

BETONARME DONATILARIN ADERANS EKİNDE BOYUT ETKİSİ

Burak KURT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2006

ANKARA

BETONARME DONATILARIN ADERANS EKİ DENEYLERİNDE
BOYUT ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Burak KURT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OCAK 2006

ÖZET

Beton yapıların göçmesinin sünek olması istenir ancak betonun heterojen yapısı nedeniyle gevrek göçme meydana gelmektedir. Sünek göçmede malzeme taşıma gücüne eriştiğinde artan deformasyonlar ile yük sabit kalırken, gevrek malzeme göçmesinde ise malzeme taşıma gücüne eriştikten sonra yük azalır. Davranış ve güvenliği olumsuz etkileyen bu yük azalmasının nedeni büyük olasılıkla boyut etkisidir. Çünkü geometrik olarak benzer farklı boyutlardaki elemanlarda göçme gerilmesi artan boyutlarla azalmaktadır. Bu çalışmada betonarme donatıların aderans eki deneylerinde boyut etkisinin varlığı araştırılmış, Bazant tarafından verilen boyut etkisi formüllerinin geçerliliği irdelenmiştir.

Bilim Kodu :911
Anahtar Kelimeler :Boyut etkisi, kırılma mekaniği, beton yapılar, göçme, aderans, beton deneyleri
Sayfa Adedi :111
Tez Yöneticisi :Prof.Dr.Sıddık ŞENER

**SIZE EFFECT TEST IN BOND SPLICES OF REINFORCED
CONCRETE BARS**

(M.Sc. Thesis)

Burak KURT

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
JANUARY 2006**

ABSTRACT

Although ductile failure is preferred in concrete buildings, due to their heterogenic structures brittle failure is observed. While in ductile failure, the loading remains the same when the element reaches the load bearing capacity, in brittle failure the load is decreased. The reason of this recession is that, both causes affecting the design and safety is most probably the size effect. Because, geometrically similar but dimensionally different structures show that the failure tension rises with higher dimensions. In this study, the laboratory studies of adherence extends of the reinforcements of the reinforced concrete structures, the existence of size effects and the size effect formulas given by Bazant are inquired.

Science Code	:911
Key Words	:Size effect, fracture mechanics, concrete structures, fracture, reinforced concrete experiments
Page Number	:111
Adviser	:Prof.Dr.Siddık ŞENER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Sayın Prof.Dr.Sıddık ŞENER'e, yine kıymetli deneyimlerinden yararlandığım Sayın Dr.Çağatay BELGİN'e, deneylerin yapılması sırasındaki desteklerinden dolayı laboratuvar sorumlusu Sayın Faruk OGÜN'e, çalışmalarımın çeşitli aşamalarında yardım aldığım arkadaşlarım Selmin YILDIRIM'a ve Alp YAĞCIOĞLU'na ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ.....	3
2.1. Bu Konudaki Araştırmalar.....	3
2.2. Aderans.....	4
2.2.1. Aderansın nedenleri.....	4
2.2.2. Aderansa etki eden değişkenler.....	4
2.3. Kırılma Mekaniği ve Boyut Etkisi.....	5
2.4.Griffith Teorisi.....	8
2.5.Weibull Teorisi.....	9
2.6.Irwin Teorisi.....	10
2.7.LEKM'nin Betona Uygulanması.....	9
2.8. Kırılma Mekaniği Kullanmak İçin Nedenler.....	13
2.9. Boyut Etkisi.....	14
2.10. Boyut Etkisi Denkleminin Elde Edilmesi.....	16

2.11. Aderans Ekinde Dayanım.....	20
3. DENEY NUMUNELERİ.....	24
3.1. Deney Numunelerinin Özellikleri.....	24
3.2. Kullanılan Malzemeler.....	27
3.2.1. Donatı.....	27
3.2.2. Beton.....	28
3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	28
3.3.1. Donatıların hazırlanması.....	28
3.3.2. Kalıpların hazırlanması.....	28
3.3.3. Beton karışımının hesabı.....	29
3.3.4. Betonun yerleştirilmesi.....	30
3.3.5. Numunelerin kalıplardan çıkarılması.....	31
3.4. Deneyin Yapılması.....	31
3.4.1. Deney numunelerinin yüklenmesi.....	31
3.4.2. Silindir basınç dayanımlarının bulunması.....	34
3.5. Deney Grupları.....	35
3.5.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubu.....	36
3.5.2. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubu.....	36
3.5.3. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubu.....	37
3.5.4. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubu.....	37
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	38
4.1. Sonuçların Analizi.....	38

	Sayfa
4.1.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun lineer regrasyon sonuçları.....	39
4.1.2. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun lineer regrasyon sonuçları.....	41
4.1.3. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun lineer regrasyon sonuçları.....	43
4.1.4. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun lineer regrasyon sonuçları.....	45
4.2. Göçme mekanizmaları.....	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	54
EKLER.....	58
EK-1. Deney Sonuçları.....	59
EK-2. Deney Resimleri.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	111

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Aderans ekinde deney sonuçları.....	33
Çizelge 4.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun sonuçları.....	40
Çizelge 4.2. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun korelasyon sonuçları.....	40
Çizelge 4.3. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları.....	42
Çizelge 4.4. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun korelasyon sonuçları.....	42
Çizelge 4.5. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları.....	44
Çizelge 4.6. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun lineer korelasyon sonuçları.....	44
Çizelge 4.7. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları.....	46
Çizelge 4.8. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun lineer korelasyon sonuçları.....	46
Çizelge 5.1. Eleman Katılıkları.....	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İç çentikli ya da çentiksiz eleastik gevrek malzeme plağında akış çizgileri gerilme yığılması.....	9
Şekil 2.2. Kırılma modları a)mod I, açılma modu b)mod II, kayma modu c) mod III, yırtılma modu.....	10
Şekil 2.3. Boyut etkisi yasası.....	14
Şekil 2.4. a)Gevrek malzemeler b)Yarı gevrek malzemeler.....	15
Şekil 2.5. Boyut etkisinin açıklanması.....	16
Şekil 2.6. Betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	17
Şekil 3.1. Deney numunelerinin genel özellikleri.....	26
Şekil 3.2. a)Küçük b)Orta c)Büyük deney elemanları.....	27
Şekil 4.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları.....	41
Şekil 4.2. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları.....	43
Şekil 4.3. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları.....	45
Şekil 4.4. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları.....	47
Şekil 4.5. Boyut değişim aralığı.....	48
Şekil 4.6. Eleman katılığı.....	48
Şekil 5.1. Deney numunelerinin toplu sonuçları.....	51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kontrol silindirleri.....	25
Resim 3.2. Deney numuneleri.....	25
Resim 3.3. DARTEC yükleme çerçevesi.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
a	İlerlemiş çatlak uzunluğu
a_o	İlk çatlak uzunluğu
b	İki boyutlu yapının kalınlığı
B	Malzeme özelliğine bağlı boyutsuz sabit
c	Minimum beton örtü kalınlığı
C_N	Uygunluk katsayısı
d	Karakteristik boyut
d_a	Maksimum agrega çapı
d_b	Çubuk çapı
d_o	Yapı biçimine bağlı boyutsuz sabit
E	Elastisite modülü
f_c	28 günlük silindir basınç dayanımı
f_t	Betonun çekme dayanımı
G_c	Çatlak yayılma hızı
G_f	Kırılma enerjisi
h_o	Çatlak bant genişliği
K	Gerilme yoğunluk çarpanı
K_c	Kırılma tokluğu
L_d	Çubuğun betona gömülü uzunluğu
M_t	Gerekli agrega ağırlığı
n	Numune sayısı
P_u	Kırılma yükü
G_f	Kırılma enerjisi
v_c	28 günlük teorik aderans dayanımı
v_u	Gerçek aderans dayanımı
V_b	Büyük boy deney numunesinin hacmi
V_k	Küçük boy deney numunesinin hacmi
V_o	Orta boy deney numunesinin hacmi

Simgeler

Açıklama

V_{sb}

Büyük boy silindir numunesinin hacmi

V_{sk}

Küçük boy deney numunesinin hacmi

V_{so}

Orta boy deney numunesinin hacmi

W

Yapıda depolanan potansiyel enerji

β

Gevreklik

σ_N

Nominal gerilme

γ

Kumun birim hacim ağırlığı

δ

Yerdeğiştirme

Kısaltmalar

Açıklama

TS

Türk Standartları

LEKM

Lineer Elastik Kırılma Mekaniği

NPÇ

Normal Portland Çimentosu

1. GİRİŞ

Yükün maksimum değere ulaşmasından sonra artan deformasyonlarda yükün sabit kaldığı göçmeler sünektir. Gevrek davranış gösteren malzemelerde ise yük maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaktadır. Plastik davranışta geometrik olarak aynı boyutlu elemanlar aynı gerilme seviyesinde göçmekte, gevrek davranışta ise göçmedeki nominal gerilme boyutlar arttıkça azalmaktadır. Bu durum yayılı çatlaklara bağlı olarak yumuşamanın olmasıyla oluşur. Göçme ilk çatlağın oluşması ve takip eden diğer çatlaklar ve son olarak göçme bölgesinin yarılması ile oluşur. Bir kesit göçtüğü anda komşu kesit taşınamayan zorlamaları karşılayarak taşıma gücüne ulaşır. Büyük bir elemanda bu yayılma daha büyük bir enerjinin göçme bölgesinde açığa çıkmasıyla kırılmayı kolaylaştırır ve kırılma daha belirgindir. Dolayısıyla küçük ve büyük elemanlarda göçme türleri farklılaşmaktadır. Bu yüzden aynı geometrik özelliklere sahip, farklı boyutlu elemanlarda boyut etkisi görülebilir.

Daha önce yapılan çalışmalarda, betonarme yapıların gevrek göçmesinde boyut etkisi görülmüştür. Varolan yönetmelik TS 500 (1) plastik limit analizine dayanmakta olup, boyut etkisi göstermez. Yani geometrik olarak benzer, farklı boyutlardaki elemanlar aynı gerilmede göçerler. Plastik limit analizinde yapı göçme anında tek serbestlik dereceli sistem gibi davranarak göçme yüzeyinde bütün noktalar aynı anda hareket ederek göçer. Gerçekte malzeme dayanımı, göçme yüzeyinin farklı noktalarında farklı zamanlarında aşılır. Maksimum yükte göçme yüzeyinin sadece bir noktası dayanım limitine ulaşırken diğer kısımlar dayanım limitine ulaşmaz. Çatlak gelişip yayılarak maksimum yük sonrası yumuşama görülür. Büyük yapıda çatlak kesit boyutuna göre daha küçük bölgede bölgesel hareket ederek boyut etkisi varlığını gerçekler.

Kırılma mekaniği, yapıda göçmenin yayılmasını göz önüne alan mukavemete dayalı enerji kriterleri kullanan bir göçme teorisidir. Her yapının içinde mikro çatlaklar vardır ve göçme, gerilmeler altında bu çatlakların birbirleriyle birleşmesinden oluşur. Çatlak gelişimi enerji gerektirir ve kırılma mekaniği bunu dikkate alır. Kırılma mekaniği, eleman göçmesini enerji kriterleriyle belirler.

Kırılma mekaniği, plastik limit analizine zıt olarak daima boyut etkisini dikkate alır. En kuvvetli boyut etkisi lineer elastik kırılma mekaniğinde oluşur. Lineer elastik kırılma mekaniğinde, malzeme göçmesi herhangi bir zamanda sadece çatlak tepesinde oluşarak kesit boyunca hareket eder. Beton gibi yarı gevrek malzemede göçme sonlu boyutlu kırılma bölgesinde oluşur.

Boyut etkisinin betonarme elemanların tasarımında kullanılması önemli yararlar getirmektedir. Özellikle farklı boyutlu yapı elemanları için aynı güvenliğe ulaşmak boyut etkisinin göz önüne alınması ile mümkündür. Böylece daha güvenli, daha ekonomik yapı tasarımı ve yeni beton malzeme ile yeni tasarım yöntemlerinin kullanma olasılığı artmaktadır. Boyut etkisinin kullanımı ile yüksek dayanımlı betonlar, çok büyük boyutlu yapılar (barajlar, nükleer santraller, savunma yapıları gibi) ile ön gerilmeli yapılar daha güvenli ve ekonomik şekilde inşa edilebilmektedirler.

Büyük yapılarda (barajlar, nükleer santraller, savunma yapıları gibi) kırılma bölgesi, kesitin küçük bölgesini kaplar yani göçme lokalize olur ve lineer elastik kırılma mekaniğine yakındır. Küçük yapılarda (laboratuvar numuneleri) kırılma bölgesi kesitin büyük kısmını kaplar ve göçme davranışı plastik limit analizine yakındır. Geometrik olarak benzer yapılar için nominal dayanıma bağlı olarak düşünülen nonlineer kırılma mekaniği, çok küçük kirişlerde plastik limit analizinden çok büyük kirişlerde lineer elastik kırılma mekaniğine geçişi gösterir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışmadaki amaç, direk aksenal yük altında beton gibi gevrek malzemenin betonarme donatı aderans eki göçmesinde, boyut etkisinin varlığını araştırmaktır.

2.1. Bu Konudaki Araştırmalar

Boyut etkisi üzerindeki araştırmalar özellikle Amerika'da Northwestern Üniversitesi'nde Prof.Dr.Z.P.Bazant'ın yönetiminde yapılmış olan analitik ve deneysel araştırmaların bazıları şunlardır:

Öngerilmeli beton kirişlerin diagonal kesme göçmesi (2), betonarme kirişlerin kesme göçmesinde boyut etkisi (3), agrega boyutunun değişimi ile boyut etkisinin incelenmesi (4), boyuna donatılı etriyeli kirişlerin kesme göçmesinde boyut etkisi (5), donatısız boruların kiriş ve çembersel göçmesi (6), kirişlerin burulma göçmesinde boyut etkisinin analitik incelenmesi (7), döşemelerin deneysel zımbalama göçmesi (8), boyuna donatılı ve donatısız kirişlerin deneysel olarak burulma göçmesi (9), çekip çıkarma deneylerinde boyut etkisi (10), etriyesiz betonarme kirişlerin diagonal kesme göçmesi (11), brezilya yarma deneylerinde boyut etkisi (12), yüksek mukavemetli çentikli beton kirişlerde boyut etkisi (13).

Bu araştırmalara paralel olarak Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Direk çekme altında aderans ekinde boyut etkisinin araştırılması (14-17), aderans ekinde dolaylı yükleme altında boyut etkisinin incelenmesi (18-19), Sargılı donatıların aderans ekinde boyut etkisi (20), dolaylı yükleme altında aderans ekinde sargılı ve sargısız 2 ve 3 boyutlu elemanlarda boyut etkisinin incelenmesi (21-22), donatılı ve donatısız betonarme kirişlerde boyut etkisinin araştırılması (23-25).

Bu konu ile ilgili çalışmalar gerek Amerika'da Northwestern niversitesinde gerekse Türkiye'de Gazi niversitesinde halen devam etmektedir.

2.2. Aderans

Betonarme olarak tanımlanan, beton ve elik çubuklardan oluşan elemanlar arasında kenetlenmeyi sağlayan kayma kuvvetlerine ‘aderans’ denir. Aderans kuvveti beton içindeki çubukların kaymasını önler, kenetlenmeyi sağlayarak beton ve çubukların beraber çalışmalarını sağlar.

2.2.1. Aderansın nedenleri

Aderansın nedenleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

- Beton ve elik arasındaki sürtünme kuvvetleri,
- elik ve beton arasındaki yapışmayı sağlayan moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri,
- Donatı ubuğu ve beton arasındaki mekanik diş kuvvetleri .

2.2.2. Aderansa etki eden değişkenler

Aderansa etki eden önemli değişkenler şunlardır:

- Betonun ekme mukavemeti
- Deneyler sonucunda çeliğin akma gerilmesinin aderansı etkileyen bir faktör olduğu anlaşılmıştır.
- ubuk yüzey geometrisi (düz, nervürlü) aderansı etkileyen etkenlerdendir.
- ubuk çapının özellikle nervürlü çelikler için çok önemli olduğu yapılan deneylerden anlaşılmıştır.
- Kenetlenme boyu aderansla arasında doğrusal bir orantı olmamakla birlikte aderansı etkileyen faktörlerden biridir.
- Pas payı veya beton örtü kalınlığı olarak adlandırılan beton örtüsü özellikle nervürlü çubuklarda etkilidir.

- Betonarme çubuğunun betonlama sırasındaki konumu etkili olmaktadır. Özellikle yüzeye yakın çubukların mukavemetinin düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni üst çubukların altında biriken hava kabarcıkları ve döküm ile piriz süresi arasında oluşan çökmedir.
- Kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri de aderansı etkiler. Örneğin hafif agrega ile yapılan betonun aderans dayanımı normal agrega ile yapılanlara göre daha düşüktür (26).

2.3. Kırılma Mekanîği ve Boyut Etkisi

Leonardo da Vinci, kırılma olgusunu araştıran ilk araştırmacıdır. Farklı uzunluklardaki aynı çaptaki teller üzerinde kırılma mukavemetinin değişimini incelemiştir. Günümüze kadar malzemelerin kırılma davranışını anlamak için birçok çalışma yapılmıştır. Numune boyutunun etkisini saptamak için Lloyd ve Hodkinson (27), demir çubuklar üzerinde boyut etkisini incelemiştir. Anderegg (28), aynı çalışmayı cam çubuklar ve fiberler için denemiştir. Weibull (29) bu boyut etkilerinin malzemedeki içsel çatlaklar dolayısıyla olduğunu göstermek için istatistiksel teknikler kullanmıştır.

Kırılma, bir malzemenin mekaniksel, fiziksel veya herhangi başka bir dış etkiden dolayı ortaya çıkan direncinin kaybolması şeklinde tanımlanır. Günümüzde malzemenin kırılması, çatlak tipi, hasarların mekaniksel ve fiziksel dış etkiler altında büyüyüp artması, sürekli ortamlar mekanîği çerçevesinde incelenmektedir. Bu araştırmaların büyük çoğunluğunda malzemenin yapısında çatlağın varolduğu kabul edilir. Griffith-Irwin kriteri kullanılarak çatlak ilerlemesine dış etkilerin ve malzeme özelliklerinin etkisi araştırılır. Bununla birlikte kompozit malzemelerin kırılmasının geleneksel malzemelerden bir çok farklılıkları da vardır. Ayrıca basınç altında kırılma olaylarını Griffith-Irwin kriteri yardımıyla araştırmak olanaksız olduğundan başka kriterlerin uygulanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır (30).

Kompozit bir malzeme olan beton, yarı gevrek bir malzeme olup, yalnızca plastik yada elastik teoriyle davranışının açıklanması pek gerçekçi değildir. Kırılma

mekaniğinde malzeme davranışı, sadece gerilme ve birim yerdeğiştirme cinsinden tanımlanmaz. Kırılma mekaniği, yapıda göçmenin yayılmasını göz önüne alan mukavemete dayalı enerji kriterleri kullanan bir göçme teorisidir. Her yapının içinde mikro çatlaklar vardır ve göçme, gerilmeler altında bu çatlakların birbirleriyle birleşmesinden oluşur. Çatlak gelişimi enerji gerektirir ve kırılma mekaniği bunu dikkate alır. Kırılma mekaniği, eleman göçmesini enerji kriterleriyle belirler. Geometrik olarak benzer yapıların göçme gerilmesi, boyut arttıkça azalır. Boyut etkisi, geometrik olarak benzer farklı boyuttaki elemanlarda, boyut arttıkça gerilmenin azalması olarak tanımlanır. Boyut etkisi özellikle yüksek dayanımlı betondan yapılmış elemanlarda ve büzülme gerilmelerinde önemlidir. Kırılma mekaniğinin beton için gerekli olmasının nedenlerinden biri de boyut etkisidir. Klasik gerilme analizlerinde, boyut etkisini kapsayan bağıntı bulunmamaktadır. Kırılma mekaniği, boyut etkisi içerdiği için daha gerçekçi çözümler elde edilir. Bu nedenlerle, kırılma mekaniğinin betona uygulanması çalışmaları önem kazanmaktadır. Önceki çalışmalar, beton gibi yarı gevrek göçme gösteren elemanlarda önemli boyut etkisi olduğunu göstermiştir. Yürürlükteki yönetmeliklerde basınç dayanımında boyut etkisi göz önüne alınmamaktadır. T.S.500 (1) ve TS 500 ün büyük ölçüde yararlandığı Amerikan yönetmeliği plastik limit analize dayanmakta olup boyut etkisi göstermez. Hawkins, ACI yönetmeliklerinde kırılma mekaniği teorilerinin kullanılmasının gerekli olduğunu 20 yıl önce açıklamıştır (31). Son ACI yönetmeliği (ACI 446 IR-91) kırılma mekaniği üzerine oturtulmaya çalışılmıştır.

Beton çok karmaşık bir iç yapıya sahiptir. Betonun bileşenleri olan çimento, agrega, suyun tek başına homojen oldukları bile düşünülse, birlikte, homojen olmayan betonu oluştururlar. Yüksüz durumda, beton eleman içinde çok sayıda küçük çatlak vardır. Yük uygulandığında, gerilme yığılması sonucu küçük çatlaklar gelişir, yayılır ve eleman göçmesine neden olan büyük çatlaklara dönüşür. Böyle bir davranışı matematik modelleme, kırılma mekaniği prensipleri ile gerçekleştirilmelidir. Kırılma mekaniğine dayanan matematik model, kırılma enerjisi denene enerji ile karakteristik uzunluk denene eşdeğer uzunluk içermelidir. Farklı boyutlu geometrik olarak benzer elemanlar karşılaştırıldığında bu matematik model ile boyut etkisi bulunabilir. Boyut

etkisi, kırılmada nominal gerilme σ_N 'in, yapının karakteristik boyutu D 'nin arttıkça azalması olarak görülür. Beton yapılar, boyut etkisinin çok fazla olduğu lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) ile (köprü ayakları, baraj gövdesi gibi büyük elemanlar), boyut etkisinin olmadığı (ihmal edildiği) plastik limit analiz (dayanım kriteri, elastik teori, taşıma gücü) arasındadır. Kırılma mekaniği analizinde, büyük yapıların boyutlandırılmasında göçme mekanizması üzerine yapılan çalışmalar çok başarılıdır. Betonda göçmenin tek bir noktada başlamayıp çatlak önünde sonlu bölgede oluşması, göçmenin yayılarak olduğunu gösterir. Boyut etkisi, bir başka deyiş ile, LEKM ile dayanım kriteri arasında geçiştir.

Yapılan deneyler, göçmede çatlama gerilmesinin eleman boyutu artarken azaldığını, boyut etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Yarı gevrek malzeme göçmelerinde, dağınık çatlakların doğurduğu boyut etkisi açık olarak görülmekte ve yapılmış olan çalışmalar, Bazant'ın yaklaşık boyut etkisi yasası ile uyumlu olmaktadır.

Beton yapıların göçmesinin sünek olması istenir fakat betonun heterojen yapısı nedeni ile, gevrek göçme kaçınılmazdır. Sünek malzeme göçmesinde taşıma gücüne erişildiğinde, artan deformasyonlar ile yük hemen hemen sabit kalabilirken, gevrek malzeme göçmesinde ise taşıma gücüne erişildikten sonra, yük azalır (yumuşama). Davranış ve güvenliği olumsuz etkileyen bu yük azalmasının nedenlerinden biri de, boyut etkisidir.

Önceki çalışmalar, beton ve/veya betonarme gibi yarı gevrek yapı göçmelerinin boyut etkisi gösterdiğini ortaya koymuştur. Plastik limit analizde göçme momentinde yapı limit duruma erişince, göçme anında tek serbestlik dereceli sistem gibi davranır ve göçme yüzeyinin bütün noktaları aynı anda hareket ederek göçer. Gevrek göçmede böyle bir davranış yoktur. Gerçekte malzeme dayanımı, göçme yüzeyinin farklı noktalarında farklı zamanlarda aşılıp, göçme yüzey boyunca yayılır. En büyük yükte göçme yüzeyinin sadece bir parçası dayanım limitine ulaşırken diğer kısımlar dayanım limitine ulaşmaz. Çatlak gelişip yayılarak, en büyük yük sonrası yumuşama görülür. Yapıda en büyük yük sonrası yumuşama yada tamamen gerilme taşıma kapasitesinin yitirilmesi yani çatlağın gelişmiş olması durumu hakimdir.

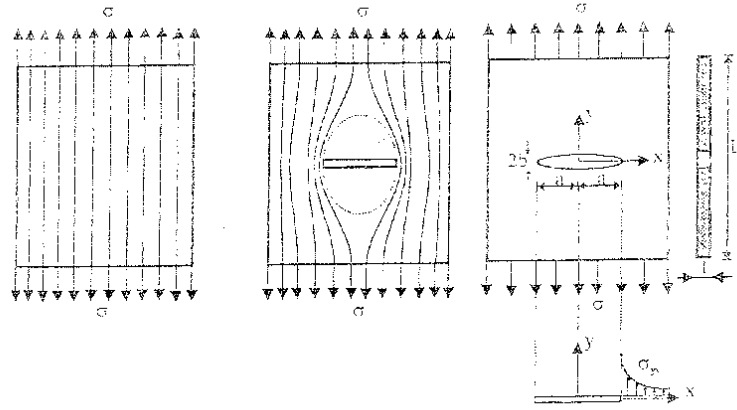
Büyük yapıda çatlak, kesit boyutuna göre daha küçük bölgede lokalize olup hareket ederek boyut etkisinin varlığını gerçekler.

Plastik limit analize zıt olarak, gevrek ve yarı gevrek malzeme göçmesinde daima boyut etkisi beklenir. En kuvvetli boyut etkisi lineer elastik kırılma mekaniğinde oluşur ki, burada malzeme göçmesi herhangi bir zamanda sadece bir noktada, çatlak tepesinde oluşarak kesit boyunca hareket eder. Beton gibi yarı gevrek malzemede göçme, yapı boyutundan bağımsız sonlu boyutlu kırılma zonu bölgesinde oluşur. Bu nedenle de boyut etkisi gözlenir. Çünkü büyük yapıda kırılma bölgesi kesitin küçük bölgesini kaplar yani göçme lokalize olur ve davranış nokta göçmesi olan lineer elastik kırılma mekaniğine yakındır. Küçük yapılarda, kırılma bölgesi kesitin büyük kısmını kaplar ve göçme davranışı plastik limit analize yakındır; yani göçme yüzeyinin çoğunda dayanım aynı anda aşılır. Geometrik olarak benzer yapılar için nominal gerilme, yapı boyutuna bağlı olduğundan, küçük yapılarda plastik limit analiz, büyük yapılarda LEKM geçerlidir. Nominal dayanıma bağlı olarak, doğrusal olmayan kırılma mekaniği (boyut etkisi) analizleri yapılabilir. Gözlenen boyut etkisi, plastik limit analizden, lineer elastik kırılma mekaniğine geçişi gösterir.

2.4. Griffith Teorisi

Mikro düzeyden makro düzeye geçişte, numunenin nominal dayanımı etkilenmektedir. Bu durumu ilk olarak Griffith (32), cam lifler üzerine yapmış olduğu deneylerde göstermiştir. Çünkü cam liflerin dayanımı, camın dayanımının on katı civarındadır. Oysa normal boyutlardaki bir cam numune için bu değer çok yüksektir. Griffith, bu farkın malzeme yüzeyindeki kusurlardan kaynaklandığı şeklinde bir açıklama yaparak, LEKM'nin temelini atmıştır. Ancak II. Dünya savaşı ve sonrasında ölümcül mühendislik facialarının olmasına kadar bu konu üzerinde pek durulmamıştır. LEKM, ideal homojen ve gevrek malzemelerde çatlak ilerlemesini hesaplamak için kullanılabilir. Çatlağın yakın bölgelerindeki gerilmeler, gerilme yoğunluk çarpanı, çatlak uzunluğu ve çatlağa olan uzaklığın bir işlevi olarak bulunabilir. Kritik enerji salınımı temel alınarak, enerji yaklaşımıyla da çatlağın ilerlemesi elde edilir.

Griffith'in çalışmalarından önce, gevrek malzemelerin kavramsal ve gerçek dayanımı arasındaki farklılık için bir açıklama yapılamamıştır. Gevrek malzemelerin gerçek çekme dayanımı, bünyesindeki çatlaklardan dolayı, kavramsal dayanımından oldukça düşüktür. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, elastik gevrek bir malzemede çatlak ucuna yakın kısımlarda büyük gerilme yoğunlaşması oluşmaktadır. Bu durum elastik-gevrek bir malzeme olan camı plak şeklinde düşünerek açıklanabilir. Elastik plak üniform olarak çekildiğinde gerilme akış çizgileri yüklemenin yönüne paralel ve düz olmaktadır. Plak içinde keskin bir çentik olduğunda ise, gerilme akış çizgileri çentik etrafında eğilmeye zorlanmaktadır. Bu durumda gerilme çizgileri yüklemenin yönüne bağlı olmamaktadır.



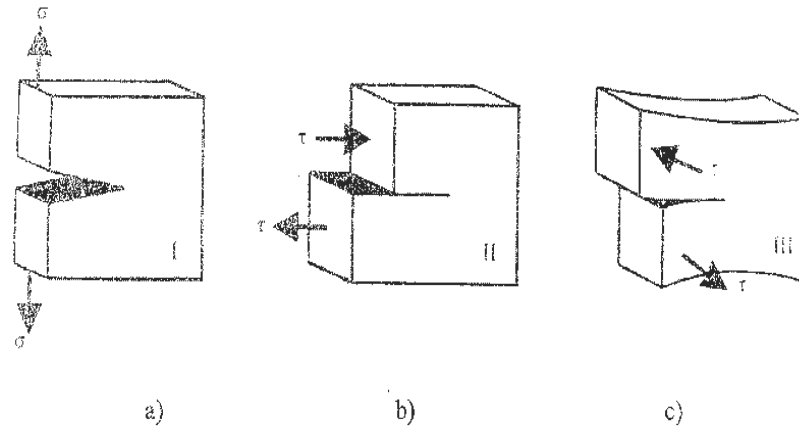
Şekil 2.1. İç çentikli ya da çentiksiz elastik gevrek malzeme plağında akış çizgileri gerilme yığılmaları

2.5. Weibull Teorisi

Weibull (29) hiçbir malzemenin kusursuz olmayacağı görüşünden hareket ederek konuya istatistiksel yöntemlerle yaklaşmış ve numune boyutunun büyümesi ile içerisindeki kusurların bulunma olasılığının arttığını ortaya koymuştur. Çalışmasını ortaya koyduğu yıllarda bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan istatistiksel yollarla elde ettiği boyut etkisi kavramını ortaya atmıştır (33). Bu çalışma, malzemenin gerçek davranışını dikkate almadan, çağına uygun olarak, sadece malzemenin emniyet katsayısını elde etmek için yapılmıştır.

2.6. Irwin Teorisi

1957’de Irwin, seramik lifler üzerine yapmış olduğu deneylerde gerçek dayanımının kurumsal dayanımdan az olduğunu görmüş ve teoriyi metalleride içine alarak genişletmiştir. Gevrek bir cisimde kırılma olayı, gerilme alanının tekil olduğu çatlak ucunda oluşur. Cismin geriye kalan kısmının elastik olduğu kabul edilir. Bu gerçeğin yanında Irwin, kesin çatlak uçlarının komşuluklarındaki gerilme bileşeninin yükleme tarzı ve elastik cismin şekline bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Mod I, II ve III olarak isimlendirilen kırılma durumlarına göre genel gerilme durumunu çözmek gerekmektedir. Mod I durumu, çatlak açılmasına neden olan gerilmenin düzlemsel simetrik bir bağıntısını vermektedir. Şekil 2.2.a’da gösterildiği gibi, çatlak yüzleri kendi düzlemlerine dik yerdeğiştirme yapmaktadır. O yüzden açılma modu ismi de verilmektedir. Griffith problemi, mod I durumuna bir örnek olarak verilebilir. Şekil 2.2.b’de gösterildiği gibi mod II durumunda çatlak yüzeylerinin kendi düzleminde birbirlerine göre yerdeğiştirme yaptığı simetrik olmayan bir düzlem gerilme durumu oluşmaktadır. O yüzden düzlemde kesme veya kayma modu ismi,de verilmektedir. Son olarak Şekil 2.2.c’de, mod III durumunda çatlak yüzeylerin düzlem dışında birbirlerine göre yerdeğiştirmelerine neden olan gerilme durumu verilmektedir. Bu duruma düzlem dışında kesme yada yırtılma modu adı da verilmektedir. Irwin, genel kırılma modlarını ve bunların bileşimlerinden oluşan karışık modun kanunlarını ve K adı verilen gerilme yoğunluk çarpanlarını ortaya koymuştur.



Şekil 2.2. Kırılma modları a)mod I, açılma modu b) Mod II, kayma modu c) Mod III, yırtılma modu

Gerilme yoğunluk çarpanı, geometriye ve yükleme durumuna bağlı yaklaşık bir sabittir. Yani her malzeme, eşit geometriye ve yükleme durumu etkisinde ise, bu değer sabit olacaktır. O yüzden gerilme yoğunluk çarpanı bir malzeme sabiti değildir. K , belli bir sınır değer olan K_c değerine ulaştığında kırılma tokluğu adını alır ve her malzeme için farklı bir değer alır.

Ancak çatlak başlangıcı ve yayılma hızı mühendislik açısından çok daha önemli olduğundan, Irwin, G_c çatlak yayılma hızı kavramını ortaya atmış ve K_c ile arasındaki bağıntıyı şu şekilde vermiştir:

$$G_c = \frac{K_c^2}{E} \quad [2.1]$$

Tanımlanan bütün bu temel kavramların ortaya konmasından günümüze kadar kırılma mekaniği özellikle metaller ve seramikler konusunda tasarım yönetmeliklerine girmiştir.

2.7. LEKM'nin Betona Uygulanması

Beton büyük agrega danelerini kaplayan bir matristen oluşan oldukça heterojen bir malzemedir. Bu heterojenlikten dolayı, sonlu bir malzeme parçasında, homojen bir malzemede olduğu gibi üniform bir gerilme dağılımı oluşmamaktadır. Heterojen olmayan betonda rijit agregaların bulunmasından dolayı üniform olmayan gerilme dağılımları, agrega daneleri etrafında yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, sınırlara üniform bir gerilme uygulanmasına karşın üniform olmayan bir sınır yerdeğiştirme de gözlenebilmektedir. Betonun heterojen yapısının kırılma mekaniğinin temel kavramlarına tam olarak uygunluk göstermez. Bu nedenle Hillerborg ve Rilem komitesi, kırılma enerjisi yaklaşımının, betonun G_f kırılma enerjisinin ölçümünde etkili bir metod olduğunu göstermiştir (34). G_f , en genel kullanımı ile, çekme yüklemesi etkisinde bir numunede, betonda oluşan hasar bölgesinde sönmölen enerji nin çatlamış kesite oranı şeklinde tanımlanabilir.

Gevrek ve yarı gevrek bir malzeme ömrünün belirli bir aşamasında bünyesinde çatlaklar içerir. İnsanoğlu geçmiş zamanlardan günümüze kadar, çatlakların oluşumu ve ilerlemesinin arkasında varolan mekanizmayı anlamaya çalışmaktadır. Dugdale ve Barenblatt'ın plastik çatlak uç modeli geliştirmesinden sonra, sünek ve yarı gevrek malzemelerin kırılmasına olan ilgi artmıştır (35). Malzemelerde gevrek kırılmayı tanımlamak için yapılan en son modelleme çalışmaları çoğunlukla deneysel gözlemlere dayanmaktadır. 1970'lerde mühendisliklerde sayısal yöntemlerin gelişmesiyle birlikte yapılarda hasar tahmini ve malzeme davranışı araştırmalarının, önemi gittikçe artmaktadır. Yine bu tarihlerde dikkate alınan en önemli özellik, yeni ve hızlı hesaplama tekniklerinin geliştirilmesi olmuştur. Sonuç olarak, bilimin diğer alanlarında, problemlerin bazen geleneksel yöntemlerle çözülemeyeceği tartışmaları ortaya çıkmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi, var olan mühendislik yapılarında çatlak problemleri sürekli olarak vardır. Genel olarak betonarme yapılarda çatlama olayı, çekme gerilmelerinin betondan çeliğe aktarılması sırasında veya agrega ile harç arasında oluşmaktadır. İleriye dönük olarak bu tip çatlaklar malzeme ve yapının dayanma süresi ve dayanıklılığını etkilemektedir. Dayanıklılık kavramının en etkili ve önemli olduğu yapılar genellikle kıyı yapılarıdır. Petrol depolama yapıları da bu örnekler arasında sayılabilir. İnşaat mühendisliği yapılarında fiziksel ve mekanik yükler yanında kimyasal etkiler de çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.

Betonun kırılma mekaniği üzerine çok sayıda araştırma yapılmış olmasına karşın, betonun kırılma parametreleri hakkında hemfikir olunmuş bir standart deney tekniği yoktur. Buna neden, özellikle betonun heterojen ve yarı gevrek bir malzeme olmasıdır. Bu malzemede kırılma süreci bölgesi laboratuvar boyutundaki numunelerde önemlidir ve kırılma enerjisi de numunenin boyutu ve geometrisine bağlıdır(36).

LEKM'nin betona ilk uygulaması Kaplan tarafından yapılmıştır (37). Daha sonraki yıllarda betonun kırılma mekaniği üzerine çok sayıda çalışma yapılmasına karşın elde edilen sonuçlar, projelendirmede kullanılmamıştır. Bunun en önemli nedeni betonun kırılmasının LEKM esasına göre bulunan gerilme şiddet çarpanının kritik

değeri gibi tek bir parametreyle ifade edilemeyeceği, diğer bir değişle LEKM'nin betona doğrudan uygulanamayacağı sonucudur. Laboratuarda kullanılabilecek boyuttaki deney numuneleri ile numune boyutundan ve geometrisinden bağımsız olarak LEKM esasına dayalı bir kırılma parametresi elde edilemez.

2.8. Kırılma Mekaniği Kullanmak İçin Nedenler

Kırılma mekaniğinin kullanılma gerekçeleri aşağıda belirtilmiştir:

- a) Her yapının içinde mikro çatlaklar olup göçme, gerilmeler altında bu çatlakların birleşmesinden oluşur. Çatlak denilen olay bir enerji gerektirir. Enerjiye bağlı göçmeyi yalnız kırılma mekaniği kullanır. Diğer yöntemler; emniyet gerilmeleri yöntemi ve taşıma gücü yöntemi enerjiyi göçmede kullanmaz.
- b) Boyut etkisi farklı boyutlu elemanlarda aynı bir güvenliğe sahip olabilmek için göz önüne alınmalıdır.
- c) Hesapların bağımsızlığı, örnek olarak sonlu eleman analizinde, farklı boyutlu sonlu eleman seçiminin farklı sonuçlar vermesi, aynı bir probleme farklı çözümler getirdiği için kabul edilemez. Bu farklılık ancak kırılma mekaniği kullanılırsa giderilir.
- d) Bazı elemanlar gevrek, bazıları ise sünek göçme gösterirler. Sünek göçme arzulandığı halde betonarme gibi % 98'i beton olan elemanlarda gevrek göçme, akma platosu olmadığı için kaçınılmazdır. En büyük yükten sonraki yumuşayan bölge göz önüne alınmaz.
- e) Enerji yutma kapasitesi (yük – deplasman eğrisinin altındaki alan) dinamik yüklemde özellikle önemlidir. Plastik analiz en büyük yük sonrası azalma ve enerji yutulmasını açıklamaz. Bu yüzden kırılma mekaniği ve kolay bir uygulaması olan boyut etkisi bu çalışmada araştırılmıştır.

2.9. Boyut Etkisi

Boyut etkisi, farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapıların (P) göçme yüklerini (maksimum yük) karşılaştırarak tanımlar. Burada σ_N , nominal yani göçme gerilmesi cinsinden belirtilmiştir. İki boyutlu benzerlik için (levha gibi),

$$\sigma_N = C_N \frac{P}{bd} \quad [2.2]$$

ve üç boyutlu benzerlik için (silindir gibi),

$$\sigma_N = C_N \frac{P}{d^2} \quad [2.3]$$

Bu eşitliklerde:

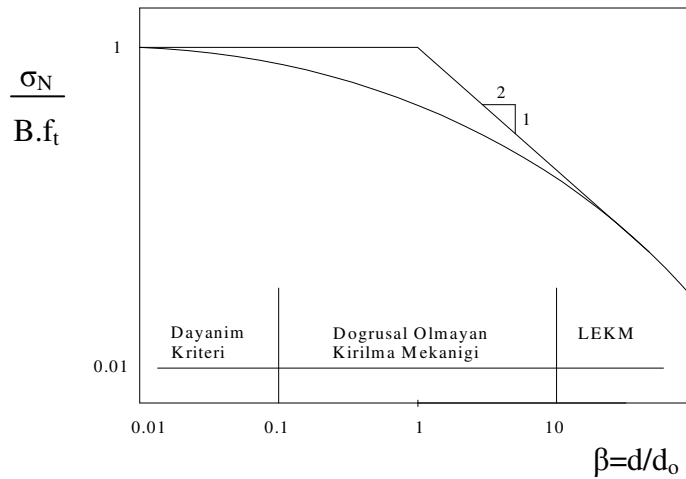
σ_N = Nominal (göçme) gerilme,

b = İki boyutlu yapının kalınlığı,

d = Yapının herhangi boyutu olarak tanımlanan karakteristik boyuttur. Bu boyut kirişin açıklığı, yüksekliği, çubuk çapı veya kiriş yararlı yüksekliği olabilir.

C_N = Uygunluk için kullanılan boyutsuz katsayıdır.

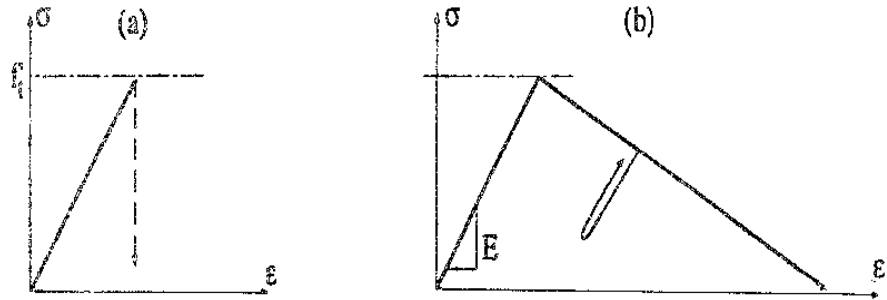
Beton yapılar, boyut etkisinin çok fazla olduğu lineer elastik kırılma mekanizması (LEKM) ile boyut etkisinin ihmal edilebildiği dayanım, taşıma gücü kriteri veya elastik teori arasındadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Boyut etkisi yasası

Plastik limit analizinde (taşıma gücü kriteri) yada elastik analizde (emniyet gerilmeleri yöntemi), gerilmeler cinsinden kullanılan herhangi bir teoriye göre σ_N göçme (nominal) gerilmesi yapı boyutundan bağımsızdır. Dolayısıyla eğilme, kesme veya burulma için plastik veya elastik teoriye göre düzenlenen formüllerde boyut etkisi göz önüne alınmamaktadır.

Beton yapıların göçmesi en büyük yüke ulaşmadan önce büyük çatlak ve çatlama bölgesi gelişimi ile olur. 20. yüzyılın ortasından beri temel kırılma mekaniği teorileri elde edildiği halde tasarım henüz kırılma mekaniğine dayanmamaktadır. Bunun nedeni, kırılma mekaniği formüllerinin son zamanlarda elde edilmiş olması ve sadece cam gibi homojen-gevrek (Şekil 2.4.a) yada yarı gevrek (Şekil 2.4.b) malzemelere uygulanabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Kırılma mekaniği teorilerinin beton gibi yarı gevrek malzemeye uygulanması ilk olarak Kaplan tarafından düşünülmüş fakat başarılı olamamıştır.

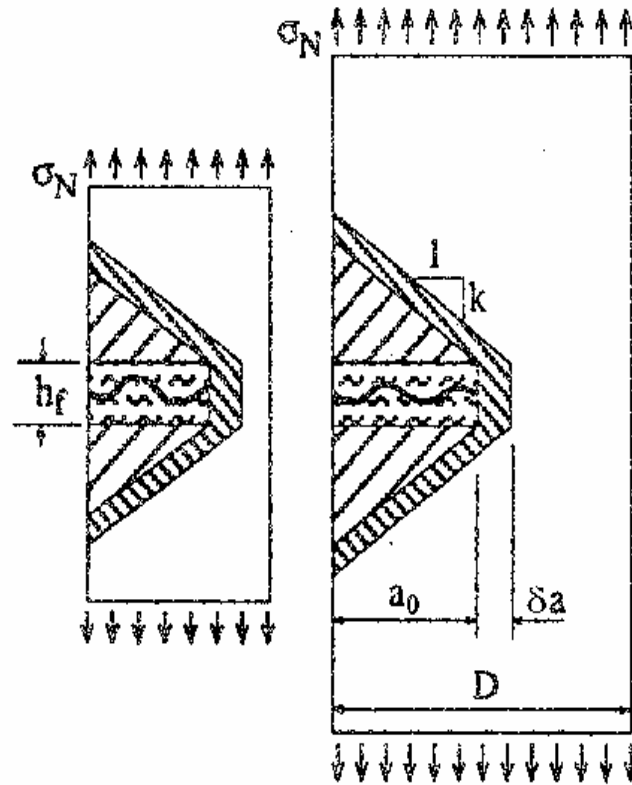


Şekil 2.4 a)Gevrek malzemeler b)Yarı gevrek malzemeler

Beton yapı tasarımı iki köklü değişim yaşamıştır. İlki 1900 - 1930 yılları arasında ortaya atılan beton yapıya uygun elastik ve betonun çekme almadığı varsayımıdır. İkinci değişim ise, 1940 - 1970 yılları arasında plastik limit analizinin kullanılmaya başlanmasıdır. Betona uygulanan kırılma mekaniği biçimi son yıllarda geliştirilmiş olup ve beton yapıların uygulanmasında kullanılmasına üçüncü devrim olarak bakılmaktadır. Kırılma mekaniğinin beton tasarımında kullanılması önemli yararlar sağlayacaktır. Farklı boyutlu yapılar için aynı güvenliğe ulaşmak mümkün olacaktır. Ayrıca güvenlik ve ekonomi alanında faydalar sağlanmaktadır.

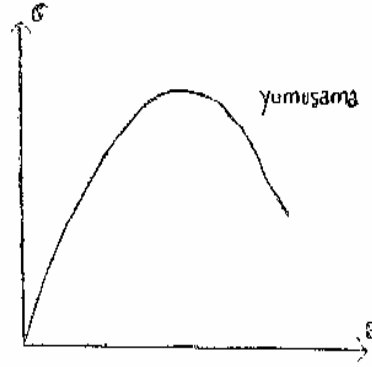
2.10. Boyut Etkisi Denkleminin Elde Edilmesi

Enerji açığa çıkması nedeniyle kırılma mekaniğinin boyut etkisi ile olan ilişkisi Şekil 2.5'de gösterilen uniform gerilmeli levha üzerinde açıklanabilir. Şekilde sol kenardaki bölgenin dayanımının levhanın diğer kısmından daha az olduğu varsayılarak çatlak bandının oluşumu soldan sağa doğru gelişecektir.



Şekil 2.5 Boyut etkisinin açıklanması

Beton gibi yarı gevrek heterojen malzeme için çatlak tepesinde dağılı çatlakların büyük bölgede gözönüne alınması önemlidir. Bu bölgenin boyutu yapı boyutu ile orantılı değil, maksimum agrega boyutuyla ilişkilidir. En basit yaklaşımla, çatlak önündeki çatlak bandının h_0 genişliği, yapı boyutundan bağımsız ve yaklaşık sabit varsayılmıştır. Benzer olarak maksimum yükte a çatlak uzunluğu, yapı boyutu d ile orantılıdır. Yani a/d oranı sabittir.



Şekil 2.6 Betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı

h_0 genişliği, a uzunluklu çatlak bandı ile kırılmanın oluşumu Şekil 2.5'deki taralı alandan σ_N^2 / E uzama enerjisinin açığa çıkması ile düşünülebilir. a_0 uzunluklu çatlak Δa yatay genişlikli sık taralı şeritten çatlak önünde açığa çıkar. Büyük yapılarda bu taralı alan şeridi daha büyüktür. $\Delta A = h_0 \Delta a + 2ka \Delta a$ Şekil 2.3'deki eğim olup yapı biçimine bağlı amprik bir sabittir (boyut etkisinde önemli olmayan k değeri sonlu eleman analizinde ve deney sonuçlarında $\pi/2$ olarak bulunmuştur).

W yapıda depolanan potansiyel enerji, b kalınlık, G_f kırılma enerjisidir (J/m^2). Çatlak bandının birim uzunluğu veya çatlak oluşturan gerekli enerji, büyük yapılarda Δa çatlak uzaması sonucu, aynı σ_N için daha fazla enerji açığa çıkar. Kırılma düzleminin birim alanında kırılma ile kaybolan enerji yaklaşık sabit olduğundan büyük yapı için σ_N değeri, hacmin aynı olacağı daha büyük bölgede açığa çıkan toplam enerjiden az olmalıdır. Büyük yapılarda birim çatlak gelişmesi için daha büyük hacimde açığa çıkan aynı miktar enerji için kırılma yayılacağından σ_N küçülecektir. Dolayısıyla σ_N yapı boyutundan etkilendiğinden boyut etkisinin varlığı görülmektedir.

Dış yüklemeler sonucunda levhanın sık taralı şeridinden açığa çıkan enerji;

$$\Delta W = b(h\Delta a + 2ka\Delta a) \times (\sigma_N^2 / 2E) \quad [2.4]$$

Levhada yutulan enerji,

$$\Delta W = G_f b \Delta a \quad [2.5]$$

Dış etkiler ile levhanın yuttuğu enerji eşitliğinde,

$$\sigma_N^2 [h + 2k(a/d)d] = 2EG_f \quad [2.6]$$

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f}{h + 2k(a/d)d} \right|^{1/2} \quad [2.7]$$

$d_o = \frac{hd}{2ka}$ ile gösterilirse ve pay - payda f_t ile çarpılırsa,

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f}{h(1 + d/d_o)} \right|^{1/2} \left(\frac{f_t}{f_t} \right) \quad [2.8]$$

elde edilir. Sonuç olarak,

$$\sigma_N = \left[\frac{2EG_f f_t^2}{h f_t^2 (1 + d/d_o)} \right]^{1/2} \quad [2.9]$$

Bazant'ın öngördüğü boyut etkisi yasası elde edilir.

$$\sigma_N = B f_t (1 + \beta)^{-1/2}, \quad B = (2EG_f / h f_t^2)^{1/2}, \quad \beta = d / d_o \quad [2.10]$$

Yukarıdaki eşitliklerde,

B :Malzeme dayanımına bağlı boyutsuz sabit

d_o :Yapı biçimine bağlı boyutsuz sabit.

f_t :Betonun çekme dayanımıdır.

Eşitlik (2.10) yaklaşık bir ifadedir, fakat bu bağıntının doğruluğu 1:20'ye kadar olan boyut değişimi aralığı için yeterlidir. Daha büyük boyut değişimi için karmaşık formüller gereklidir. (2.10) eşitliğinin elde edilmesinde aşağıdaki varsayımlardan yararlanılmıştır:

1. Göçme anında çatlak önünde açığa çıkan enerji çatlak uzunluğuna bağlıdır.
2. Açığa çıkan enerji aynı zamanda en büyük agrega boyutu d_a 'nın birkaç katı olan d_0 çatlak genişliğine bağlıdır.
3. Farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapılarda oluşan kırılma yüzeyleri de geometrik olarak benzerdir,
4. Yapı göçmesi çatlak başlangıcı ile değil çatlamış bölgenin tüm yapıya yayılması ile olur.

Bazant'n önerdiği ve boyut etkisinin ifadesinde denklem (2.10) için, yapı çok küçük ($d < d_0$) ise β değeri birin yanında küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu durumda $\sigma_N = B f_t$ olur ki göçme gerilmesi plastik limit analizi yada elastik analizi ile temsil edilmektedir.

Eğer yapı çok büyük ($d \gg d_0$) ise bir değeri β 'nin yanında küçük olduğundan ihmal edilebilir. $\sigma_N = B f_t \beta^{-1/2}$ olup σ_N gerilmesi $\beta^{-1/2}$ değeri ile ters orantılıdır. Yani göçme gerilmesi lineer elastik kırılma mekaniği ile temsil edilmektedir.

Asimtotun kesim noktası, plastik analiz ve LEKM teorileri ile eşitlenirse,

$$B f_t = B f_t \beta^{-1/2}$$

$$\beta^{-1/2} = 1$$

$$\beta = 1, d = d_0 \text{ bulunur.}$$

Yukarıda verilen β gevreklik sayısıdır.

$\beta \gg 1$ ise lineer elastik kırılma mekaniği uygulanır.

$\beta \ll 1$ ise plastik limit analizi uygulanır.

Uygulamada; (Şekil 2.3)

- $\beta < 0.1$ ise plastik limit analizi geçerlidir ve Şekil 2.3 'deki yatay asimtot % 4.7 oranında sapar.

- $0.1 < \beta < 10$ ise nonlinear elastik kırılma mekaniği geçerlidir .

- $\beta > 10$ ise lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) geçerlidir ve Şekil 2.3'deki eğimli asimtot % 4.7 oranında sapar.

Eğer sapmaların % 2.5'den az olması istenirse nonlinear bölge için β 'nın değişim aralığı $1/25 < \beta < 25$ arasında olmalıdır.

2.11. Aderans Ekinde Dayanım

Aderans ekindeki boyut etkisini araştırırken, aderans ekindeki gerilmelerin elde edilmesinde yardımcı olacak çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda günümüze kadar oldukça geniş bir araştırma yapılmıştır.

Orangun, Jirsa ve Breen 1977'de aderans dayanımında beton örtü kalınlığını, çubuk çapını ve gömülü uzunluğu göz önüne alan bir formül geliştirmişlerdir (38). Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir;

Orangun , Jirsa ve Breen,

$$v_c = (1.22 + 3.25 c/d_b + 53 d_b/L_d)(f_c)^{0.5} \dots \text{psi} \quad [2.11]$$

$$v_c = (0.1 + 0.265 c/d_b + 4.344 d_b/L_d)(f_c)^{0.5} \dots \text{MPa} \quad [2.12]$$

v_c : teorik olarak 28 günlük aderans dayanımı, MPa

f_c : 28 günlük silindir basınç dayanımı, MPa

c : minimum beton örtü kalınlığı, mm

L_d : çubuğun betona gömülü uzunluğu, mm

d_b : çubuk çapı, mm

ACI 318-83 formülü (39),

$$v_c = 9,5 \sqrt{f_c} \dots \text{psi} \quad [2.13]$$

Aboon'un ifadesi (40),

$$v_c = 139 d_b \sqrt{f_c} / L_d \dots\dots\dots \text{psi} \quad [2.14]$$

Zsutty ifadesi (41),

$$v_c = 325 f_c^{1/3} \left(\frac{d_b}{L_d} \right)^{1/2} \left(\frac{c}{d_b} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{psi} \quad [2.15]$$

$$v_c = 325 f_c^{1/3} \left(\frac{d_b}{L_d} \right)^{1/2} \left(\frac{c}{d_b} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{MPa} \quad [2.16]$$

ifadeleri aderans ekinde dayanım formüllerinden bazılarıdır.

Boyut etkisi yasasını farklı boyutlu geometrik olarak benzer numuneler için aşağıdaki gibi düzenleyebiliriz:

$$\sigma_N = B f_t (1 + \beta)^{-1/2} \quad , \quad v_c = f_t \quad [2.17]$$

Aderans ekindeki göçme gerilmesi ise,

$$\sigma_N = v_u = T / (2\pi d_b L_d) \quad [2.18]$$

olarak tanımlanabilir. Bu formüldeki T, donatıdaki çekme kuvvetidir.

Boyut etkisi denkleminin üstün tarafı lineer regrasyon için düzenlenebilir olmasıdır. Yapılan deneylerin sonuçları düzenlemeler yapıldıktan sonra $Y = AX + D$ gibi bir doğru ile temsil edilebilir. Bu düzenlemeyi şu şekilde gösterebiliriz:

$$v_u = B v_c (1 + \beta)^{-1/2} \quad [2.19]$$

$$\beta = d_b / d_o \quad [2.20]$$

$$v_u = \frac{B v_c}{\sqrt{1 + \beta}} \quad [2.21]$$

denklemleri gerilmeleri eşitliğin bir tarafında toplayarak düzenlersek,

$$\frac{\sqrt{1 + \beta}}{B} = \frac{v_c}{v_u} \quad [2.22]$$

eşitliğin her iki tarafının da karesini alırsak,

$$\left(\frac{v_c}{v_u} \right)^2 = \frac{1}{B^2} \left(1 + \frac{d_b}{d_o} \right) \quad [2.23]$$

parantezi açarsak,

$$\left(\frac{v_c}{v_u} \right)^2 = \frac{1}{B^2} + \frac{1}{B^2} \frac{d_b}{d_o} \quad [2.24]$$

Yukarıdaki denklem $Y = AX + D$ biçiminde doğru ile temsil edilebilir.

$$Y = \left(\frac{v_c}{v_u} \right)^2 \quad [2.25]$$

$$X = d_b \quad [2.26]$$

$$D = \frac{1}{B^2} \quad [2.27]$$

$$A = \frac{D}{d_0} \quad [2.28]$$

Lineer korelasyon ile, A doğrunun eğimi, D doğrunun Y eksenini kestiği nokta olmak üzere dağılımın üzerinden $Y = AX + D$ doğrusu geçirilerek boyut etkisi yasası için gerekli parametreler olan B ve d_0 sabitleri bulunabilir.

3. DENEY NUMUNELERİ

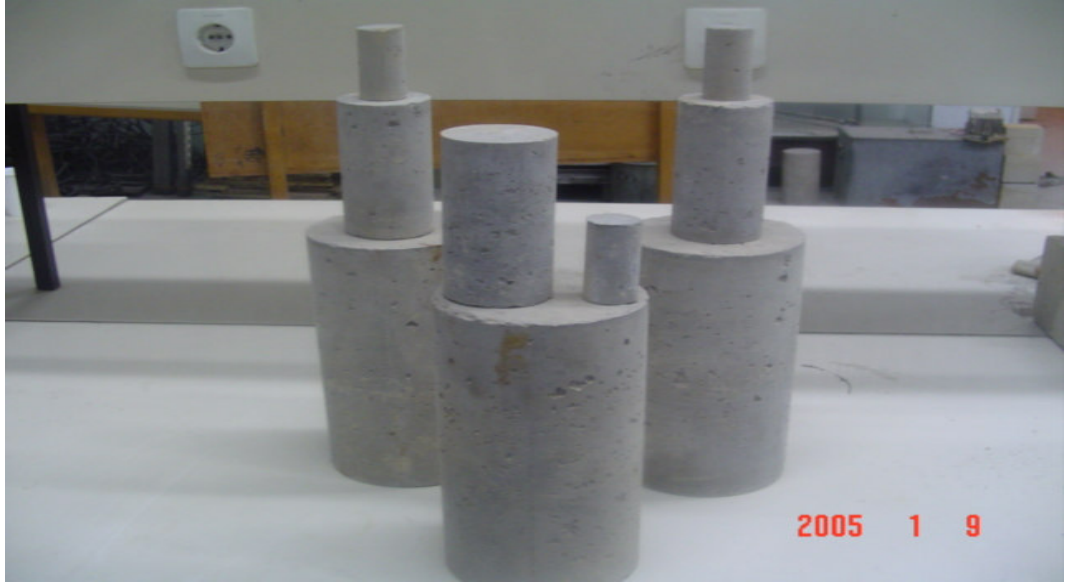
3.1. Deney Numunelerinin Özellikleri

Betonarme donatıların aderans ekinde boyut etkisini araştırdığımız bu çalışmada 4 farklı deney grubu kullanılmıştır. Bu deney grupları aşağıdaki özellikleri içermektedir:

1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri,
2. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri,
3. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numuneleri,
4. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numuneleri.

Yukarıda özellikleri verilen deney gruplarının her birinde de boyutları birbirinin 2 katı olan ve küçük, orta ve büyük boy olmak üzere 3 farklı deney numunesi kullanılmıştır. Her deney grubunda 3 adet küçük, 3 adet orta ve 3 adet büyük boy deney numunesi olmak üzere toplam 9 adet deney numunesi bulunmaktadır. Küçük boy deney numunelerinin boyutlar 40 x 88 x 88 mm, orta boy deney numunelerinin boyutlar 80 x 176 x 176 mm ve büyük boy deney numunelerinin boyutlar 160 x 352 x 352 mm'dir.

Bu çalışmada toplamda 36 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Her bir grup aynı beton karışımından bir seferde dökülmüştür. Beton dayanımlarını belirlemek amacıyla her döküm sırasında karışımından üçer adet 150 x 300 mm, 75 x 150 mm ve 37,5 x 75 mm boyutlu kontrol silindirleri alınmıştır (Resim 3.1).

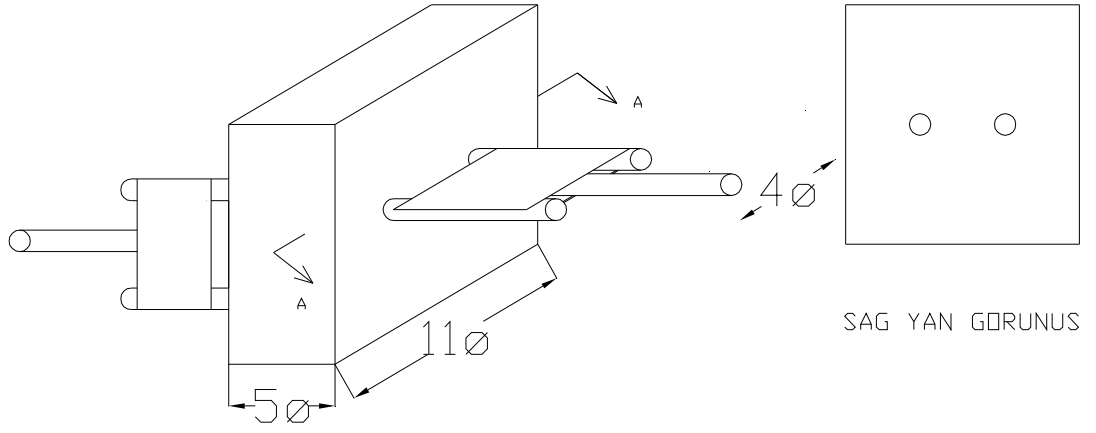


Resim 3.1 Kontrol silindirleri

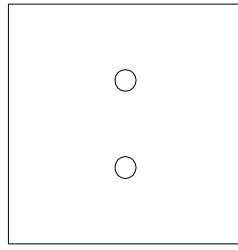
Deney numuneleri, d kesitli ve L uzunlukta kare prizma olarak Resim 3.2'de ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir:



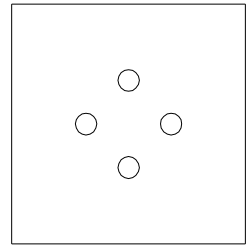
Resim 3.2 Deney numuneleri



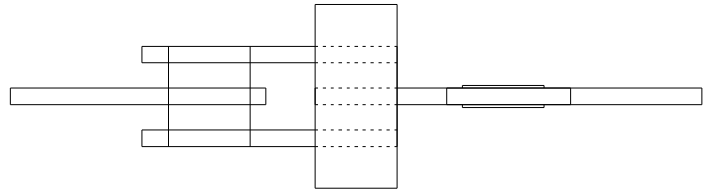
SAG YAN GÖRÜNÜŞ



SOL YAN GÖRÜNÜŞ



A-A KESİTİ

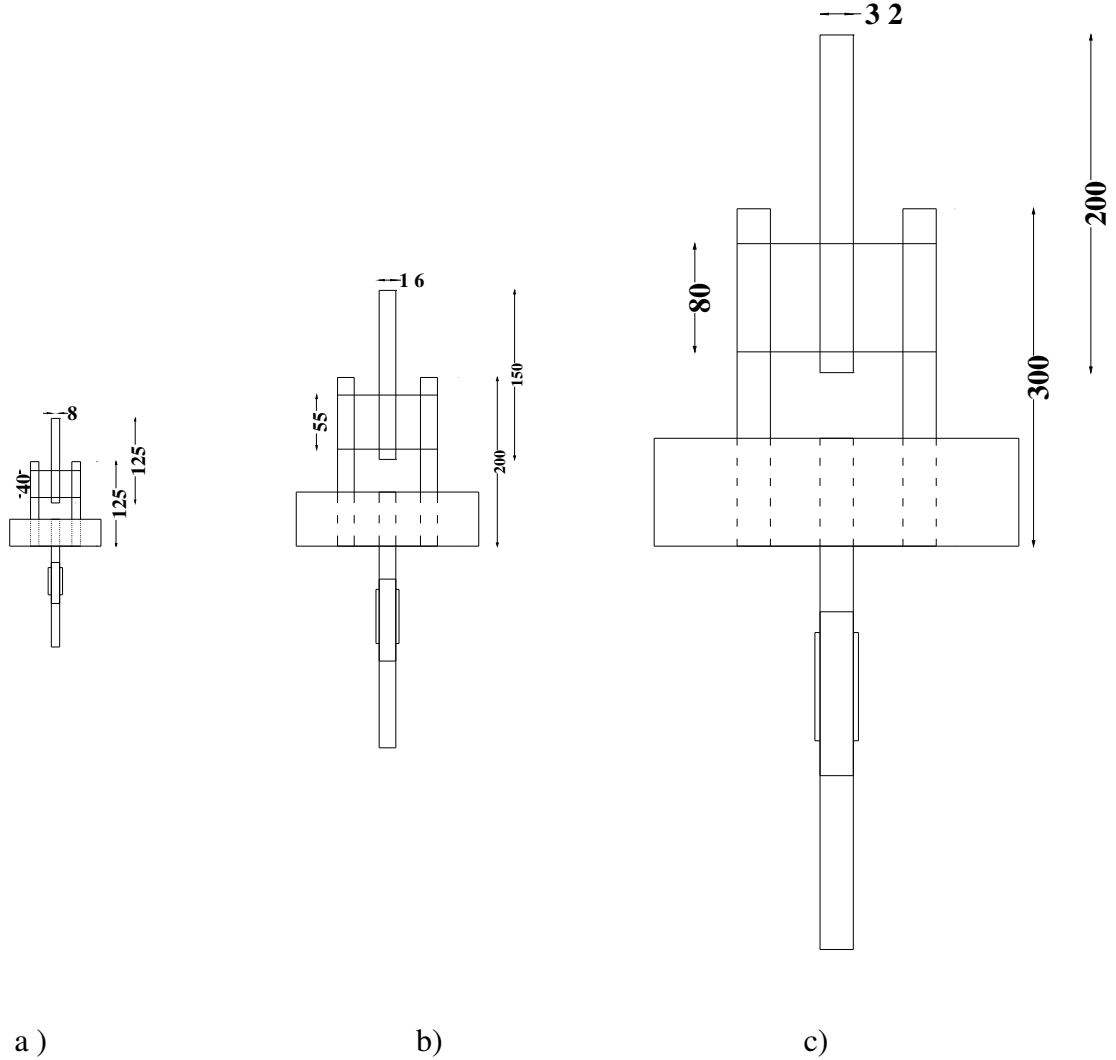


Şekil 3.1 Deney numunelerinin genel özellikleri

3.2. Kullanılan Malzemeler

3.2.1. Donatı

Deney numunelerinde akma gerilmesi 220 MPa ve $\varnothing 8$, $\varnothing 16$ ve $\varnothing 32$ olan düz donatılar ile akma gerilmesi 420 MPa ve $\varnothing 8$, $\varnothing 16$ ve $\varnothing 32$ olan nervürlü donatılar kullanılmıştır. Betonarme donatılar prizmanın bir boyutuna paralel olarak ve eğilme etkilerini önlemek amacıyla 2 çubuklu merkezi simetrik olarak yerleştirilmişlerdir. Çubuklar arası uzaklık $4 \varnothing$ olarak alınmıştır.



Şekil 3.2. a)Küçük b)Orta c) Büyük deney elemanları

3.2.2. Beton

Deney numunelerinde maksimum agrega çapı $d_{max} = 10$ mm olan beton kullanılmıştır. Normal dayanımlı beton için karışım oranı ağırlıkça imento / çakıl / kum / su = 1/2/2/0.5 olup NP 32 tipi Normal Portland imentosu kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı beton için karışım oranı ağırlıkça imento / çakıl / kum / su / silis dumanı / süper akışkanlaştırıcı = 1/2/2/0.35/0.05/0.03 olup NP 32 tipi Normal Portland imentosu kullanılmıştır. Beton karışımında kullanılan su şehir şebekesinden gelen eşme suyudur. Beton karışımının hazırlanmasında betoniyer, yerleştirilmesinde ise çubuk ve masa vibratr kullanılmıştır.

Yüksek dayanımlı beton için sıvı/imento oranı 0.5 iken, normal dayanımlı beton için sıvı/imento oranı 0.38 olarak bulunmuştur.

3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

3.3.1. Donatıların hazırlanması

Deneyde kullanılacak donatılar şekil 3.2' deki boyutlarına uygun olarak elektrik ark kaynağıyla kaynatılmıştır. Kaynak işleminden sonra kaynak cürufları temizlenerek deney için önceden hazır edilmiştir.

3.3.2. Kalıpların hazırlanması

Kalıp olarak kullanılan malzeme, kalınlığı 18 mm olan MDF'den seçilmiştir. Kalıplar, malzemesi bir daha kullanılmak istendiğı için vidalı olarak portatif şekilde hazırlanmıştır. Kalıplar betonun suyunu emmesini önlemek için beton dökümünden önce yanık motor yağı ile yağılanmıştır.

3.3.3. Beton karışımının hesabı

Normal dayanımlı deney numuneleri ve yüksek dayanımlı deney numuneleri elde edilmek için aşağıdaki karışım hesabı kullanılmıştır:

Küçük boy deney numunesinin hacmi: V_k

$$V_k = a \times b \times h = (0,088 \text{ m}) \times (0,088 \text{ m}) \times (0,040 \text{ m}) \approx 0,00031 \text{ m}^3$$

Orta boy deney numunesinin hacmi : V_0

$$V_0 = a \times b \times h = (0,176 \text{ m}) \times (0,176 \text{ m}) \times (0,080 \text{ m}) \approx 0,0025 \text{ m}^3$$

Büyük boy deney numunesinin hacmi: V_b

$$V_b = a \times b \times h = (0,352 \text{ m}) \times (0,352 \text{ m}) \times (0,160 \text{ m}) \approx 0,02 \text{ m}^3$$

Küçük boy silindir numunesinin hacmi: V_{sk}

$$V_{sk} = (\pi \times D^2/4) \times h = [\pi \times (0,0375)^2/4] \times 0,075 \approx 0,00008 \text{ m}^3$$

Orta boy silindir numunesinin hacmi : V_{so}

$$V_{so} = (\pi \times D^2/4) \times h = [\pi \times (0,075)^2/4] \times 0,150 \approx 0,00066 \text{ m}^3$$

Büyük boy silindir numunesinin hacmi: V_{sb}

$$V_{sb} = (\pi \times D^2/4) \times h = [\pi \times (0,150)^2/4] \times 0,300 \approx 0,0053 \text{ m}^3$$

$$\Sigma V = (V_k + V_0 + V_b + V_{sk} + V_{so} + V_{sb}) \times 3 = 0,087 \text{ m}^3$$

$$\Sigma V = 87 \text{ dm}^3$$

Gerekli agrega ağırlığı : $M_t = V_t \times \gamma$, $\gamma = 1,75 \text{ kg/dm}^3$

$$M_t = V_t \times \gamma = 87 \text{ dm}^3 \times 1,75 \text{ kg/dm}^3$$

$$M_t \approx 152 \text{ kg}$$

Normal dayanımlı beton için karışım oranı ağırlıkça çimento / çakıl / kum / su = 1 / 2 / 2 / 0,5 olarak seçildiği için;

Kum	:76 kg
Çakıl	:76 kg
Çimento	:38 kg
Su	:19 kg elde edilir.

Yüksek dayanımlı beton için karışım oranı ağırlıkça çimento / çakıl / kum / su / silis dumanı / süper akışkanlaştırıcı = 1 / 2 / 2 / 0,35 / 0,05 / 0,03 olarak seçildiği için;

Kum	:76 kg
Çakıl	:76 kg
Çimento	:38 kg
Su	:13,65 kg
Silis Dumanı	:1,9 kg
Süper akışkanlaştırıcı	:1,14 kg elde edilir.

3.3.4. Betonun yerleştirilmesi

Beton kalıplara döküldükten sonra büyük boy kalıplar için çubuk vibrator ile, küçük ve orta boy kalıplar için ise masa vibratorü ile titreşim yapılarak döküm işi tamamlanmıştır. Kalıplara her 1 / 3 oranında beton konulduktan sonra yerleştirim işlemi yinelenmiştir. Son titreşim işlemi de tamamlandıktan sonra numunelerin üst yüzeyleri mala ile düzeltilerek düz bir yüzey oluşturulmuştur.

3.3.5. Numunelerin kalıplardan çıkarılması

Beton kalıplara döküldükten bir gün sonra kalıplar alınmıştır. Kalıplardan alınan numuneler ve silindir numuneleri 28 günlük dayanımlarına erişmesi için aynı şartlar altında ıslak keten çuvallara sarılarak naylon torbalara konulmuştur.

3.4. Deneyin Yapılması

3.4.1. Deney numunelerinin yüklenmesi

4 grup halinde hazırlanan deney numuneleri Makine Mühendisliğı araştırma laboratuarlarının daki DARTEC isimli 60 ton kapasiteli, eksenel çekme uygulayan presler kullanılarak analiz edilmiştir.

DARTEC makinesinin alt ve üst çenelerine deney numunelerinin çubukları tutturulmuş ve eksenel çekme kuvveti uygulanmıştır. Yükleme hızı en büyük yük değerine 60 saniyede erişilecek şekilde seçilmiştir. Deney sonuçları DARTEC' in bağılı olduğı bilgisayar yardımıyla çıktı olarak alınmıştır. Her numune için aderans ekinde deney sonuçları Çizelge 3.1 de verilmiştir.



Resim 3.3. DARTEC yükleme  er evesi

Çizelge 3.1. Aderans ekinde deney sonuçları

	Numune Kodu	c (mm)	d _b (mm)	d _a (mm)	L _d (mm)	f _c (MPa)	P _u (kN)
1	NP1	64	32	9,53	160	21,6	37
2	NP2	64	32	9,53	160	21,6	57,9
3	NP3	64	32	9,53	160	21,6	58
4	NP4	32	16	9,53	80	21,6	12,9
5	NP5	32	16	9,53	80	21,6	16,3
6	NP6	32	16	9,53	80	21,6	23,5
7	NP7	16	8	9,53	40	21,6	6,3
8	NP8	16	8	9,53	40	21,6	5,2
9	NP9	16	8	9,53	40	21,6	3,1
10	ND1	64	32	9,53	160	22,03	65,3
11	ND2	64	32	9,53	160	22,03	59,9
12	ND3	64	32	9,53	160	22,03	79,1
13	ND4	32	16	9,53	80	22,03	19,5
14	ND5	32	16	9,53	80	22,03	30,6
15	ND6	32	16	9,53	80	22,03	27,7
16	ND7	16	8	9,53	40	22,03	6
17	ND8	16	8	9,53	40	22,03	7,2
18	ND9	16	8	9,53	40	22,03	4,7
19	HP1	64	32	9,53	160	39,83	154,7
20	HP2	64	32	9,53	160	39,83	164
21	HP3	64	32	9,53	160	39,83	104,1
22	HP4	32	16	9,53	80	39,83	33,7
23	HP5	32	16	9,53	80	39,83	25
24	HP6	32	16	9,53	80	39,83	23,9
25	HP7	16	8	9,53	40	39,83	7,4
26	HP8	16	8	9,53	40	39,83	9,8
27	HP9	16	8	9,53	40	39,83	11
28	HD1	64	32	9,53	160	38,67	129,2
29	HD2	64	32	9,53	160	38,67	144,2
30	HD3	64	32	9,53	160	38,67	147,2
31	HD4	32	16	9,53	80	38,67	34
32	HD5	32	16	9,53	80	38,67	28,4
33	HD6	32	16	9,53	80	38,67	20,8
34	HD7	16	8	9,53	40	38,67	9,1
35	HD8	16	8	9,53	40	38,67	12,4
36	HD9	16	8	9,53	40	38,67	15,8

3.4.2. Silindir basınç dayanımlarının bulunması

Silindire başlık yapmak için kükürt potasında eritilen kükürt grafit karışımı, başlık kalıbının yardımıyla silindirlerin pürüzlü başlık yüzeylerine gelecek şekilde düzenlenmiş, ayrıca kalıp her defasında kükürdün kalıba yapışmasını engellemek için yağlanmıştır. Silindir başlıklar yapılan numunelere, f_c nin bulunması için aksinel basınç uygulanmıştır. Her deney numuneleri kalıplara dökülürken 3 adet 150x300 mm' lik kontrol silindirleri alınmıştır. Deney grupları için bulunan silindir basınç dayanımları aşağıda verilmiştir:

- 1) Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri için silindir basınç dayanımları:

$$f_{c1,1} = 41.3 \text{ MPa}$$

$$f_{c1,2} = 39.6 \text{ MPa}$$

$$f_{c1,3} = 38.6 \text{ MPa}$$

$$f_{c\text{ort}} = 39.83 \text{ MPa}$$

- 2) Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri için silindir basınç dayanımları:

$$f_{c2,1} = 22.7 \text{ MPa}$$

$$f_{c2,2} = 22.3 \text{ MPa}$$

$$f_{c3,3} = 19.8 \text{ MPa}$$

$$f_{c\text{ort}} = 21.6 \text{ Mpa}$$

- 3) Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numuneleri için silindir basınç dayanımları:

$$f_{c3,1} = 37.3 \text{ MPa}$$

$$f_{c3,2} = 40.5 \text{ MPa}$$

$$f_{c3,3} = 38.2 \text{ MPa}$$

$$f_{c\text{ort}} = 38.67 \text{ MPa}$$

- 4) Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numuneleri için silindir basınç dayanımları:

$$f_{c4,1} = 20.8 \text{ MPa}$$

$$f_{c4,2} = 23.7 \text{ MPa}$$

$$f_{c4,3} = 21.6 \text{ MPa}$$

$$f_{c\text{ort}} = 22.03 \text{ MPa}$$

3.5. Deney Grupları

Deney çalışmaları 28.11.2004 tarihinde deneyde kullanılacak çakılların elenmesiyle başlamış, 01.03.2005 tarihinde deney numunelerinin Makine Mühendisliği araştırma laboratuvarlarında kırılmasıyla son bulmuştur. Sonraki çalışmalar deney sonuçlarının değerlendirilmesi olarak devam edilmiştir.

Deneyler yüksek dayanımlı beton-düz demirden oluşan deney numuneleri, normal dayanımlı beton-düz demirden oluşan deney numuneleri, yüksek dayanımlı beton-nervürlü demirden oluşan deney numuneleri, normal dayanımlı beton-nervürlü demirden oluşan deney numuneleri olmak üzere 4 grup üzerinde yapılmıştır.

Her deney grubunda 3 adet küçük, 3 adet orta ve 3 adet büyük boy deney numunesi olmak üzere toplam 9 adet deney numunesi bulunmaktadır.

3.5.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubu

Bu deney grubunda boyutları birbirinin 2 katı olan ve küçük, orta ve büyük boy olmak üzere 3 farklı deney numunesi kullanılmıştır. Bu gruptaki numunelere HP ismi verilmiştir. Büyük boy 3 adet deney numunelerine HP1, HP2 ve HP3, orta boy 3 adet deney numunesine HP4, HP5 ve HP6, küçük boy deney numunelerine de HP7, HP8, HP9 ismi verilmiştir.

Bu gruptaki toplam 9 adet deney numunesi 30.11.2004 tarihinde betonları dökülmüş, 02.11.2004 tarihinde de numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Bu gruptaki numuneler 01.03.2005 tarihinde test edilmiştir. Yükleme anında numuneler 90 günlüktür.

3.5.2. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubu

Bu deney grubunda boyutları birbirinin 2 katı olan ve küçük, orta ve büyük boy olmak üzere 3 farklı deney numunesi kullanılmıştır. Bu gruptaki numunelere NP ismi verilmiştir. Büyük boy 3 adet deney numunelerine NP1, NP2 ve NP3, orta boy 3 adet deney numunesine NP4, NP5 ve NP6, küçük boy deney numunelerine de NP7, NP8, NP9 ismi verilmiştir.

Bu gruptaki toplam 9 adet deney numunesi 07.12.2004 tarihinde betonları dökülmüş, 09.12.2004 tarihinde de numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Bu gruptaki numuneler 01.03.2005 tarihinde test edilmiştir. Yükleme anında numune yaşları 83 gündür.

3.5.3. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubu

Bu deney grubunda boyutları birbirinin 2 katı olan ve küçük, orta ve büyük boy olmak üzere 3 farklı deney numunesi kullanılmıştır. Bu gruptaki numunelere HD ismi verilmiştir. Büyük boy 3 adet deney numunelerine HD1, HD2 ve HD3, orta boy 3 adet deney numunesine HD4, HD5 ve HD6, küçük boy deney numunelerine de HD7, HD8, HD9 ismi verilmiştir.

Bu gruptaki toplam 9 adet deney numunesi 28.12.2004 tarihinde betonları dökülmüş, 30.12.2004 tarihinde de numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Bu gruptaki numuneler 01.03.2005 tarihinde test edilmiştir. Yükleme anında numune yaşları 62 gündür.

3.5.4. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubu

Bu deney grubunda boyutları birbirinin 2 katı olan ve küçük, orta ve büyük boy olmak üzere 3 farklı deney numunesi kullanılmıştır. Bu gruptaki numunelere ND ismi verilmiştir. Büyük boy 3 adet deney numunelerine ND1, ND2 ve ND3, orta boy 3 adet deney numunesine ND4, ND5 ve ND6, küçük boy deney numunelerine de ND7, ND8, ND9 ismi verilmiştir.

Bu gruptaki toplam 9 adet deney numunesi 05.01.2005 tarihinde betonları dökülmüş, 05.01.2005 tarihinde de numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Bu gruptaki numuneler 01.03.2005 tarihinde test edilmiştir. Yükleme anında numune yaşları 54 gündür.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Sonuçların Analizi

Bu bölümde laboratuvar çalışmalarında elde edilen sonuçlar ve değerler analitik ortama aktarılacaktır. Bazant' ın önerdiği boyut etkisi denklemini lineer regrasyon ile düzenledikten sonra verilerin $Y = AX + D$ biçiminde getirilmesi, her numune için aderans ekinde göçme değerlerinin verildiği tablolar ışığında grafiklerin oluşturulması da bölümde yapılacaktır.

Sonuçlara en iyi şekilde ulaşmanın yolu, en uygun formülün kullanılmasıyla mümkün olacaktır. Bu çalışmada Orangun, Jirsa ve Breen' in (38) regrasyon analizinden yararlanılarak geliştirdikleri aderans dayanım formülü kullanılmıştır.

X ve Y eksen takımında; X ile gösterilen eksen boyut değişimini yani $X = d_b$, Y ile gösterilen eksen ise $(v_c/v_u)^2$ değerini göstermektedir. X ve Y eksen takımları kullanılarak veriler üzerinden geçen $Y=AX+D$ şeklindeki doğru yardımıyla boyut etkisi parametreleri olan B ve d_o parametreleri bulunacaktır.

Boyut etkisini en açık biçimde gösteren eğri Bazant' ın logaritmik eğrisidir (Şekil 2.3). Bu eğri üzerinde araştırılan betonarme elemanın dayanım kriteri ile LEKM arasındaki geçiş bölgesini görmek mümkün olacaktır. X ve Y eksen takımında; X ile gösterilen eksen $\log (v_u / Bv_c)$, Y ile gösterilen eksen ise $\log \beta$ değerini gösteren bir grafikte de boyut etkisi varlığı görülmeye çalışılacaktır.

Tablolarda elde ettiğimiz sonuçlar lineer regrasyon için,

$$\text{Toplam X değeri} \quad \Sigma X = \Sigma d_b \quad [4.1]$$

$$\text{Toplam Y değeri} \quad \Sigma Y = \Sigma (v_c / v_u)^2 \quad [4.2]$$

$$\text{X ve Y' nin çarpımlarının toplamı} \quad \Sigma (X, Y) = \Sigma [(v_c / v_u)^2 \cdot d_b] \quad [4.3]$$

$$\text{X değerlerinin kareleri toplamı} \quad \Sigma X^2 = \Sigma d_b^2 \quad [4.4]$$

$$\text{Y değerlerinin kareleri toplamı} \quad \Sigma Y^2 = \Sigma [(v_c / v_u)^2]^2 \quad [4.5]$$

Y = AX+D denklemi yukarıdaki formülleri kullanılarak şu şekilde bulunur:

$$A = \frac{n \cdot \Sigma(X, Y) - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad [4.6]$$

$$D = \frac{\Sigma Y - A \cdot \Sigma X}{n} \quad [4.7]$$

Yukarıdaki denklemlerde;

n : Numune sayısı,

A : Doğrunun eğimi,

D : Doğrunun düşey eksenini kestiği noktadır.

4.1.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun lineer regresyon sonuçları

Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları Çizelge 4.1 de verilmiştir. Bu sonuçların Bazant' ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

Tablolarda sırasıyla; numunenin adı, beton örtü kalınlığı (c), donatı çapı (d_b), donatı bindirme boyu (L_d), silindir basınç dayanımı (f_c), numunelerin aderans eki bölgelerindeki çekme kuvveti (P_u) verilmektedir. Bu veriler dataya yazıldıktan sonra sırasıyla aderans dayanımı v_c , aderans göçme gerilmesi v_u bulunur. X ekseninde d_b , Y ekseninde ise $(v_c/v_u)^2$ değerleri gösterilerek $Y=AX+D$ şeklindeki doğru oluşturulur. Oluşturulan bu doğru üzerinden boyut etkisi parametreleri olan B ve d_o bulunur.

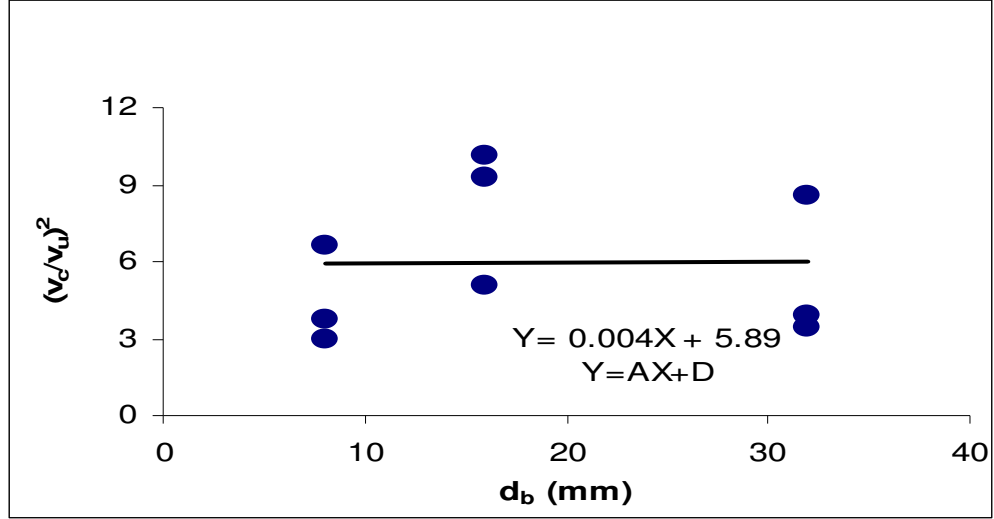
Çizelge 4.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

Numune Kodu	c (mm)	d_b (mm)	L_d (mm)	f_c (MPa)	P_u (kN)	v_u (MPa)	v_c (MPa)	$(v_c / v_u)^2$
HP1	64	32	160	39,83	154,7	4,81	9,46	3,87
HP2	64	32	160	39,83	164	5,10	9,46	3,44
HP3	64	32	160	39,83	104,1	3,24	9,46	8,54
HP4	32	16	80	39,83	33,7	4,19	9,46	5,09
HP5	32	16	80	39,83	25	3,11	9,46	9,25
HP6	32	16	80	39,83	23,9	2,97	9,46	10,12
HP7	16	8	40	39,83	7,4	3,68	9,46	6,60
HP8	16	8	40	39,83	9,8	4,88	9,46	3,76
HP9	16	8	40	39,83	11	5,47	9,46	2,99

Çizelge 4.2. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun doğrusal korelasyon sonuçları

n	9
ΣX	168
ΣY	53,65
ΣXY	1005,08
ΣX^2	4032
ΣY^2	380,17
A	0,004
D	5,89
B	0,412
d_o	1463,81

Numune Kodu: HP



Şekil 4.1. Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

4.1.2. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun lineer regresyon sonuçları

Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları Çizelge 4.3 de verilmiştir. Bu sonuçların Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

Tablolarda sırasıyla; numunenin adı, beton örtü kalınlığı (c), donatı çapı (d_b), donatı bindirme boyu (L_d), silindir basınç dayanımı (f_c), numunelerin aderans eki bölgelerindeki çekme kuvveti (P_u) verilmektedir. Bu veriler dataya yazıldıktan sonra sırasıyla aderans dayanımı v_c , aderans göçme gerilmesi v_u bulunur. X ekseninde d_b , Y ekseninde ise $(v_c/v_u)^2$ değerleri gösterilerek $Y=AX+D$ şeklindeki doğru oluşturulur. Oluşturulan bu doğru üzerinden boyut etkisi parametreleri olan B ve d_o bulunur.

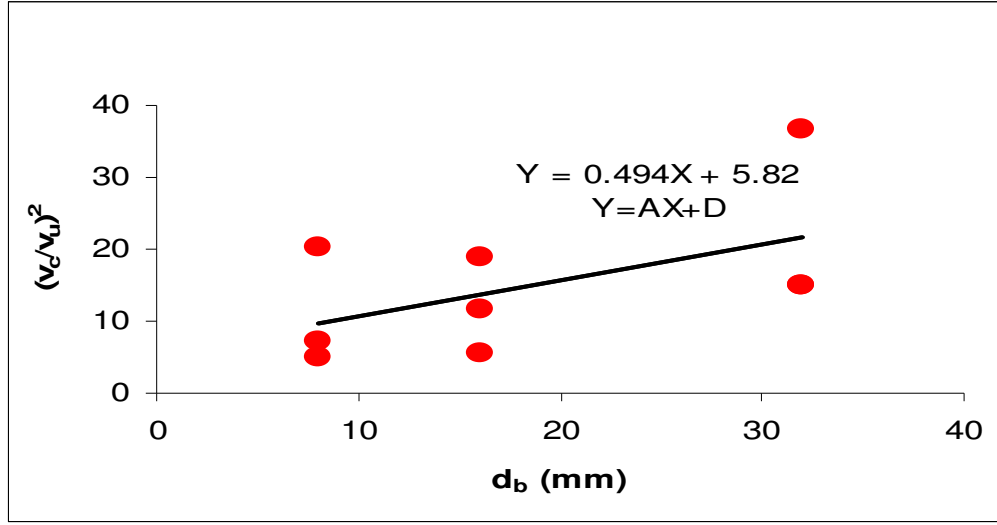
Çizelge 4.3. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

Numune Kodu	c (mm)	d _b (mm)	L _d (mm)	f _c (MPa)	P _u (kN)	v _u (MPa)	v _c (MPa)	(v _c / v _u) ²
NP1	64	32	160	21,6	37	1,15	6,97	36,64
NP2	64	32	160	21,6	57,9	1,80	6,97	14,96
NP3	64	32	160	21,6	58	1,80	6,97	14,91
NP4	32	16	80	21,6	12,9	1,60	6,97	18,84
NP5	32	16	80	21,6	16,3	2,03	6,97	11,80
NP6	32	16	80	21,6	23,5	2,92	6,97	5,68
NP7	16	8	40	21,6	6,3	3,13	6,97	4,94
NP8	16	8	40	21,6	5,2	2,59	6,97	7,25
NP9	16	8	40	21,6	3,1	1,54	6,97	20,39

Çizelge 4.4. Normal dayanımlı Beton, düz demirden oluşan deney grubunun doğrusal korelasyon sonuçları

n	9
ΣX	168
ΣY	135,41
ΣXY	2970,3
ΣX ²	4032
ΣY ²	2808,19
A	0,494
D	5,82
B	0,414
d ₀	11,79

Numune Kodu: NP



Şekil 4.2. Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

4.1.3. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun lineer regrasyon sonuçları

Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları Çizelge 4.5 de verilmiştir. Bu sonuçların Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

Tablolarda sırasıyla; numunenin adı, beton örtü kalınlığı (c), donatı çapı (d_b), donatı bindirme boyu (L_d), silindir basınç dayanımı (f_c), numunelerin aderans eki bölgelerindeki çekme kuvveti (P_u) verilmektedir. Bu veriler dataya yazıldıktan sonra sırasıyla aderans dayanımı v_c , aderans göçme gerilmesi v_u bulunur. X ekseninde d_b , Y ekseninde ise $(v_c/v_u)^2$ değerleri gösterilerek $Y=AX+D$ şeklindeki doğru oluşturulur. Oluşturulan bu doğru üzerinden boyut etkisi parametreleri olan B ve d_o bulunur.

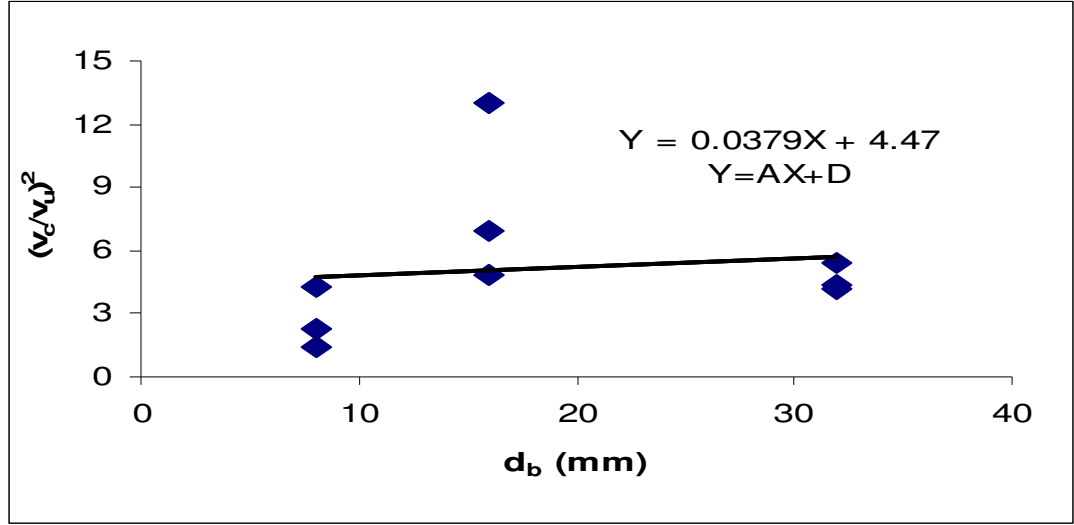
Çizelge 4.5. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

Numune Kodu	c (mm)	d _b (mm)	L _d (mm)	f _c (MPa)	P _u (kN)	v _u (MPa)	v _c (MPa)	(v _c / v _u) ²
HD1	64	32	160	38,67	129,2	4,02	9,32	5,38
HD2	64	32	160	38,67	144,2	4,48	9,32	4,32
HD3	64	32	160	38,67	147,2	4,58	9,32	4,14
HD4	32	16	80	38,67	34	4,23	9,32	4,86
HD5	32	16	80	38,67	28,4	3,53	9,32	6,96
HD6	32	16	80	38,67	20,8	2,59	9,32	12,97
HD7	16	8	40	38,67	9,1	4,53	9,32	4,24
HD8	16	8	40	38,67	12,4	6,17	9,32	2,28
HD9	16	8	40	38,67	15,8	7,86	9,32	1,41

Çizelge 4.6. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubun doğrusal korelasyon sonuçları

n	9
ΣX	168
ΣY	46,56
ΣXY	903,02
ΣX ²	4032
ΣY ²	330,24
A	0,038
D	4,465
B	0,473
d ₀	117,781

Numune Kodu:HD



Şekil 4.3. Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

4.1.4. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun lineer regresyon sonuçları

Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları Çizelge 4.7 de verilmiştir. Bu sonuçların Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

Tablolarda sırasıyla; numunenin adı, beton örtü kalınlığı (c), donatı çapı (d_b), donatı bindirme boyu (L_d), silindir basınç dayanımı (f_c), numunelerin aderans eki bölgelerindeki çekme kuvveti (P_u) verilmektedir. Bu veriler dataya yazıldıktan sonra sırasıyla aderans dayanımı v_c , aderans göçme gerilmesi v_u bulunur. X ekseninde d_b , Y ekseninde ise $(v_c/v_u)^2$ değerleri gösterilerek $Y=AX+D$ şeklindeki doğru oluşturulur. Oluşturulan bu doğru üzerinden boyut etkisi parametreleri olan B ve d_o bulunur.

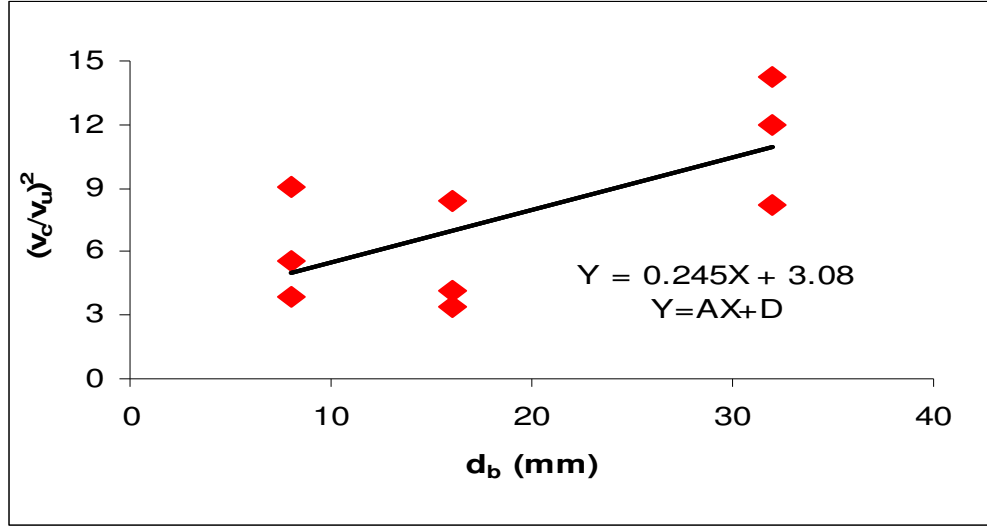
Çizelge 4.7. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

Numune Kodu	c (mm)	d _b (mm)	L _d (mm)	f _c (MPa)	P _u (kN)	v _u (MPa)	v _c (MPa)	(v _c / v _u) ²
ND1	64	32	160	22,03	65,3	2,03	7,03	12,00
ND2	64	32	160	22,03	59,9	1,86	7,03	14,26
ND3	64	32	160	22,03	79,1	2,46	7,03	8,18
ND4	32	16	80	22,03	19,5	2,43	7,03	8,41
ND5	32	16	80	22,03	30,6	3,81	7,03	3,42
ND6	32	16	80	22,03	27,7	3,45	7,03	4,17
ND7	16	8	40	22,03	6	2,99	7,03	5,55
ND8	16	8	40	22,03	7,2	3,58	7,03	3,86
ND9	16	8	40	22,03	4,7	2,34	7,03	9,05

Çizelge 4.8. normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun doğrusal korelasyon sonuçları

n	9
ΣX	168
ΣY	68,88
ΣXY	1505,45
ΣX ²	4032
ΣY ²	641,46
A	0,245
D	3,078
B	0,57
d ₀	12,554

Numune Kodu: ND



Şekil 4 .4. Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney grubunun deney sonuçları

4.2. Göçme Mekanizmaları

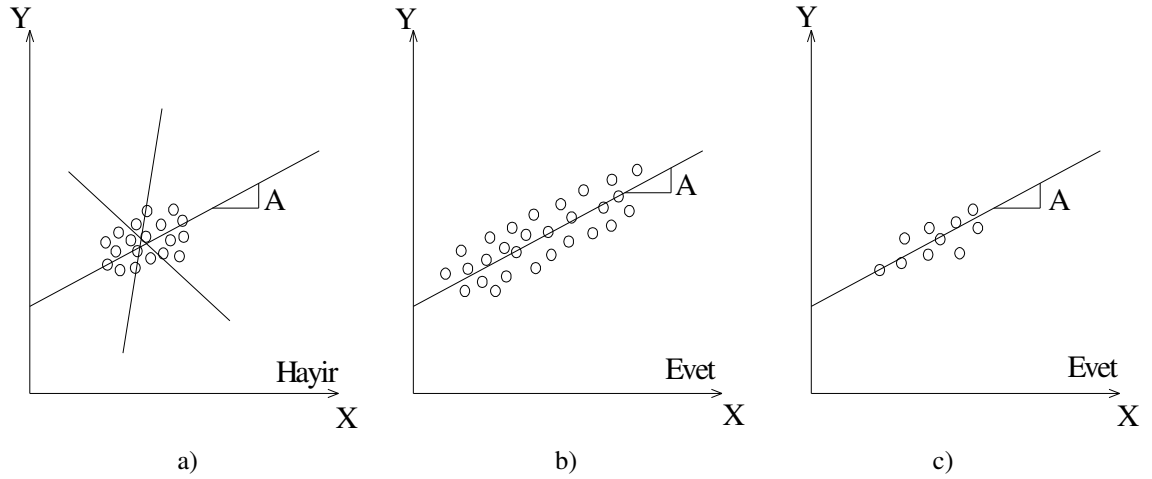
Göçme üç farklı biçimde olmaktadır. Birincisi çubuğu çevreleyen betonun ayrılması ile olan kırılma (ayrılma) göçmesi, ikincisi ise donatının çevre betonu kesmesi ile oluşan kırılma (sıyrılma) biçimidir. Üçüncüsü ise çubuk kopmasıdır ki donatı aderans eki kısa seçildiğinden bu göçme önlenmiştir.

Ayrılma göçmesi özellikle nervürlü büyük çaplı numunelerde betonun düz çubuklarda pürüzlü yüzeye, nervürlü çubuklarda nervürlere yaslanması sonucu oluşmaktadır. Yaslanma ile oluşan çevresel basınç iç basınç doğurur ve çevredeki betonun çekme gerilmesi ile bu iç basınç dengelenir. Bu gerilmeler beton çekme dayanımını aşarsa radyal ayrılma çatlakları oluşarak aniden (gevrek) aderans kaybolmasına neden olur.

Kesme göçmesinde donatının pürüzlü yüzeyde betonu kesmesi sonucu, silindirik sürtünme yüzeyi oluşarak donatı sıyrılır. Kesilme gömülü çubuğun tüm uzunluğuna yayıldığından kuvvet azalır ve sürtünme ile eleman daha yumuşak (plastik) geçer.

Bu deney sonuçlarında ayrılma göçmesi genelde orta ve büyük numunelerde görülmektedir. Kesme göçmesi ise genelde küçük numunelerde olmaktadır. Bu davranış boyut etkisi yasası ile uyumludur. Küçük boyutlu numune davranışı plastik limit analize yakın iken, büyük boyutlu numune davranışı LEKM' ne yakındır.

Eğer boyut değişim aralığı az ise ya da yaklaşık olarak dağılım bandının genişliğine eşit ise deney sonuçları kabaca dairesel bölgeye yayılmış olabilir (Şekil 4.5). Böyle bir durumda doğrusal regrasyon yapmak yine mümkün olabilir fakat dataları temsil eden doğrunun eğimi belirsiz hatta negatif de olabilir. Bu olayı engellemek için dataların doğrudan sapması olan varyasyon katsayısı kabaca 0.1 değerini aşmamalıdır. Bazen çok sayıda deney (n =deney sayısı büyük) yapılırsa ve varyasyon katsayısı küçük dahi bulunsa deney sonuçları yine uzun bir bant yerine dairesel bir bölgede yer alabilirler. Bu olayı engellemek için varyasyon değişim katsayılarının oranı 0.15'i aşmaması öğütlenmektedir (33).

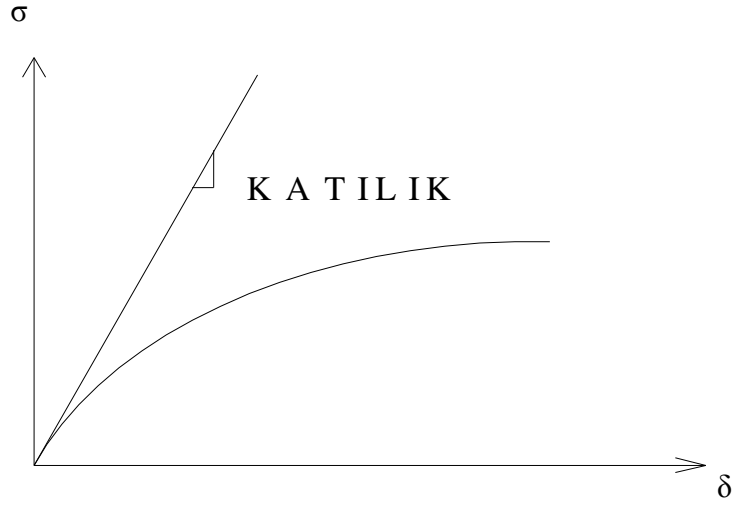


Şekil 4.5. Boyut değişim aralığı

Şekil 4.5 (a) da boyut değişim aralığı çok küçük olduğu için boyut etkisi yöntemi uygulanamaz. Şekil 4.5 (b) ve (c) de ise boyut değişim aralığı yeterli olduğu için boyut etkisi yasası uygulanabilir.

4.3.Eleman Katılıkları

Deneylerin yapılması sırasında DARTEC yükleme çerçevesinde aynı zamanda gerilme-yerdeğiştime değerleri de kaydedilip eğrileri elde edilmiştir. Bu gerilme-yerdeğiştime eğrilerinin başlangıç teğetine göre bulunan eleman katılıkları izelge 4.9 da verilmiştir.



şekil 4.6. Eleman katılığı

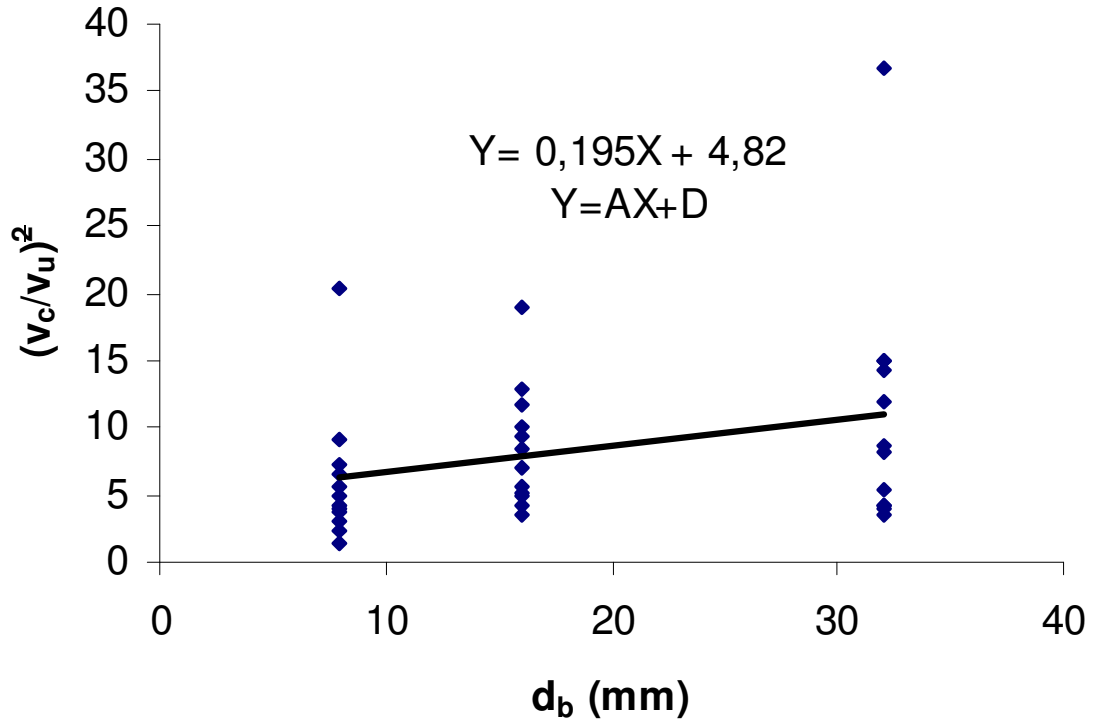
5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dört farklı deney grubundan 36 deney numunesinin incelenmesiyle tamamlanan deney çalışmasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1) Deneylerden bulunan sonuçlardan boyut etkisinin varlığı açıkça görülmüştür. Yani gerilme boyut arttıkça azalmaktadır.
- 2) Deney sonuçlarından elde edilen değerler boyut etkisinin varlığını kesin kılmamakla beraber, sonuçlar teorik göçme mekanizmasından beklendiği gibi Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasası ile uyum göstermektedir.
- 3) Deneyler büyük çubuklu büyük numunelerin gevrek kırılmaya, küçük çubuklu küçük numunelerin ise daha az gevrek kırılma moduna yakın olduklarını göstermektedir. Göçme anında numune boyutunun bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan bu oluşum boyut etkisi yasasının fiziksel uygulamalar ile uyuşmakta olduğunu ve uygulanabilirliğini desteklemektedir.
- 4) Nervürlü donatılı numunelerde düz donatılı numunelere oranla daha fazla aderans görülmüştür.
- 5) Gerilme-yerdeğiştme eğrilerine göre eleman katılıkları büyük numunelerde küçük, küçük numunelerde ise büyük bulunmuştur.
- 6) Deney numunelerinin toplu sonuçlarından boyut etkisi parametreleri olan yapı biçimine bağlı boyutsuz sabit olan $do = 24.72$, malzeme özelliğine bağlı boyutsuz sabit olan $B = 24.72$ bulunmuştur.

Çizelge 4.9. Eleman katılıkları

	Eleman Katılığı		Eleman Katılığı
ND1	5.11	HD1	6.67
ND2	7.00	HD2	14.67
ND3	6.22	HD3	4.79
ND4	9.00	HD4	144.91
ND5	125.00	HD5	29.54
ND6	25.00	HD6	12.02
ND7	55.00	HD7	151.52
ND8	63.83	HD8	333.35
ND9	47.00	HD9	625
NP1	12.5	HP1	33.33
NP2	6.00	HP2	18.33
NP3	22.72	HP3	25
NP4	21.67	HP4	21.33
NP5	22.27	HP5	5.13
NP6	36.46	HP6	14.31
NP7	42.14	HP7	42.37
NP8	45.3	HP8	35.93
NP9	27.5	HP9	34.13



Şekil 5.1. Deney numunelerinin toplu sonuçları

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada karşımıza çıkan problemler dikkate alınarak gelecek araştırmalarda aşağıdaki konulara dikkat edilmesi onerilmektedir:

- 1) Küçük boyutlu numunelerin kalıplardan çıkarılması ve taşınması esnasında çok dikkatli ve titiz olunmalıdır. Gerek kalıp sökme sırasında gerekse numunenin taşınması sırasında donatılara dokunulmamalıdır. Donatılara dokunulması durumlarda numunenin yanıltıcı sonuçlar verebileceğı göz ardı edilmemelidir.
- 2) Küçük numunelerin betonunun yerleştirilmesi esnasında gkler yaşanmıştır. Küçük numunelerin yerleştirilmesi sırasında sarsma tablası kullanılmalıdır.
- 3) Kalıplar beton dökülmeden önce muhakkak yağlanmalıdır. Yağlanmazsa kalıpların sökülmesi esnasında betonun yüzeyinin düzgünlüğü bozulabilir.
- 4) Büyük numunelerin kalıpları hazırlanırken küçük ve orta boy numunelerin kalıplarına oranla daha fazla noktadan vida atılmalıdır. Aksi takdirde betonun uyguladığı yüksek basınç ile kalıp patlayabilir.
- 5) Kalıpların ek yerleri beton dökülmeden önce macun benzeri bir madde ile kapatılmalıdır. Eğer boşluklar doldurulmazsa bu boşluklardan su ve imento karışımı sızacaktır ki bu da dayanımın azalmasına neden olacaktır.
- 6) Beton karışımı hazırlanırken malzemelerin gerektiği ölçülerde hazırlanmasına ve karışımın tam olarak yapılmasına dikkat edilmelidir. llerin tam olarak karışıma konulmaması ve malzemelerin birbirleriyle homojene yakın halde karışmamaları arzu edilen malzemenin oluşmasını engelleyecektir.
- 7) Donatıların kaynaklarının çift yönlü yapılmasına dikkat edilmelidir. Tek yönlü yapılan kaynak deney sırasında kırılabilir buda numunenin devre dışı kalmasına neden olabilir.

- 8) Silindir numunesi alınırken silindir kabının içinde boşluklar kalmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü kabın içindeki boşluklar dayanımı etkilemektedir.
- 9) Kalıplardan çıkartılan numuneler keten çuvallara güzelce sarılmalı ve etrafları da naylon muşambalarda kapatılmalıdır. Keten çuvallar hergün sulanmalıdır ki beton prizini alana kadar sulu ortamda kalmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Türk Standartları Enstitüsü, “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 500)”, *TSE*, Ankara, 1-75 (1985).
2. Bazant, Z.P., Cao, Z., “Size Effect in Shear Failure of Prestressed Concrete Beams”, *ACI Journal*, 83(2): 260-268 (1986).
3. Bazant, Z.P., Kim, J.K., “Size Effect in Shear Failure of Reinforced Concrete Beams”, *ACI Journal*, 81(5): 456-468 (1984).
4. Bazant, Z.P., Kim, J.K., Şener, S., “Size Effect in Shear Failure Longitudinally Reinforced Beams”, *ACI Journal*, 82(4): 579-583 (1985).
5. Bazant, Z.P., and Sun, H.H., “Size Effect of Diagonal Shear Failure, Effect of Aggregate Size and Stirrups”, *ACI Materials Journal*, 84(4): 259-272 (1987).
6. Bazant, Z.P., Cao, Z., “Size Effect in Brittle Failure of Unreinforced Pipes”, *ACI Journal*, 83(3): 369-373 (1986).
7. Bazant, Z.P., Şener, S., “Size Effect in Torsional Failure of Concrete Beam”, *J.Struct. Eng. Proc. ASCE*, 113: 2125-2136 (1987).
8. Bazant, Z.P., Cao, Z., “Size Effect in Punching Shear Failure of Slabs”, *ACI Structural Journal*, 84(1):44-53 (1987).
9. Bazant, Z.P., Şener, S., Prat, P., “Size Effect Tests of Torsional Failure of Plain and Reinforced Concrete Beams”, *RILEM & Materials and Structures*, 21: 425-430 (1988).
10. Bazant, Z.P., Şener, S., “Size Effect in Pull-out Tests”, *ACI Materials Journal*, 85(5):347-351 (1988).
11. Bazant, Z.P., Kazemi, M.T., “Size Effect on Diagonal Shear Failure of Concrete Beams Without Stirrups”, *ACI Structural Journal*, 88(3): 268-276 (1991).
12. Bazant, Z.P., Kazemi, M.T., Hasegawa, T., Mazars. J., “Size Effect in Brazilian Split-Cylinder Tests, Measurements and Fracture Analysis”, *ACI Materials Journal*, 88(3):325-332 (1991)
13. Bazant, Z.P., Scheil, W.F., “Fatigue Fracture of High-Strength Concrete and Size Effect”, *ACI Materials Journal*, 90(5): 472-478 (1992).
14. Şener, S., “Betonarme Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi”, *İMO XI. Teknik Kongre*, İstanbul, 117-128 (1991).

15. Şener, S., "Size Effect in Bond Splices Failure Tests", *First International Conference on Fracture Mechanics of Concrete Structure*, Breckenridge, U.S.A., 110-115 (1992).
16. Şener, S., "Size Effect in Bond Splices Failure Tests", *ASCE Journal of Structural Engineering*, 548-553 (1992).
17. Şener, S., "Size Effect in the Direct Loading Tests", *Advances in Civil Engineering First Technical Congress*, Gazimagusa, 720-727 (1993).
18. Şener, S., "Size Effect in Bond Splices Failure Tests", *FIP 92 Symposium Budapest*, Hungary, 357-362 (1992).
19. Şener, S., "Gevrek Malzeme Göçmesinde Boyut Etkisi", *VII. Ulusal Mekanik Kongresi*, Antalya, 567-576 (1991).
20. Şener, S., "Sargılı Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi", *IMO XII.Teknik Kongre*, Ankara, 481-494 (1993).
21. Şener, S., Timur. İ., "Size Effect in Bond Splices Tests Under The Indirect Loading", *Advances in Civil Engineering First Technical Congress*, Gazimagusa, 728-735 (1993).
22. Şener, S., "Bond Splices Tests Based on Fracture Mechanics", *The Fourth International Symposium on Brittle Matrix Composites*, 569-576 (1994).
23. Şener, S., "Concrete Structures Design Based on Fracture Mechanics", *The 3. International Kerensky Conference on Global Trends in Structural Engineering*, Singapore, 563-567 (1994).
24. Şener, S., Belgin, Ç., "Load Controlled Tests for Bond Splices", *First Turkish International Symposium*, İstanbul, 116 (1994).
25. Ersoy, U., " Betonarme Temel İlkeleri ve Taşıma Gücü Hesabı", *Evrin Kitapevi*, İstanbul, 12-35 (1987).
26. Bazant, Z.P., and Planas, J., "Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials", *CRC*, 616 (1998).
27. Todhunter, I. And Pearson, K., "History of the theory of elastisty and of the strength of materials from Galileo to the present time", *Cambridge University Press*, 103-104 (1986).
28. Anderegg, F.O., "Strength of glass fibre", *Industrial Engineering Chemistry*, 31: 290-298 (1939).

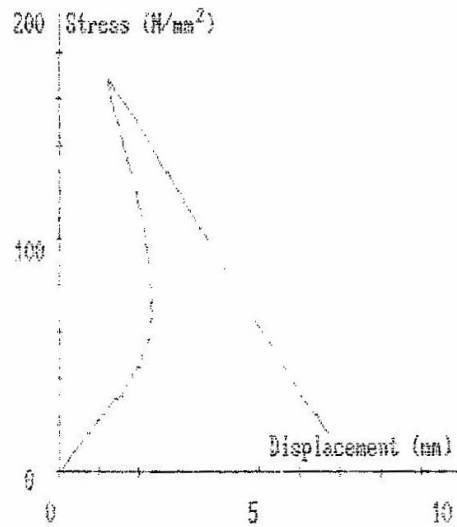
29. Weibull, W., "A statistical theory of strength of materials", *Proc. Royal Swedish Academy of Engineering Sciences*, 151: 1-45 (1939).
30. Çilli, A., "Tek yönlü lif levhalı kompozitlerin basınç altında kırılma problemleri", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bil. Ens.*, İstanbul, 1-5 (1998).
31. Hawkins, N. M., "The role for fracture mechanics in conventional reinforced concrete desing", *NATO workshop of Fract. Mech.*, Northwestern University, Evanston III, 115-168 (1984).
32. Griffith, A. A., "The phenomena of rupture and flow in solids", *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 221: 163-198 (1921).
33. RILEM, "Determination of fracture parameters of plain concrete using three-point bend tests", *Materials and Structures*, 138: 457-460 (1990).
34. Hillerborg, A., "The theoretical basis of a method to determine the fracture energy G_f of concrete", *RILEM*, 18: 106 (1985).
35. Barenblatt, G.I., "On equilibrium cracs forming during brittle fracture (in Russian)", *Prikladnaya Matematika Mekhanika*, 23:434-444 (1959).
36. Şener, S., Bazant, Z.P., Giraudon, E.B., "Size effect tests of bond splices", *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 125(6): 653-660 (1999).
37. Kaplan, M.F., "Crack propagation and the fracture of concrete", *ACI Journal*, 58(11): (1961).
38. Orangun, C.O., Jirsa, J.O., Breen, J.E., "A Reevaluation of test Data on Development Lenght and Splices", *ACI Journal*, 74 (3):114-122 (1977).
39. ACI Standarts, "Commentary on Buildings code Requirements for Reinforced Cocrete", *ACI 318M-83J*, Detroit, (1984).
40. Aboon, L.R., "Development of a Design Type Solution for Predicting the Ultimate Shear Force in Reinforced Concrete Beams", MS thesis, *Northwestern University*, Evanston, (1985).
41. Zsutty, T., "Empirical Study of Bar Development Behavior", J. Struct. Engrg., *ASCE*, 111(1): 205-219 (1985).
42. Bazant, Z.P., Pfeiffer. P.A., "Determination of Fracture Energy from Size Effect and Brittless Number", *ACI materials Journal*, 84(6): 463-480 (1987).
43. Bazant, Z.P., and Cedolin, L., "Stability of Structures : Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories ", *Oxford University Press*, NY (1991).

44. Belgin, Ç.M., "Aşırı donatılı betonarme kirişlerde boyut etkisi deneyleri", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens.*, Ankara, 3-49 (2004).
45. Koç, V., "Normal ve yüksek dayanımlı beton elemanların basınç yüklemesinde boyut etkisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens.*, Ankara, 12-25 (2005).

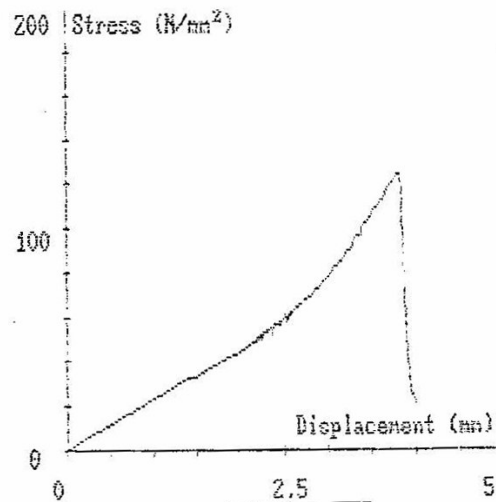
EKLER

Ek-1. Deney Sonuçları

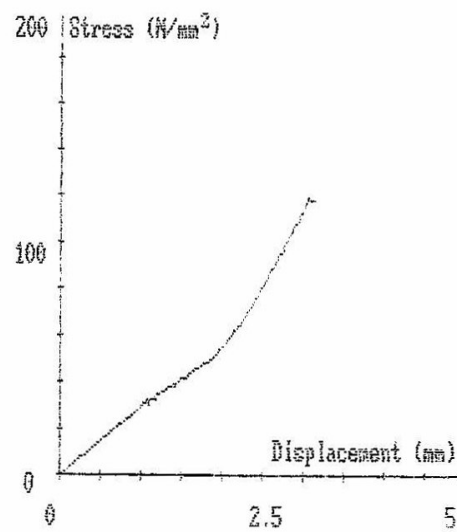
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	1	
File ID	Y.Lisans		Date	03.01 2005	
Confic. File	TESTLER		Time	10:51	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP4		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
Area	201,1	mm ²	Operator		
Parallel length	80,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	86,50	mm			
TEST RESULTS					
Fm	12,9	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



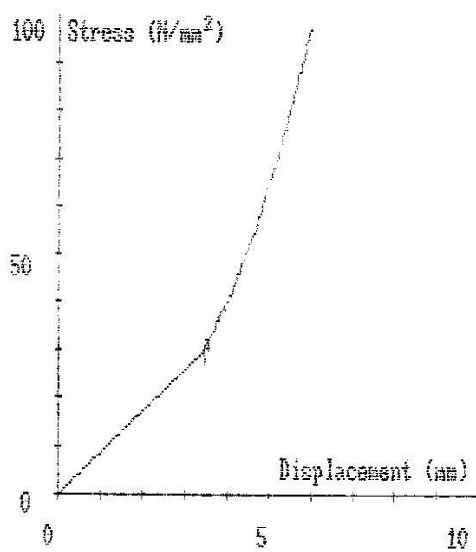
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	2	
File ID	Y.Lisans		Date	03 01.2005	
Confic. File	TESTLER		Time	10.56	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP5		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
Area	201,1	mm ²	Operator		
Parallel length	80,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	86,50	mm			
TEST RESULTS					
Fm	16,3	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



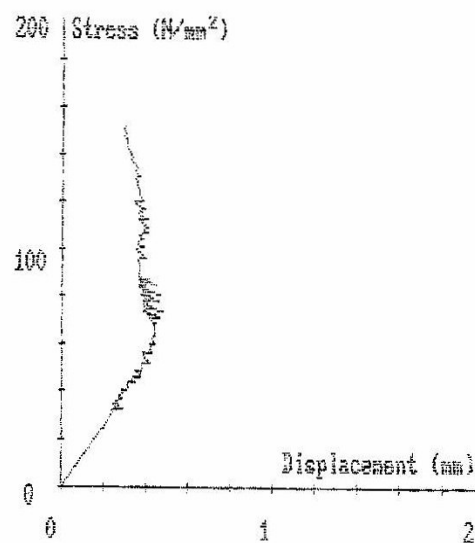
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	3		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	11:01		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP6		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
Area	201,1	mm ²	Operator		
Parallel length	80,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	86,50	mm			
TEST RESULTS					
Fm	23,5	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete: -Fracture detected					
Remarks					



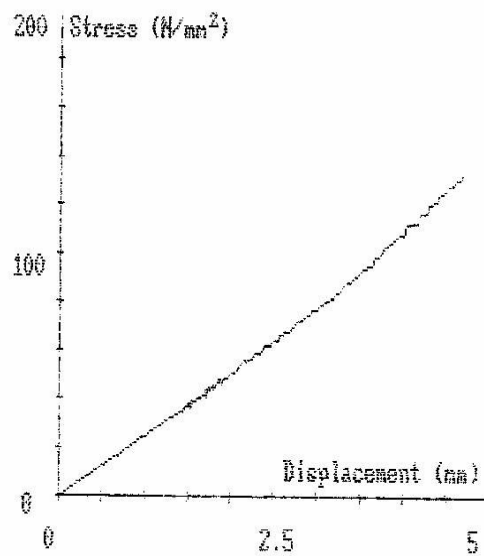
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	4		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	11.04		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND4		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
			Operator		
Area	201,1	mm ²	Batch number		
Parallel length	80,00	mm	Customer		
Initial G.L	80,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	19,5	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



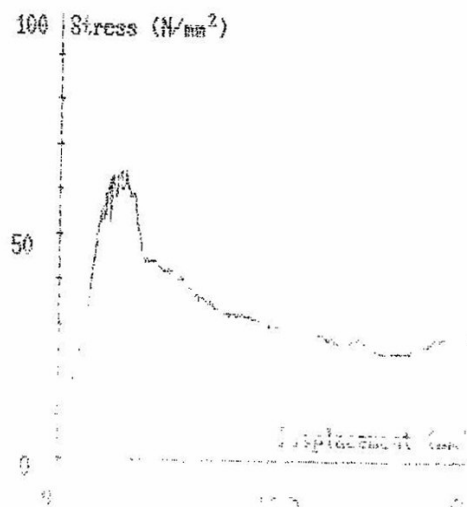
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	5		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	11:07		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND5		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
			Operator		
Area	201,1	mm ²	Batch number		
Parallel length	80,00	mm	Customer		
Initial G.L	80,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	30,6	kN	Ae	0,0	%
			At	0,5	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



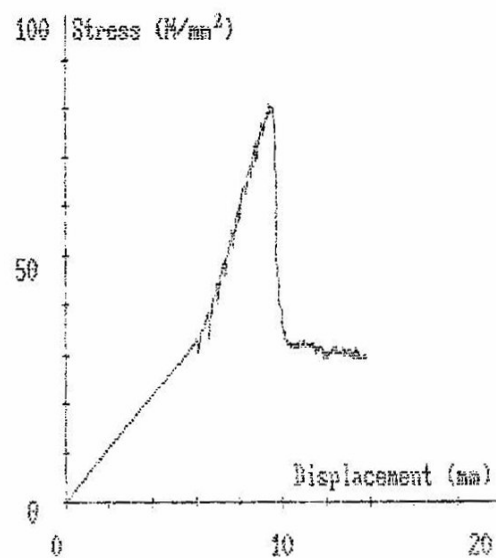
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	6		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Config. File	TESTLER	Time	11:09		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND6		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
			Operator		
Area	201,1	mm ²	Batch number		
Parallel length	80,00	mm	Customer		
Initial G.L	80,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	27,7	kN	Ae	0,0	%
			At	0,5	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



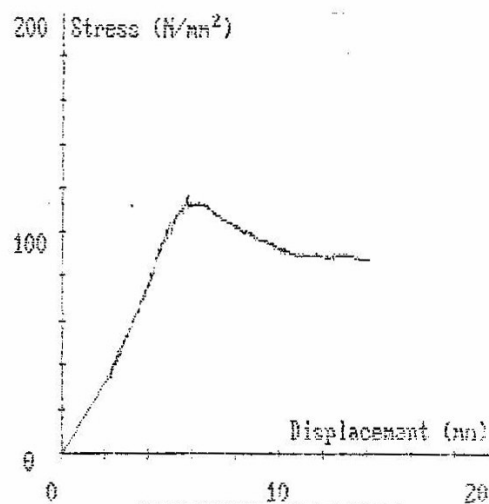
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	7	
File ID	Y.Lisans		Date	03 01 2005	
Confic. File	TESTLER		Time	12 16	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HP4		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
Area	201,1	mm ²	Operator		
Parallel length	80,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	33,7	kN	Ae	0,0	%
Rm	133	N/mm ²			
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



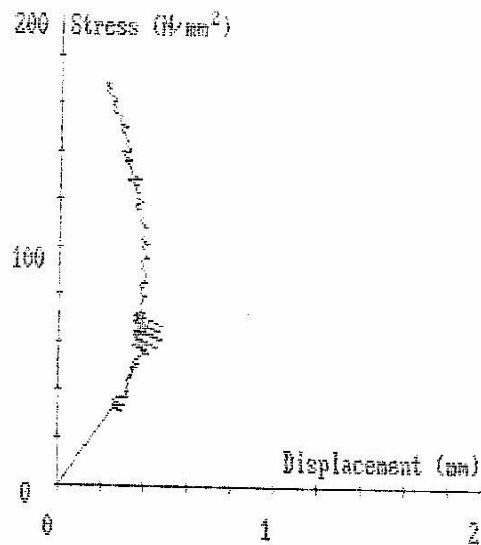
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU		DIN 50 145: 1975	
FILE DATA			
File name	INSAAT	Test number	8
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005
Confic. File	TESTLER	Time	12:21
SPECIMEN DATA			
Specimen code	HP5		Test
Diameter	16,00	mm	Source
Area	201,1	mm ²	Operator
Parallel length	80,00	mm	Batch number
Initial G.L	80,00	mm	Customer
Final G.L	0,00	mm	
TEST RESULTS			
Fm	25	kN	Ae 0,0 %
			At 0,0 %
			E 0,0 kN/mm ² FAIL
Test complete:-Fracture detected			
Remarks			



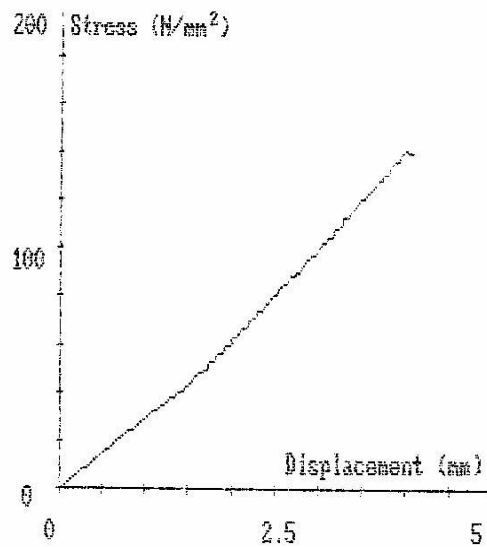
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	9	
File ID	Y.Lisans		Date	03.01.2005	
Confic. File	TESTLER		Time	12.24	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HP6		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
Area	201,1	mm ²	Operator		
Parallel length	80,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	23,9	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



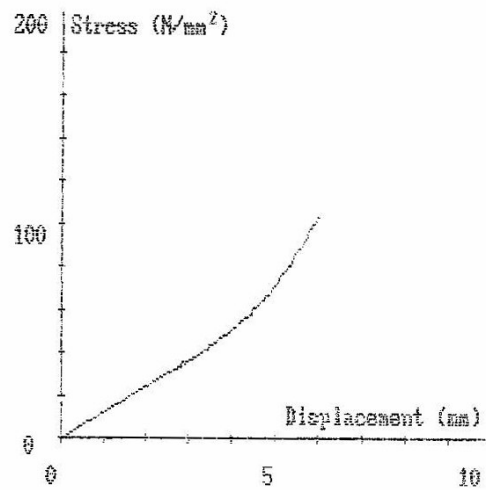
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	10		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	12:27		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HD4		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
Area	201,1	mm ²	Operator		
Parallel length	80,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	79,90	mm			
TEST RESULTS					
Fm	34	kN	Ae	0,0	%
			At	0,5	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	11		
File ID	Y. Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	12:30		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HD5		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
			Operator		
Area	201,1	mm ²	Batch number		
Parallel length	80,00	mm	Customer		
Initial G.L	80,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	28,4	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	12		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	12.32		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HD6		Test		
Diameter	16,00	mm	Source		
Area	201,1	mm ²	Operator		
Parallel length	80,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	20,8	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	13	
File ID	Y.Lisans		Date	03 01. 2005	
Confic. File	TESTLER		Time	12.38	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP7		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
Area	50,3	mm ²	Operator		
Parallel length	40,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	6,3	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					

MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU

DIN 50 145: 1975

FILE DATA

File name	INSAAT	Test number	14
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005
Confic. File	TESTLER	Time	12:40

SPECIMEN DATA

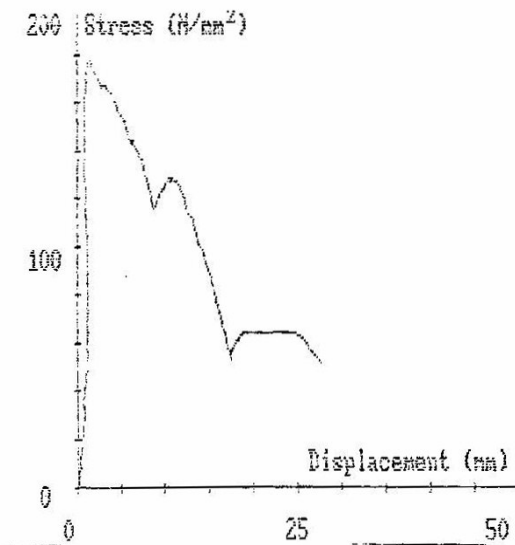
Specimen code	ND7	Test
Diameter	8,00 mm	Source
Area	50,3 mm ²	Operator
Parallel length	40,00 mm	Batch number
Initial G.L	80,00 mm	Customer
Final G.L	0,00 mm	

TEST RESULTS

Fm	6 kN	Ae	0,0 %
		At	0,0 %
		E	0,0 kN/mm ² FAIL

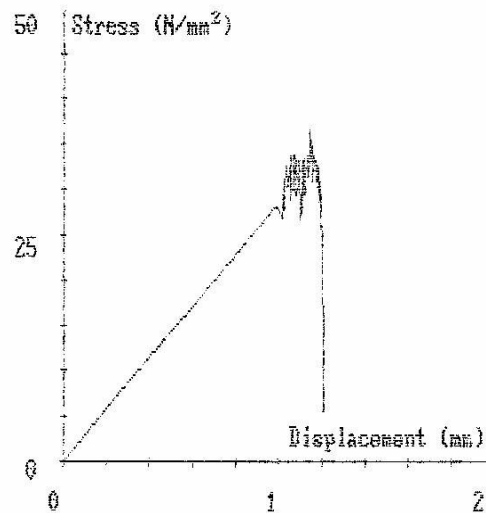
Test complete:-Fracture detected

Remarks



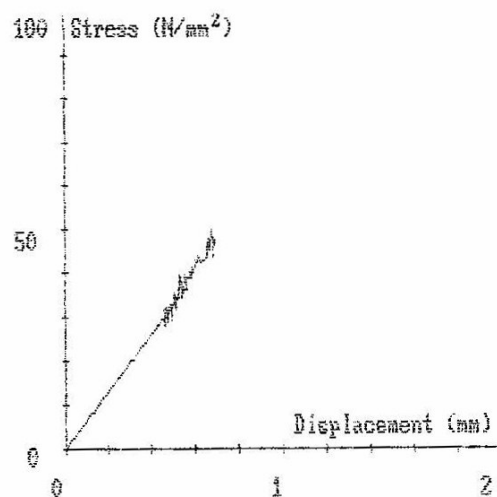
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	15	
File ID	Y.Lisans		Date	03.01.2005	
Confic. File	TESTLER		Time	12 44	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND9		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
Area	50,3	mm ²	Operator		
Parallel length	40,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	4,7	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					

MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	16		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	12.44		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP9		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
Area	50,3	mm ²	Operator		
Parallel length	40,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	3,1	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					

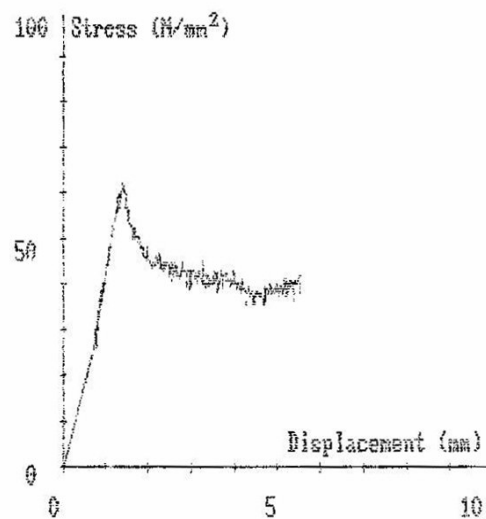


MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	15	
File ID	Y.Lisans		Date	03.01.2005	
Confic. File	TESTLER		Time	12:43	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP8		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
Area	50,3	mm ²	Operator		
Parallel length	40,00	mm	Batch number		
Initial G.L	80,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	5,2	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					

MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	18		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	12:47		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND8	Test			
Diameter	8,00 mm	Source			
Area	50,3 mm ²	Operator			
Parallel length	40,00 mm	Batch number			
Initial G.L	80,00 mm	Customer			
Final G.L	0,00 mm				
TEST RESULTS					
Fm	7,2 kN	Ae	0,0 %		
		At	0,0 %		
		E	0,0 kN/mm ²	FAIL	
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					

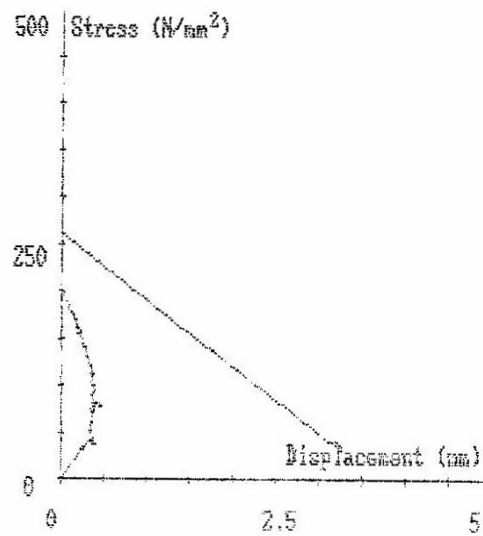


MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	19		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	12:54		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HP8		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
			Operator		
Area	50,3	mm ²	Batch number		
Parallel length	40,00	mm	Customer		
Initial G.L	40,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	9,8	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					

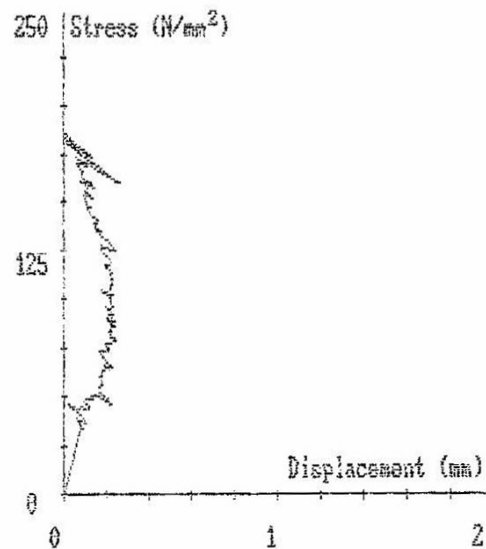


MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT		Test number	20	
File ID	Y.Lisans		Date	03.01.2005	
Confic. File	TESTLER		Time	13:00	
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HP9		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
			Operator		
Area	50,3	mm ²	Batch number		
Parallel length	40,00	mm	Customer		
Initial G.L	40,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	11	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					

MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	21		
File ID	Y.Lisans	Date	03 01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	13 02		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HD7		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
			Operator		
Area	50,3	mm ²	Batch number		
Parallel length	40,00	mm	Customer		
Initial G.L	40,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	9,1	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	22		
File ID	Y.Lisans	Date	03 01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	13 04		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HD8		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
Area	50,3	mm ²	Operator		
Parallel length	40,00	mm	Batch number		
Initial G.L	40,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	12,4	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU

DIN 50 145: 1975

FILE DATA

File name	INSAAT	Test number	23
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005
Confic. File	TESTLER	Time	13 06

SPECIMEN DATA

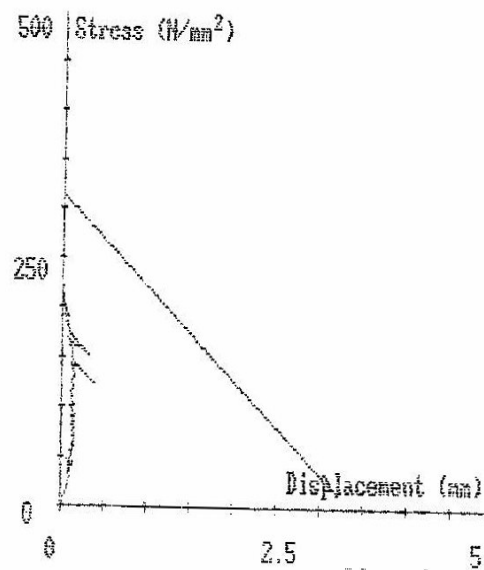
Specimen code	HD9	Test
Diameter	8,00 mm	Source
Area	50,3 mm ²	Operator
Parallel length	40,00 mm	Batch number
Initial G.L	40,00 mm	Customer
Final G.L	0,00 mm	

TEST RESULTS

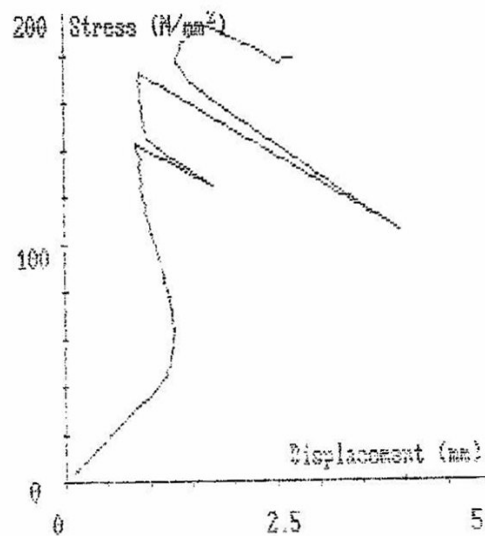
Fm	15,8 kN	Ae	0,0 %
		At	0,0 %
		E	0,0 kN/mm ² FAIL

Test complete: -Fracture detected

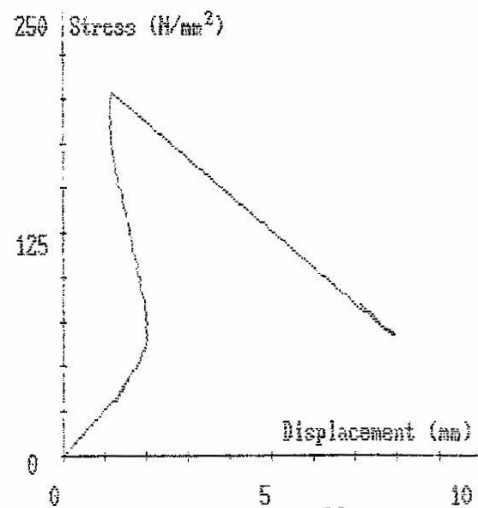
Remarks



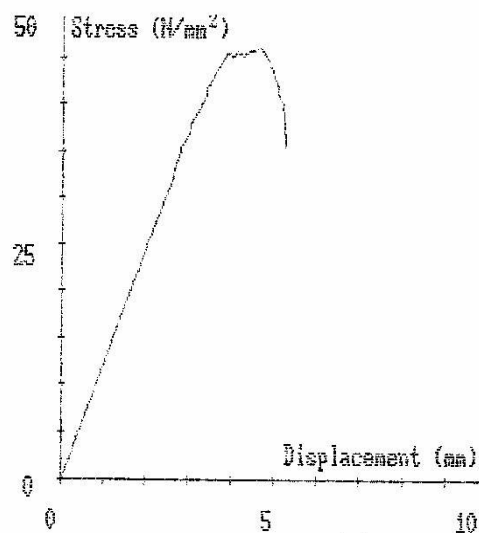
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	24		
File ID	Y.Lisans	Date	03 01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	13 26		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HP1		Test		
Diameter	32,00	mm	Source		
Area	804,2	mm ²	Operator		
Parallel length	160,00	mm	Batch number		
Initial G.L	160,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	154,7 kN		Ae	0,0 %	
			At	0,0 %	
			E	0,0 kN/mm ² FAIL	
Test complete: -Fracture detected					
Remarks					



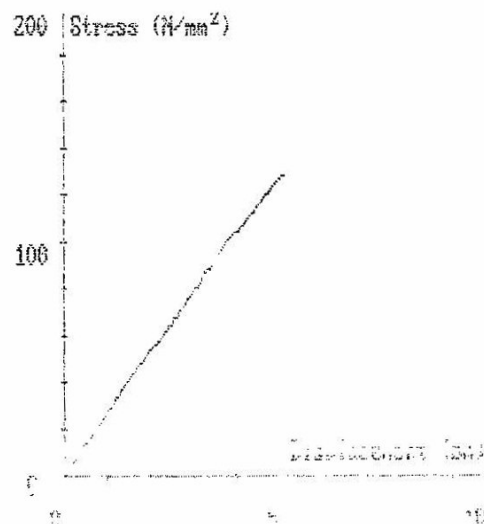
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	25		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Config. File	TESTLER	Time	13:50		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HP2	Test			
Diameter	32,00 mm	Source			
Area	804,2 mm ²	Operator			
Parallel length	160,00 mm	Batch number			
Initial G.L	160,00 mm	Customer			
Final G.L	166,40 mm				
TEST RESULTS					
Fm	164 kN	Ae	0,0 %		
		At	0,0 %		
		E	0,0 kN/mm ²	FAIL	
Test complete: -Fracture detected					
Remarks					



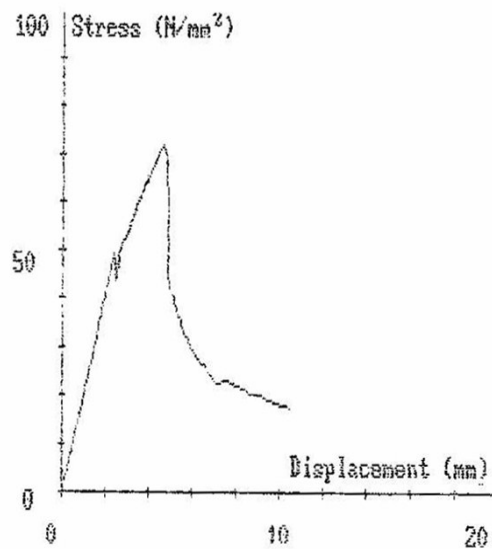
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145. 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	26		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	14:15		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP1		Test		
Diameter	32,00	mm	Source		
Area	804,2	mm ²	Operator		
Parallel length	160,00	mm	Batch number		
Initial G.L	160,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	37	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



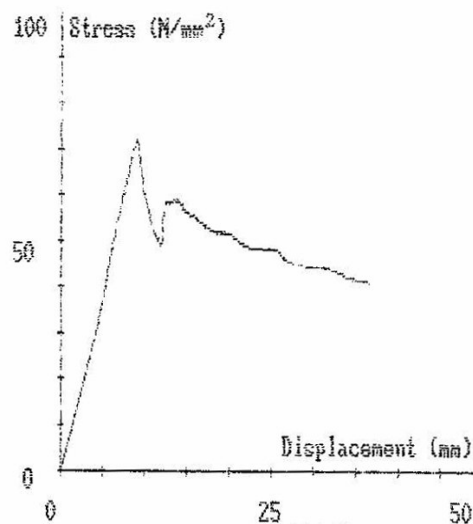
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	27		
File ID	Y.Lisans	Date	03 01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	14:25		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HP3	Test			
Diameter	32,00 mm	Source			
Area	804,2 mm ²	Operator			
Parallel length	160,00 mm	Batch number			
Initial G.L	160,00 mm	Customer			
Final G.L	0,00 mm				
TEST RESULTS					
Fm	104,1 kN	Ae	0,0 %		
		At	0,0 %		
		E	0,0 kN/mm ²	FAIL	
Test complete.-Fracture detected					
Remarks					



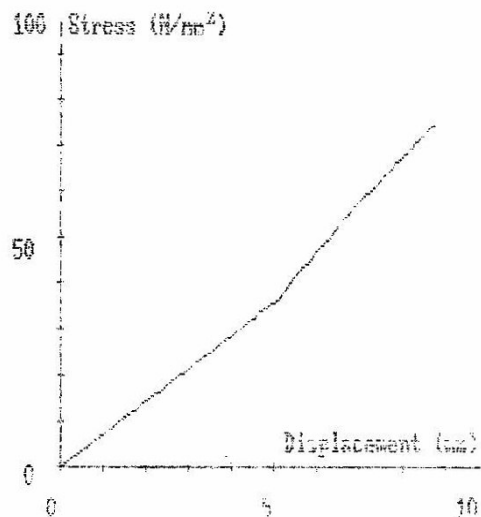
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	28		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Config. File	TESTLER	Time	14.32		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP3		Test		
Diameter	32,00	mm	Source		
			Operator		
Area	804,2	mm ²	Batch number		
Parallel length	160,00	mm	Customer		
Initial G.L	160,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	58	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



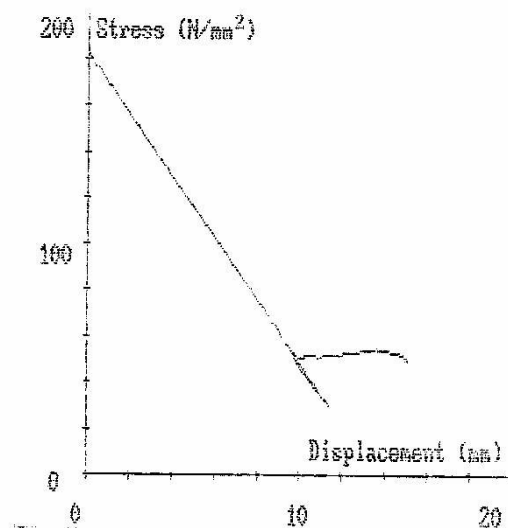
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	29		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	14:44		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	NP2		Test		
Diameter	32,00	mm	Source		
Area	804,2	mm ²	Operator		
Parallel length	160,00	mm	Batch number		
Initial G.L	160,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	57,9	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



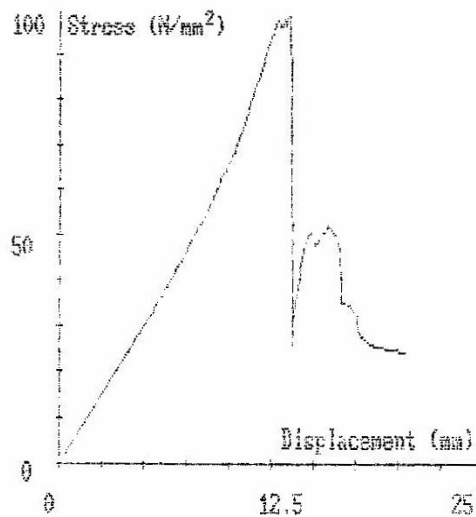
MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	30		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	15:29		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND2		Test		
Diameter	32,00	mm	Source		
			Operator		
Area	804,2	mm ²	Batch number		
Parallel length	160,00	mm	Customer		
Initial G.L	160,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	59,9	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	31		
File ID	Y.Lisans	Date	03 01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	15:57		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	HD3		Test		
Diameter	32,00	mm	Source		
			Operator		
Area	804,2	mm ²	Batch number		
Parallel length	160,00	mm	Customer		
Initial G.L	160,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	147,2	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete - Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	33		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01 2005		
Confic. File	TESTLER	Time	16:12		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND3		Test		
Diameter	32,00	mm	Source		
Area	804,2	mm ²	Operator		
Parallel length	160,00	mm	Batch number		
Initial G.L	160,00	mm	Customer		
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	79,1	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU

DIN 50 145: 1975

FILE DATA

File name	INSAAT	Test number	37
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005
Confic. File	TESTLER	Time	17:03

SPECIMEN DATA

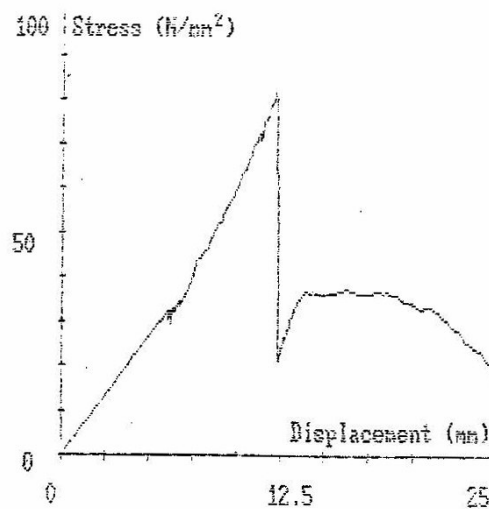
Specimen code	ND1	Test
Diameter	32,00 mm	Source
Area	804,2 mm ²	Operator
Parallel length	160,00 mm	Batch number
Initial G.L	160,00 mm	Customer
Final G.L	0,00 mm	

TEST RESULTS

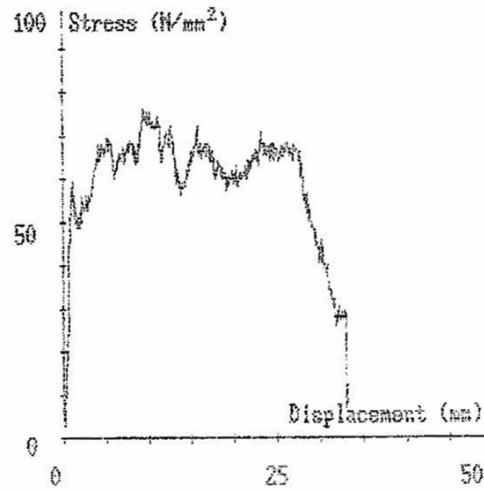
Fm	65,3 kN	Ae	0,0 %
		At	0,0 %
		E	0,0 kN/mm ² FAIL

Test complete:-Fracture detected

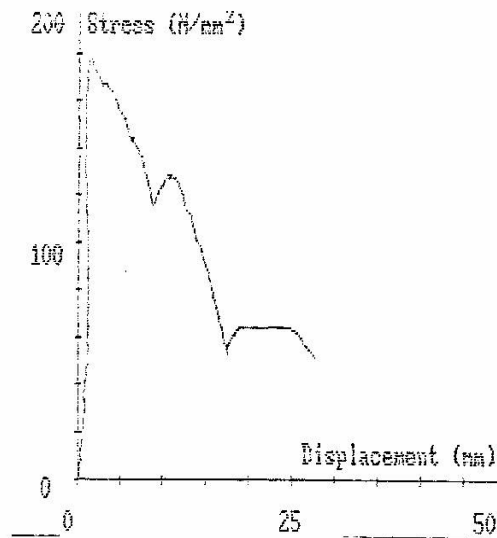
Remarks



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975	
FILE DATA				
File name	INSAAT	Test number	38	
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005	
Confic. File	TESTLER	Time	12:54	
SPECIMEN DATA				
Specimen code	HP7		Test	
Diameter	8,00	mm	Source	
Area	50,3	mm ²	Operator	
Parallel length	40,00	mm	Batch number	
Initial G.L	40,00	mm	Customer	
Final G.L	0,00	mm		
TEST RESULTS				
Fm	7,4	kN	Ae	0,0 %
			At	0,0 %
			E	0,0 kN/mm ² FAIL
Test complete:-Fracture detected				
Remarks				



MAKINA MUHENDISLIGI BOLUMU			DIN 50 145: 1975		
FILE DATA					
File name	INSAAT	Test number	14		
File ID	Y.Lisans	Date	03.01.2005		
Confic. File	TESTLER	Time	12:40		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	ND7		Test		
Diameter	8,00	mm	Source		
			Operator		
Area	50,3	mm ²	Batch number		
Parallel length	40,00	mm	Customer		
Initial G.L	80,00	mm			
Final G.L	0,00	mm			
TEST RESULTS					
Fm	6	kN	Ae	0,0	%
			At	0,0	%
			E	0,0 kN/mm ²	FAIL
Test complete:-Fracture detected					
Remarks					



EK-2. Deney Resimleri



Resim Ek 2.1 HD3 deney numunesi



Resim Ek 2.2 HD4 deney numunesi



Resim Ek 2.3 HD5 deney numunesi



Resim Ek 2.4 HD6 deney numunesi



Resim Ek 2.5 HD7 deney numunesi



Resim Ek 2.6 HD8 deney numunesi



Resim Ek 2.7 HP1 deney numunesi



Resim Ek 2.8 HP2 deney numunesi



Resim Ek 2.9 HP3 deney numunesi



Resim Ek 2.10 HP4 deney numunesi



Resim Ek 2.11 HP5 deney numunesi



Resim Ek 2.12 HP6 deney numunesi



Resim Ek 2.13 HP7 deney numunesi



Resim Ek 2.14 HP8 deney numunesi



Resim Ek 2.15 ND1 deney numunesi



Resim Ek 2.16 ND1 deney numunesi



Resim Ek 2.17 ND2 deney numunesi



Resim Ek 2.18 ND3 deney numunesi



Resim Ek 2.19 ND4 deney numunesi



Resim Ek 2.20 ND5 deney numunesi



Resim Ek 2.21 ND6 deney numunesi



Resim Ek 2.22 ND8 deney numunesi



Resim Ek 2.23 ND9 deney numunesi



Resim Ek 2.24 NP1 deney numunesi



Resim Ek 2.25 NP2 deney numunesi



Resim Ek 2.26 NP3 deney numunesi



Resim Ek 2.27 NP4 deney numunesi



Resim Ek 2.28 NP5 deney numunesi



Resim Ek 2.29 NP6 deney numunesi



Resim Ek 2.30 NP7 deney numunesi



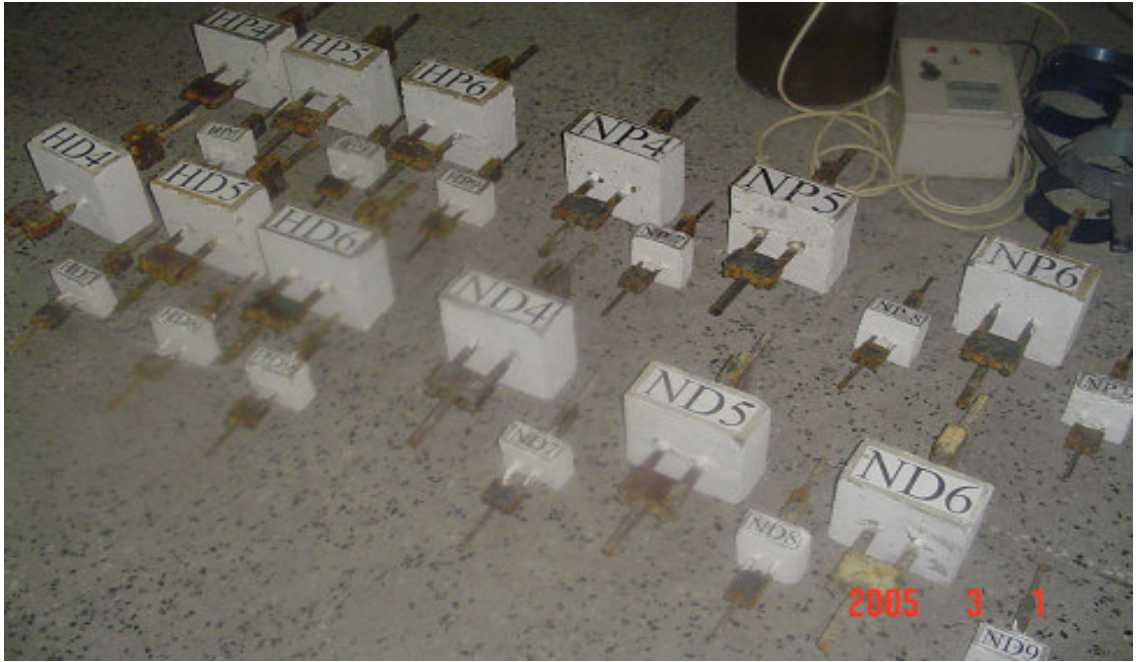
Resim Ek 2.31 NP8 deney numunesi



Resim Ek 2.32 NP9 deney numunesi



Resim Ek 2.33 Deney numunelerinin hazırlanması



Resim Ek 2.34 Deney numunelerinin genel görünümü

ÖZGEÇMİŞ

Burak Kurt 22.06.1981 tarihinde Ankara'da doğdu. Sırasıyla Abidinpaşa İlkokulunu, Yalçın Eskiyanan Ortaokulunu, Ankara Gazi Lisesini bitirdi. 2003 yılında Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003-2004 eğitim-öğretim senesinde Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 2003 yılı Ekim ayından beri Fides Yapı Limited Şirketinde inşaat mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.