sonuçlar vermiştir. Delik çapının büyümesi ile donatının çevresinde çekme konisi oluştuğundan daha düşük olan beton çekme dayanımı nedeni ile sıyırma kuvveti daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yüzey açısı farklı küp numunelerin 2 cm delik çaplı plakalardan sıyırılmaları sırasında, $\beta=0$ değeri için F kuvvetini sabit alıp diğer numunelerle kıyasladığımızda β yüzey açısı arttıkça, sıyırma yükünün açının sinüs bileşkesiyle azaldığı görülmüştür.

Destekleme yüzeyinin azalması donatı çelik çevresindeki delik çapı büyüdükçe betonun çekme mukavemeti etkisi etkili olduğundan donatı sıyırma kuvveti azalmakta, donatı çelik çekmeyle birlikte sıyırılmaya, maruz kalmakta, donatı yüzeyi arttırılmış donatı çelik ise sıyırılmaya maruz

kalmaktadır. Bu bakımdan donatı çevresinde destekleme yüzeyi önem arz etmiştir. Betonun çekme mukavemetinin aderansı doğrudan etkilediği görülmüştür.

Ankraj donatılarının beton içerisine çekme yüzeyine paralel olarak yerleştirilmesi en büyük sıyırma kuvvetini vermiştir. Açılı olarak yerleştirilmesinin sıyırma kuvvetini azalttığı gözlenmiştir.

İleriki çalışmalar için beton numunelerin dayanımları, donatıların gömme derinlikleri, numunelere uygulanan dinamik yükün özellikleri, test modeli değiştirilerek beton ile donatı arası aderansta ki performans değişimi incelenebilir

KAYNAKLAR

1. Z. Celep, N. Kumbasar, Betonarme Yapılar, İstanbul 2005.
2. A. Orbay, Betonarme I, İzmir Ağustos 2005.
3. Turhan Y. Erdoğan, Beton, O. D. T. Ü, 2003.
4. U. Ersoy, Betonarme, O. D. T. Ü, 1985.
5. Ferguson; P. M. ; 'Reinforced Concrete Fundamentals', John Willey and Sons, 4. th Edition, pp. 169-210, , Newyork, 1979.
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. ,Nervürlü Tor çeliklerin Özellikleri, Ankara,1969.
8. Takeda, T. , Sozen, M. A. , and Nielsen, N. N. , 'Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes', Proceedings, ASCE, V. 96, ST12, Dec. 1970.
9. İsmail, 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. ,Pull-Out Mechanism in Steel Fibre Reinforced Concrete, Proceedings, ASCE, V. 102, ST8,1976.
- 11.Burakiewicz, A. , 'Testing of Fibre Bond Strength in Cement Matrix, RILEM Symposium, 353-365 pp. , 1978.
- 12.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.
13. Naaman, A. E. , and Husamuddin, N. , Bond-Slip Mechanism of Steel Fibers in Concrete, ACI Materials Journal, 88-m17, 135-145 pp. , 1991.
14. Larrad, 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.
15. V. Yerlici ve T. Özturan, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, **13**, Sayı 1, Ocak (2002).
16. Gaborova, P. , G. , and Rosati, G. , P. , 'Bond and Splitting in bar Pull-out, Milano, 1997.
17. S. Baradan 'Çimento Tipinin Aderansa Etkisi. ' Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 1997.
18. Y. Ünal 'Aderansın Betonun Agregata Tane Çapı ve Dayanımına Bağlı Olarak Değişimi Üzerine Bir Araştırma' Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 1998.
19. E. Çağlar, 'Tekrarlanan Yükler Altında Aderansta Yorulma' Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Ocak 2005.
20. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara 2000.
21. İ. Aka, F. Keskinel, T. S. ARDA, Betonarmeye Giriş, İstanbul, 1999.