

ADERANS EKİ DENEYİNDE GÖÇME BİÇİMLERİ

VE ÇATLAK DAĞILIMLARI

H. Duygu ŞENER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİSAN 2006

ANKARA

Hikmet Duygu ŞENER tarafından hazırlanan ADERANS EKİ DENEYİNDE GÖÇME BİÇİMLERİ VE ÇATLAK DAĞILIMLARI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sinan ALTIN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. M. Haluk ÇELİK

Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özgür ANIL

Üye :

Üye :

Tarih : 12 / 05 / 2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

H. Duygu ŞENER

ADERANS EKİ DENEYİNDE GÖÇME BİÇİMLERİ VE ÇATLAK

DAĞILIMLARI

(Yüksek Lisans Tezi)

H. Duygu ŞENER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2006

ÖZET

Bu çalışmada; donatılar simetrik yerleştirilmiş aderans ekinde eksenel yükleme etkisi altında göçme biçimleri ile çatlak dağılımları incelenmiştir. Bu amaçla, yüksek ve normal dayanımlı, betonlar ile donatılı düz ve nervürlü; küçük boy 40×88×88mm, orta boy 80×176×176mm ve büyük boy 160×352×352mm. olmak üzere üç farklı tipte toplam 36 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Bu numunelerde maksimum yük altındaki çatlak dağılımları, göçme modları ve donatının numunelerden sıyrılması incelenmiştir.

Anahtar Kelime Kodu
Anahtar Kelimeler

:714. 3.035

:Aderans, gevrek, sünek kırılma, göçme, çatlak genişliği, sıyrılma

Sayfa Adedi

:109

Tez Yöneticisi

:Prof. Dr. Sinan ALTIN

**FAILURE MECHANISM AT BONDING SPLICE TEST
AND CRACKING SCATTER**

(M.Sc. Thesis)

H. Duygu ŞENER

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2006

ABSTRACT

In this research, high and normal strength, plane and deformed bars; size of small specimens 40×88×88mm, size of middle specimens 80×176×176mm and size of big specimens 160×352×352mm at 3 different kind totally 36 number of test specimens were prepared and tested. While examining this specimens under the maximum load undetermined, weak, large cracks produced and bars has pull out from the specimens.

Key Word Code	:714. 3.035
Key Words	:Bonding, brittle, crack width, failure, pull out.
Page Number	:109
Adviser	:Prof.Dr.Sinan ALTIN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Sinan ALTIN'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. M. Haluk ÇELİK'e, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşlarım aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ.....	2
2.1. Amaç ve Kapsam.....	2
2.2. Bu Konudaki Araştırmalar.....	2
3. ÇATLAK ÇEŞİTLERİ.....	4
3.1. Göçme Biçimleri.....	4
3.2. Çekme ve Basınç Çatlağı.....	6
3.2.1. Çekme çatlağı.....	6
3.2.2. Basınç çatlağı.....	7
3.3. Eğilme Çatlağı.....	8
3.4. Aderans Çatlağı.....	9
3.4.1. Kenetlenme aderansında çatlak.....	12
3.4.2. Çekip çıkarma deneyi.....	14

	Sayfa
3.4.3. LOK deneyi.....	17
3.4.4. Aderans ekindeki çatlak türleri.....	18
3.5. Çatlakların Denetlenmesi.....	20
3.6. Çatlak Genişliklerinin Hesaplanması.....	21
4. DİREK ADERANS EKİ DENEYİ.....	24
4.1. Deney Numunelerinin Özellikleri.....	24
4.2. Kullanılan Malzemeler.....	27
4.2.1. Donatı.....	27
4.2.2. Beton.....	28
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	28
4.3.1. Donatıların hazırlanması.....	28
4.3.2. Kalıpların hazırlanması.....	28
4.3.3. Beton karışımının hesabı.....	28
4.3.4. Betonun yerleştirilmesi.....	30
4.3.5. Numunelerin kalıplardan çıkarılması.....	31
4.5. Deney Sonrası Elemanlarda Çatlak Dağılımları.....	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	104
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	109

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Enine donatı sayısı ve kenetlenme boyu.....	17
Çizelge 4.5. Göçme biçimleri ve gözlemler.....	102

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. a) Gevrek b) yarı gevrek c) sünek malzemeler.....	5
Şekil 3.2. a) Gevrek b) sünek göçme.....	5
Şekil 3.3. Çekme yükünde çatlak dağılımı a) yaygın b)yoğunlaşma c)tek çatlak ile göçme.....	6
Şekil 3.4. Çatlağın yük altında gelişimi.....	7
Şekil 3.5. Basınç çatlağının yük altında gelişimi.....	7
Şekil 3.6. Beton kolonun yük altında gelişimi a) küçük boyutlu kolon b) büyük boyutlu kolon.....	8
Şekil 3.7. a)Beton, b) betonarme giriş.....	9
Şekil 3.8. Agreg a ve çimento hamuru arası aderans çatlakları artan yükler ile çimento hamurunda çatlaklar oluşur.....	10
Şekil 3.9. Beton , çimento ve agreganın yük katkıları.....	10
Şekil 3.10. Yük artımı ile çatlakların gelişimi.....	12
Şekil 3.11. Çekip çıkarmada a) sıyırılma göçmesi b)ayrılma göçmesi.....	15
Şekil 3.12. İki ve üç donatılı demetler görülmektedir.....	16
Şekil 3.13. LOK deneyi.....	17
Şekil 3.14. a) Çekip çıkarma deneyi b) serbest cisim diyagramı.....	19
Şekil 3.15. Çelik donatıyı çatlak davranışına etkisi.....	22
Şekil 3.16. Kirişte beton ve çeliğin çekme gerilmesi davranışı.....	23
Şekil 4.1. Deney numunelerinin görünüşleri.....	26
Şekil 4.2. a) Küçük b)orta c) büyük deney elemanları.....	27
Şekil 4.3. NP1 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	33
Şekil 4.4. NP1 deney numunesinin yandan görünüşü.....	34

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. NP1 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	34
Şekil 4.6. NP2 deney numunesinin sıyrılma boyları.....	35
Şekil 4.7. NP2 deney numunesinin yandan görünüşü	36
Şekil 4.8. NP2 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	36
Şekil 4.9. NP3 deney numunesinin sıyrılma boyları ve çatlak genişlikleri.....	37
Şekil 4.10. NP3 deney numunesinin yandan görünüşü.....	38
Şekil 4.11. NP3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	38
Şekil 4.12. NP4 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	39
Şekil 4.13. NP4 deney numunesinin yandan görünüşü.....	40
Şekil 4.14. NP4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	40
Şekil 4.15. NP5 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	41
Şekil 4.16. NP5 deney numunesinin yandan görünüşü.....	42
Şekil 4.17. NP5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	42
Şekil 4.18. NP6 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	43
Şekil 4.19. NP6 deney numunesinin yandan görünüşü.....	44
Şekil 4.20. NP6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	44
Şekil 4.21. NP7 deney numunesinin sıyrılma boyları	45
Şekil 4.22. NP7 deney numunesinin yandan görünüşü.....	46
Şekil 4.23. NP7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	46
Şekil 4.24. NP8 deney numunesinin sıyrılma boyları.....	47
Şekil 4.25. NP8 deney numunesinin yandan görünüşü	48
Şekil 4.26. NP8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	48
Şekil 4.27. NP9 deney numunesinin sıyrılma boyları.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.28. NP9 deney numunesinin yandan görünüşü	50
Şekil 4.29. NP9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	50
Şekil 4.30. HD2 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	51
Şekil 4.31. HD3 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	52
Şekil 4.32. HD3 deney numunesinin yandan görünüşü.....	53
Şekil 4.33. HD3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	53
Şekil 4.34. HD4 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	54
Şekil 4.35. HD4 deney numunesinin yandan görünüşü.....	55
Şekil 4.36. HD4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	55
Şekil 4.37. HD5 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	56
Şekil 4.38. HD5 deney numunesinin yandan görünüşü.....	57
Şekil 4.39. HD5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	57
Şekil 4.40. HD6 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	58
Şekil 4.41. HD6 deney numunesinin yandan görünüşü.....	59
Şekil 4.42. HD6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	59
Şekil 4.43. HD7 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	60
Şekil 4.44. HD7 deney numunesinin yandan görünüşü.....	61
Şekil 4.45. HD7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	61
Şekil 4.46. HD8 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	62
Şekil 4.47. HD8 deney numunesinin yandan görünüşü.....	63
Şekil 4.48. HD8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	63
Şekil 4.49. HD9 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	64
Şekil 4.50. HD9 deney numunesinin yandan görünüşü.....	65

Şekil	Sayfa
Şekil 4.51. HD9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	65
Şekil 4.52. ND1 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	67
Şekil 4.53. ND1 deney numunesinin yandan görünüşü.....	68
Şekil 4.54. ND1 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	68
Şekil 4.55. ND2 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	69
Şekil 4.56. ND2 deney numunesinin yandan görünüşü.....	70
Şekil 4.57. ND2 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	70
Şekil 4.58. ND3 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	71
Şekil 4.59. ND3 deney numunesinin yandan görünüşü.....	72
Şekil 4.60. ND3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	72
Şekil 4.61. ND4 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	73
Şekil 4.62. ND4 deney numunesinin yandan görünüşü.....	74
Şekil 4.63. ND4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	74
Şekil 4.64. ND5 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	75
Şekil 4.65. ND5 deney numunesinin yandan görünüşü.....	76
Şekil 4.66. ND5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	76
Şekil 4.67. ND6 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	77
Şekil 4.68. ND6 deney numunesinin yandan görünüşü.....	78
Şekil 4.69. ND6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	78
Şekil 4.70. ND7 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	79
Şekil 4.71. ND7 deney numunesinin yandan görünüşü.....	80
Şekil 4.72. ND7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	80
Şekil 4.73. ND8 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	81

Şekil	Sayfa
Şekil 4.74. ND8 deney numunesinin yandan görünüşü.....	82
Şekil 4.75. ND8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	82
Şekil 4.76. ND9 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	83
Şekil 4.77. ND9 deney numunesinin yandan görünüşü.....	84
Şekil 4.78. ND9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	84
Şekil 4.79. HP1 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	85
Şekil 4.80. HP1 deney numunesinin yandan görünüşü.....	86
Şekil 4.81. HP1 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	86
Şekil 4.82. HP2 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	87
Şekil 4.83. HP2 deney numunesinin yandan görünüşü.....	88
Şekil 4.84. HP2 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	88
Şekil 4.85. HP3 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	89
Şekil 4.86. HP3 deney numunesinin yandan görünüşü.....	90
Şekil 4.87. HP3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	90
Şekil 4.88. HP4 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	91
Şekil 4.89. HP4 deney numunesinin yandan görünüşü.....	92
Şekil 4.90. HP4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	92
Şekil 4.91. HP5 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	93
Şekil 4.92. HP5 deney numunesinin yandan görünüşü.....	94
Şekil 4.93. HP5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	94
Şekil 4.94. HP6 deney numunesi sıyrılma boyları.....	95
Şekil 4.95. HP6 deney numunesinin yandan görünüşü.....	96
Şekil 4.96. HP6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	96

Şekil	Sayfa
Şekil 4.97. HP7 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	97
Şekil 4.98. HP7 deney numunesinin yandan görünüşü.....	98
Şekil 4.99. HP7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	98
Şekil 4.100. HP8 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	99
Şekil 4.101. HP8 deney numunesinin yandan görünüşü.....	100
Şekil 4.102. HP8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	100
Şekil 4.103. HP9 deney numunesi çatlak genişlikleri.....	101
Şekil 4.104. HP9 deney numunesinin yandan görünüşü.....	101
Şekil 4.105. HP9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü	102

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Kontrol silindirleri.....	25
Resim 4.2. Deney numuneleri.....	25
Resim 4.3. Deney numunelerinin hazırlanması.....	31
Resim 4.4. Deney numunelerinin genel görünümü.....	32
Resim 4.5. NP1 deney numunesi.....	32
Resim 4.6. NP2 deney numunesi.....	35
Resim 4.7. NP3 deney numunesi.....	37
Resim 4.8. NP4 deney numunesi.....	39
Resim 4.9. NP5 deney numunesi.....	41
Resim 4.10. NP6 deney numunesi.....	43
Resim 4.11. NP7 deney numunesi.....	45
Resim 4.12. NP8 deney numunesi.....	47
Resim 4.13. NP9 deney numunesi.....	49
Resim 4.14. HD3 deney numunesi.....	52
Resim 4.15. HD4 deney numunesi.....	54
Resim 4.16. HD5 deney numunesi.....	56
Resim 4.17. HD6 deney numunesi.....	58
Resim 4.18. HD7 deney numunesi.....	60
Resim 4.19. HD8 deney numunesi.....	62
Resim 4.20. ND1 deney numunesi.....	66
Resim 4.21. ND1 deney numunesi.....	66
Resim 4.22. ND2 deney numunesi.....	69

Resim	Sayfa
Resim 4.23. ND3 deney numunesi.....	71
Resim 4.24. ND4 deney numunesi.....	73
Resim 4.25. ND5 deney numunesi.....	75
Resim 4.26. ND6 deney numunesi.....	77
Resim 4.27. ND7 deney numunesi.....	79
Resim 4.28. ND8 deney numunesi.....	81
Resim 4.29. ND9 deney numunesi.....	83
Resim 4.30. HP1 deney numunesi.....	85
Resim 4.31. HP2 deney numunesi.....	87
Resim 4.32. HP3 deney numunesi.....	89
Resim 4.33. HP4 deney numunesi.....	91
Resim 4.34. HP5 deney numunesi.....	93
Resim 4.35. HP6 deney numunesi.....	95
Resim 4.36. HP7 deney numunesi.....	97
Resim 4.37. HP8 deney numunesi.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	İlerlemiş çatlak uzunluğu
a_0	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 agreg a 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 agreg a ağırlığı
n	Numune sayısı
P_u	Kırılma yükü
G_f	Kırılma enerjisi
v_c	28 günlük teorik aderans dayanımı

Simgeler**Açıklama**

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
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
k	Yer değiştirme

Kısaltmalar**Açıklama**

TS	Türk Standartları
LEKM	Lineer Elastik Kırılma Mekaniği
NPÇ	Normal Portland Çimentosu

1. GİRİŞ

Beton eleman veya betonarme yapıların çatlaması kaçınılmazdır. Çatlaksız beton eleman düşünülemez. Çatlama ile beton elemanın dayanımında azalma meydana gelir. Bu azalma elemanın çekmede, basınçta yada eğilme etkisi altında olmasına göre değişir. Direk çekme kuvveti etkisindeki beton elemandaki çatlak etkisi, basınç yükündeki çatlak etkisinden çok fazladır. Numunede göçme ilk çatlağın oluşması ve takip eden diğer çatlaklar ve son olarak basınç bölgesinin göçmesi ile oluşur. Bir kesit göçtüğü anda komşu kesit taşınamayan kesit zorlamalarını karşılayarak taşıma gücüne ulaşır. Büyük bir elemanda bu yayılma daha büyük bir enerjinin göçme bölgesinde açığa çıkmasıyla kırılmayı kolaylaştırır ve kırılma daha belirginleşir. Göçme anında çatlak önünde açığa çıkan enerji çatlak uzunluğuna bağlıdır. Dolayısıyla küçük ve büyük elemanlarda göçme türleri farklılaşmaktadır.

Çatlaklar, elemanlarda en zayıf bölgeleri izleyerek gelişigüzel gelişir. Çatlak dağılımları yükleme ile çok değişkenlik gösterip eksenel çekme kuvveti etkisinde elemanın bütün yüzeyini kaplar. Basınç kuvveti etkisinde elemandaki kusur dağılımı eleman dayanımını etkiler.

Bu çalışmada çatlaklar sınıflandırılmıştır. Deney elemanlarında gözlenen çatlaklar olan basınç, çekme, eğilme ve aderans çatlakları incelenmiş olup, aderans çatlaklarının oluşum sebepleri araştırılmıştır. Aderans çatlaklarından çalışmamızın esas konusu olan aderans eki konusuna yaklaşıp donatı çapının , yüzey geometrisinin, beton örtü kalınlığı ve aderans kenetlenmesi gibi etkenlerin aderans dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Dördüncü bölümde aderans eki deney düzeneği deney numunelerinin, çekme gerilmesi altında çatlak dağılımları, sıyrılma boyları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda düz demirli 18 numunenin sadece 9 adedinde sıyrılma görülürken, nervürlü demirli 18 adet numunede çatlak gelişimi sadece 15 adet elemanda görülmüş, sıyrılma meydana gelmemiştir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

2.1. Amaç ve Kapsam

Çalışmanın amacı, eksenel yük etkisi altındaki beton elemanlarda betonarme donatı aderans ekinin, çatlak biçimleri ve boyutlarını araştırmaktır. Betonarme donatıların aderans ekinde 4 farklı deney grubu kullanılmıştır. Bu deney grupları;

- a) Yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri,
- b) Normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri,
- c) Yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numuneleri
- d) Normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numuneleridir.

Çalışmamızda normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı numuneleri kıyaslarken aynı zamanda düz ve nervürlü donatılarında fayda ve zararlarını gözlemledik. Sonuç olarak düz donatı kullanıldığında çatlak az sıyrılma çok, nervürlü donatı kullanıldığında sıyrılma az dişlerden dolayı çatlak fazladır.

2.2. Önceki Araştırmalar

Literatür incelendiğinde aderans ekinde göçme çatlakların dağılımı üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olduğu görülmüştür.

Eksenel çekme altında aderans ekinde boyut etkisinin araştırılması [1-2], aderans ekinde dolaylı yükleme altında boyut etkisinin incelenmesi [3-4], dolaylı yükleme altında aderans ekinde sargılı ve sargısız 2 ve 3 boyutlu elemanlarda eğilme aderansında boyut etkisinin incelenmesi [5-6], boyuna donatılı ve donatısız kirişlerin deneysel olarak burulma göçmesi [7], çekip çıkarma deneylerinde boyut etkisi [8], araştırılmıştır.

Konu ile ilgili yabancı çalışmalar sıralanır ise, kiriş içinde nervürlü tek ve çift donatıdan oluşan deney numunelerinin yük altında çatlak oluşumu incelenmiş sonuç

olarak da çift donatılı numunede tek donatılıya göre daha fazla çatlak görülmüştür [9]. 3 farklı nervürlü demirin her çeşidi için 20 adet numune, 60 adet kiriş kullanılmış, bunların yarısında donatı eki olup ve diğer yarısında donatı eki kullanılmamıştır. Kirişin üç nokta yüklemesi altında eğilmesinde donatılar çatlağın dağılımını etkilemesi araştırılmıştır [10]. Betonarme kirişlerde bindirme eki araştırılıp yatay ve düşey çatlaklar incelenmiştir [11]. 1'den 28 güne kadar olan süreçte çekme kuvveti altında donatı güçlendirilmiş betonun nervürlü ve düz demir numuneler için kıyaslanmıştır. Düz demirli numunelerde az çatlak çok sıyrılma, nervürlüde çok çatlak az sıyrılma görülmüştür [12]. İki farklı boyutlu kirişin her birinde farklı çapta nervürlü donatı kullanarak çatlak dağılımı incelenmiştir. Bulunan sonuçlara ek olarak diğer yapılmış deneysel çalışmalar ile birleştirilerek aderans eki bağlantısı verilmiştir [13]. Beş adet ilkinde birbirine deyen ve sonuncunda deymeyen donatıların bulunduğu deney numunelerine tekrarlanan çekme yükü uygulanmış, donatılar birbirine olan uzaklığı arttıkça çatlak sayısı ve genişliğinin gelişimi arttığı gözlenmiştir [14].

3. ÇATLAK ÇEŞİTLERİ

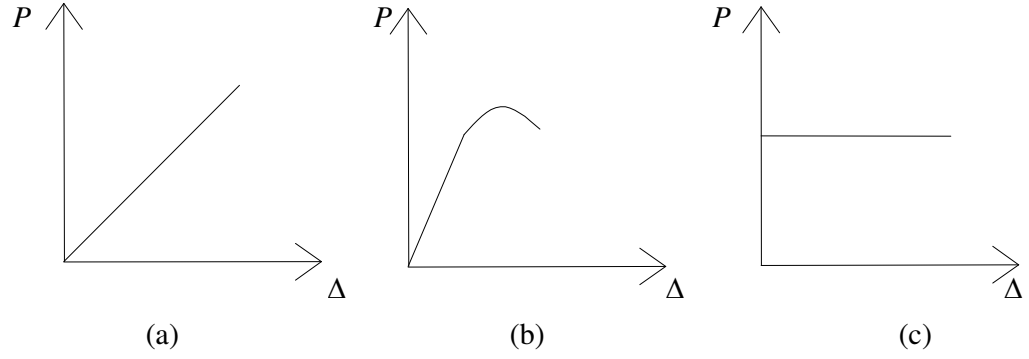
3.1. Göçme Biçimleri

Çatlak; agregaların arasındaki harcın belli bir yük altında kendi mukavemetini aşması durumunda kılcal olarak başlayıp gelişerek oluşur.

Göçme dayanımı, yapıdaki her bir elemanın malzeme dayanımı ile ilgilidir. Göçmeye götüren çatlak oluşumu enerji gerektirir. 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. Yapı göçmesi çatlak başlangıcı ile değil çatlamış bölgenin tüm yapıya yayılması ile olur.

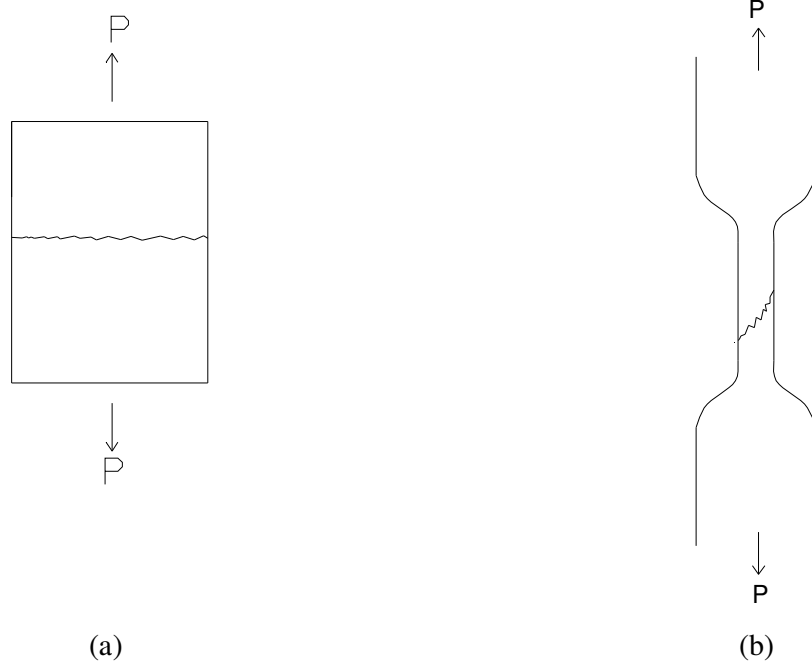
Göçme üç farklı biçimde olmaktadır. Birincisi çubuğu çevreleyen betonun ayrılması ile olan kırılma (ayrılma) göçmesi, ikincisi ise donatının çevre betonu kesmesi ile oluşan kırılma (sıyrılma) biçimidir. Üçüncüsü ise çubuk kopmasıdır ki donatı aderans eki kısa seçildiğinden bu göçme önlenmiştir.

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 3.1a) malzemelere uygulanmasıdır. Diğer yapı malzemeleri, yarı gevrek (Şekil 3.1b, beton) ve sünek (Şekil 3.1c) olabilir. Genelde küçük yapılar sünek, büyük yapılar ise gevrek göçer. Şekil 3.1'deki düşey eksen uygulanan P kuvvetini, yatay eksen ise Δ yer değiştirmesini göstermektedir.



Şekil 3.1. a) Gevrek b)yarı gevrek c) sünek malzemeler

Gevrek göçme elastik davranış gösterir. Çünkü göçme olmadan önce elemandan yük kaldırıldığında eleman eski haline gelir. Sünek göçme plastik davranış gösterir. Gevrek malzeme ve sünek malzeme göçmeleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. a) Gevrek b) sünek göçme

Çatlakların sınıflandırılması:

a) Aşırı yüklerden kaynaklanan çatlaklar

- Basınç, çekme çatlakları
- Eğilme momenti çatlakları
- Kesme kuvveti çatlakları
- Burulma çatlakları

b) Betonun büzülmesi ve sünmesinden kaynaklanan çatlaklar

c) Sıcaklık değişimleri çatlakları

d) Kimyasal şartlardan dolayı meydana gelen çatlaklar

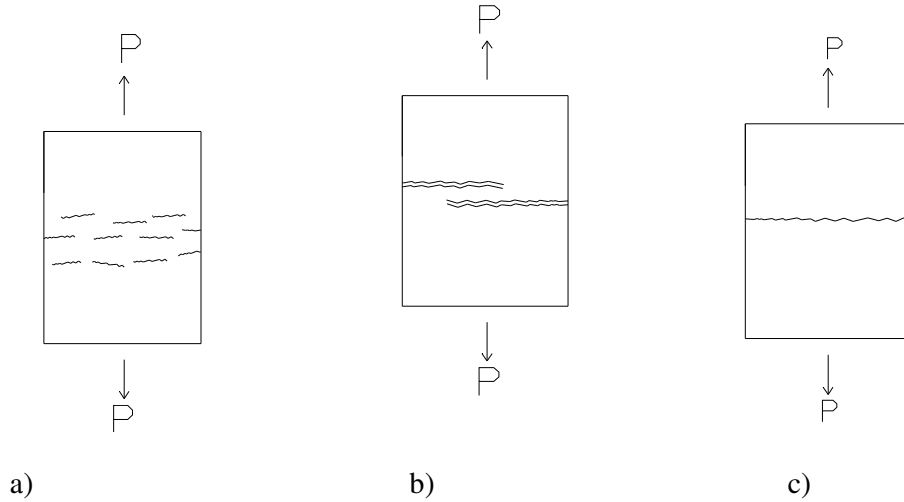
e) Yapıların düzensiz oturmalarından oluşan çatlaklar

3.2. Çekme ve Basınç Çatlağı

Çekme kuvveti ile genellikle kafes taşıyıcı sistemlerde karşılaşılır. Yapı elemanlarından düşey taşıyıcılar olan kolonlar basınç kuvveti altındadırlar. Kolonlarda basınç kuvvetinden dolayı basınç çatlakları yaygındır.

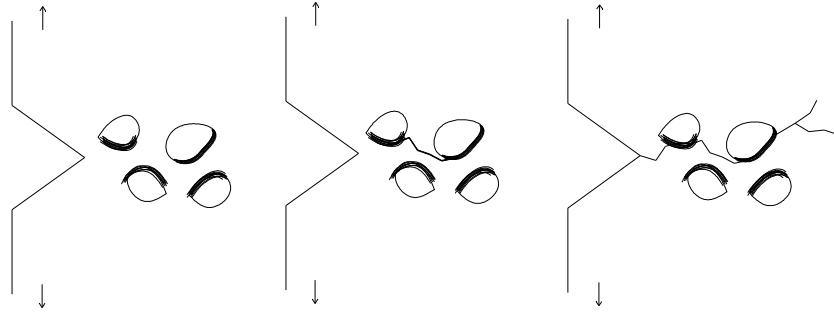
3.2.1. Çekme çatlağı

Çekme kuvvetine bağlı göçme biçimi olup beton elemanlarda çekme kuvveti altında çatlama elemanın bütün hacminde etkili olup kuvvet arttıkça, dağınık çatlaklar belli bir bölgede toplanır (Şekil 3.3). En çekinceli göçme biçimidir.



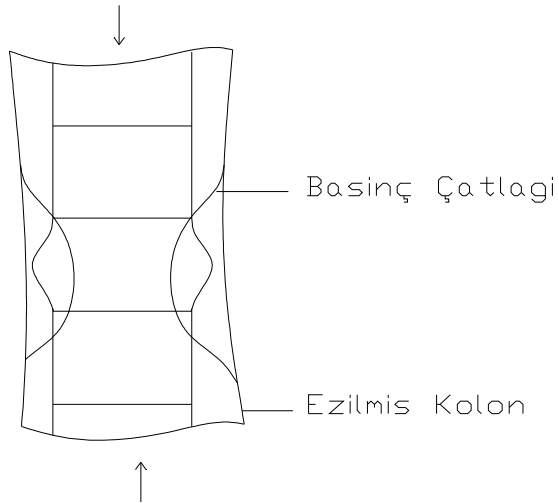
Şekil 3.3. Çekme yükünde çatlak dağılımı a) yaygın b)yoğunlaşma c)tek çatlak ile göçme

Çatlakların toplandığı bölgeye Fracture Process Zone (kırılma işlem bölgesi) denir. Çatlağın artan yük ile gelişimi ve çatlağın dallanması aşağıdaki gibidir. İlk olarak numunedeki agrega ile çimento hamuru arasında aderans çatlağı oluşur. Yükleme arttıkça bu çatlaklar birbiri arasında gelişerek çimento hamuru çatlağını oluşturur. Çimento hamurundaki çatlak önüne agrega gibi sert engel çıktığında dallanır (Şekil 3.4).



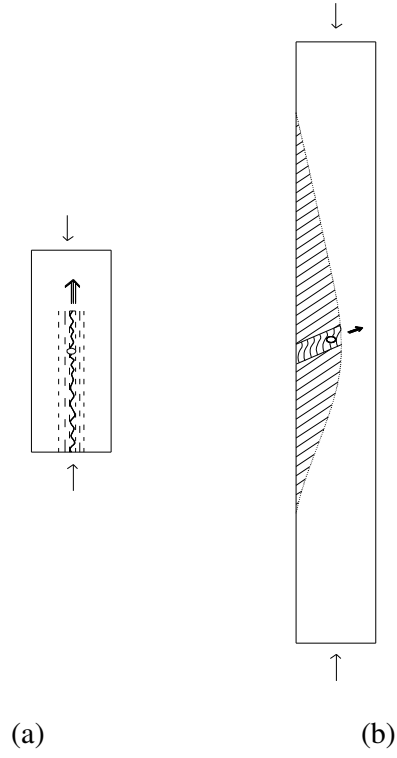
Şekil 3.4. Çatlağın yük altında gelişimi

3.2.2. Basınç çatlağı



Şekil 3.5. Basınç çatlağının yük altında gelişimi

Beton kolonda aşırı basınç yükü göçme biçimidir. Beton dökülür boyuna donatılar etriyeler burkulur. Alttan ve üstten yük altında betonarme kolonlarda çatlak oluşumu gözlenir (Şekil 3.5).

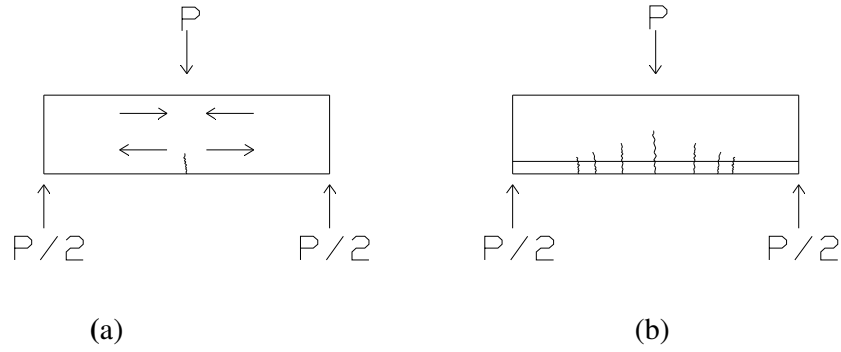


Şekil 3.6. Beton kolonun yük altındaki çatlak gelişimi
a) Küçük boyutlu kolon b) Büyük boyutlu kolon [15]

Kolon boyutu küçük olması durumunda basınç altında hasarın etrafında kalın çatlaklar oluşur kalın çatlağın etrafında küçük çatlaklar takip eder. Kolon büyük ise basınç altında burkulma görülür. Burkulmadan dolayı basınç bölgesinde küçük boyutlu kolona göre farklı çatlak dağılımı oluşur. Beton kolonların basınç kuvveti altında çatlak oluşumları boyutlarına göre farklılık göstermektedir (Şekil 3.6).

3.3. Eğilme Çatlağı

Beton kiriş belli bir yük altında tek bir çatlak ile göçer (Şekil 3.7a). Kirişin betonarme olması halinde kiriş üzerinde kılcal çatlaklar gelişerek görünür birden fazla çatlak oluşur (Şekil 3.7b) [16].

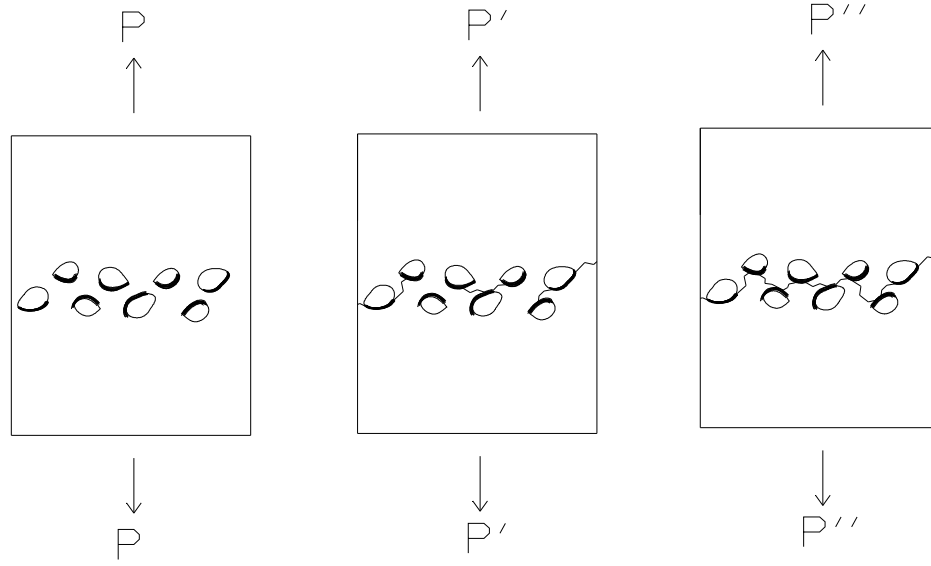


Şekil 3.7. a) Beton, b) betonarme kiriş

Şekil 3.7’deki üç nokta yüklemesi altındaki beton ve betonarme kirişlerin göçme biçimleri verilmiştir. Açıklıkta, momentin en büyük olduğu yerde geniş ve uzun çatlak, mesnetlere yaklaştıkça boyları azalır [17].

3.4. Aderans Çatlağı

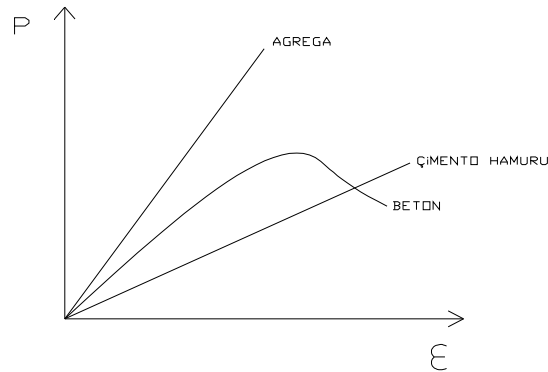
Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için, çubukların betona kenetlenmesi gerekir. Kenetlenmeyi sağlayan, çelik çubukla beton arasındaki kayma gerilmelerine ‘aderans’ denir. Donatı ve beton arasında var olan bu bağ kuvvetleri nedeniyle, donatıdaki gerilme moment değişimine paralel olarak değişir. Büzülme ve sünme gibi betona özgü deformasyonlar donatıyı da etkiler. Beton yapıda da agrega ile çimento hamuru arasında aderans vardır. Eleman yüklendikçe ilk çatlak agreganın çimentoya temas ettiği yüzeyde aderans çatlağı olarak gelişir. Gerilme arttıkça çimento hamurunda çatlaklar genişler (Şekil 3.8). Şekil 3.8’da yükler $P'' > P' > P$ dir.



Şekil 3.8. Agrega ve çimento hamuru arası aderans çatlakları artan yükler ile çimento hamurunda çatlaklar oluşur

Aderansın nedenleri:

- Beton ve çelik arasındaki sürtünme kuvvetleri,
- Çelik ve beton arasındaki yapışmayı sağlayan moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri,
- Donatı ve beton arasındaki mekanik diş kuvvetleridir .



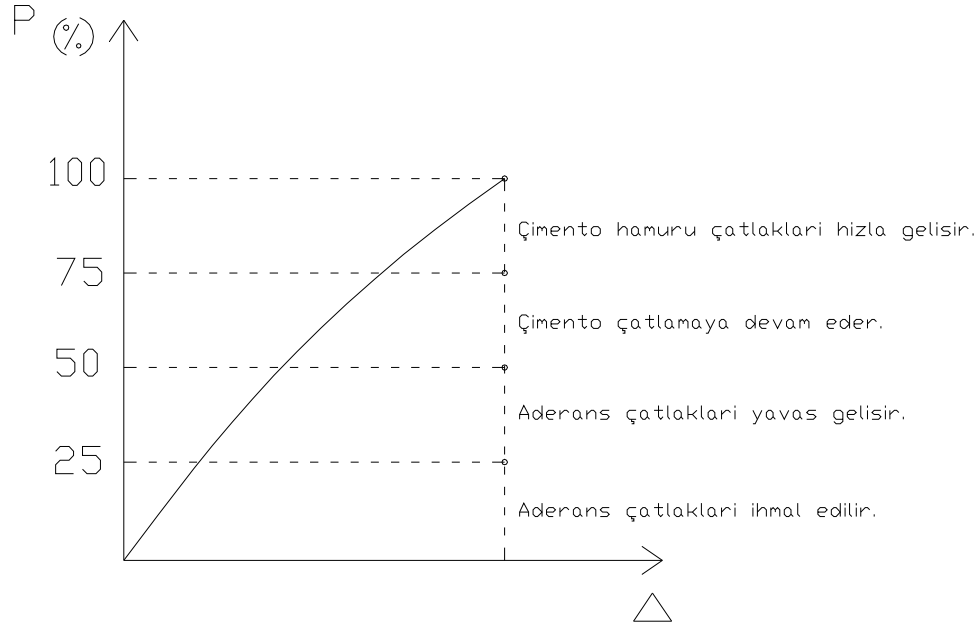
Şekil 3.9. Beton, çimento ve agreganın yük katkıları

Beton bileşimine giren eleman dayanımları (Şekil 3.9) görülmektedir. Beton, dayanımı en yüksek agregâ ile dayanımın en az çimento hamuru arasında yer almaktadır. Agregâ ve betonun çok yüksek dayanım seviyeleri hariç gerilmeler doğrusaldır [18].

Aderansa etki eden önemli değişkenler şunlardır:

- Betonun çekme mukavemeti
- Deneyler sonucunda çeliğin akma gerilmesinin aderansı etkileyen bir faktör olduğu anlaşılmıştır.
- Çubuk 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 agregâ ile yapılan betonun aderans dayanımı normal agregâ ile yapılanâ göre daha düşüktür [19].

Beton elemanda artan yüklerde çatlak gelişimi Şekil 3.10'de verilmiştir. Uygulanan P yükü, taşıma gücü dayanımı %25 ise az olan aderans çatlakları ihmal edilir. Yük oranının %50 çıktığı durumlarda aderans çatlakları gelişir. Yükün %50 ve %75 arasında çıkması ile çimentoda çatlaklar görülür. Yükün en büyük %75 ile %100 arasında olduğu durumda çatlaklar hızla gelişerek elemanı göçmeye götürür (Şekil 3.10) [22].



Şekil 3.10. Yük artımı ile çatlakların gelişimi

3.4.1. Kenetlenme aderansında çatlak

Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüşse, çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütleli yarabilir. Betona gömülen çubuk boyu, ‘kenetlenme boyu’ ve bu tür aderansa da ‘kenetlenme aderansı’ denir. Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine eriştiğinde, çubuk betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır.

$$l_b = c_o \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi, \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda l_b : kenetlenme boyu, f_{yd} : donatı akma gerilmesi, f_{ctd} : beton çekme dayanımı, ϕ : çubuk çapıdır. Eş. 3.1 kenetlenme boyunu veren temel denklemdir. Katsayı c_o ’ın deneysel olarak saptanması gerekir.

Temel kenetlenme boyu ve çekme donatısının kenetlenmesi

Çekme donatısının, düz, kancalı, kaynaklanmış enine donatı ile veya ucuna levha kaynakılarak kenetlenilebilir. Boyuna donatı için donatının gerekmediği, moment sıfır noktasından itibaren olması gereken uzunluktur. Birçok yönetmelikte olduğu gibi, TS-500'de de temel kenetlenme boyu, donatı çubuğunun yüzey geometrisine (nervürlü veya düz yüzeyli) ve betonlama sırasındaki konumuna göre verilmektedir. Donatı için iki ayrı konum tanımlanmaktadır.

Konum-1; Konum-2' de olmayan tüm çubukları içermektedir.

Konum-2; Betonlama sırasında eğimi yatayla 45°-90° arasında olan çubuklar ile, daha az eğimli (veya yatay) olup da, kesitin alt yarısında veya kesitin serbest yüzünden en az 30cm uzaklıkta yer alan çubukları içermektedir. TS-500'de Konum-2 olan çubuklar için öngörülen 'temel kenetlenme boyu', Eş. 3.2'den elde edilmiştir.

Düz yüzeyli çubuklar,

$$l_b = 0,22 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \geq 40\phi \quad (3.2)$$

Nervürlü çubuklar,

$$l_b = 0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \geq 20\phi \quad (3.3)$$

Donatı çapının $32\text{mm} \leq \phi < 40\text{mm}$ arasında olduğu durumlarda, yukarıdaki bağıntılardan hesaplanan kenetlenme boyları; $\frac{100}{132 - \phi}$ ile çarpılarak büyütülmelidir.

Böylece boyut etkisi göz önüne alınmaktadır. Çarpandaki ' ϕ ', mm olarak ifade edilmelidir [22].

$$L_{bnet} = l_b \frac{\text{Gerekli donatı alanı}}{\text{Kesitte bulunan donatı alanı}} \quad (3.4)$$

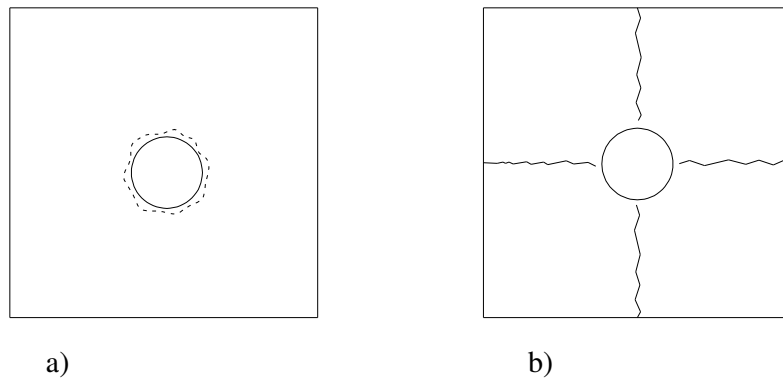
Kesitteki donatının, hesaplanan gerekli donatıdan fazla olduğu durumlarda, Eş. 3.2 veya Eş. 3.3 ile belirlenen kenetlenme boyu, gerekli donatı alanının, bulunan donatı alanına oranı ile çarpılarak küçültülebilir.

Konum-1'deki çubuklar için Eş. 3.2 veya Eş. 3.3' den elde edilen kenetlenme boyları 1,4 ile çarpılmalıdır.

3.4.2. Çekip çıkarma deneyi

En basit aderans deneyi 'eksenel çekip çıkarma' deneyleridir. Sözü edilen aderans deneyi için düz yüzeyli çubuk kullanıldığında kenetlenme boyu yeterli ise donatı akmakta, yetersiz ise çubuk betondan sıyrılarak çıkmaktadır [23].

Aderans deneyinde nervürlü çubuk kullanıldığında gözlenen davranış, düz yüzeyli çubukla yapılan deneylerden çatlak genişliği az, çatlak sayısı çok, sıyrılmada azdır [24]. Nervürlü çubuğun yetersiz aderans boyuna sahip olduğu durumlarda ise, çubuğu saran beton kütle, oluşan radyal çatlaklar nedeni ile yarıp çubuklar ayrılarak çıkmaktadır.



Şekil 3.11. Çekip çıkarmada a) Sıyrıma göçmesi b) ayrılma göçmesi

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 (Şekil 3.11a).

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 (Şekil 3.11b).

Düz yüzeyli ve nervürlü çubukların göçmesi birbirinden çok farklıdır. Yıllarca pas payını sıfıra yakın bir düzeyde tutarak inşaat yapmış bir mühendis, aynı uygulamayı nervürlü çubukla donatılmış elemanlarda da yaptığı taktirde, aderans açısından önemli sorunlarla karşılaşabilir. Yeterli aderans için beton örtü kalınlığı yeterli olmalıdır. TS-500'e göre beton örtü kalınlığı, döşemelerde 20mm, taşıyıcı elemanlarda 25mm, temellerde 40mm, yangına karşı güvenlik için en az 40mm olmalıdır [22].

Düz kenetlenme

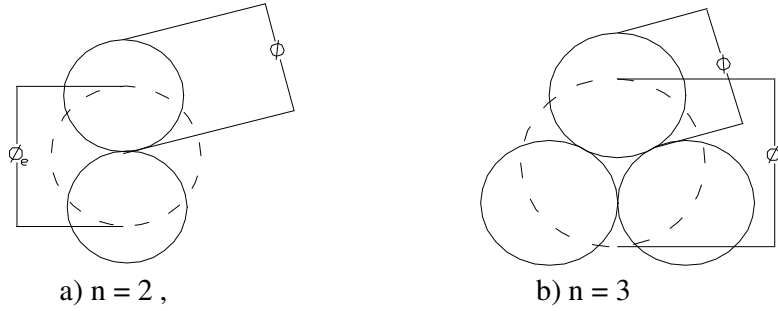
TS-500'de düz kenetlenmeye ancak nervürlü çubuklar için izin verilmektedir. Gerekli düz kenetlenme boyu Eş. 3.3'den hesaplanmalıdır. Demet donatı için Eş. 3.3'de ϕ yerine ϕ_e kullanılmalıdır. TS-500'de, demetteki donatı sayısı 3 ile sınırlandırılmıştır. Demetteki çubuk sayısının iki olduğu durumlarda, Eş. 3.3'den elde edilen kenetlenme boyu %20, üç olduğu durumlarda ise, %33 arttırılmalıdır.

Demet donatı kullanıldığında, demet için eşdeğer bir çap (ϕ_e) tanımlanmakta ve demetteki çubuk sayısına göre, tek donatı için öngörülen kenetlenme ve bindirme

boyları artırılmaktadır. Demet donatının eşdeğer çapı, aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır.

$$\phi_e = 1,2 \phi \sqrt{n} \quad (3.5)$$

Burada, ' ϕ ', kullanılan çubukların çapı, ' n ' ise demetteki donatı sayısı, ϕ_e eşdeğer donatı çapıdır.

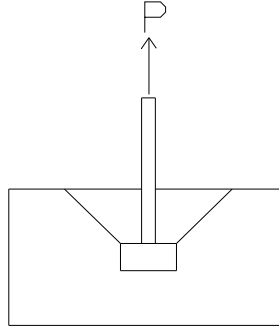


Şekil 3.12. İki ve üç donatılı demetler görülmektedir

Düz kenetlenmede Eş. 3.3'den elde edilen kenetlenme boyu hiçbir zaman 20ϕ veya $1/3 \ell_b$ 'den az olmamalıdır [22].

3.4.3. LOK deneyi

Betona gömülü çubukların boyları kısa olduğunda aderansını arttırma amaçlı enine çubukla kaynaklanır (Şekil 3.13). Lok deneyi üzerine çalışmalar çok sınırlıdır. Çubuk boyu yetersiz olduğunda göçme yükünde elemanın göçme yüzeyi konik biçimde gelişir.



Şekil 3.13. LOK deneyi

Kaynaklanmış enine çubuklarla kenetlenme

Bu tür kenetlenmeye en fazla hasır donatıda rastlanır. Çizelge 3.1 hasır donatı için TS-500’de öngörülen kenetlenme boyları ve minimum enine donatı sayısı verilmiştir.

Çizelge 3.1. Enine donatı sayısı ve kenetlenme boyu

Donatı yüzeyi	Boyuna Donatı	ϕ (mm)	Konum	Enine Donatı Sayısı ve Kenetlenme Boyu
Düz yüzeyli veya profilli	Tek	$\phi < 12$	II	4 enine çubuk $\geq 40\text{cm}$
	Çift	$\phi < 8,5$	I	6 enine çubuk $\geq 60\text{cm}$
	Çift	$8,5 < \phi < 12$	II	5 enine çubuk $\geq 60\text{cm}$
			I	6 enine çubuk $\geq 60\text{cm}$
Nervürlü	Tek	$\phi < 12$	II	3 enine çubuk $\geq 30\text{cm}$
	Çift	$\phi < 8,5$	I	4 enine çubuk $\geq 40\text{cm}$
	Çift	$8,5 < \phi < 12$	II	4 enine çubuk $\geq 40\text{cm}$
			I	5 enine çubuk $\geq 40\text{cm}$

Dinamik etkilerin söz konusu olduğu durumlarda, bu çizelgedeki kenetlenme boyları 0,1m arttırılmalı ve bir enine çubuk eklenmelidir [22].

3.4.4. Aderans ekindeki çatlak türleri

Eğilme aderans eki

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

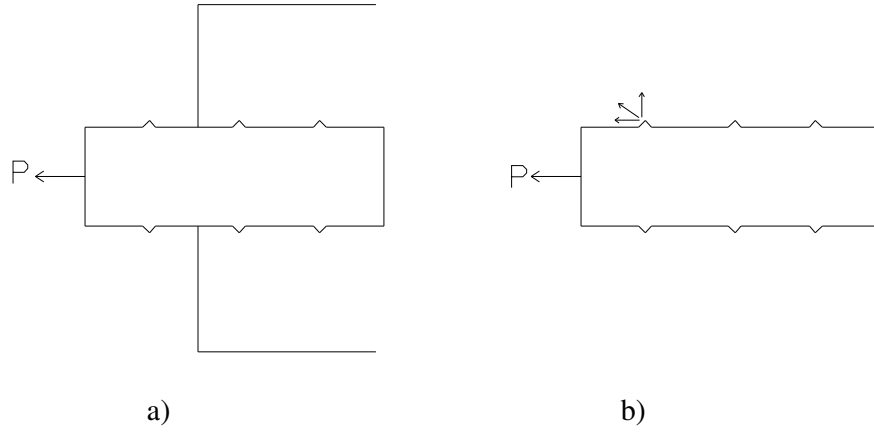
$$\tau_b u \Delta x = \frac{\Delta M}{z} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde, τ_b aderans gerilmesi, u ise çubuğun çevre uzunluğudur, Δx birim boy, ΔM fark kuvvetinin moment, z de kuvvet koludur. $V = \Delta M / \Delta x$ olduğunda, Eş. (3.6) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\tau_b = \frac{V}{uz} \quad (3.7)$$

Direk aderans eki

Aderans olarak adlandırılan beton ve donatı arasındaki bağın, üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir. İlki çelik ve beton arasında ‘yapışma’ olarak nitelendirilebilecek moleküller ve kapiler bağ kuvvetleri, ikincisi beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri, üçüncüsü donatı çubuğu ve beton arasındaki mekanik diş kuvvetleri, olarak sayılabilir.



Şekil 3.14. a)Çekip çıkarma deneyi b)çubuk serbest cisim diyagramı

Düz yüzeyli çubuklarda aderans, ilk iki nedene, yani yapışma ve sürtünmeye dayanmaktadır. Nervürlü çubukların aderansında ilk iki nedenin etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu tür çubukların aderansı, çubuk üzerindeki nervürlerin betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere mekanik dış kuvvetler denmektedir (Şekil 3.14). Aderans dayanımını etkileyen başlıca değişkenler;

- Betonun çekme dayanımıdır. Nervürlü çubuklarla donatılmış elemanlarda kırılma yarılma ile oluşacağından, çekme dayanımı özellikle önemlidir.
- Çeliğin akma dayanımı kenetlenme boyunca aderans gerilmesi dağılımını etkileyeceğinden, önemlidir.
- Çubuğun yüzey geometrisi (nervürlü, nervürsüz),
- Donatı çapıdır. Çap değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulama kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Ayrıca, yarılma kırılmasında betonda oluşan çekme gerilmeleri de, çapla orantılı olmaktadır.
- Aderans kenetlenme boyu ile değişir. Ancak aderans dayanımı, kenetlenme boyu ile orantılı değildir, yani kenetlenme boyunun iki katına çıkarılması, aderans dayanımının iki kat arttığı anlamına gelmez. Dolayısıyla kenetlenme (aderans) gerilmesi çubuk boyunca sabit değildir.

- f) Donatı etrafındaki beton örtünün kalınlığı (pas payı). Beton örtünün kalınlığı özellikle nervürlü çubukla donatılmış elemanlar için önemlidir. İç basınç altındaki boru analojisinden hareket edilirse, çekme dayanımının (Yarılma dayanımı) et kalınlığı (pas payı) ile ters orantılı olduğu görülür. Pas payının az olması nedeni ile yarılma oluşur.
- g) Betonarme çubuğun betonlama sırasındaki konumu. Betonlama sırasında üst yüzeye yakın çubukların altında biriken hava kabarcıkları bu çubukların aderansını zayıflatır. Alttaki çubukların aderansı üst çubuklardan daha iyidir.
- h) Yerel gerilmelerde aderansı etkileyebilir. Örneğin, basınç gerilmeleri donatı sıyrılmasını engeller.
- i) Sargı donatısı. Sargı donatısı özellikle nervürlü donatı kullanıldığında etkilidir. Sargı donatısı beton kütleyle sararak, yarılmaya karşı dayanımı önemli ölçüde artırılabilir.
- j) Kullanılan agreganın cins ve katkı maddeleri de aderansı etkiler. Örneğin, hafif agrega (pomza taşı) ile yapılan betonun aderans dayanımı, normal agregayla üretilene oranla daha düşüktür.

Puzolanlı katkı maddeleri de aderansı olumsuz yönde etkileyebilir. Aderans nedeni ile oluşabilecek çatlakların tanınmasında ve diğer çatlaklardan ayırt edilmesinde yarar vardır.

3.5. Çatlakların Denetlenmesi

Bilindiği gibi betonarme elemanlarda çatlama, genel olarak kaçınılması gereken bir olay değildir. Ne var ki yapıda, mukavemet bakımından sakıncalı olmasa bile, yapının görünümünü bozacak (elastik), konuya yabancı kişilerde kuşku yaratacak (psikolojik etki) ve donatının korozyonuna yol açabilecek ölçüde çatlaklar oluşmamalıdır. Bu konuda kuşkuya düşüldüğü zaman, çatlak genişlikleri hesaplanmalı ve 'izin verilen karakteristik değerler' in altında kalındığı gösterilmelidir. Çatlak genişlikleri,

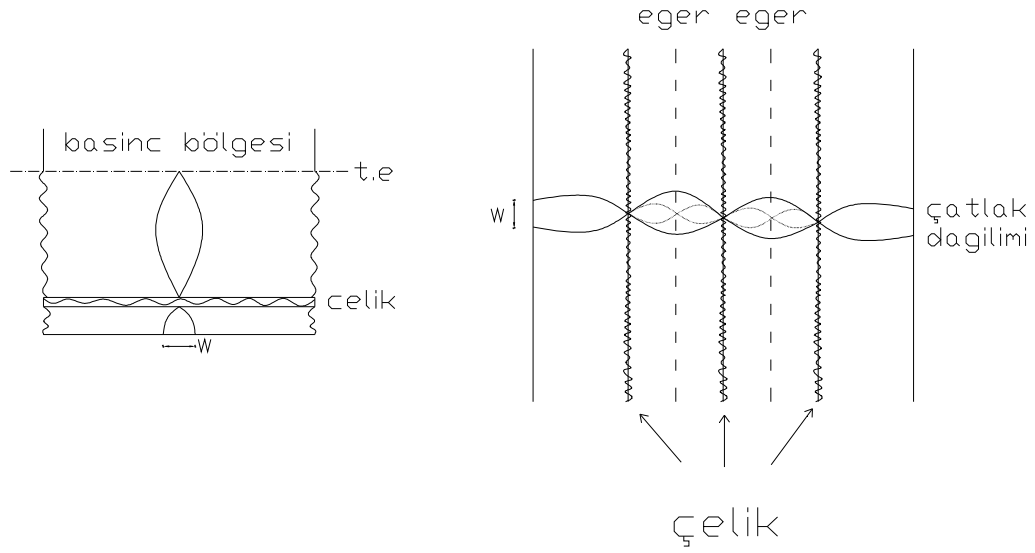
- Normal atmosferlerde bulunan, dış etkilere açık olmayan elemanlarda; 0,4 mm,
- Nemli yada olumsuz atmosferlerde bulunan, dış etkilere açık olmayan elemanlarda ve normal atmosferlerde bulunan dış etkilere açık olan elemanlarda, 0,2 mm,
- Dış etkilere açık yada açık olmayan, özellikle olumsuz atmosferlerde bulunan ve geçimsiz olması istenen elemanlarda; 0,1 mm alınmalıdır.

3.6. Çatlak Genişliklerinin Hesaplanması

Çatlak genişliği hesabında yük ve malzeme katsayıları '1' alınmalıdır. Deneysel araştırmalar, eğilmeye çalışan elemanlarda çatlak genişliklerini etkileyen değişkenlerin çok fazla olduğunu göstermiştir. Bunlar, donatının türü, donatıdaki gerilme, donatı yüzdesi, çubuk çapı, donatının kesit içindeki dağılımı, elemanın en kesit boyutları, çekme etkisinde kalan beton kesit alanı, betonun aderans ve çekme mukavemetleri, örtü beton kalınlığı vs.dir. Araştırma sonuçları da şöyle özetlenebilir:

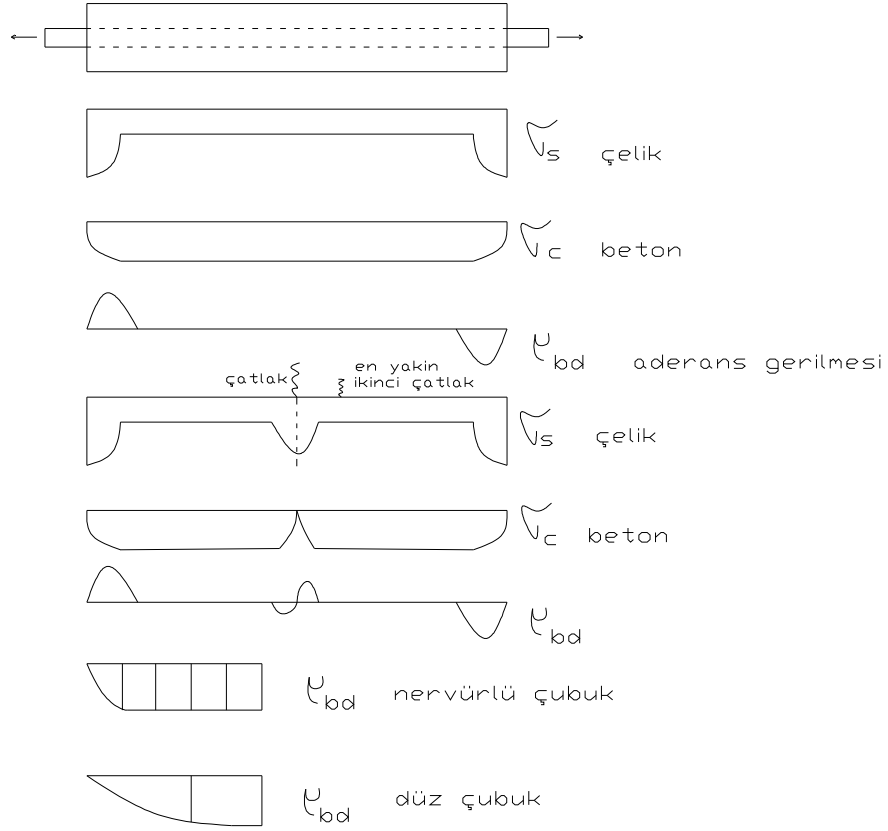
Nervürlü çeliklerin kullanılması durumunda, çatlak genişlikleri ve aralıkları, düz yüzeyli çeliklere oranla küçük olmaktadır.

Belirli bir sınır değere kadar çatlak genişlikleri, donatı aralıkları ile ilişkilidir. Çatlak genişliği, donatıdaki uzamanın, dolayısıyla gerilmenin, işlevidir. Donatı alanı yada yüzdesi sabit olmak üzere az sayıda büyük çaplı çubuk yerine küçük çaplı çubuk kullanılması ve bu çubukların kirişin çekme bölgesindeki dış yüzler boyunca sık aralıkla yerleştirilmesi, çatlak genişliklerini küçültmektedir. Bu durumda çatlak genişliklerinin, çatlaklara yol açan donatı gerilmeleriyle yaklaşık olarak doğru orantılı değiştiği gözlenmiştir. Beton içindeki çatlak gelişimini çelik donatı engeller. Çelik donatıyla karşılaşan çatlak donatıda son bulur. Eğer donatı sık atılırsa geniş çatlak geçişleri gözlenmez. Çünkü çatlak her donatıda son bulur (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Çelik donatının çatlak davranışına etkisi

Örtü beton kalınlığı ve betonun yüzüne en yakın olan çubuğun ağırlık merkez ile arasındaki uzaklık, çatlak genişliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Betonarme kirişte çelik ve betonun çekme gerilmesi altında çatlak oluşumu farklıdır. Düz demirli numunede çatlak sıyrılmayla kısa sürede gözlenirken aynı zaman diliminde nervürlü demirli donatıda çatlak gelişimi daha geçtir (Şekil 3.16). Karakteristik çatlak genişliklerinin 0,1mm ile sınırlandırıldığı yapılarda düz yüzeyli donatı kullanılmamalıdır. Eleman eksenine paralel donatı çubukları boyunca oluşan çatlaklar korozyon yönünden daha sakıncalı olur. Bu tür çatlakların oluşmaması için, kenetlenme boyları ve donatı ekleriyle ilgili kurallara uyulmasına büyük özen gösterilmelidir.



Şekil 3.16. Kirişte beton ve çeliğin çekme gerilmesi davranışları

Şekil 3.16’da görüldüğü gibi donatılı beton kiriş iki ucunda çekme gerilmesine tabi tutulur. Çelik çekme kuvvetini ilk olarak alır. Gerilme betona ulaştığında çelikteki gerilme azalmaya başlar, ardından bir süre sabit kalarak öteki uca beton bittiğinde tüm yükü donatı alır. Çelikte uzama gözlenir. Betonda ise gerilme 0’dan başlar gerilme artar ardından sabit kalır betonun bitiminde gerilme tekrar azalır. Aderans gerilmesi değişkenlik gösterip 0 olur. Çelikteki çekme gerilmesinde gerilmenin en yüksek olduğu yerde ilk çatlak, ikincil çatlakta gerilmenin ilkinin ardından yüksek olduğu yerde olur. Aderans yüksek olduğunda gerilmeyi betona hemen (kısa boyda) aktarır nervürlü demirde dişlerden dolayı sık çatlak görülür. Düz demirde ise gerilmeyi betona daha geç (uzun boyda) aktarır. Çatlaklar arası uzun yani seyrekler.

4. DİREK ADERANS EKİ DENEYİ

4.1 Deney Numunelerinin Özellikleri

Betonarme donatıların aderans ekinde çatlak gelişimi araştırılan 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.

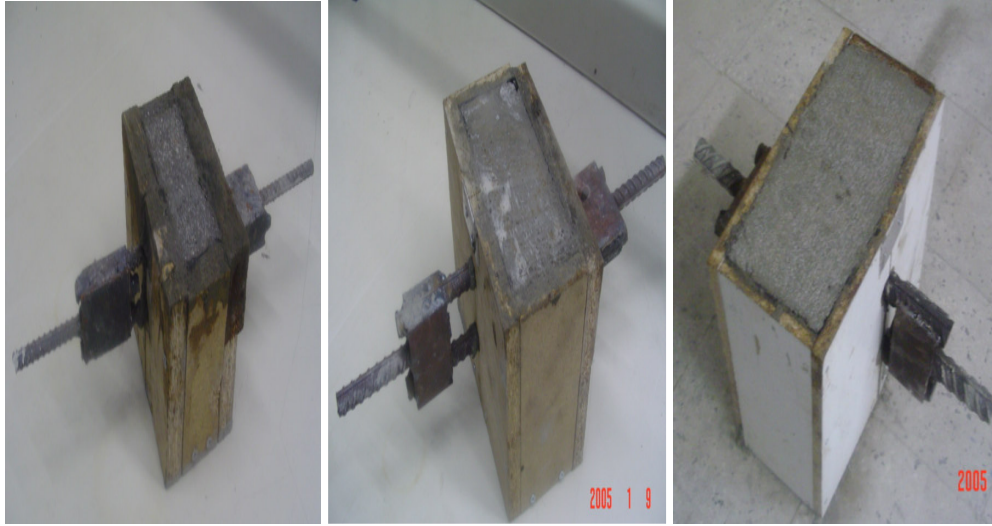
Yukarıda özellikleri verilen deney gruplarının her birinde, boyutları birbirinin 2 katı olan küçük, orta ve büyük boy olmak üzere 3 farklı deney numunesi üretilmiştir. Her deney grubunda 3 adet küçük, 3 adet orta ve 3 adet büyük boy deney numunesi olmak üzere toplam 9 adet deney numunesi bulunmaktadır. Deney elemanları kare kesitli prizmalardır. Küçük boy kare deney numunelerinin boyutları 40×88×88mm, orta boy deney numunelerinin boyutları 80×176×176mm ve büyük boy deney numunelerinin boyutları 160×352×352mm'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 karışımdan üçer adet 150×300mm, 75×150mm ve 37,5×75mm boyutlu kontrol silindirleri alınmıştır (Resim 4.1).

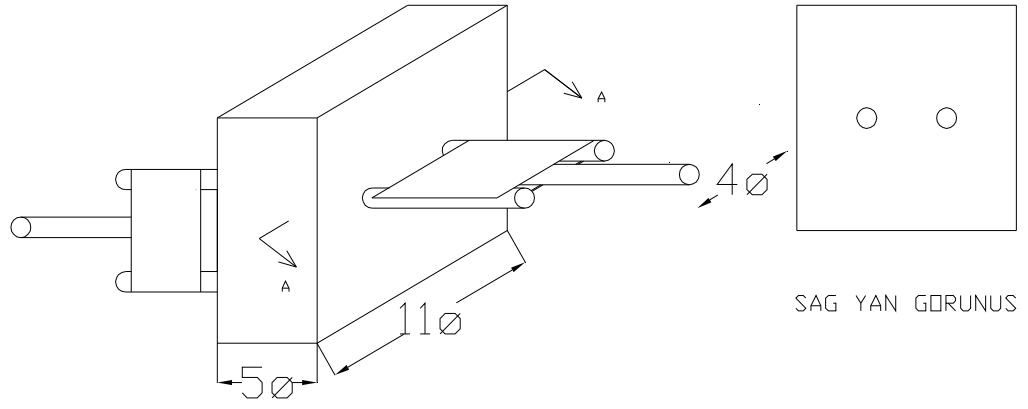


Resim 4.1. Kontrol silindirleri

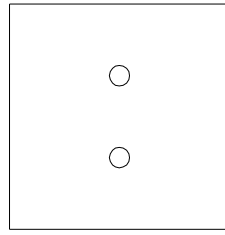
Deney numuneleri, ' d ' kesitli ve ' L ' uzunlukta kare prizma olarak Resim 4.2'de ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



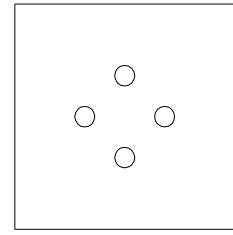
Resim 4.2. Deney numuneleri



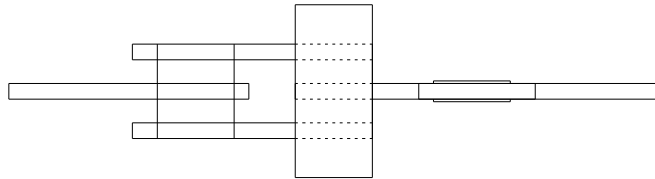
SAG YAN GÖRÜNÜŞ



SOL YAN GÖRÜNÜŞ



A-A KESİTİ

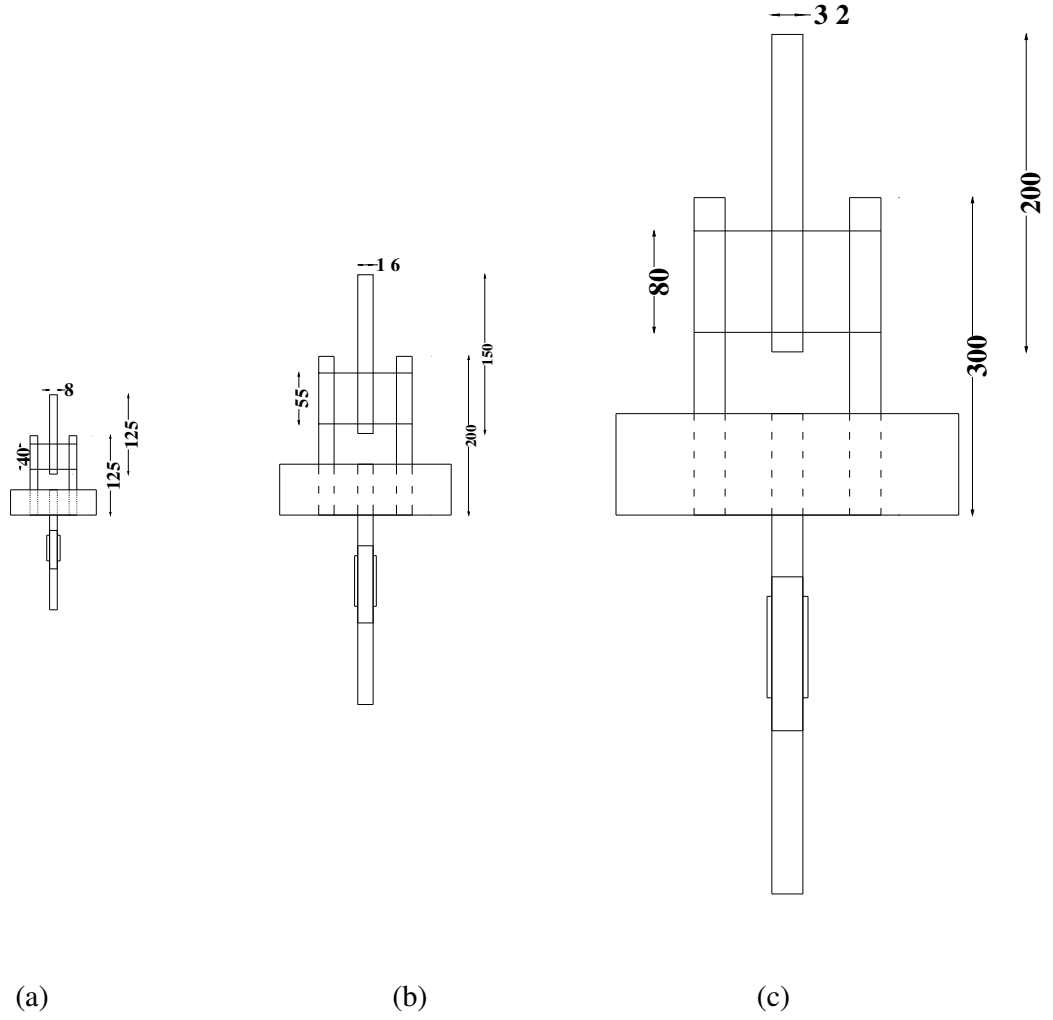


Şekil 4.1. Deney numunelerinin görünüşleri

4.2. Kullanılan Malzemeler

4.2.1. Donatı

Deney numunelerinde akma gerilmesi 220MPa ve $\varnothing 8$, $\varnothing 16$ ve $\varnothing 32$ olan düz donatılar ile akma gerilmesi 420MPa 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 yerleştirilmiştir. Çubuklar arası uzaklık $4\varnothing$ olarak alınmıştır.



Şekil 4.2. a) Küçük b) orta c) büyük deney elemanları

4.2.2. Beton

Deney numunelerinde maksimum agrega çapı $d_{max}=10\text{mm}$ olan beton kullanılmıştır. Normal dayanımlı beton için karışım oranı ağırlıkça imento/çakıl/kum/su=1/2/2/0,5 olup NPC 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 NPC 32 tipi Normal Portland imentosu kullanılmıştır. Beton karışımında kullanılan su şehir şebekesinden gelen eşe su yudur. Beton karışımının hazırlanmasında betoniyer, yerleştirilmesinde ise çubuk ve masa vibratörü kullanılmıştır.

4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

4.3.1 Donatıların hazırlanması

Deneyde kullanılacak donatılar şekil 4.2'deki boyutlarına uygun olarak elektrik ark kaynağıyla kaynatılmıştır. Kaynak işleminden sonra kaynak cürufları temizlenerek deney için önceden hazır edilmiştir.

4.3.2 Kalıpların hazırlanması

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

4.3.3 Beton karışımının hesabı

Normal dayanımlı deney numuneleri ve yüksek dayanımlı deney numuneleri elde edilmek için aşağıdaki karışım hesabı kullanılmıştır ve a , b , h , kare prizmanın sırası ile kesit uzunlukları ile kalınlığı, D , h silindir çapı ile yüksekliğı olmak üzere:

Küçük boy deney numunesinin hacmi: V_k

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

Orta boy deney numunesinin hacmi : V_x

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

Büyük boy deney numunesinin hacmi: V_b

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

Küçük boy silindir numunesinin hacmi: V_{sk}

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

Orta boy silindir numunesinin hacmi : V_{so}

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

Büyük boy silindir numunesinin hacmi: V_{sb}

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

Toplam beton hacmi,

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

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

Gerekli agrega aralığı,

$$m_t = V_t \times \gamma \quad (4.1)$$

Beton için yoğunluk $\gamma = 17,5 \text{ N/dm}^3$ alındığında,

$$m_t = V_t \times \gamma = 87 \times 17,5 \text{ N}$$

$$m_t \approx 1520 \text{ N}$$

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

Kum	:760 N
Çakıl	:760 N
Çimento	:380 N
Su	:190 N kullanılmıştır.

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	:760 N
Çakıl	:760 N
Çimento	:380 N
Su	:136,5 N
Silis Dumanı	:19 N
Süper akışkanlaştırıcı	:11,4 N kullanılmıştır.

4.3.4 Betonun yerleştirilmesi

Beton kalıplara döküldükten sonra büyük boy kalıplar için çubuk vibratör ile, küçük ve orta boy kalıplar için ise masa vibratörü ile titreşim yapılarak döküm işi

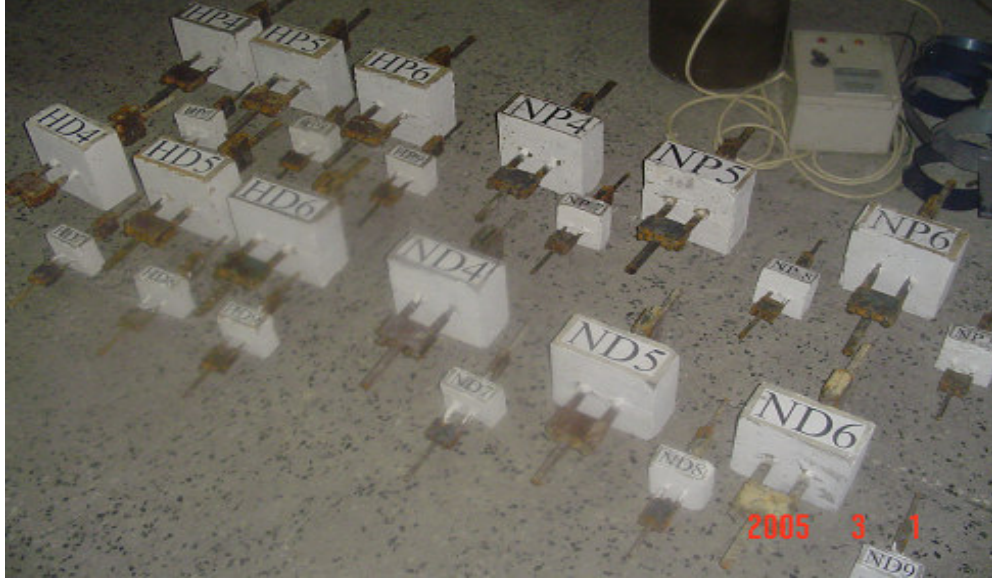
tamamlanmıştır. Kalıplara her 1/3 oranında beton konulduktan sonra yerleştirilme işlemi yinelenmiştir. Son titreşim işlemi de tamamlandıktan sonra numunelerin üst yüzeyleri mala ile düzeltilerek düz bir yüzey oluşturulmuştur. Yukarıda belirttiğimiz tüm bu aşamalardan sonra deney numuneleri aşağıdaki hali almıştır (Resim 4.3).



Resim 4.3. Deney numunelerinin hazırlanması

4.3.5 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. Yukarıda kalıpta görülen deney numuneleri kalıptan çıkarıldıktan sonraki hali aşağıdaki gibidir (Resim 4.4).



Resim 4.4. Deney numunelerinin genel görünümü

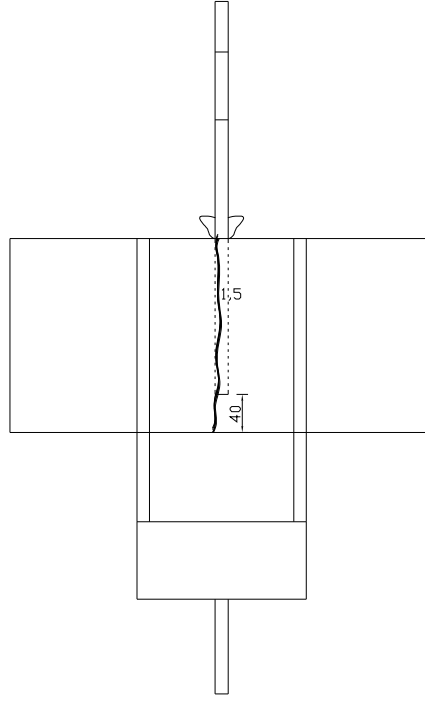
4.5. Deney Sonrası Elemanlarda Çatlak Dağılımları

Deney sonrası numunelerde oluşan çatlak dağılımlarını her numune için ayrı inceleyelim.

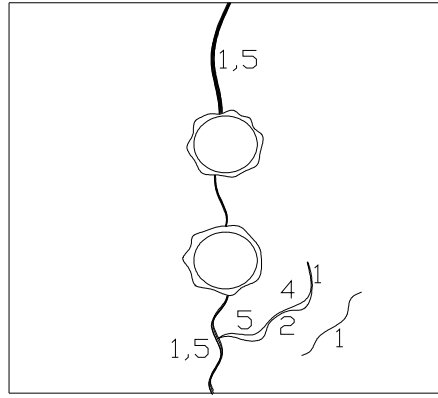
NP1 numunesi (Resim 4.5).



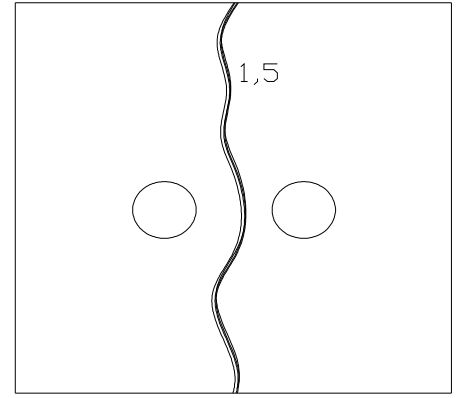
Resim 4.5. NP1 deney numunesi



Şekil 4.4. NP1 deney numunesinin yandan görünüşü



ÜST



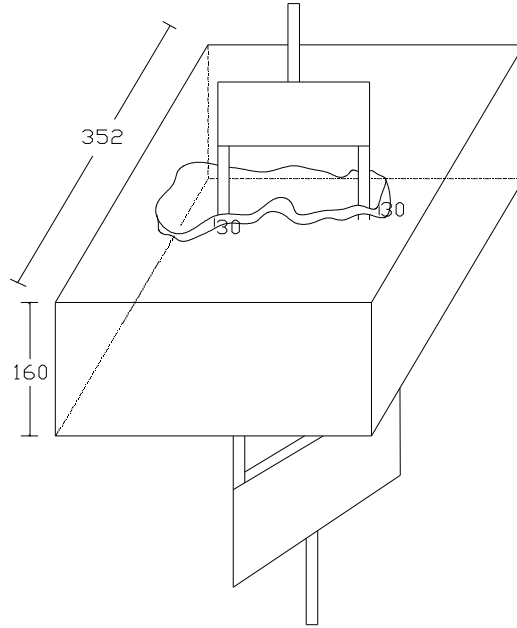
ALT

Şekil 4.5. NP1 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

NP2 numunesi (Resim 4.6).

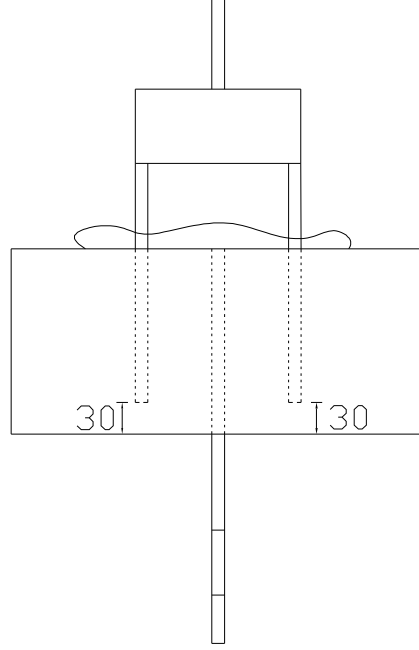


Resim 4.6. NP2 deney numunesi

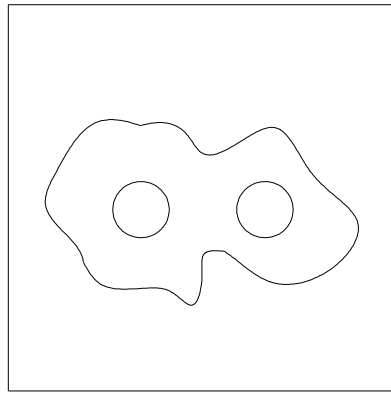


Şekil 4.6. NP2 deney numunesi sınırlama boyları

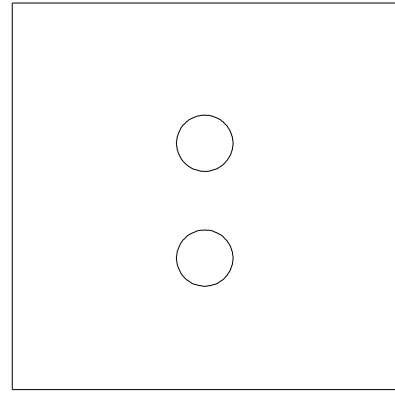
Numunenin üst kısmında konik çatlak görülmüştür. Betonda parça dökülmesi olmuştur. Demirler betondan 30mm sıyrılmıştır (Şekil 4.7- Şekil 4.8).



Şekil 4.7. NP2 deney numunesinin yandan görünüşü



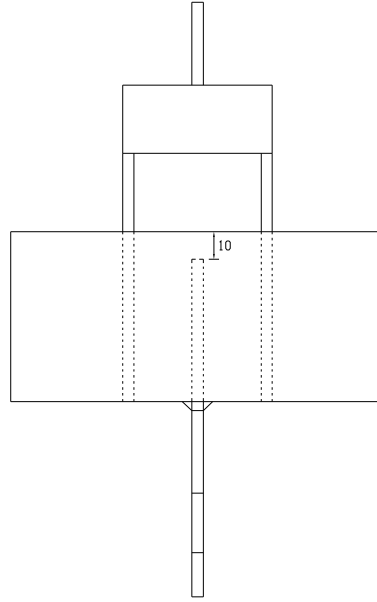
ÜST



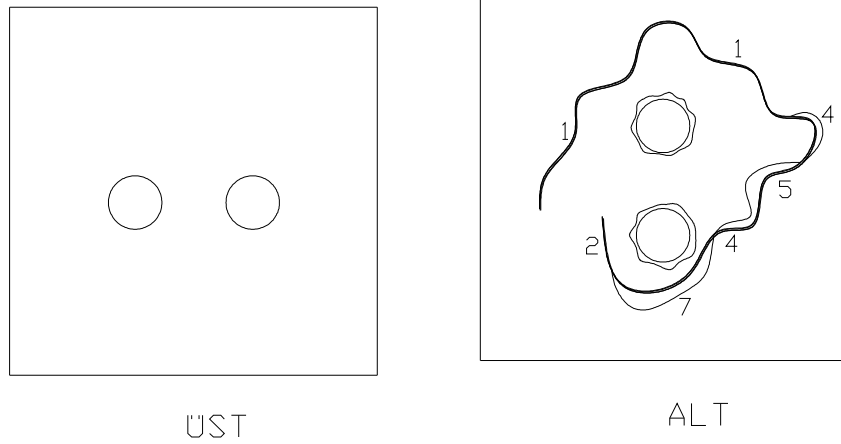
ALT

Şekil 4.8. NP2 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

Demir çubukların ilki 10mm, ikincisi 5mm betondan sıyrılmıştır. 2mm, 7mm, 4mm, 1mm kalınlıklarında çatlaklar görülür. İlk çubuk kökünün betona temas ettiği yerde 7mm dökülme görülür (Şekil 4.10- Şekil 4.11).



Şekil 4.10. NP3 deney numunesinin yanda görünüşü

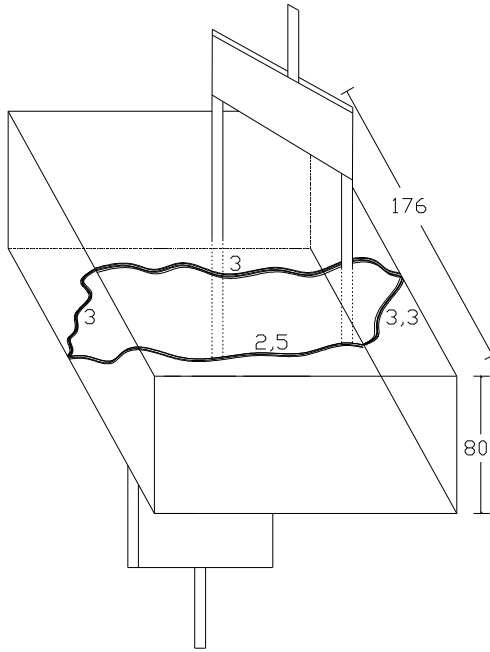


Şekil 4.11. NP3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

NP4 numunesi (Resim 4.8).

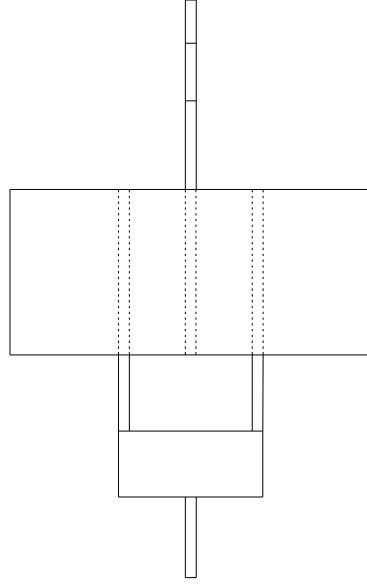


Resim 4.8. NP4 deney numunesi

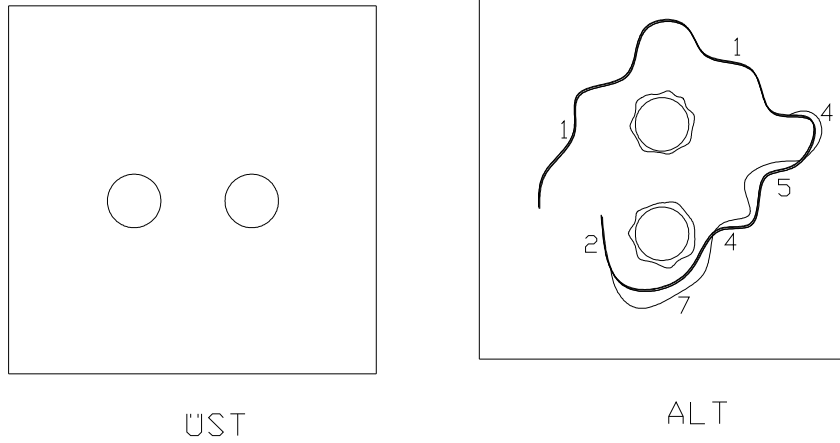


Şekil 4.12. NP4 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üstünde 3mm yan yüzeylerde artarak 3,3mm, alt yüzeyde 2,5mm olan çatlak gözlenir (Şekil 4.13 - Şekil 4.14).



Şekil 4.13. NP4 deney numunesinin yandan görünüşü

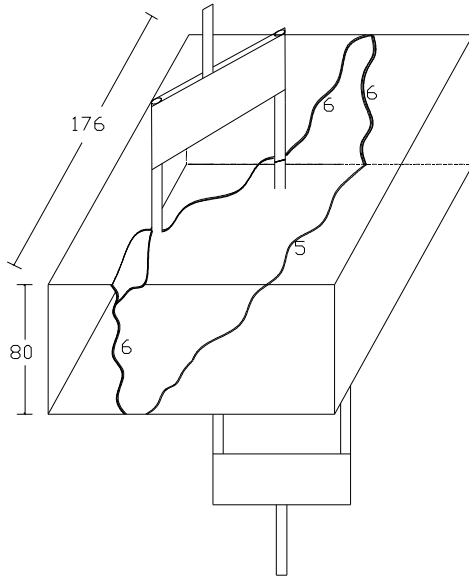


Şekil 4.14. NP4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

NP5 numunesi (Resim 4.9).

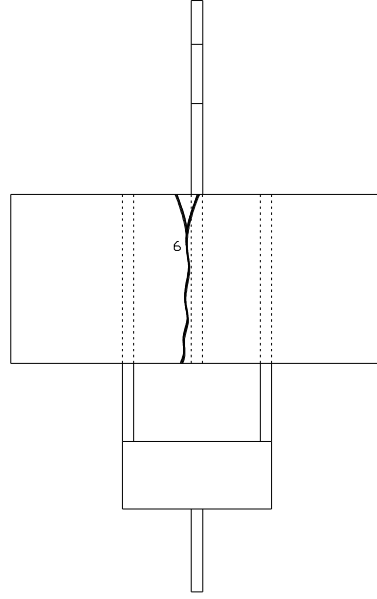


Resim 4.9. NP5 deney numunesi

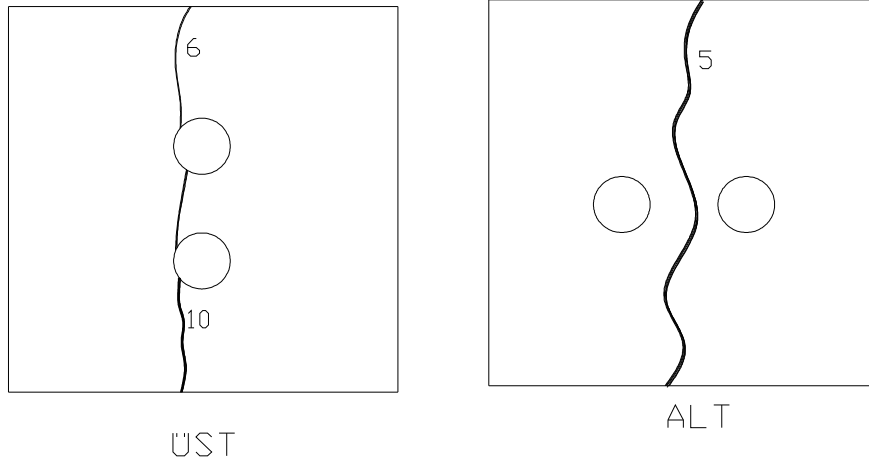


Şekil 4.15. NP5 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 6mm kalınlığındaki çatlak tüm yüzeyleri ortalama aynı kalınlıkla geçerek hemen hemen aynı düzlemde oluşur (Şekil 4.16- Şekil 4.17).



Şekil 4.16. NP5 deney numunesinin yandan görünüşü

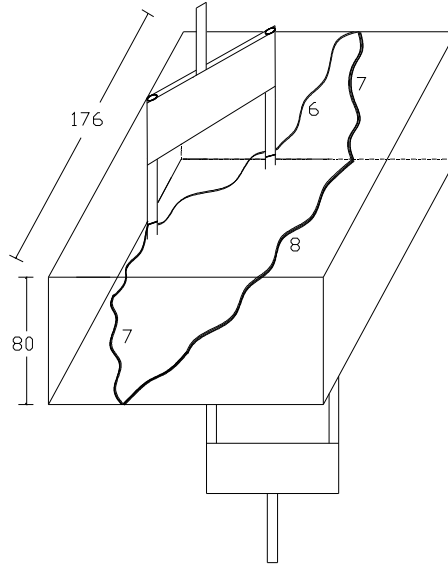


Şekil 4.17. NP5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

NP6 numunesi (Resim 4.10).

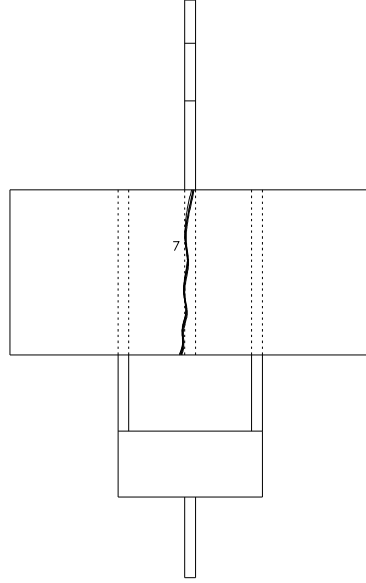


Resim 4.10. NP6 deney numunesi

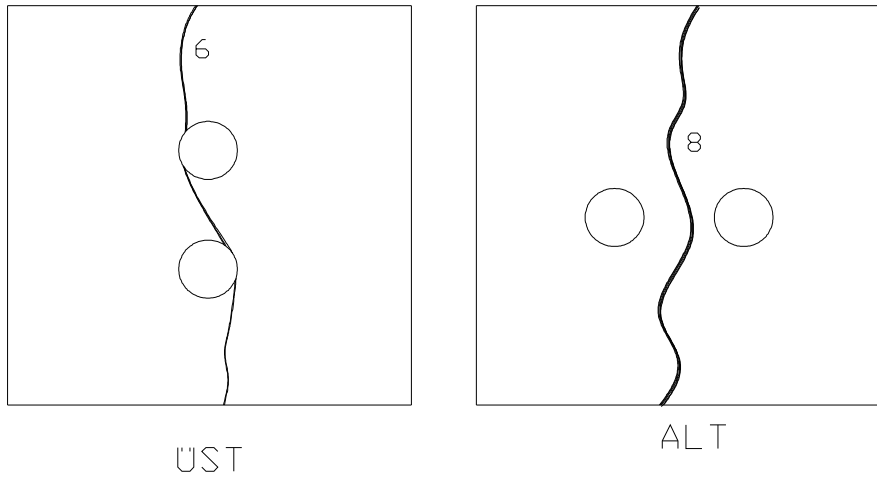


Şekil 4.18. NP6 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 6mm yan yüzeyinde 7mm alt yüzeyinde 8mm kalınlığında çatlak hemen hemen aynı düzlemde görülmüştür (Şekil 4.19- Şekil 4.20).



Şekil 4.19. NP6 deney numunesinin yandan görünüşü

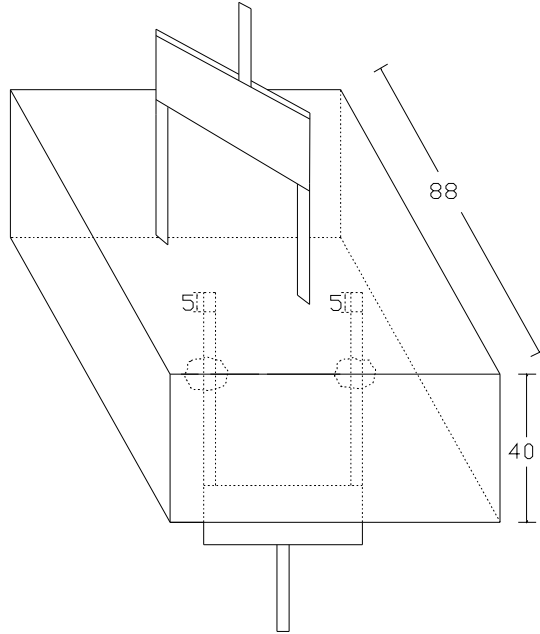


Şekil 4.20. NP6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

NP7 numunesi (Resim 4.11).

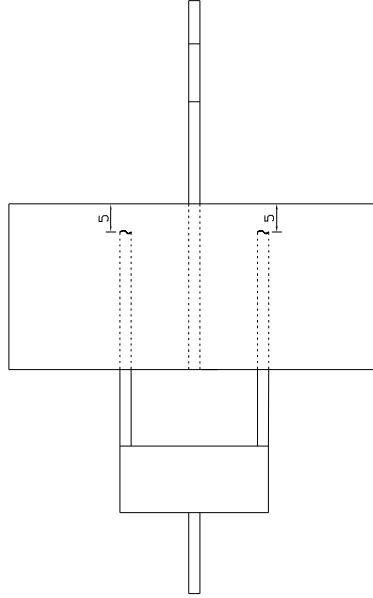


Resim 4.11. NP7 deney numunesi

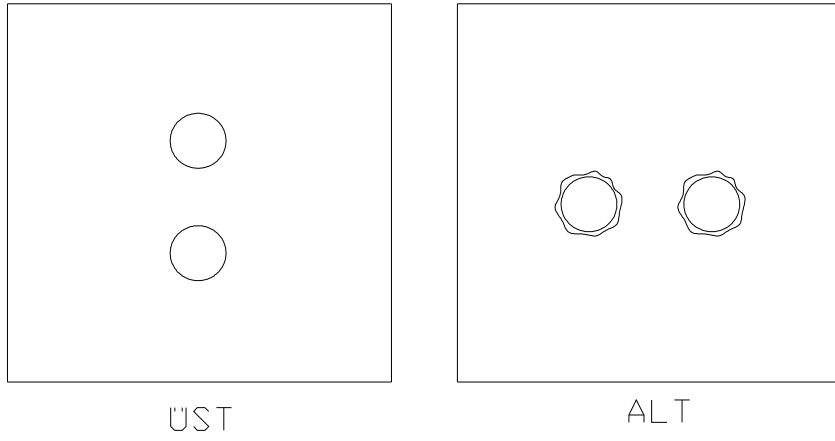


Şekil 4.21. NP7 deney numunesi sıyırılma boyları

Numunenin alt yüzeyinde 5mm'lik donatı sıyrılmıştır (Şekil 4.22- Şekil 4.23).



Şekil 4.22. NP7 deney numunesinin yandan görünüşü

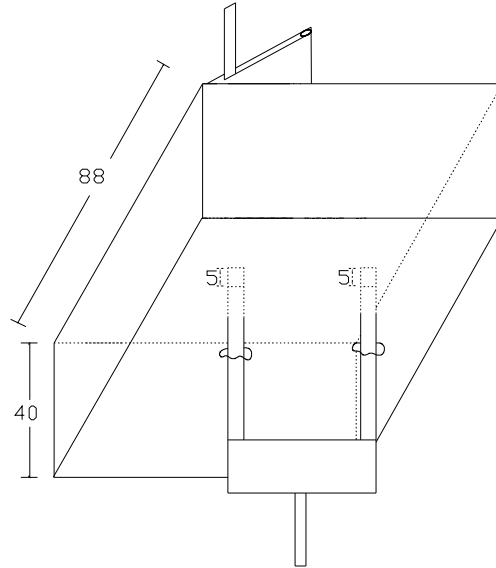


Şekil 4.23. NP7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

NP8 numunesi (Resim 4.12).

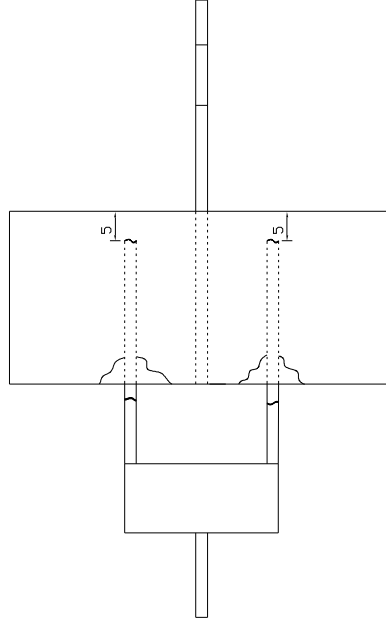


Resim 4.12. NP8 deney numunesi

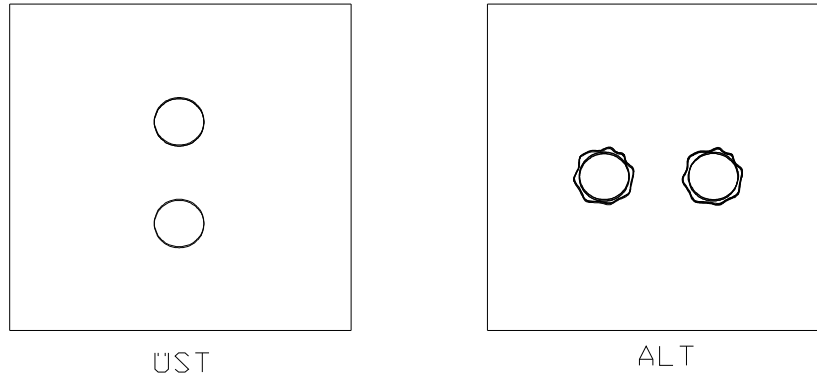


Şekil 4.24. NP8 deney numunesi sıyırılma boyları

Numunenin alt yüzeyinde donatı sıyrılması 5mm olmuştur (Şekil 4.25- Şekil 4.26).



Şekil 4.25. NP8 deney numunesinin yandan görünüşü

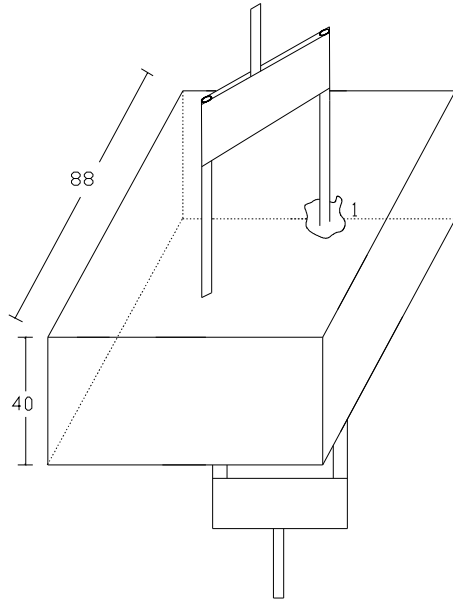


Şekil 4.26. NP8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

NP9 numunesi (Resim 4.13).

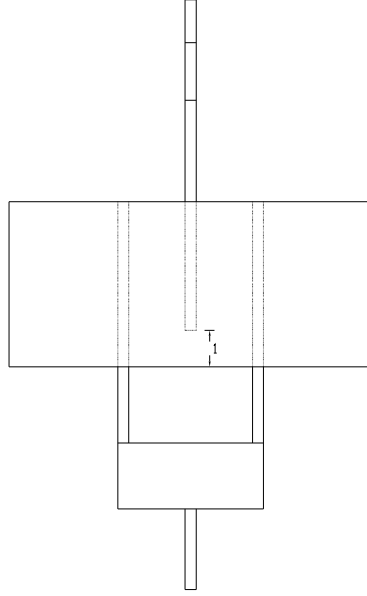


Resim 4.13. NP9 deney numunesi

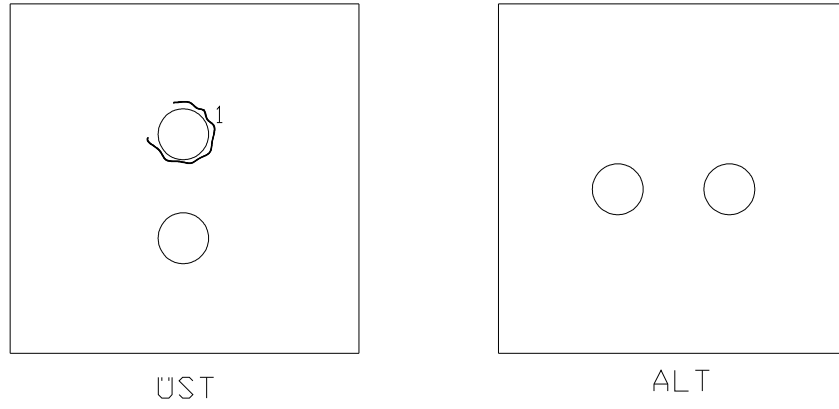


Şekil 4.27. NP9 deney numunesi sıyrılma boyları

Numunenin alt yüzeyinde 1mm donatı sıyrılmıştır (Şekil 4.28 - Şekil 4.29).



Şekil 4.28. NP9 deney numunesinin yandan görünüşü

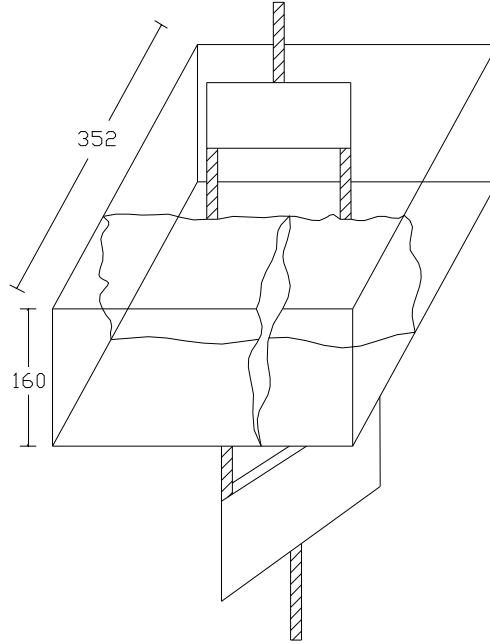


Şekil 4.29. NP9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HD1 numunesi.

Yüksek dayanımlı deney numunesi 93,8 kN'luk yüke erişildiğinde kaynaktan kırıldı. Yeniden kaynaklanıp deney yinelenir iken 57,6 kN'da kaynaktan yeniden kırıldı. Numune yine kaynaklanmak için çıkarılır iken parçalandı.

HD2 numunesi (Şekil 4.30).



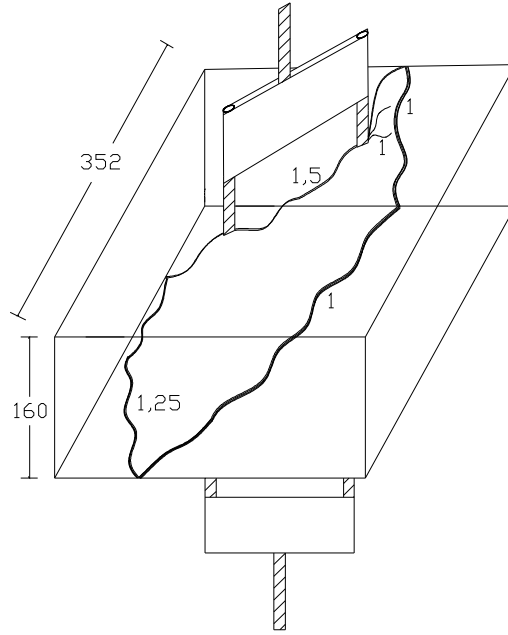
Şekil 4.30. HD2 deney numunesi çatlak genişlikleri

Yüksek dayanımlı HD2 numunesi 129,2 kN'luk yükle 48sn erişildiğinde kaynaktan kırıldı. İkinci denemede 144,2 kN yüklendi 54sn'de kaynaktan kırıldı. Numune hasarlı olduğu için üçüncü yüklemede 72,6 kN üç parçaya ayrıldı. (Şekil 4.30).

HD3 numunesi (Resim 4.14).

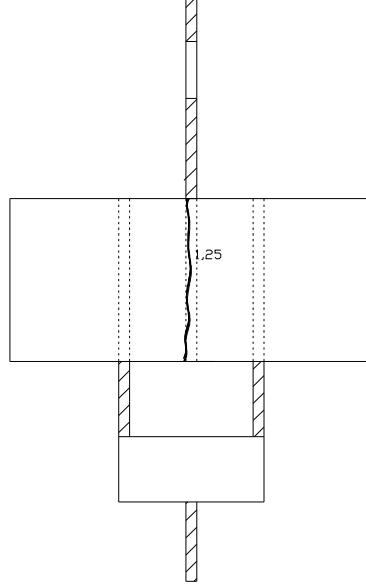


Resim 4.14. HD3 deney numunesi

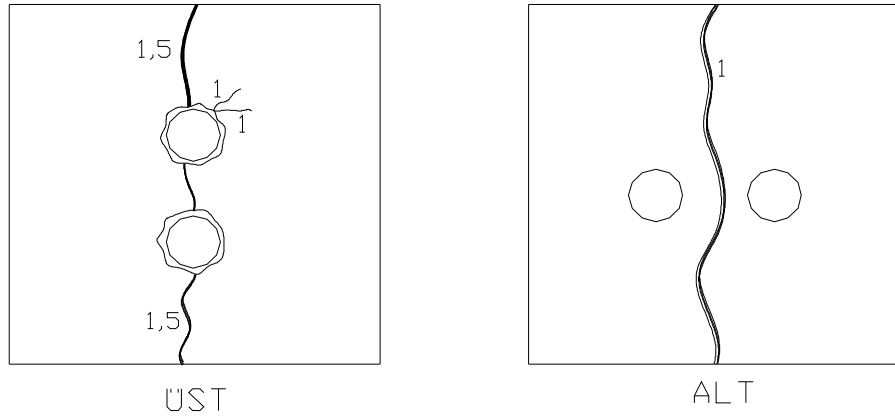


Şekil 4.31. HD3 deney numunesi çatlak genişlikleri

Üst yüzeyde gözle görülür 1,5mm genişliğinde kılcal çatlak bulunmaktadır. Yanlara doğru 1,25mm olmuş ve altta 1mm devam etmiştir (Şekil 4.32 – Şekil 4.33).



Şekil 4.32. HD3 deney numunesinin yandan görünüşü

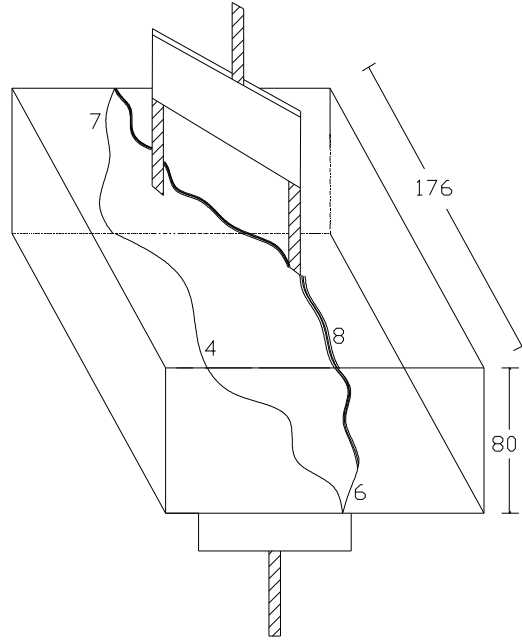


Şekil 4.33. HD3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HD4 numunesi (Resim 4.15).

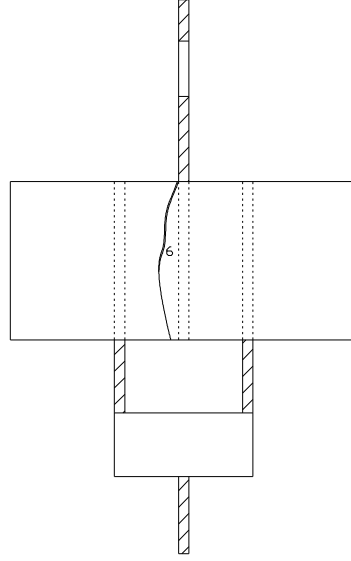


Resim 4.15. HD4 deney numunesi

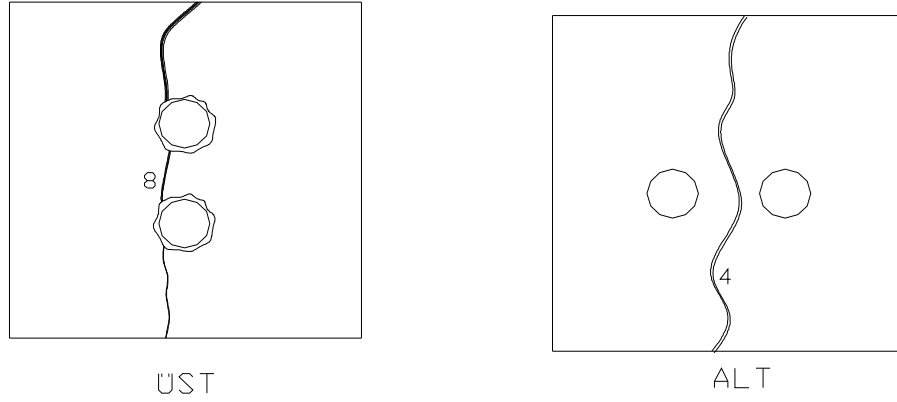


Şekil 4.34. HD4 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 8mm çatlak yanlarda 6mm kalınlığında incelerek numunenin altında 4mm olmaktadır (Şekil 4.35 – Şekil 4.36).



Şekil 4.35. HD4 deney numunesinin yandan görünüşü

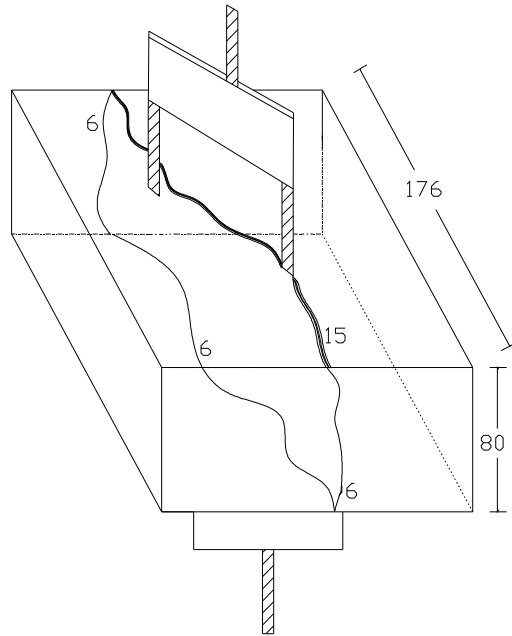


Şekil 4.36. HD4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HD5 numunesi (Resim 4.16).

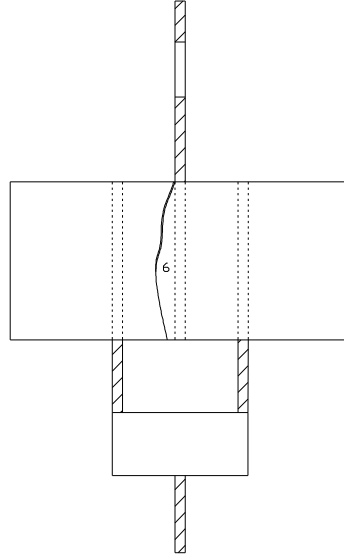


Resim 4.16. HD5 deney numunesi

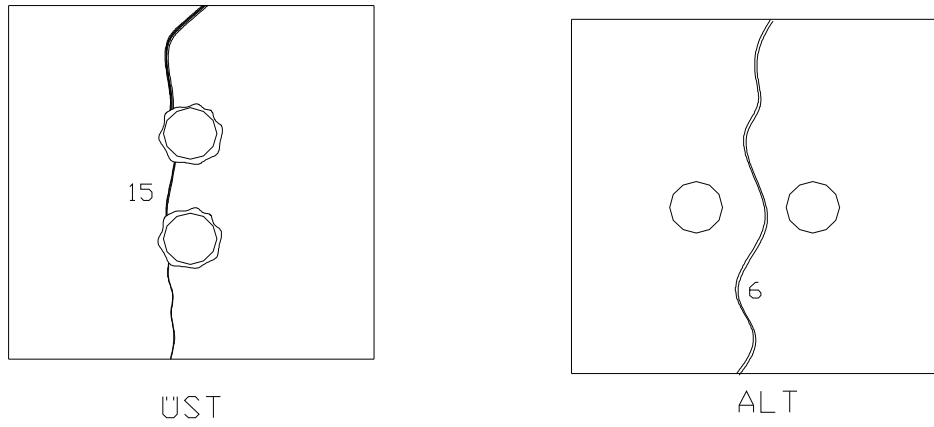


Şekil 4.37. HD5 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde çatlak 15mm genişliğinde olup yanlarda 6mm olarak numunenin 3 yüzeyini bu değerde çevreler üstünde geniş olan çatlak yan yüzeylerde azalır (Şekil 4.38 – Şekil 4.39).



Şekil 4.38. HD5 deney numunesinin yandan görünüşü

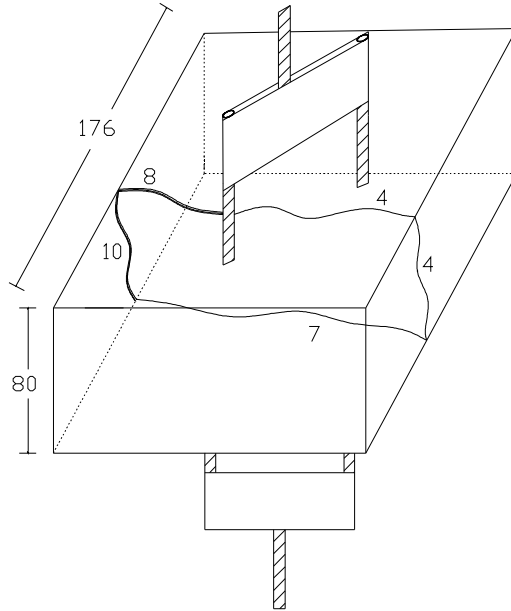


Şekil 4.39. HD5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HD6 numunesi (Resim 4.17).

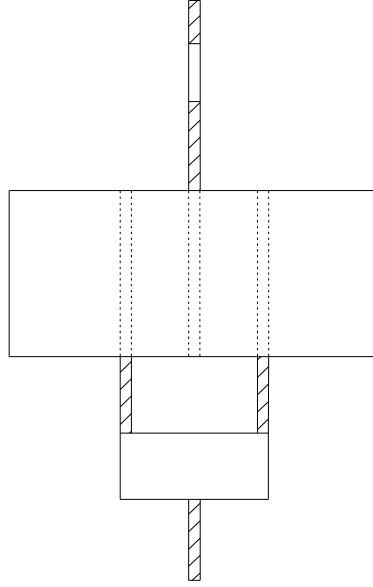


Resim 4.17. HD6 deney numunesi

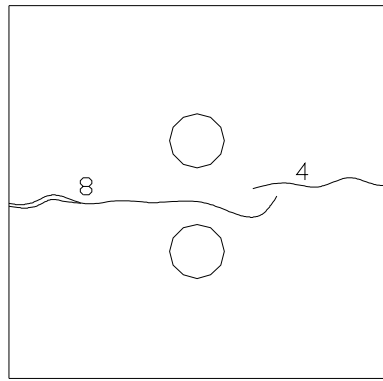


Şekil 4.40. HD6 deney numunesi çatlak genişlikleri

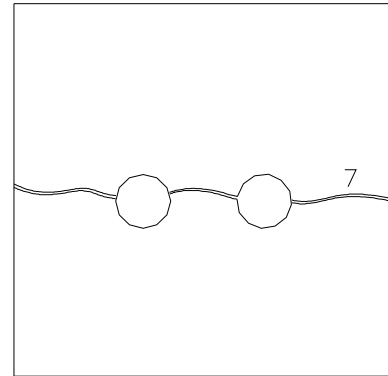
Numunenin üst yüzeyinde 8mm çatlak bulunmaktadır. 4mm çatlak numunenin üzerinden yan yüzeylerde devam edip, altında demir donatının doğrultusunda 7mm olmuştur. 8mm üst yüzeye alt yüzeydeki 7mm'ye ulaşırken yan yüzeyde 10mm çatlak kalınlığını bulmuştur (Şekil 4.41 – Şekil 4.42).



Şekil 4.41. HD6 deney numunesinin yandan görünüşü



ÜST



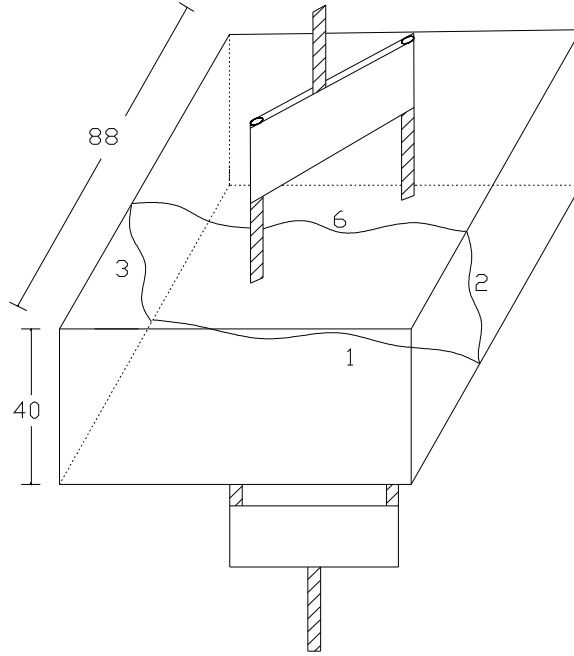
ALT

Şekil 4.42. HD6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HD7 numunesi (Resim 4.18).

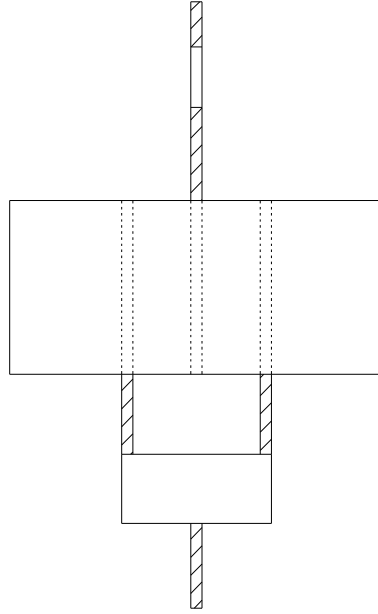


Resim 4.18. HD7 deney numunesi

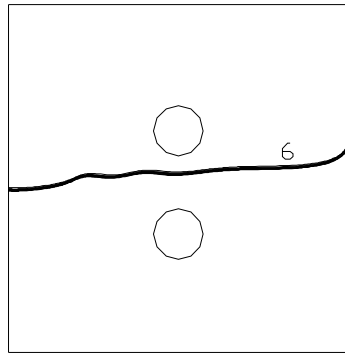


Şekil 4.43. HD7 deney numunesi çatlak genişlikleri

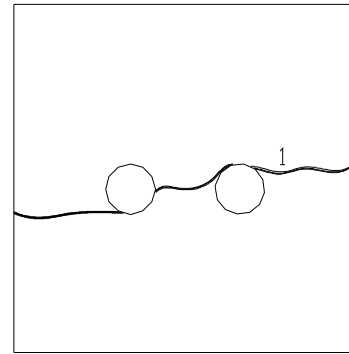
Numunenin üst yüzeyinde 6mm kılcal çatlak numunenin alt yüzeyine doğru azalmıştır (Şekil 4.44 – Şekil 4.45).



Şekil 4.44. HD7 deney numunesinin yandan görünüşü



ÜST



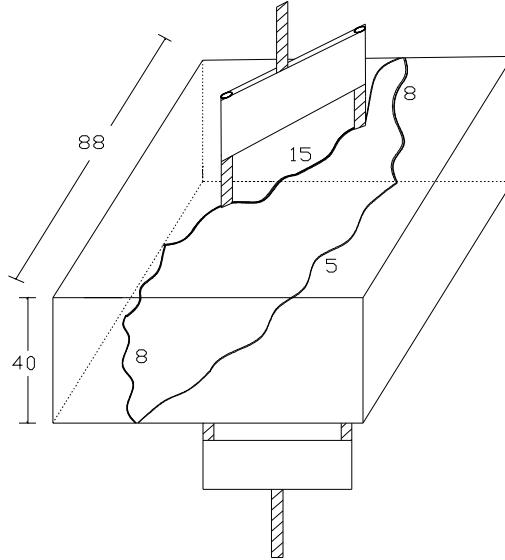
ALT

Şekil 4.45. HD7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HD8 numunesi (Resim 4.19).

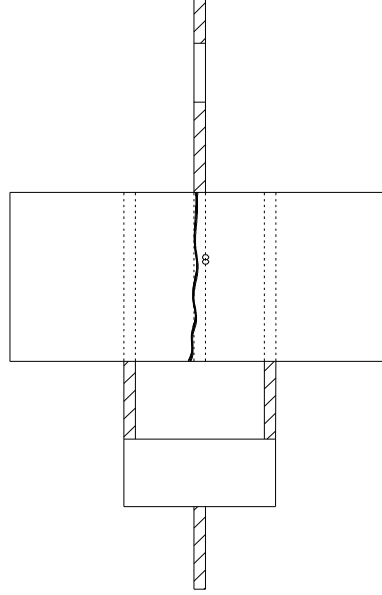


Resim 4.19. HD8 deney numunesi

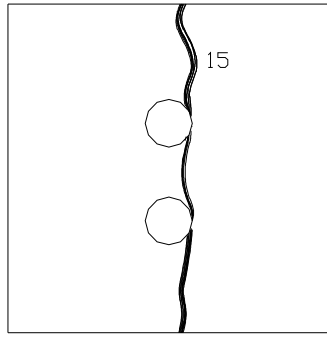


Şekil 4.46. HD8 deney numunesi çatlak genişlikleri

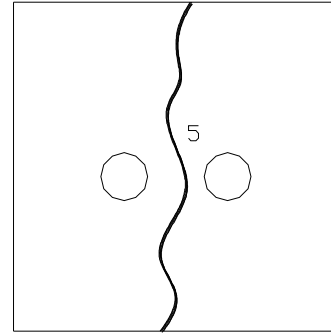
Numunenin üst yüzeyinde 15mm olan geniş çatlak numunenin altında azalır 5mm olur (Şekil 4.47 - Şekil 4.48).



Şekil 4.47. HD8 deney numunesinin yandan görünüşü



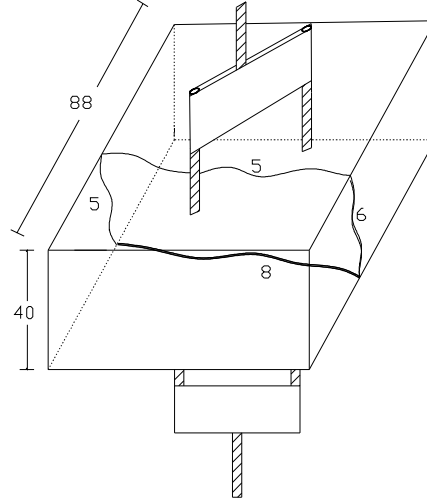
ÜST



ALT

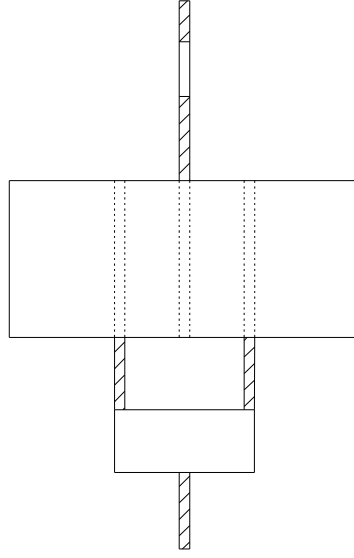
Şekil 4.48. HD8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HD9 numunesi (Şekil 4.49).

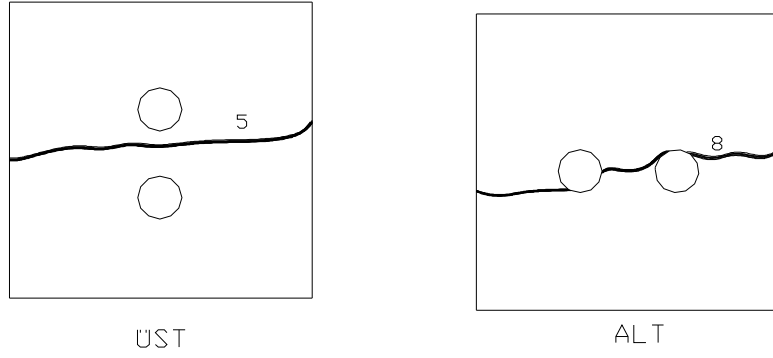


Şekil 4.49. HD9 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 5mm altında 8mm olarak çatlak genişlemiştir (Şekil 4.50 – Şekil 4.51).



Şekil 4.50. HD9 deney numunesinin yandan görünüşü



Şekil 4.51. HD9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND1 numunesi (Resim 4.20 – Şekil 4.21). Numune parçalanıp deney aletine zarar vermemesi için yüklemeyi etkilemeyecek biçimde kelepçe kullanılmıştır.

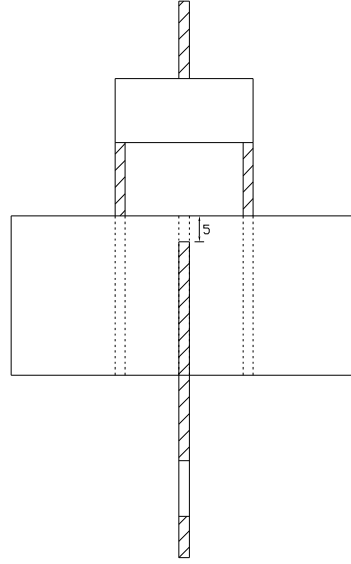


Resim 4.20. ND1 deney numunesi

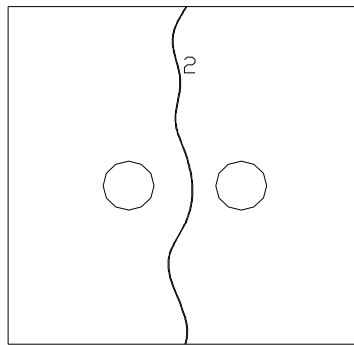


Resim 4.21. ND1 deney numunesi

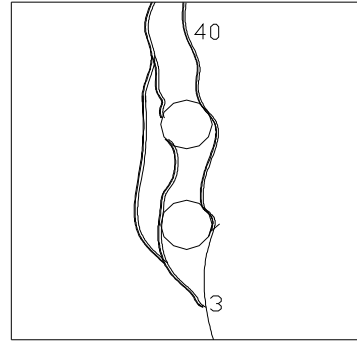
Numunenin altındaki nervürlü çubuk 5mm sıyrılmıştır. Numune alttan 40mm geniş çatlak oluşmuştur. Üzerinde ise 2mm zayıf çatlak oluşmuştur (Şekil 4.53–Şekil 4.54).



Şekil 4.53. ND1 deney numunesinin yandan görünüşü



ÜST



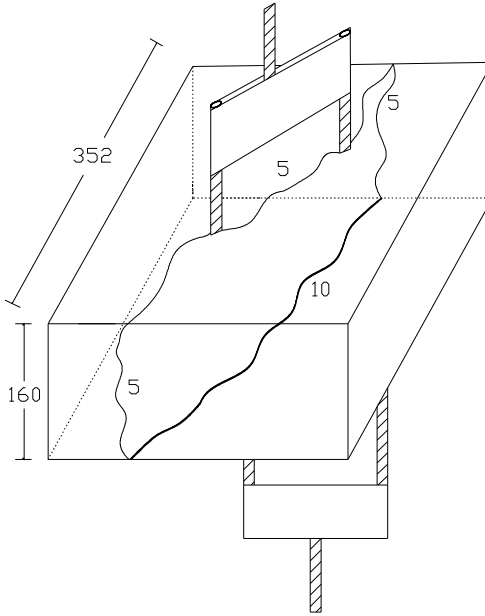
ALT

Şekil 4.54. ND1 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND2 numunesi (Resim 4.22).

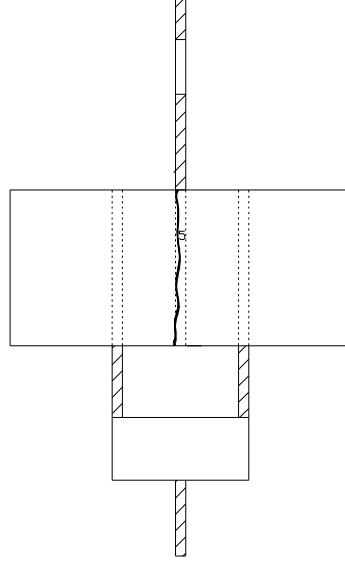


Resim 4.22. ND2 deney numunesi

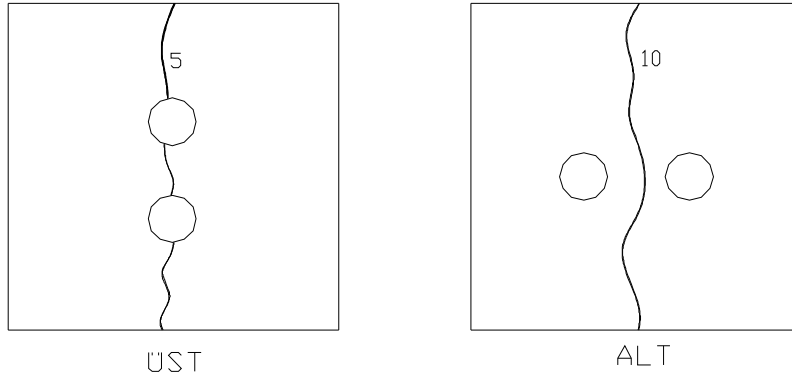


Şekil 4.55. ND2 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinden 5mm olarak yan yüzeyinden devam edip, alt yüzeyinde 10mm çatlak şekli yapı olarak değişmemiştir (Şekil 4.56 – Şekil 4.57).



Şekil 4.56. ND2 deney numunesinin yandan görünüşü

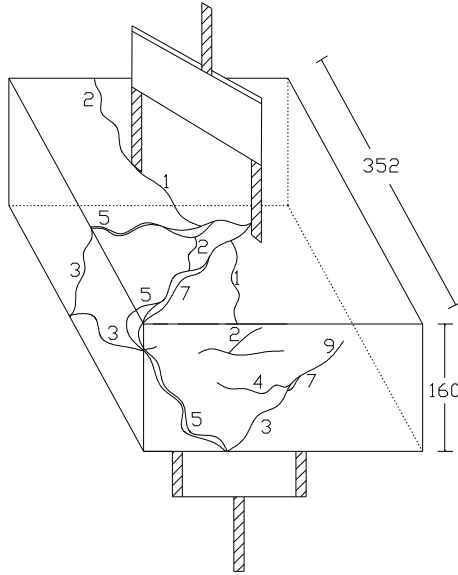


Şekil 4.57. ND2 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND3 numunesi (Resim 4.23).

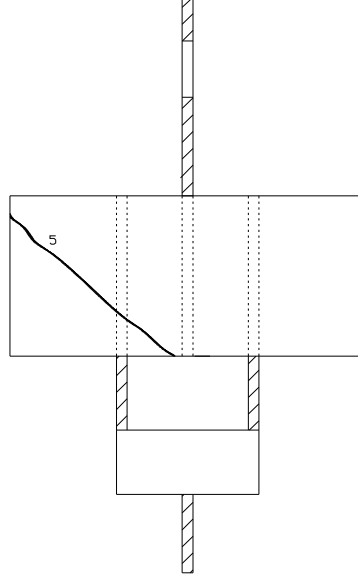


Resim 4.23. ND3 deney numunesi

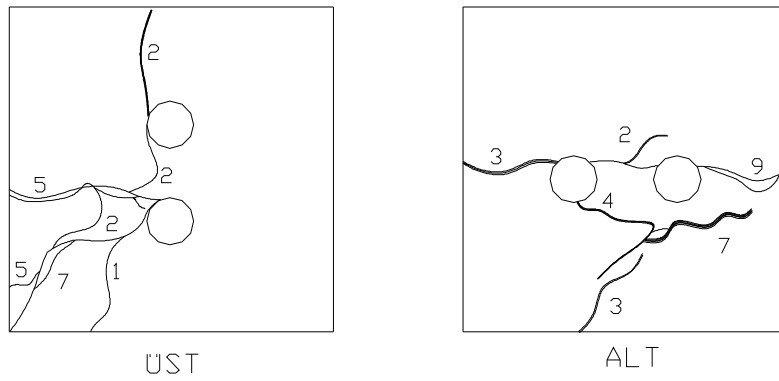


Şekil 4.58. ND3 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numune 2 parçaya ayrılmıştır. Üzerinde çok sayıda çatlak oluşmuştur. Bu çatlaklar demir çubukların betona girdiği noktayı merkez alıp oradan yayılmıştır. Ana çatlak hattı etrafında ince kılcal çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.59 – Şekil 4.60).



Şekil 4.59. ND3 deney numunesinin yandan görünüşü

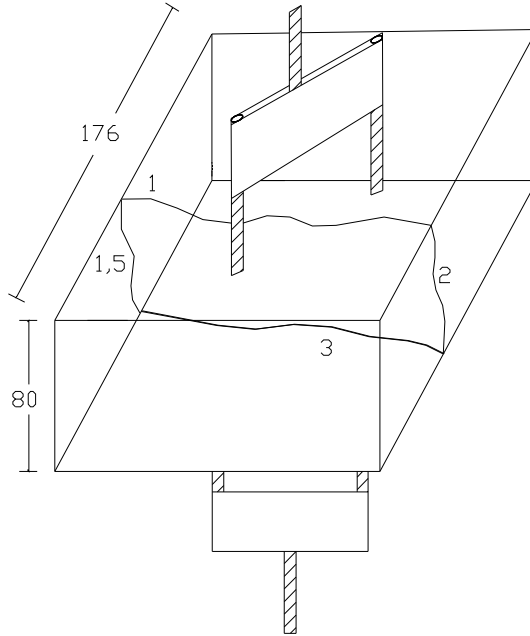


Şekil 4.60. ND3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND4 numunesi (Resim 4.24).

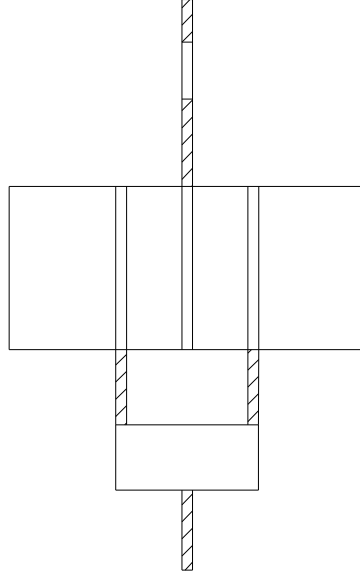


Resim 4.24. ND4 deney numunesi

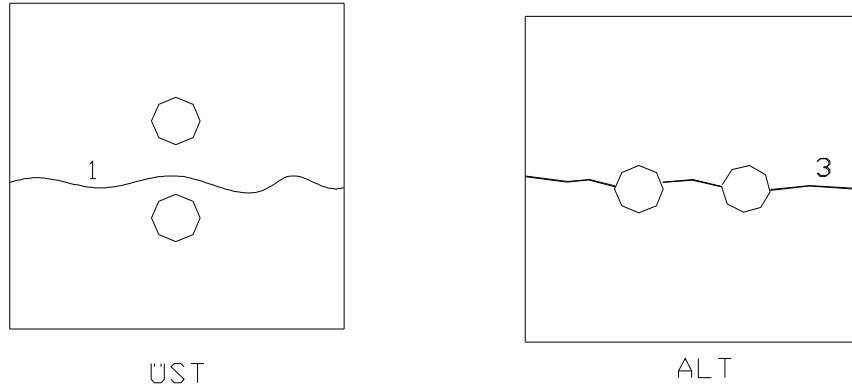


Şekil 4.61. ND4 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 1mm çatlak alt yüzeye doğru 3mm olarak artar (Şekil 4.62 – Şekil 4.63).



Şekil 4.62. ND4 deney numunesinin yandan görünüşü

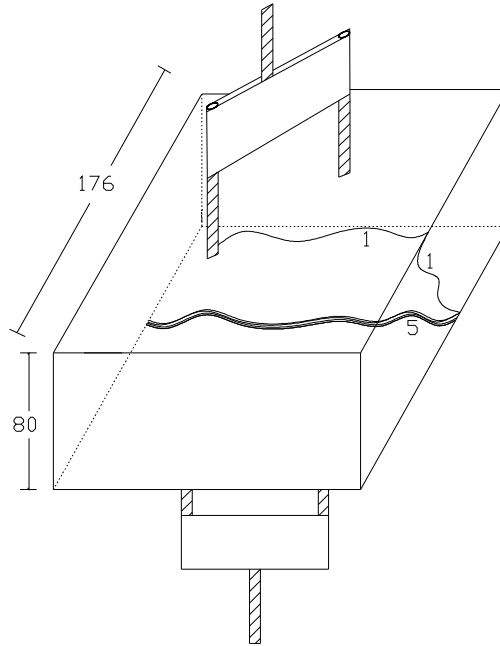


Şekil 4.63. ND4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND5 numunesi (Resim 4.25).

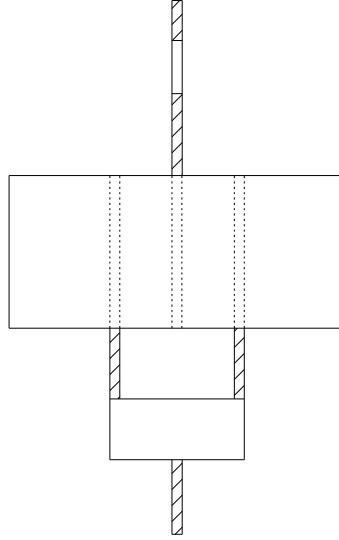


Resim 4.25. ND5 deney numunesi

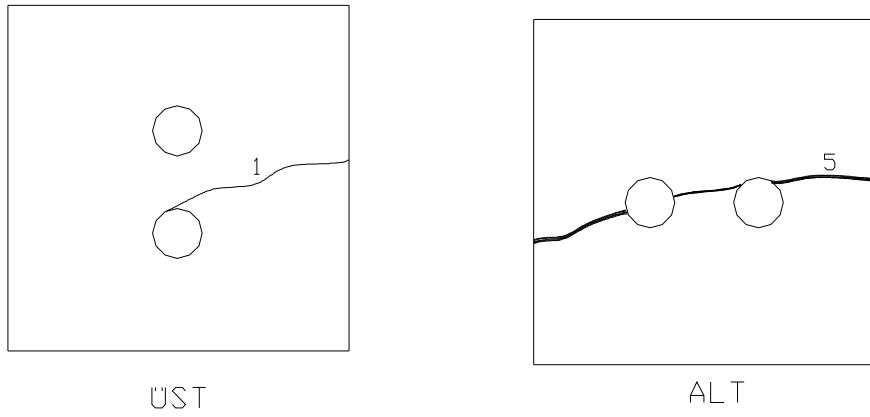


Şekil 4.64. ND5 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 1mm kalınlığında kılcal çatlak donatılardan birinin ayağında son bulur. 1mm'lik kılcal çatlak yan yüzeyden numunenin altına devam eder ve kalınlaşarak 5mm ulaşır (Şekil 4.65 – Şekil 4.66).



Şekil 4.65. ND5 deney numunesinin yandan görünüşü

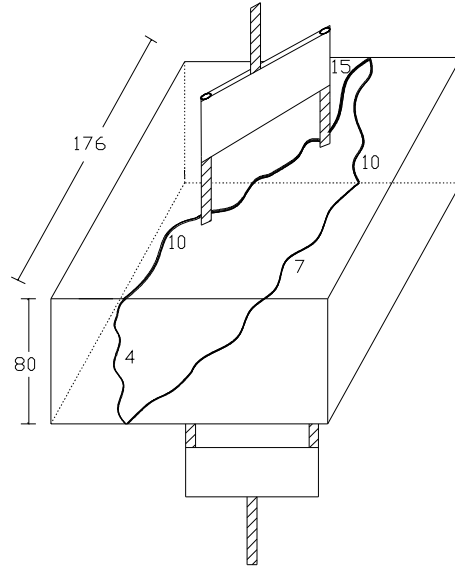


Şekil 4.66. ND5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND6 numunesi (Resim 4.26).

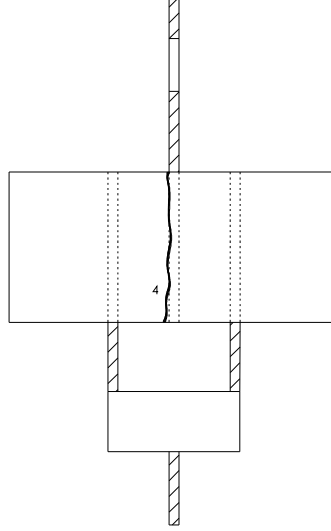


Resim 4.26. ND6 deney numunesi

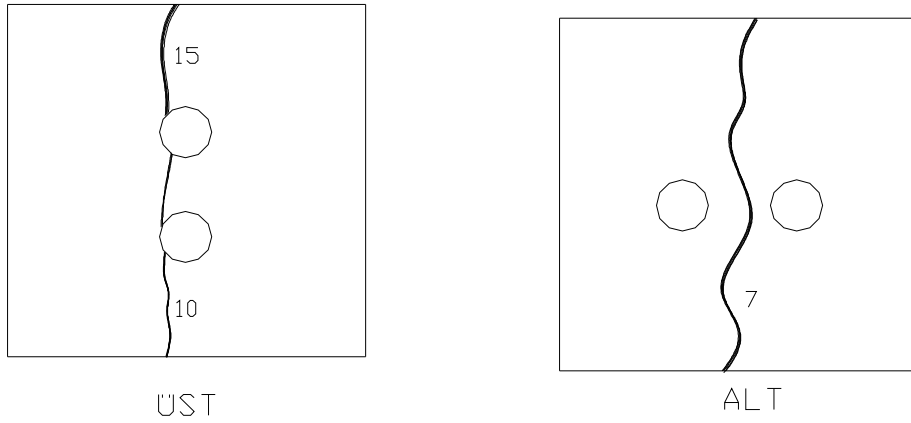


Şekil 4.67. ND6 deney numunesi çatlak genişlikleri

Üst yüzeyinde 10mm ve 15mm geniş çatlak yan yüzeylerde azalma gösterip alt yüzeyde 7mm olarak devam eder (Şekil 4.68 – Şekil 4.69).



Şekil 4.68. ND6 deney numunesinin yandan görünüşü

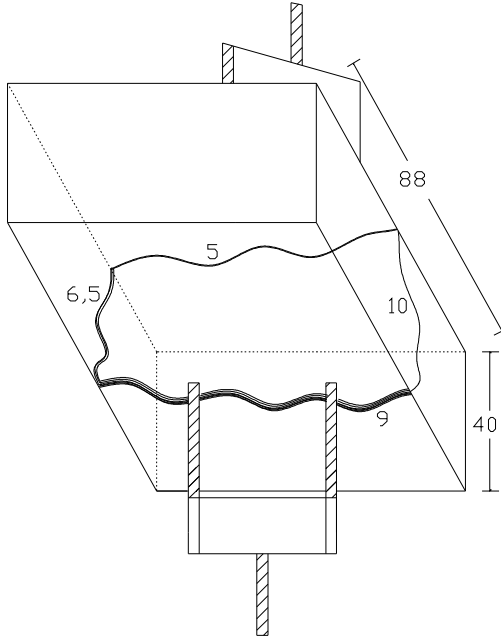


Şekil 4.69. ND6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND7 numunesi (Resim 4.27).

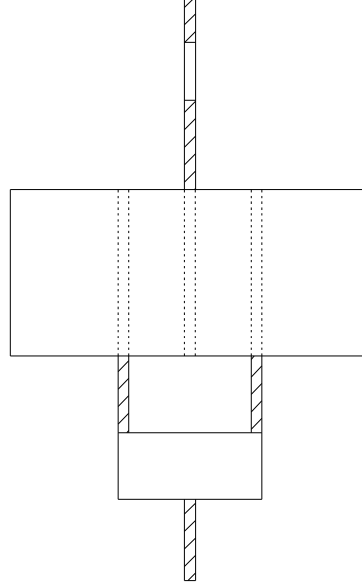


Resim 4.27. ND7 deney numunesi

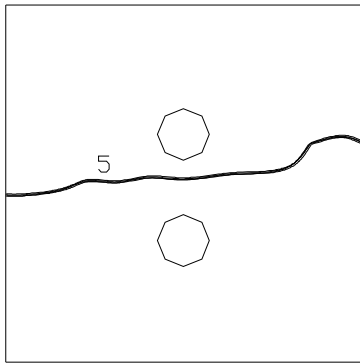


Şekil 4.70. ND7 deney numunesi çatlak genişlikleri

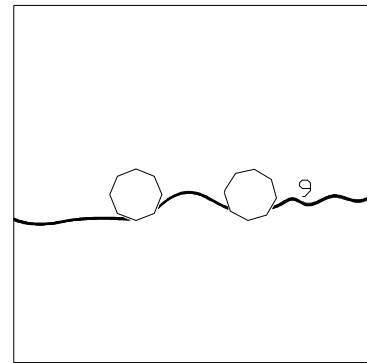
Numunenin üst yüzeyinde 5mm çatlak yan yüzeyde 10mm ve 6,5mm olarak geçer
altta ise 9mm olarak devam eder (Şekil 4.71 – Şekil 4.72).



Şekil 4.71. ND7 deney numunesinin yandan görünüşü



ÜST



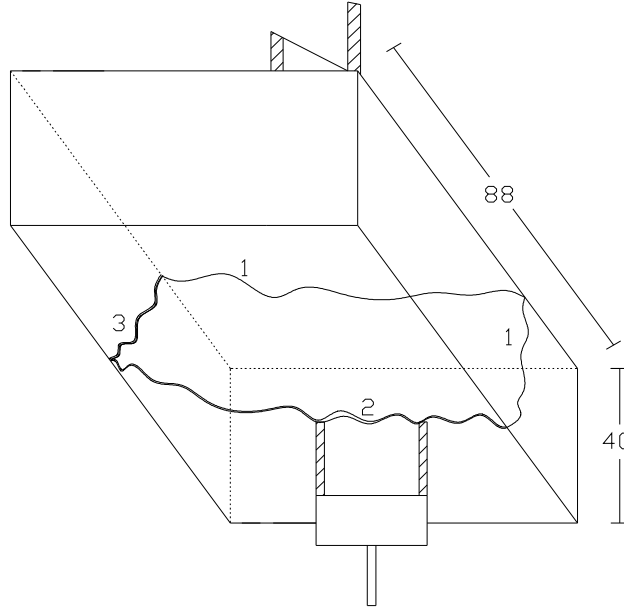
ALT

Şekil 4.72. ND7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND8 numunesi (Resim 4.28).

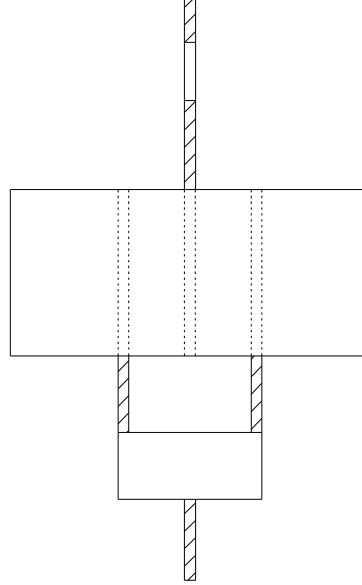


Resim 4.28. ND8 deney numunesi

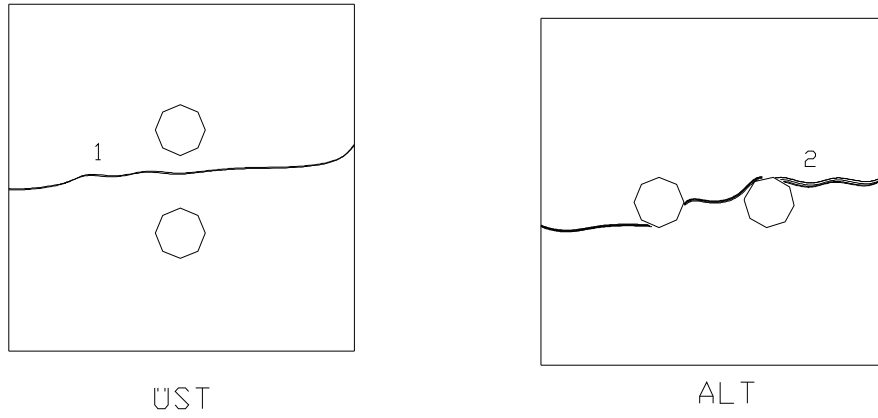


Şekil 4.73. ND8 deney numunesi çatlak genişlikleri

Üst yüzeyde 1mm olan kılcal çatlak yan yüzeyde 3mm ve 1mm olup altta 2mm olarak değişir (Şekil 4.74 – Şekil 4.75).



Şekil 4.74. ND8 deney numunesinin yandan görünüşü

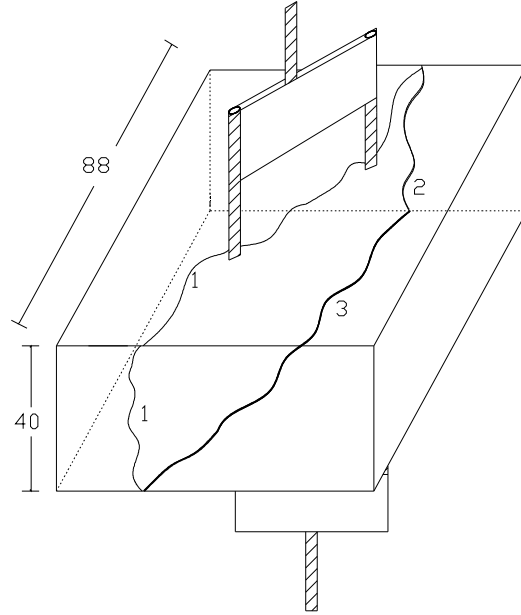


Şekil 4.75. ND8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

ND9 numunesi (Resim 4.29).

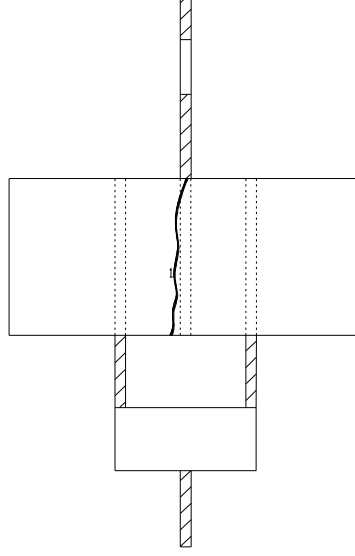


Resim 4.29. ND9 deney numunesi

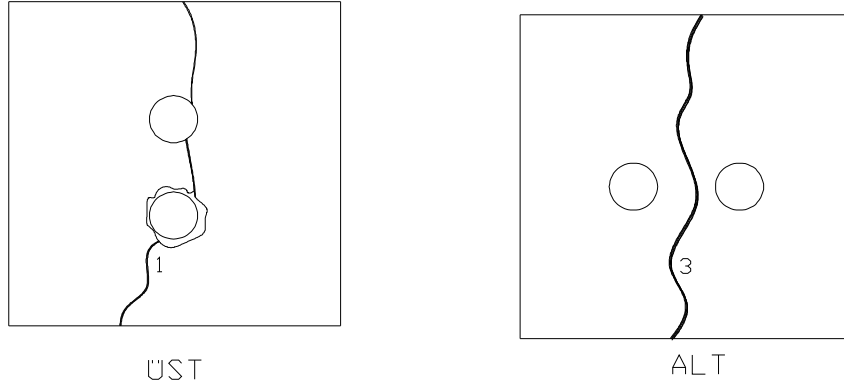


Şekil 4.76. ND9 deney numunesi çatlak genişlikleri

Üst yüzeyde 1mm olan çatlak yan yüzeylerde 1mm ve 2mm. olan altta 3mm. olarak artan kılcal çatlak oluşur (Şekil 4.77 – Şekil 4.78).



Şekil 4.77. ND9 deney numunesinin yandan görünüşü

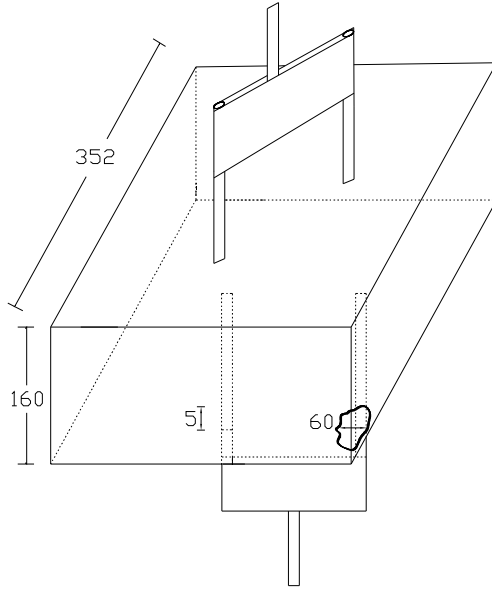


Şekil 4.78. ND9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP1 numunesi (Resim 4.30).

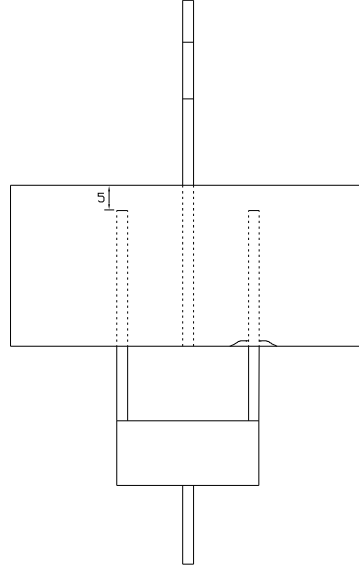


Resim 4.30. HP1 deney numunesi

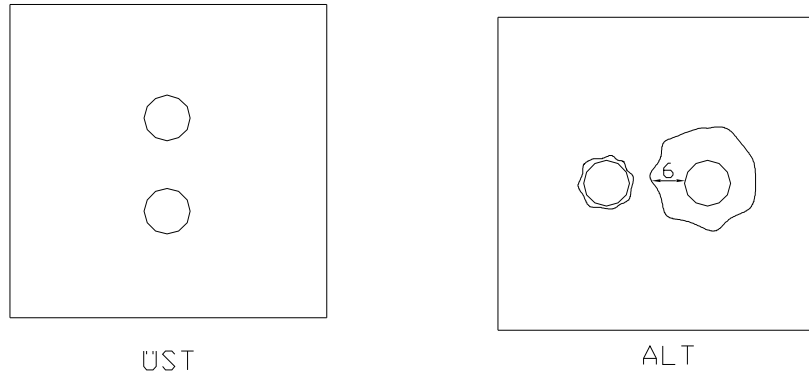


Şekil 4.79. HP1 deney numunesi çatlak genişlikleri

Düz demirli çubukların betondan 5mm sıyrıldığı görülmüştür. Demir donatılardan birinin etrafında 60mm çapında dökülme görülmüştür (Şekil 4.80 – Şekil 4.81).



Şekil 4.80. HP1 deney numunesinin yandan görünüşü

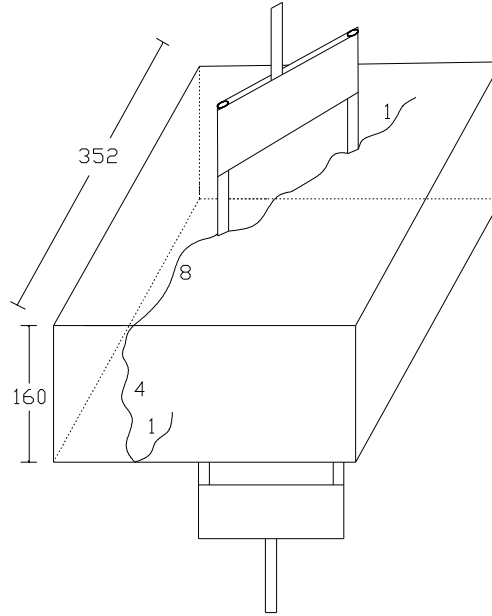


Şekil 4.81. HP1 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP2 numunesi (Resim 4.31).

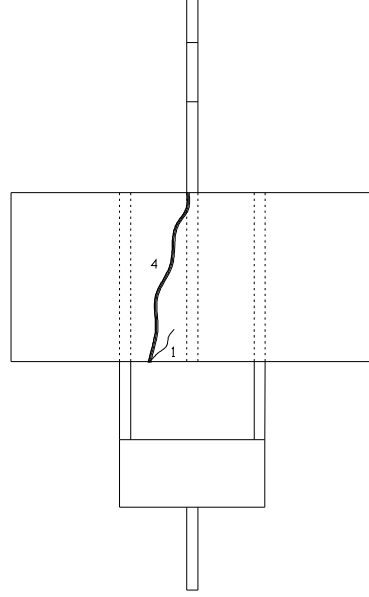


Resim 4.31. HP2 deney numunesi

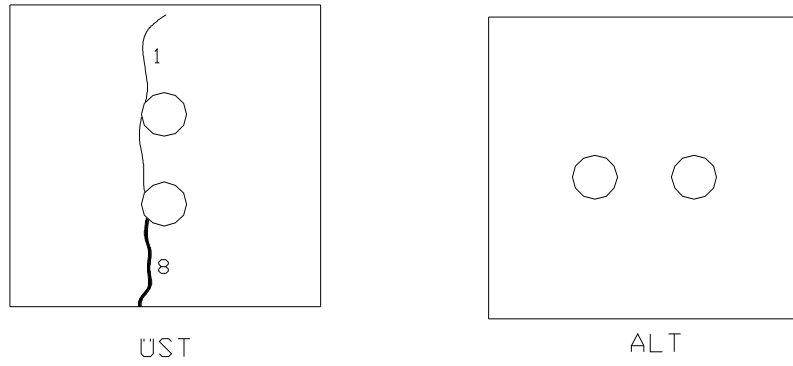


Şekil 4.82. HP2 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 8mm'den 1mm'ye giden belirsiz çatlak bulunmaktadır, yan yüzeyde çatlak kalınlığı 4mm olmuştur (Şekil 4.83 – Şekil 4.84).



Şekil 4.83. HP2 deney numunesinin yandan görünüşü

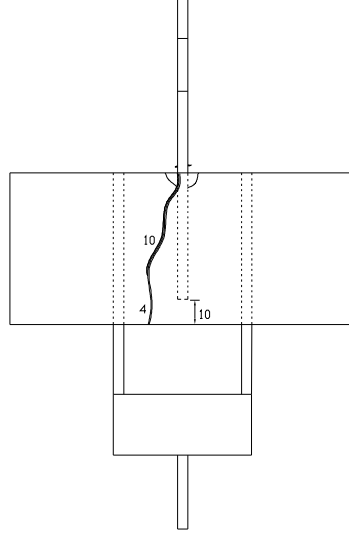


Şekil 4.84. HP2 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

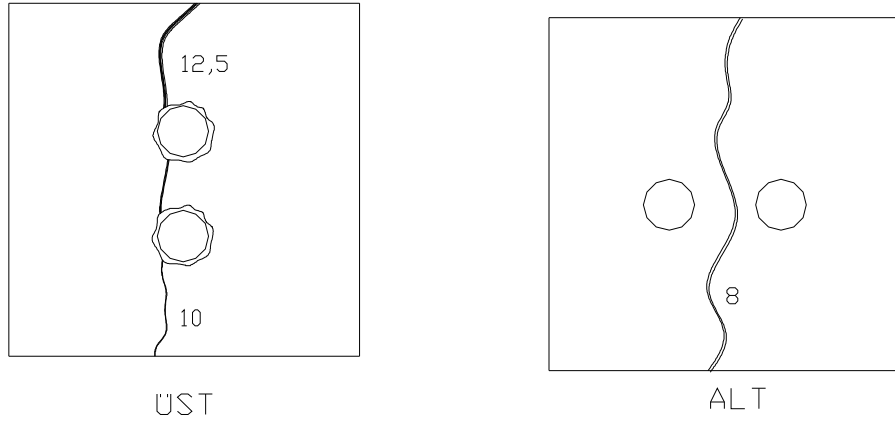
[illegible]

Şekil 4.85. HP3 deney numunesi çatlak genişlikleri

Düz demirli çubuklar numunenin üst yüzeyinde numuneden 10mm sıyrılmıştır. 12,5 mm genişliğinde çatlak oluşmuştur. Yan yüzeylere doğru genişlik azalarak 4 mm'ye altta ise 8mm olmuştur (Şekil 4.86 – Şekil 4.87).



Şekil 4.86. HP3 deney numunesinin yandan görünüşü

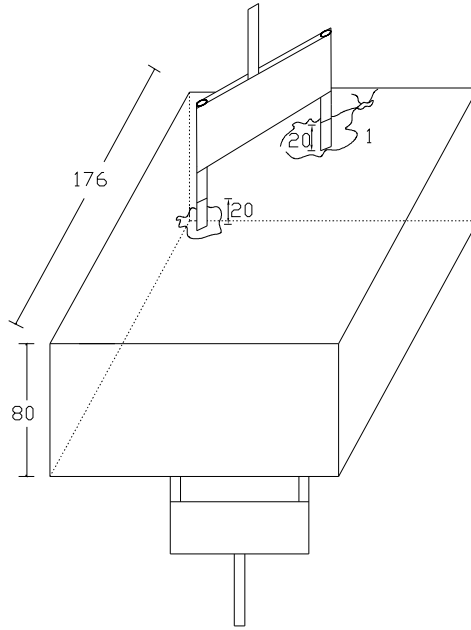


Şekil 4.87. HP3 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP4 numunesi (Resim 4.33).

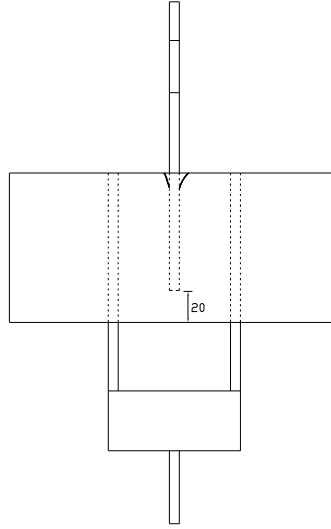


Resim 4.33. HP4 deney numunesi

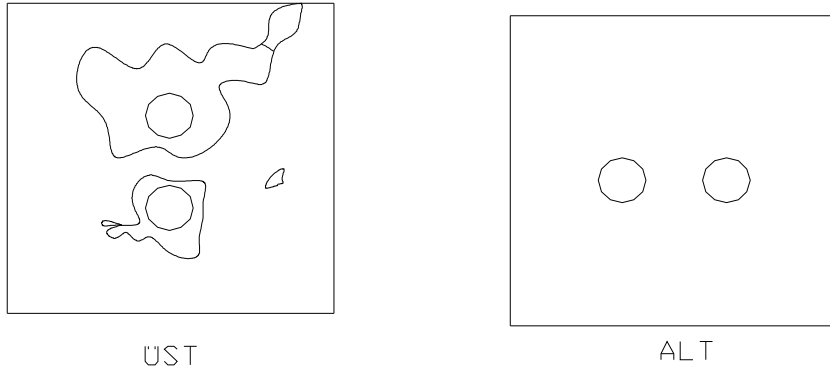


Şekil 4.88. HP4 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde 20mm'lik sıyrılma görülmüştür. Donatının iki demiri de numuneden sıyrılmıştır. Üst yüzeyinde ise dökülme gözlenmiştir (Şekil 4.89 – Şekil 4.90).



Şekil 4.89. HP4 deney numunesinin yandan görünüşü

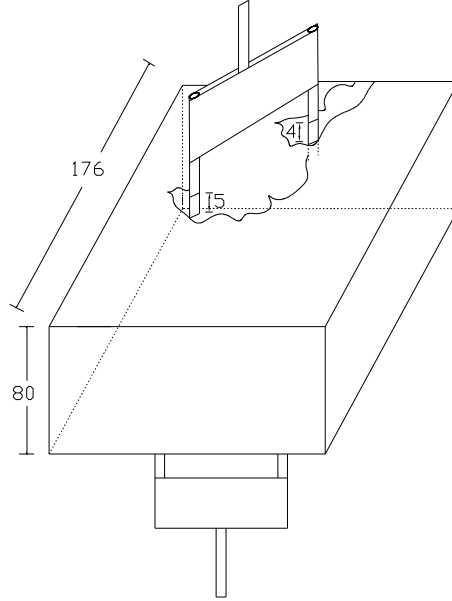


Şekil 4.90. HP4 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP5 numunesi (Resim 4.34).

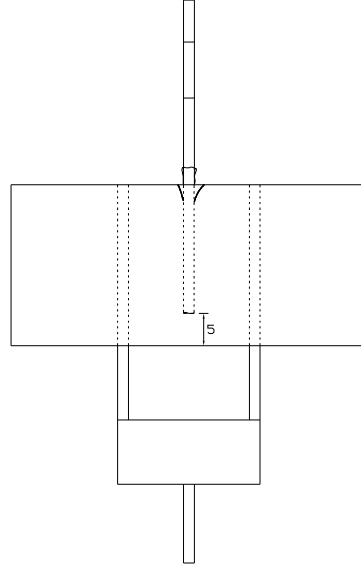


Resim 4.34. HP5 deney numunesi

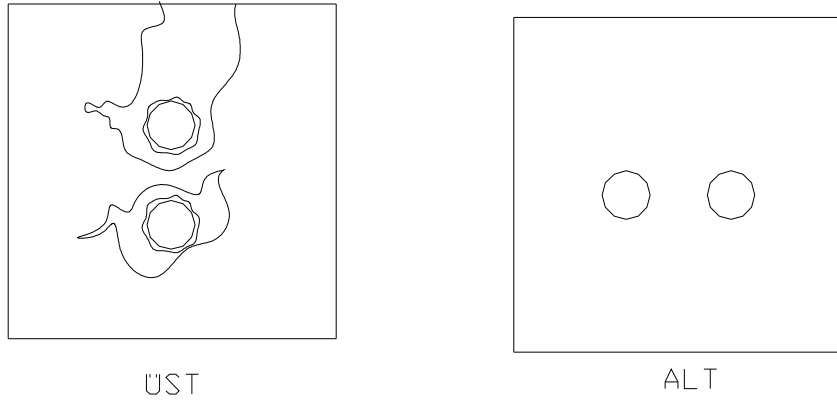


Şekil 4.91. HP5 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst kısmında donatı betonndan bir ayağı 4mm diğeri ise 5mm sıyrılmıştır.
Üst yüzeyinde betonda dökölme olmuştur (Şekil 4.92 – Şekil 4.93).



Şekil 4.92. HP5 deney numunesinin yandan görünüşü

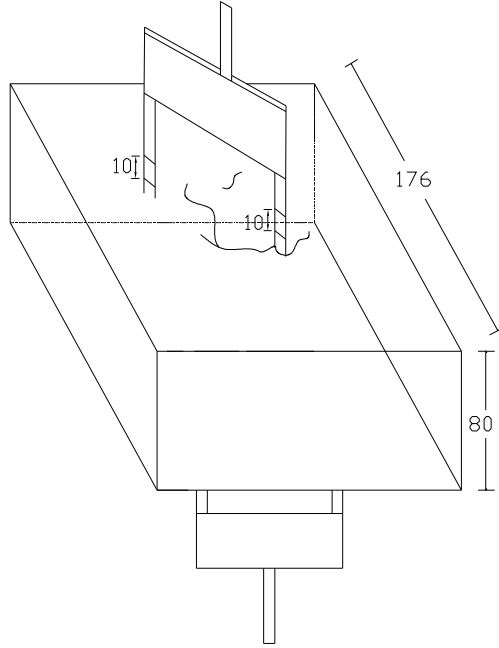


Şekil 4.93. HP5 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP6 numunesi (Resim 4.35).

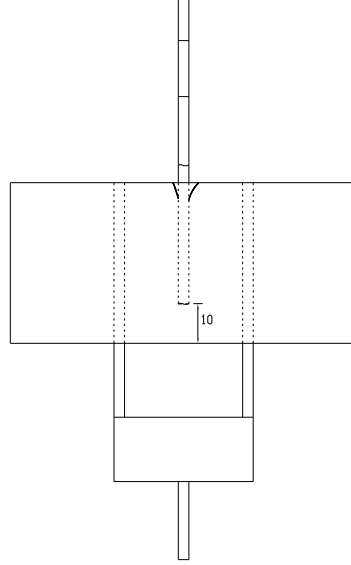


Resim 4.35. HP6 deney numunesi

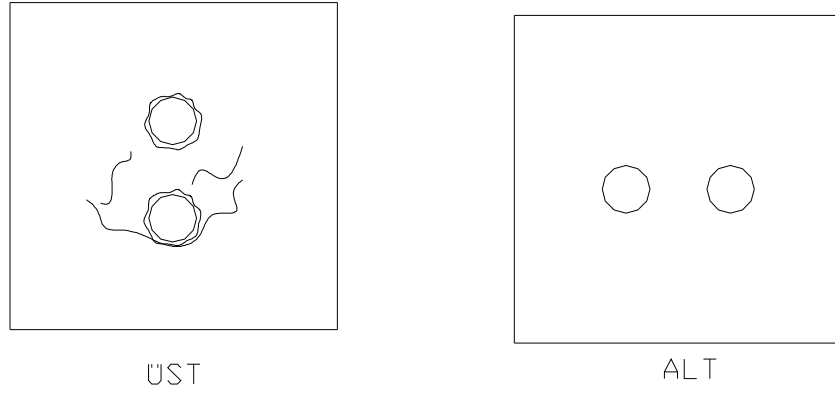


Şekil 4.94. HP6 deney numunesi sıyırılma boyları

Numunenin üst yüzeyinde 10mm sıyrılma görülmüş ve beton kabarmıştır (Şekil 4.95 – Şekil 4.96).



Şekil 4.95. HP6 deney numunesinin yandan görünüşü

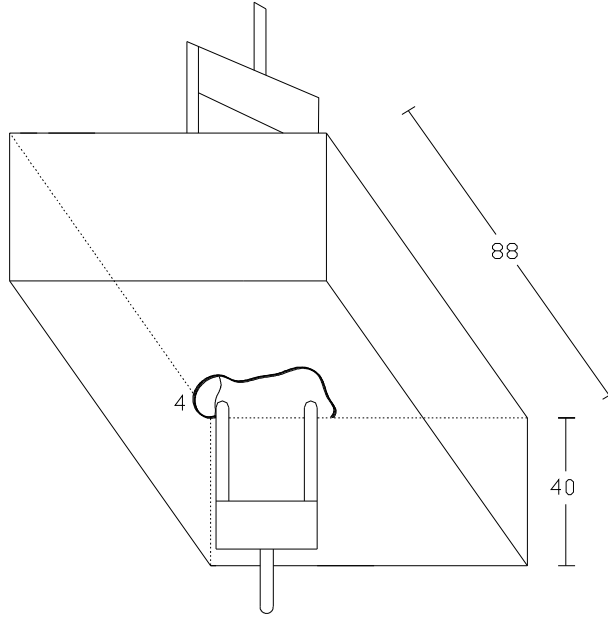


Şekil 4.96. HP6 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP7 numunesi (Resim 4.36).

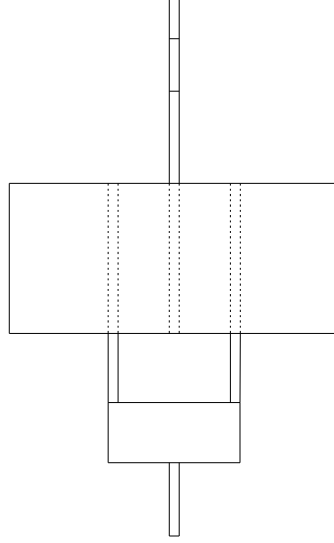


Resim 4.36. HP7 deney numunesi

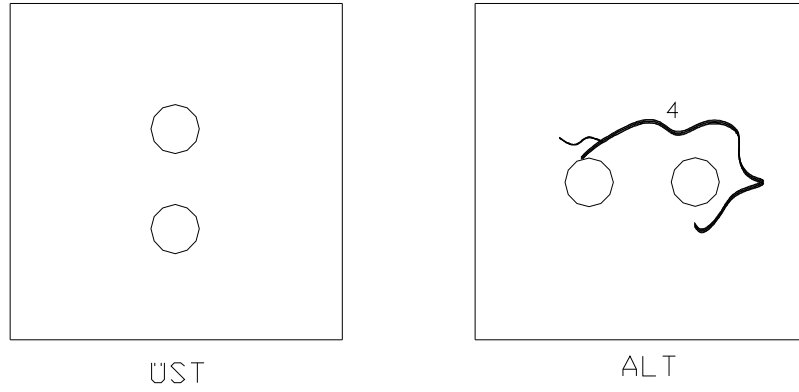


Şekil 4.97. HP7 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin altında donatılar etrafında 4mm'lik kısmi konik çatlak görülmüştür (Şekil 4.98 – Şekil 4.99).



Şekil 4.98. HP7 deney numunesinin yandan görünüşü

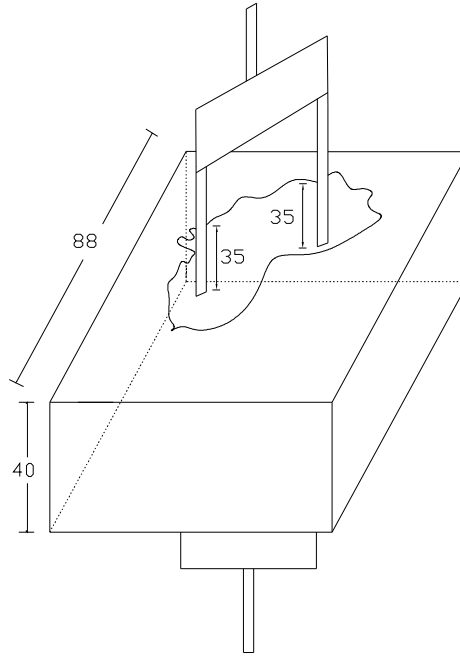


Şekil 4.99. HP7 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP8 numunesi (Resim 4.37).

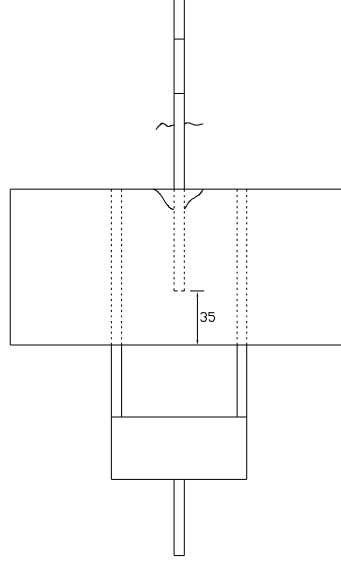


Resim 4.37. HP8 deney numunesi

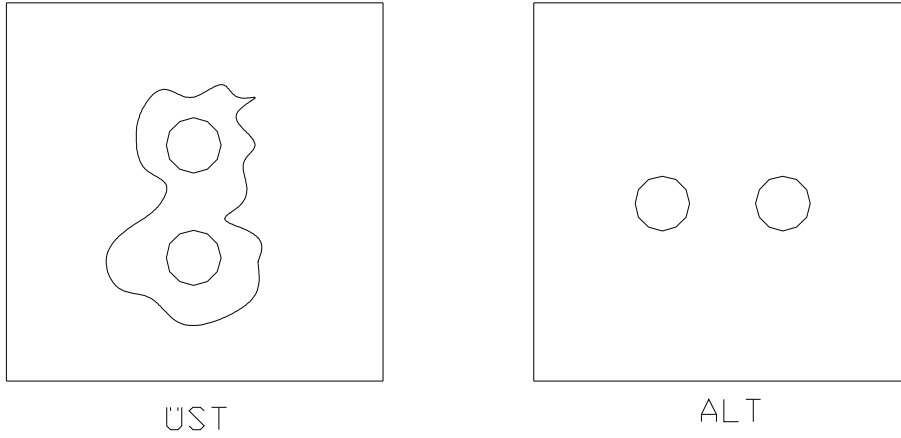


Şekil 4.100. HP8 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyinde donatı 35mm betondan sıyrılmıştır (Şekil 4.101 – Şekil 4.102). Beton donatı ile birlikte kabarmıştır.

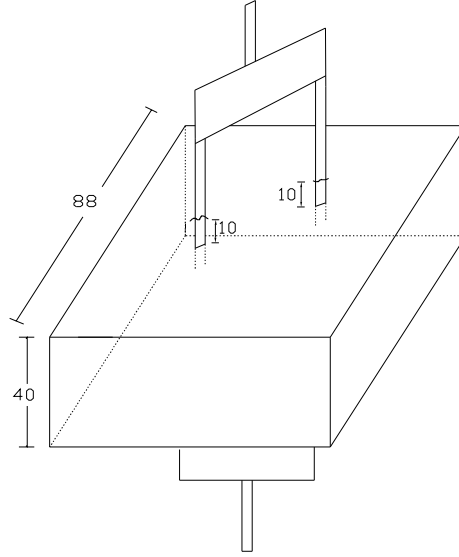


Şekil 4.101. HP8 deney numunesinin yandan görünüşü



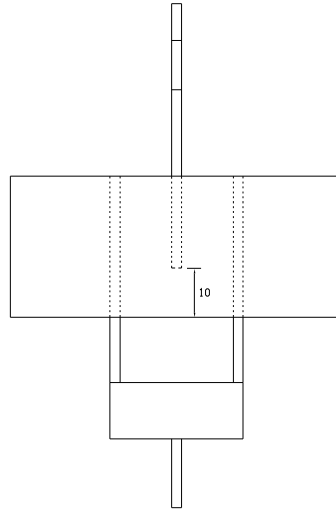
Şekil 4.102. HP8 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

HP9 numunesi (Şekil 4.103).

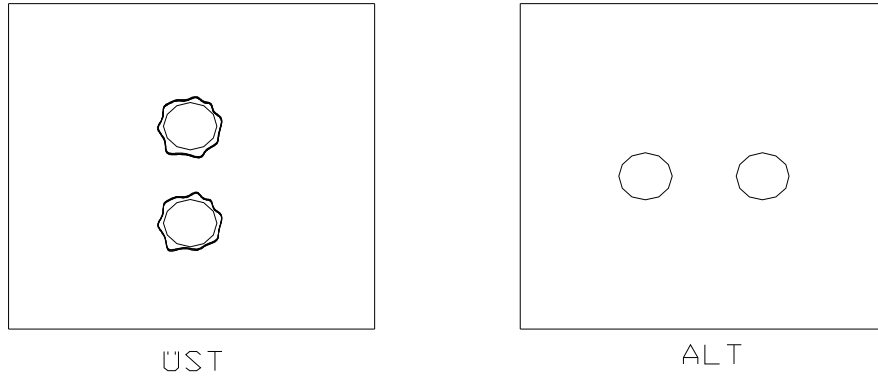


Şekil 4.103. HP9 deney numunesi çatlak genişlikleri

Numunenin üst yüzeyindeki donatılar 10mm betondan sıyrılmıştır (Şekil 4.104 – Şekil 4.105).



Şekil 4.104. HP9 deney numunesinin yandan görünüşü



Şekil 4.105. HP9 deney numunesinin üstten ve alttan görünüşü

Deney numunelerine dayanarak Çizelge 4.5.'deki numuneler arasında kıyaslanma yapılmıştır. Orta boy numunelerde sadece sıyrılma olup, çatlak yoktur. Yüksek dayanımlı beton, düz donatılı deney grubunun büyük çoğunluğunda düz demir kullanıldığı için sıyrılma görülmüştür. Çizelgede de görüldüğü gibi nervürlü donatı kullanımından ötürü hiçbirinde sıyrılma yoktur. Numunelerin boyutunun ve yüklerin büyüklüğünden dolayı 2 numunede kaynaklar kırılmıştır. Elemanlar kaynaklanıp yeniden denenmiştir. Nervürlü demir kullanımı sıyrılmayı engellenmiştir. Tabloda sırasıyla; numunenin adı, donatı çapı (d_b), donatı bindirme boyu (L_d), numunelerin aderans eki bölgelerindeki çekme kuvveti (P_u), numunedeki en büyük çatlak genişliği (W_{max}), numunedeki sıyrılma yüksekliği (Δ) verilmektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Göçme biçimleri ve gözlemler

Numune	d_b	L_d	P_u	w_{max}	Δ	Gözlemler
Adı	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)	(mm)	
NP1	32	160	37	5,0	40	Sıyrılma çatlaklığı görüldü,
NP2	32	160	57,9	0	30	Sıyrılma gözlenir,
NP3	32	160	58	7,0	10	Sıyrılma çatlaklığı görüldü,
NP4	16	80	12,9	3.3	0	Zayıf çatlak gözlendi,
NP5	16	80	16,3	6,0	0	Zayıf çatlak oluştu,
NP6	16	80	23,5	8,0	0	Tüm yüzeylerde çatlak görüldü,

Çizelge 4.5. (Devam) Göçme biçimleri ve gözlemler

Numune	d_b	L_d	P_u	w_{max}	Δ	Gözlemler
Adı	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)	(mm)	
NP9	8	40	3,1	1,0	0	Tek donatının etrafında yerel çatlak oldu,
ND1	32	160	65,3	40	5	Geniş sıyrılma çatlakları görüldü,
ND2	32	160	59,9	10	0	Üst yüzeyde 5mm olan çatlak altta arttı,
ND3	32	160	79,1	9,0	0	Numune 2 parça olup,kılcal çatlaklarla çevrili,
ND4	16	80	19,5	3,0	0	Zayıf çatlak görüldü,
ND5	16	80	30,6	5,0	0	Üst ve yan yüzde 1mm olan çatlak altta arttı,
ND6	16	80	27,7	15	0	Genel olarak numunede geniş çatlak görüldü,
ND7	8	40	6	10	0	Üst yüzeyde 5mm alta doğru 9mm oldu arttı,
ND8	8	40	7,2	3	0	Zayıf çatlak numuneyi çevreledi,
ND9	8	40	4,7	3	0	Üst yüzeyde 1mm alta doğru 3mm kılcal çatlak,
HP1	32	160	154,7	0	5	Sıyrılma ve dökülme görülmüştür,
HP2	32	160	164	8,0	0	Numunenin iki yüzünde kılcal çatlak görüldü,
HP3	32	160	104,1	12,5	10	Sıyrılma çatlakları gözlemlendi,
HP4	16	80	33,7	0	20	Sıyrılma oldu,
HP5	16	80	25	0	40	Sıyrılma oldu,
HP6	16	80	23,9	0	10	Sıyrılma oldu,
HP7	8	40	7,4	4,0	0	Donatılar etrafında yerel konik göçme oldu,
HP8	8	40	9,8	0	35	Numunenin üst yüzeyinde sıyrılma oldu,
HP9	8	40	11	0	10	Numunenin üst yüzeyinde sıyrılma oldu,
HD1	32	160	129,2	0	0	Demir çubuklar birleşim kaynağından kırıldı,
HD2	32	160	144,2	0	0	Demir çubuklar birleşim kaynağından kırıldı,
HD3	32	160	147,2	1,5	0	Zayıf çatlak görüldü,
HD4	16	80	34	8,0	0	Çatlak altta 4mm olarak görüldü,
HD5	16	80	28,4	15	0	Üstte geniş olan çatlak altta azaldı,
HD6	16	80	20,8	10	0	Üstte 4mm olan çatlak altta 7mm olmuştur,
HD7	8	40	9,1	6	0	Üstte 6mm olan çatlak alta doğru azalmıştır,
HD8	8	40	12,4	15	0	Üstte 15mm olan çatlak alta doğru azalmıştır,
HD9	8	40	15,8	8	0	Üstte 5mm olan çatlak alta doğru 3mm artmıştır,

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dört farklı deney grubundan 36 deney numunesinin incelenmesiyle bulunan deney sonuçları aşağıda verilmiştir:

1. Betonarme donatıların aderans ekinde eleman boyutu arttıkça artmıştır.
2. Nervürlü donatılı, büyük boyutlu ve büyük çaplı donatılı numunelerde göçme biçimi daha gevrek, küçük boyutlu, küçük çaplı numunelerde ise daha çok plastik aderans göçmesi görülmüştür. Büyük ve orta boyutlu numunelerde ayrılma göçmesi görülmektedir. Kesme göçmesi ise genelde küçük numunelerde olmaktadır.
3. Çatlak genişlikleri normal dayanımlı beton düz demirde en fazla NP6'da 8mm, ND1 nervürlü demirde 40mm, Yüksek dayanımlı düz demirde HP3'de 12,5mm, nervürlü demirde ise HD5 ve HD8'de 15mm bulunmuştur.
4. En büyük sıyrılma normal dayanımlı düz demirde $\Delta=40\text{mm}$, nervürlü demirde yalnız ND1 numunesinde $\Delta=5\text{mm}$, yüksek dayanımlı düz demirde $\Delta=40\text{mm}$, nervürlü demirde görülmemiştir.
5. Elemanlarda kenetlenme boyu yetersiz seçildiğinden bütün elemanlarda donatı sıyrılarak göçme olmuştur.
6. Sıyrılma en çok normal dayanımlı düz donatılı büyük boy (ND1-40mm) ve yüksek dayanımlı düz donatılı orta boy numunelerde (HP3-12,5mm) görülmüştür. Geri kalan tüm orta boy numunelerde çatlak görülür sıyrılma yoktur.
7. Yüksek ve normal dayanımlı nervürlü donatılı numunelerin hiçbirinde sıyrılma yoktur, tüm sıyrılmalar düz donatılı numunelerde görülmüştür.

8. Çatlakların büyük bir çoğunluğu sürekli olup numunenin dört yüzeyinden geçmiştir.
9. Sıyrılan elemanlarda çatlama az, sıyrılma olmayan elemanlarda yaygın çatlak görülmüştür.

Deneyssel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada karşılaşılan problemler dikkate alınarak gelecekte yapılacak araştırmalar içinaşağıdaki konulara dikkat edilmesi önerilebilir:

- 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 verebileceği göz ardı edilmemelidir.
- 2) Küçük numunelere betonunun yerleştirilmesi sırasında güçlükler yaşanmıştır. Küçük numunelerin yerleştirilmesi sırasında sarsma tablası kullanılmalıdır.
- 3) Kalıplar beton dökülmeden önce muhakkak yağlanmalıdır. Yağlanmazsa kalıpların sökülmesi sırasında betonun yüzeyinin kalıba yapışması sonucu numune zarar görebilir.
- 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 çimento karışımı sızacaktır ki bu da dayanımın azalmasına neden olacaktır.
- 6) Beton karışımı hazırlanırken malzemelerin gerektiği ölçülerde hazırlanmasına ve karışımın tam olarak yapılmasına dikkat edilmelidir. Ölçülerin 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 kalıbının içinde boşluklar kalmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü kalıbın içindeki boşluklar beton 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 beton dayanımı alması için sulu ortamda kalmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Şener, S., “Betonarme Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi”, *İ.M.O. XI.Teknik Kongre*, İstanbul, 117-128 (1991).
2. Şener, S., “Size Effect in the Direct Loading Tests”, *Advances in Civil Engineering First Technical Congress*, Gazimagusa, Norm Cyprus, 720-727 (1993).
3. Şener, S., “Size Effect in Bond Splices Failure Tests”, *First international Confrance on Fracture Mechanics of Concrete Structure*, Breckenridge, U.S.A., 123-134 (1992).
4. Şener, S., “Gevrek Malzeme Göçmesinde Boyut Etkisi”, *VII. Ulusal Mekanik Kongresi*, Antalya, 567-576 (1991).
5. Şener, S., Timur, İ., “Size Effect in Bond Splices Tests Under The indirect Loading”, *Advances in Civil Engineering First Technical Congress*, Gazimagusa, North Cyprus, 728-735 (1993).
6. Şener, S., “Bond Splices Tests Based on Fracture Mechanics”, *The Fourth International Symposium on Brittle Matrix Composites*, 569-576 (1994).
7. Bazant, Z.P., Şener, S., and Prat, P., “Size Effect Tests of Torsional Failure of Plainand Reinforced Concrete Beams”, *RILEM Materials and Structures*, 21:425-430 (1988).
8. Bazant, Z.P., and Şener, S., “Size Effect in Pull-out Tests”, *ACI Materials Journal*, 85(5):347-351 (1988).
9. Chamberlin, S., J., “Spacing of Spliced Bars in Beams “, *ACI Materials Journal* , 54-38 (1954).
10. Walker,W.,T., “ Laboratory Tests of Spaced and Tied Reinforcing Bars“, *ACI Materials Journal* , Denver, 22: 47-27 (1950).
11. Chinn, J., Ferguson, M., P., Thompson, N., J., “Lapped Splices in Reinforced Concrete Beams“, *ACI Materials Journal* , Detroit, 52: 869-887 (1956).
12. Chapman, A., R., Shah, S., P., “Early-Age Bond Strength in Reinforced Concrete“, *ACI Materials Journal* , 84-M44, 156-167 (1987).
13. Orangun, C., O., Jirsa, J., O., Bren, J., E., “A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices “, *ACI Materials Journal* ,74-11, 136-145 (1977).

14. Sagan, V., E., Gergely, P., White, R., N., "Behavior and Design of Noncontact Lap Splices Subjected to Repeated Inelastic Tensile Loading", *ACI Materials Journal*, 62(8): 112-123 (1991).
15. Bazant, Z.P., " Compression Fracture and Size Effect in High-Strength Concretes", *Teknik Proje* , 94-110 (1998).
16. Carpinteri, A., "Decrease of Apparent Tensile and Bending Strength With Specimen Size: Two Different Explanations Based on Fracture Mechanics", *Int. J. Solid Structures* , Great Britain, 25(4): 407- 429 (1989).
17. Bazant, Z.P., Şener. S., Kim, J., "Effect of Cracking on Drying Permability and Diffusivity of Concrete ", *ACI Materials Journal*, 96-108 (1987).
18. Young, J., F., Mindess, S., " Concrete", *Prentice Hall Inc.*, 105-126 (1981).
19. Bazant, Z.P., and Planas, J., "Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials", *CRC*, 616 (1998).
22. Türk Standartları Enstitüsü, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500)", Ankara, 1-47 (2000).
23. Chamberlin, S., J., "Spacing of Spliced Bars in Tension Pull-Out Specimens ", *ACI Materials Journal* , Iowa, 49: 291-274 (1952).
24. Ferguson, P., M., Breen, E., J., Thompson, N., J., "Pullout Tests on High Strength Reinforcing Bars", *ACI Materials Journal* , 62(8): 132-146 (1965).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞENER, H. Duygu
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.04.1981 İstanbul
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (544) 858 31 96
e-mail : duygu_sener@yahoo.com

Eğitim

Derece Tarihi	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Lisans	Çukurova Üniversitesi/Maden Müh. Böl.	2003
Lise	M.E.R.Anadolu Lisesi	1999

Yabancı dil

İngilizce