

BOYUT ETKİSİ ANALİZİNDE GEVREKLİK

134118

ÖZDEN ÖZDEM

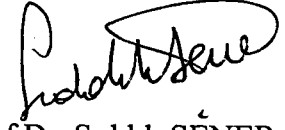
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2003
ANKARA**

134118

Özden ÖZDEM tarafından hazırlanan BOYUT ETKİSİ ANALİZİNDE GEVREKLİK adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof.Dr. Sıddık ŞENER

Tez Yöneticisi

Bu çalışma jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Tekin GÜLTOP



Üye : Prof. Dr. A. Ünal ERDEM

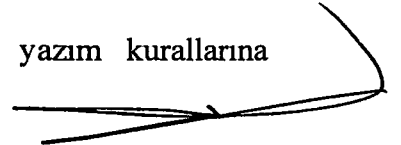


Üye : Prof. Dr. Sıddık ŞENER



Üye :

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



İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
SİMGELERİN LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	2
2.1. Niçin Boyut Etkisi.....	2
2.1.1. Boyut etkisi	2
2.2. Gevrek ve Sünek Kırılma Tanımları	5
2.3. Boyut Etkisi Bağıntısı	6
2.4. Göçme Yükleri	8
2.5. Gevreklik Tanımı	9
3. DENEY ANALİZLERİ	10
3.1. Direkt Çekme Deneyleri	10
3.1.1. Çentikli numunede direkt çekme deneyleri.....	10
3.1.1.1. Çentikli numunede direkt çekmede beton numunelerin analizi.....	11
3.1.1.2. Çentikli numunede direkt çekmede harç numunelerin analizi.....	13
3.1.2. Direkt çekmede aderans deneyleri	16
3.1.2.1. Direkt çekmede aderans deney (nervürlü donatılı) analizi	17
3.1.2.2. Direkt çekmede aderans deney (düz donatılı) analizi	19
3.1.3. Çekip çıkarma deneyleri	22
3.1.3.1. Çekip çıkarma deney analizi.....	23
3.1.4. Direkt çekme deney bulguları.....	25
3.2. Basınç Deneyleri.....	26
3.2.1. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyleri.....	26

3.2.1.1. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi C50.....	27
3.2.1.2. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi C70.....	29
3.2.1.3. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi C80.....	31
3.2.1.4. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi C90.....	33
3.2.2. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyleri	36
3.2.2.1. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç beton numunelerin analizi	37
3.2.2.2. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç harç numunelerin analizi	39
3.2.3. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyleri.....	42
3.2.3.1. Narin donatısız kolonlarda basınç $\lambda=9.7$ numunelerin analizi	44
3.2.3.2. Narin donatısız kolonlarda basınç $\lambda=18$ numunelerin analizi.....	46
3.2.3.3. Narin donatısız kolonlarda basınç $\lambda=34.7$ numunelerin analizi.....	48
3.2.4. Basınç deney bulguları.....	51
3.3. Eğilme Deneyleri	52
3.3.1. Üç nokta yüklemede eğilme deneyleri.....	52
3.3.1.1. Üç nokta yüklemede eğilme deneyi beton numunelerin analizi.....	53
3.3.1.2. Üç nokta yüklemede eğilme deneyi harç numunelerin analizi.....	55
3.3.2. Aşırı Donatılı Kirişlerde Basınç Göçmesi Deneyleri.....	58
3.3.2.1. Uzunlukları değişken tek boyutlu kirişlerin analizi	72
3.3.2.2. Yükseklikleri değişken tek boyutlu kirişlerin analizi.....	74
3.3.2.3. Üç boyutu değişken üç boyutlu kirişlerin analizi.....	76
3.3.2.4. Genişlikleri sabit iki boyutlu kirişlerin analizi.....	78
3.3.2.5. Uzunlukları sabit iki boyutlu kirişlerin analizi.....	80
3.3.3. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta eğilme deneyleri	83
3.3.3.1. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede eğilme deneyi $N_p=0$ numunelerin analizi.....	85
3.3.3.2. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0.26$ numunelerin analizi	87

3.3.3.3. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0.53$ numunelerin analizi.....	93
3.3.3.4. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0.87$ numunelerin analizi.....	99
3.3.4. Eğilme deney bulguları	106
3.4. Kesme Deneyleri.....	107
3.4.1. Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyleri.....	107
3.4.1.1. Betonarme kirişte kesmede kanca ankrajlı numunelerin analizi.....	109
3.4.1.2. Betonarme kirişte kesmede kancasız ankrajlı numunelerin analizi	111
3.4.2. Kesme deney bulguları.....	114
3.5. Burulma Deneyleri	115
3.5.1. Boyuna donatılı, donatısız kirişlerde burulma deneyleri	115
3.5.1.1. Beton kirişlerde burulma deney analizi.....	117
3.5.1.2. Betonarme kirişlerde burulma deney analizi.....	119
3.5.2. Burulma deney bulguları.....	122
4. GEVREKLİK.....	123
4.1. Irwin Gevreklik Tanımı.....	123
4.2. Hillerborg Gevreklik Tanımı.....	123
4.3. Carpinteri Gevreklik Tanımı.....	124
4.4. Bazant Gevreklik Tanımı	124
4.5. Planas Gevreklik Tanımı.....	125
4.6. Önerilen Gevreklik Tanımı	125
4.7. Gevreklik Tanımlarının Karşılaştırılması	127
5. SONUÇLAR	129
KAYNAKLAR.....	130
ÖZGEÇMİŞ	132

BOYUT ETKİSİ ANALİZİNDE GEVREKLİK
(Yüksek Lisans Tezi)

ÖZDEN ÖZDEM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2003

ÖZET

Bu çalışmada, beton yapılar üzerinde yapılmış deneylerde gevreklik tanımı verilmeye çalışılmıştır. Farklı numuneler üzerinde değişik yükleme sonuçlarında yükleme, malzeme için değişen boyut etkisi eğrilerinde, gevreklik doğru eğimleri ile tanımlanmıştır.

Bilim Kodu :6240301

Anahtar Kelimeler :Beton yapılar, göçme, kırılma mekaniği, boyut etkisi, direkt çekme, dolaylı çekme, kesme, burulma, eğilme, dışmerkez basınç, gevreklik.

Sayfa Adedi :132

Tez Yöneticisi :Prof.Dr.Sıddık Şener

BRITTLENESS ON SIZE EFFECT ANALYSIS**(M. Sc. Thesis)****ÖZDEN ÖZDEM****GAZI UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****April 2003****ABSTRACT**

In this study, the size effect test results on concrete structure with brittleness are defined. Different loadings were applied on different test specimens. Size effect curves were given for nonlinear fracture mechanics curves and were defined by the use of brittle line slope.

Science Code :6240301

Key Words :Concrete buildings, failure, fracture mechanics, size effects, direct tension, indirect tension, eccentric compression, bending, shear, torsion, brittleness.

Page Numbers :132**Supervisor :Prof. Dr. Sıddık Şener**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yardımcı olan, çalışmayı yönlendiren, bütün aşamalarını inceleyen sayın hocam Prof.Dr. Sıddık ŞENER'e teşekkür ederim.

Ayrıca yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.M. Çağatay BELGİN'e teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan annem ve babama, her zaman yanımda olan kardeşime teşekkür ederim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çentikli numunede direkt çekmede beton numunelerin lineer korelasyon sonuçları	11
Çizelge 3.2. Çentikli numunede direkt çekmede harç numunelerin lineer korelasyon sonuçları	13
Çizelge 3.3. Direkt çekmede aderans deneyinde nervürlü donatılı numunelerin lineer korelasyon sonuçları	17
Çizelge 3.4. Direkt çekmede aderans deneyi düz donatılı numunelerin lineer korelasyon sonuçları	19
Çizelge 3.5. Çekip çıkarma deney ve lineer korelasyon sonuçları.....	23
Çizelge 3.6. Direkt çekme deney bulguları	25
Çizelge 3.7. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C50) ve lineer korelasyon sonuçları	27
Çizelge 3.8. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C70) ve lineer korelasyon sonuçları	29
Çizelge 3.9. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C80) ve lineer korelasyon sonuçları	31
Çizelge 3.10. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C90) ve lineer korelasyon sonuçları	33
Çizelge 3.11. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deney (beton) ve lineer korelasyon sonuçları	37
Çizelge 3.12. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deney (harç) ve lineer korelasyon sonuçları	39
Çizelge 3.13. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=9.7$) ve lineer korelasyon sonuçları	44
Çizelge 3.14. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=18$) ve lineer korelasyon sonuçları	46
Çizelge 3.15. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=34.7$) ve lineer korelasyon sonuçları	48
Çizelge 3.16. Basınç deneyi bulguları.....	51

Çizelge 3.17. Üç nokta eğilme deneyi (beton) ve lineer korelasyon sonuçları	53
Çizelge 3.18. Üç nokta eğilme deneyi (harç) ve lineer korelasyon sonuçları	55
Çizelge 3.19. Uzunlukları değişken tek boyutlu kirişlerin lineer korelasyon sonuçları.....	72
Çizelge 3.20. Yükseklikleri değişken tek boyutlu kirişlerin korelasyon sonuçları.....	74
Çizelge 3.21. Üç boyutu değişken üç boyutlu kirişlerin lineer korelasyon sonuçları	76
Çizelge 3.22. Genişlikleri sabit iki boyutlu kirişlerin korelasyon sonuçları	78
Çizelge 3.23. Uzunlukları sabit iki boyutlu kirişlerin korelasyon sonuçları.....	80
Çizelge 3.24. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi (Np=0) ve lineer korelasyon sonuçları	85
Çizelge 3.25. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.26 numunelerin çatlama yükünde lineer korelasyon sonuçları	87
Çizelge 3.26. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.26 numunelerin akma yükünde lineer korelasyon sonuçları	89
Çizelge 3.27. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.26 numunelerin kopma yükünde lineer korelasyon sonuçları	91
Çizelge 3.28. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.53 numunelerin çatlama yükünde korelasyon sonuçları	93
Çizelge 3.29. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.53 numunelerin akma yükünde korelasyon sonuçları.....	95
Çizelge 3.30. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.53 numunelerin kopma yükünde lineer korelasyon sonuçları.....	97
Çizelge 3.31. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.87 numunelerin çatlama yükünde lineer korelasyon sonuçları.....	99
Çizelge 3.32. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.87 numunelerin akma yükünde lineer korelasyon sonuçları.....	101
Çizelge 3.33. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde Np=0.87 numunelerin kopma yükünde lineer korelasyon sonuçları.....	103
Çizelge 3.34. Eğilme deney bulguları	106
Çizelge 3.35. Betonarme kirişte kesmede kanca ankrajlı numunelerin lineer korelasyon sonuçları	109
Çizelge 3.36. Betonarme kirişte kesmede kancasız ankrajlı numunelerin lineer korelasyon sonuçları	111
Çizelge 3.37. Kesme deney bulguları.....	114

Çizelge 3.38. Beton kirişte burulma deneyi ve lineer korelasyon sonuçları.....	117
Çizelge 3.39. Betonarme kirişte burulma deneyi ve lineer korelasyon sonuçları	119
Çizelge 3.40. Burulma deney bulguları.....	122
Çizelge 4.1. Gevreklik değerleri.....	126
Çizelge 4.2. Gevreklik sayılarının karşılaştırması	127



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Weibull zincir teorisi, Donell paralel bağ teorisi	3
Şekil 2.2. Boyut etkisi yasası	4
Şekil 2.3. Normal gerilmede gevrek, kesme gerilmesinde sünek kırılma.....	5
Şekil 2.4. Boyut etkisinin grafik gösterimi	7
Şekil 2.5. Gevrekliğin tanımlanması	9
Şekil 3.1. Direkt çekmede numune geometrisi (simetrik çentikli).....	10
Şekil 3.2. Çentikli numunede direkt çekme deneyi beton numunelerin doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	12
Şekil 3.3. Çentikli numunede direkt çekme deneyi harç numunelerin doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	14
Şekil 3.4. Çentikli numunede direkt çekme deneyi harç ve beton numunelerin boyut etkisi.....	15
Şekil 3.5. Direkt çekmede aderans deneyi numune geometrisi.....	16
Şekil 3.6. Direkt çekmede aderans deneyi (nervürlü donatılı) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi.....	18
Şekil 3.7. Direkt çekmede aderans deneyi (düz donatılı) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi.....	20
Şekil 3.8. Direkt çekmede aderans deneyi nervürlü ($\alpha=15.5^\circ$) ve düz donatılı ($\alpha=24.2^\circ$) numunelerin boyut etkisi	21
Şekil 3.9. Çekip çıkarma deneyi numune geometrisi.....	22
Şekil 3.10. Çekip çıkarma deneyi doğrusal korelasyon ve boyut etkisi.....	24
Şekil 3.11. Dış merkez basınçta numune geometrisi ve yükleme şekli	26
Şekil 3.12. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C50) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi.....	28

Şekil 3.13. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C70) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	30
Şekil 3.14. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C80) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	32
Şekil 3.15. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C90) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	34
Şekil 3.16. Simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi C50, C70, C80 ve C90 basınç dayanımlı numunelerin boyut etkisi	35
Şekil 3.17. Simetrik dış merkez basınçta numune geometrisi (simetrik çentikli)	36
Şekil 3.18. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyi (beton) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	38
Şekil 3.19. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyi (harç) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	40
Şekil 3.20. Simetrik dış merkez basınç deneyi beton ve harç numunelerin boyut etkisi	41
Şekil 3.21. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi numune geometrileri ve donatıları	43
Şekil 3.22. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=9.7$) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	45
Şekil 3.23. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=18$) doğrusal korelasyonu	47
Şekil 3.24. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=34.7$) doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	49
Şekil 3.25. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi $\lambda=9.7$ ve $\lambda=34.7$ narinlikli numunelerin boyut etkisi	50
Şekil 3.26. Üç nokta yüklemesinde numune geometrisi ve yükleme durumu	52
Şekil 3.27. Üç nokta yükleme deneyi beton numunelerin doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	54
Şekil 3.28. Üç nokta yükleme deneyi harç numunelerin doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	56

Şekil 3.29. Üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi beton ve harç numunelerin boyut etkisi	57
Şekil 3.30. Uzunlukları değişken tek boyutlu deney kirişleri	59
Şekil 3.31. Yükseklikleri değişken tek boyutlu deney kirişleri.....	60
Şekil 3.32. Üç boyutu değişken üç boyutlu deney kirişleri.....	61
Şekil 3.33. Genişlikleri sabit iki boyutlu deney kirişleri.....	62
Şekil 3.34. Uzunlukları sabit iki boyutlu deney kirişleri	63
Şekil 3.35. Uzunlukları değişken tek boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları	65
Şekil 3.36. Yükseklikleri değişken tek boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları	66
Şekil 3.37. Üç boyutu değişken üç boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları ...	67
Şekil 3.38. Genişlikleri sabit iki boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları	68
Şekil 3.39. Uzunlukları sabit iki boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları	69
Şekil 3.40. Yük yerleşimi ve kesit boyutları	70
Şekil 3.41. Deney düzeneği.....	71
Şekil 3.42. Uzunlukları değişken tek boyutlu kirişlerde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	73
Şekil 3.43. Yükseklikleri değişken tek boyutlu kirişlerde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	75
Şekil 3.44. Üç boyutu değişken üç boyutlu kirişlerde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	77
Şekil 3.45. Genişlikleri sabit iki boyutlu kirişlerde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	79
Şekil 3.46. Uzunlukları sabit iki boyutlu kirişlerde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	81
Şekil 3.47. Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyleri boyut etkileri.....	82

Şekil 3.48. Yüksek dayanımlı betonda üç nokta yüklemesinde numune geometrisi ve yükleme durumu.....	84
Şekil 3.49. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0$ numunelerin çatlama yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	86
Şekil 3.50. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.26$ numunelerin çatlama yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	88
Şekil 3.51. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.26$ numunelerin akma yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	90
Şekil 3.52. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.26$ numunelerin kopma yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	92
Şekil 3.53. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.53$ numunelerin çatlama yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	94
Şekil 3.54. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.53$ numunelerin akma yükünde doğrusal korelasyonu.....	96
Şekil 3.55. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.53$ numunelerin kopma yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	98
Şekil 3.56. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.87$ numunelerin çatlama yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	100
Şekil 3.57. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.87$ numunelerin akma yükünde doğrusal korelasyon ve boyut etkisi	102
Şekil 3.58. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0.87$ numunelerin kopma yükünde doğrusal korelasyonu.....	104
Şekil 3.59. Yüksek mukavemetli betonda eğilme deneyi $N_p=0$, $N_p=0.26$, $N_p=0.53$ ve $N_p=0.87$ boyut etkisi	105

Şekil 3.60. Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyinde numune geometrisi, kesitler, donatı yerleşimi ve yükleme durumu	108
Şekil 3.61. Betonarme kirişte kesme deneyi kanca ankrajlı numunelerin doğrusal korelasyonu ve boyut etkisi	111
Şekil 3.62 Betonarme kirişte kesme deneyi kancasız ankrajlı numunelerin doğrusal korelasyonu ve boyut etkisi	112
Şekil 3.63 Betonarme kirişte kesme deneyi kancalı ve kancasız ankrajlı numunelerin boyut etkisi	113
Şekil 3.64 Burulma deneyinde numune geometrisi ve yükleme durumu.....	116
Şekil 3.65 Beton kirişte burulma deneyi doğrusal korelasyonu ve boyut etkisi	118
Şekil 3.66 Betonarme kirişte burulma deneyi doğrusal korelasyonu ve boyut etkisi.	120
Şekil 3.67 Burulma deneyi beton ve betonarme numunelerin boyut etkisi.....	121

SİMGELERİN LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Lineer Regresyon Doğrusunun Eğimi
A_s	Donatı Kesit Alanı
A_{lig}	Kırılmamış Bölge Kesit Alanı
a_o	Çatlak Uzunluğu
B	Malzeme Özelliğine Bağlı Sabit
b	Kolon, Kiriş Kesit Genişliği
C	Lineer Regresyon Doğrusu Denklemi Sabiti
D	Kolon Kesit Yüksekliği
D_o	Yapı Biçimine Bağlı Sabit Katsayı
d_b	Donatı Çapı
E	Young Modülü
E_s	Çeliğin Elastik Modülü
e	Dış Merkezlik
f_c	Betonun Basınç Dayanımı
f_t	Betonun Çekme Dayanımı
f_y	Çelik Akma Gerilmesi
G_f	Kırılma Enerjisi
I	Eylemsizlik Momenti
i	Eylemsizlik Yarıçapı
K_{ic}	Kırılma Tokluğu
L	Kolon Etkili Boyutu
L_d	Donatı Gömülü Uzunluğu
N_p	Gevreklik Sayısı
P	Kırılma Yüğü

P_u	En Büyük Yük
r	Korelasyon Katsayısı
S	Mesnetler Arası Uzaklık
T	Burulma Momenti
W	Enerji
α	Gevreklik Açısı
β	Gevreklik Sayısı
λ	Narinlik
ρ	Donatı Oranı
ρ_b	Dengeli Donatı Oranı
ϕ	Donatı Çapı
σ_N	Göçme Gerilmesi

1.GİRİŞ

Betonun yarı gevrek bir malzeme olmasından dolayı plastik veya elastik teoriye göre açıklanması doğru değildir. Kırılma mekaniğine göre açıklanmalıdır. Malzeme davranışı gerilme ve uzama cinsinden tam olarak tanımlanamaz. Malzemenin matematik modeli, kırılma enerjisi ve karakteristik uzunluk denilen değişken içermelidir. Geometrik olarak benzer fakat boyut olarak farklı yapılar karşılaştırılırsa kırılma anındaki nominal gerilme σ_N 'in elemanın karakteristik boyutu D ile azaldığı gözlenir.

Boyut etkisi içermeyen mukavemet veya elastisite kuramında göçme gerilmesi şu şekildedir;

$$\sigma_N = \left(\frac{P}{bD} \right) \quad (1.1)$$

P= Maksimum yük, b ve D=kesitin kenar uzunlukları.

Görüldüğü gibi klasik teoride boyut etkisi göz önüne alınmamaktadır. Bu nedenle klasik teorinin geçerli olmadığının kontrol etmenin en iyi yolu boyut etkisi deneylerinin yapılmasıdır.

2.ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu tezde, beton yapılar üzerinde yapılmış deneylerde doğrusal olmayan boyut etkisi eğrilerinde gevreklik tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu deneyler direkt çekme, basınç, kesme, eğilme ve burulma deneyleridir.

2.1.Niçin Boyut Etkisi

Kırılma mekaniğinin betona uygulanmasının en önemli nedeni geometrik olarak benzer, farklı boyutlu elemanlarda göçmedeki gerilmenin boyut arttıkça azalmasıdır. Diğer sebepler ise şunlardır;

- a) Diğer göçme teorileri (elastisite- plastisite) göçmede enerji kullanmazken, boyut etkisi enerji prensibini kullanır.(Çatlak gelişmesi için enerji gereklidir.)
- b) Farklı boyutlu yapıların en büyük yük sonrası davranışlarını (süneklik) mukavemet kriterleri göz önüne almazken , boyut etkisi bu farklılığı göz önüne alır.
- c) Farklı boyutlu geometrik olarak benzer elemanlarda göçme yüklerine karşı gelen nominal gerilme, mukavemet kriterlerine göre değişmezken, gerçek boyut etkisi içeren lineer olmayan kırılma mekaniği ile gösterildiğinde artan boyutla gerilmelerin azaldığı görülür.
- d) Farklı kalınlıklardan (boyut etkisi) ötürü sonuçlarda farklı olabilir. Ancak iki boyutlu elemanlar (kalınlık sabit) test edilirse sonuçlar etkilenmez.
- e) Çeper etkisi ile iri malzeme, çeperden uzağa kaçır ve ince taneli malzemeler yüzeye (çepere) toplanır. İri malzemelerin elemanda uniform dağılmayışı sonuçları etkileyen bir başka boyut etkisidir.

2.1.1.Boyut etkisi

Boyut etkisi uygulamada bir çok şekilde görülür;

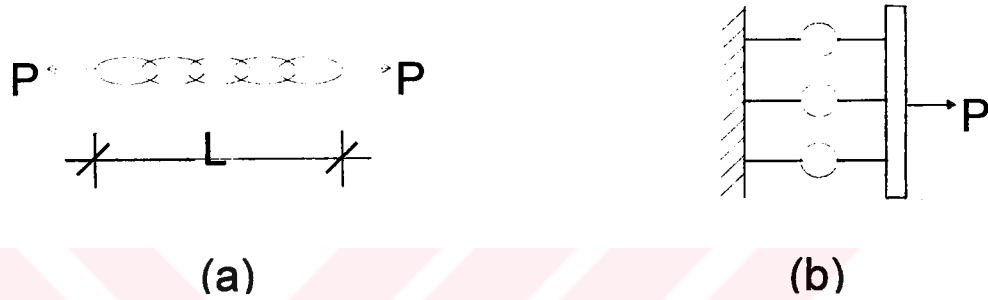
- 1) Geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanların maksimum yüklerinde boyut etkisi görülür.

2) Olasılıksal boyut etkisi (şekil 2.1.);

a) Weibull'un 1938'de önerdiği, yapının zincirin halkaları gibi bir birine seri olarak bağlandığı teorisi.

b) Donell'in 1950'de önerdiği yapının paralel bağlı olduğu teorisi.

Ancak gerçek yapı davranışı seri+paralel dir.



Şekil 2.1. a) Weibull zincir teorisi, b) Donell paralel bağ teorisi.

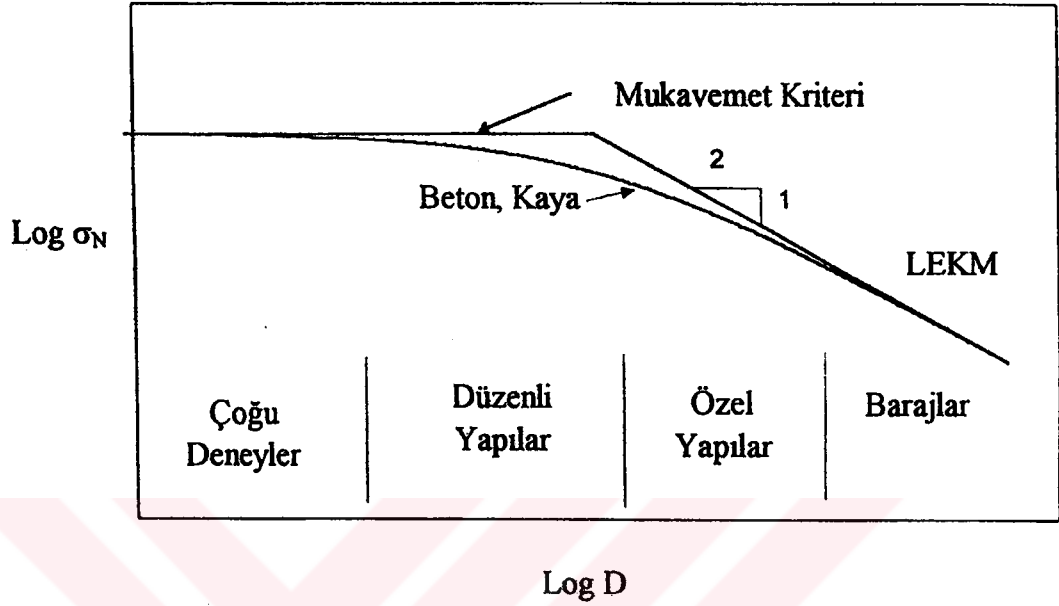
3) En büyük yük sonrası yer değiştirmelerde boyut etkisi görülür.

Boyut etkisi ile iki farklı şekilde karşılaşılır. İlki sonlu eleman analizinde farklı boyut kullanılması sonucu bulunan farklılıklar. İkincisi yapısal boyut etkisidir.

Betonarme yapılar, boyut etkisinin çok fazla olduğu lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) ile boyut etkisinin olmadığı dayanım, elastik teori ya da taşıma gücü kriteri arasındadır. Geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanların göçme yüklerinden elde edilen σ_N (nominal gerilme) değerleri aynı ise boyut etkisi yoktur, σ_N 'in yapı boyutuna bağımlılığı boyut etkisini gösterir.

Elastik analiz ve plastik analize dayanan göçme kriterleri yapı boyutundan bağımsız olduğu için boyut etkisi göstermez ve plastik göçme kriteri $\log \sigma_N$ ile $\log D$ grafiğinde yatay çizgi ile verilir (Şekil 2.2.). Lineer elastik kırılma mekaniğinde şekil 2.2'de gösterildiği gibi $-1/2$ eğimli çizgi ise kuvvetli boyut etkisini gösterir. Yapı çok küçük

ise deney sonuçları yatay doğruya yaklaşır (dayanım kriteri), yapı çok büyük ise eğimli doğruya yaklaşır (LEKM).



Şekil 2.2. Boyut etkisi yasası.

Kırılma mekaniğinin betonarme tasarımda kullanılması önemli yarar sağlayacaktır. Farklı boyutlu yapılar için aynı güvenliğe ulaşmak olası olacaktır. Bunun sonucu yapısal güvenlik ve ekonomiklik artacaktır. Özellikle yüksek dayanımlı betonarme yapılar, lifli beton yapılar, çok büyük boyutlu betonarme yapılar, öngerilmeli yapılar, barajlar, nükleer hücreler gibi güvenliğin çok önemli olduğu yapılar için kırılma mekaniğine göre tasarım çok önemlidir. Boyut etkisinin dayandığı kırılma mekaniği yapıda göçmenin yayılmasını gözönüne alan mukavemete dayanan enerji kriteri kullanan, göçme teorisi olarak tanımlanır.

2.2.Gevrek ve Sünek Kırılma Tanımları

Çatlak tepesinde gerilmenin yığılması sonucu gerilme kritik değere ulaşınca (malzeme çekme dayanımına erişince) çatlak ilerlemeye başlar. Kırılma gerekli enerji miktarına göre sınıflandırılabilir. Gevrek kırılma az enerji gerektirir (Şekil 2.3).

Gevrek kırılmada genelde kırılan parçalar orijinal boyutlarındadır. Kalıcı deformasyon yoktur ve davranış elastiktir. Sünek, kırılmada ise, kırılmadan önce geriye dönmeyen büyük plastik deformasyonlar (akma platosu) oluşur ve parçaların tekrar uyumu imkansızdır. Yüksek ısı ve düşük uzama hızlarında metallerde sünek davranış hakim iken, yüksek uzama hızlarında ve düşük ısılarda aynı malzemede gevreklik hakim olur. Gevrek malzeme göçmesi ani, habersiz, sesli, az enerji yutulması ile mikroskobik ölçekte göçmede aderans kopması gözlenir. Sünek kırılmada aksine kırılma yavaş, büyük enerji yutulması ile, mikroskobik ölçekte düzlemler üzerinde kayarak ısınma ve büyük deformasyonlar gözlenir.



Şekil.2.3. a-)Normal gerilmede gevrek b-)Kesme gerilmesinde sünek kırılma

2.3.Boyut Etkisi Bağıntısı

Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasası

$$\sigma_N = Bf_t(1 + \beta)^{-1/2}, \quad \beta = D/D_0 \text{ ile ifade edilir.} \quad (2.1)$$

B, malzeme dayanımına; D_0 , yapı biçimine bağlı boyutsuz sabitlerdir. f_t , betonun çekme dayanımı; D yapının boyutudur.

Daha genel boyut etkisi yasası;

$$\sigma_N = Bf_t(1 + \beta^r)^{-1/2} \quad (2.2)$$

r =Geometriye bağlıdır ve bütün geometri ve malzemeler için $r \cong 1$ bulunmuştur.

Denklem 2.1 yaklaşık bir ifadedir, fakat boyut değişiminin 1:20'ye kadar aralığı için yeterlidir. Daha büyük boyut değişimi için karmaşık formüller gereklidir. Yukarıdaki 2.1 bağıntısının elde edilmesinde aşağıdaki varsayımlardan yararlanılmıştır.

- 1) Göçme anında çatlak önünde açığa çıkan enerji; çatlak uzunluğuna bağlıdır.
- 2) Açığa çıkan enerji aynı zamanda en büyük agrega boyutu d_a 'nın bir kaç katı olan çatlak bandının genişliğine bağlıdır (deneyler ile kayada $5d_a$, betonda $3d_a$ bulunmuştur).
- 3) Farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapılarda oluşan kırılma yüzeyleri de geometrik olarak benzerdir.
- 4) Yapı göçmesi çatlak başlangıcı ile değil, çatlamış bölgenin tüm yapıya yayılması ile belli olur.

Bazant'ın önerdiği ve boyut etkisi bağıntısı 2.1 için, yapı çok küçük $D \ll D_0$ ise $\beta = D/D_0$ değeri birin yanında çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. $\sigma_N = Bf_t$ olur ki göçme gerilmesi plastik limit analiz ya da emniyet gerilmeleri yöntemiyle temsil edilmektedir. Eğer yapı çok büyük ise ($D \gg D_0$) bir değeri β değeri yanında çok küçük olduğundan ihmal edilir, $\sigma_N = Bf_t\beta^{-1/2}$ olur. Yani göçme gerilmesi doğrusal elastik kırılma mekaniği ile temsil elde edilir. Her iki tarafın logaritması alındığında

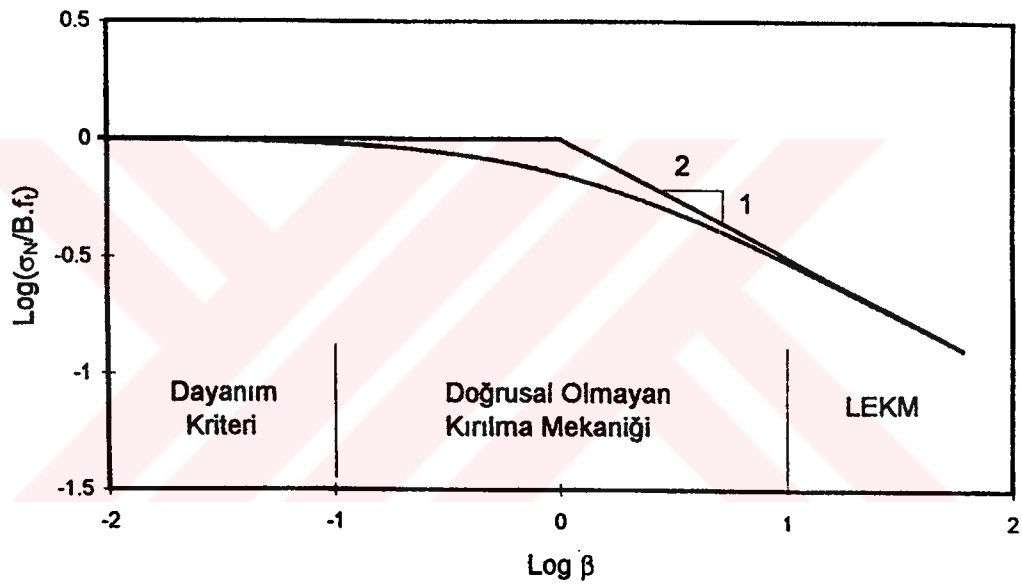
$\log \sigma_N = -1/2 \log \beta + \text{sabit}$ elde edilir. Şekil 2.4'de logaritmik eksen takımında, eğimi -1/2 olan doğru ile gösterilmektedir.

Asimptotun kesim noktası, plastik analiz ve LEKM teorileri eşitlenerek,

$$Bf_t = Bf_i \beta^{-1/2} \quad (2.3)$$

$\beta^{-1/2} = 1$; buradan $\beta=1$, $D=D_0$ bulunur.

β gevreklik sayısıdır. 2.1 denklemi sadece aynı betondan yapılmış ve aynı en büyük agrega boyutunu içeren yapılarda uygulanabilir.



Şekil 2.4 Boyut etkisinin grafik gösterimi

Uygulamada (Şekil 2.4) $\beta < 0.1$ ise plastik limit analiz, $0.1 < \beta < 10$ ise nonlinear kırılma mekaniği, $\beta > 10$ ise lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) geçerlidir. $\beta < 0.1$ için Şekil 2.4'deki yatay doğru denklem 2.1'de plastik limit analiz için %4.7 oranında sapar. $\beta > 10$ için eğimli doğru LEKM'den %4.7 oranla sapar. Eğer sapmaların %2'den az olması istenirse nonlinear bölge için β 'nın değişim aralığı $1/25 < \beta < 25$ arasında olmalıdır. $\beta \ll 0.1$ ya da $\beta \gg 10$ doğrusal olmayan kırılma mekaniği gereksizdir.

2.4. Göçme Yükleri

Boyut etkisi yasasında, beton çekme dayanımı, TSE 500'deki bağıntı

$$f_t = 0.35\sqrt{f_c} \quad (2.4)$$

kullanılabilir.

f_c =Betonun 28 günlük basınç dayanımıdır.

Boyut etkisi lineer regresyon için düzenlenebilir, bu düzenlemeler yapılırsa deney sonuçları,

$$Y=AX+C \quad (2.5)$$

biçiminde doğru ile temsil edilir. 2.1 bağıntısı düzenlenir ise,

$$\frac{(\sqrt{1+\beta})}{B} = \frac{f_t}{\sigma_N} \quad (2.6)$$

her iki tarafın karesi alınırsa,

$$\left(\frac{f_t}{\sigma_N}\right)^2 = \frac{(1+(D/D_0))}{B^2} \quad (2.7)$$

parantezi açarsak,

$$\left(\frac{f_t}{\sigma_N}\right)^2 = \frac{1}{B^2} + \frac{(D/D_0)}{B^2} \quad (2.8)$$

(2.15) denklemi $Y=AX+C$ şeklinde temsil edilebilir.

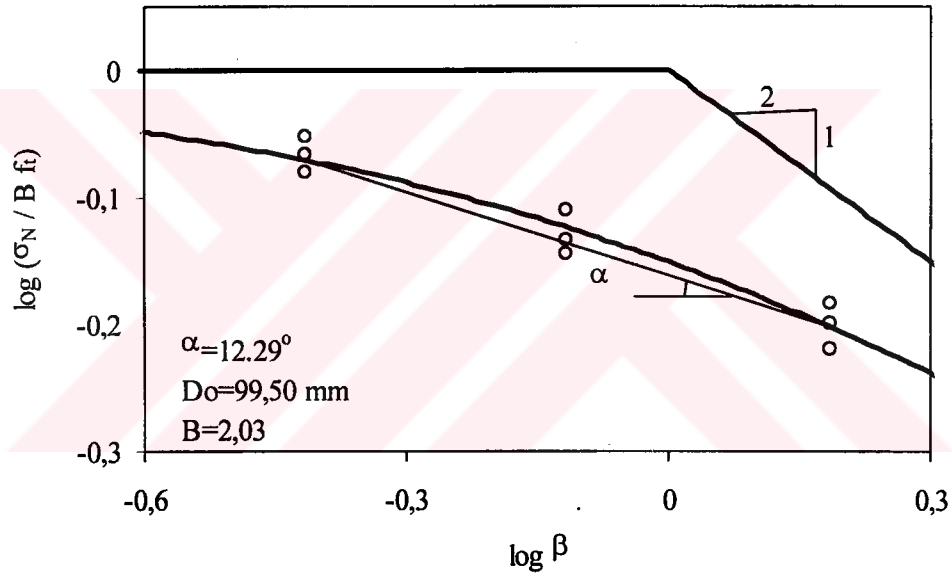
$$Y = \left(\frac{f_t}{\sigma_N}\right)^2, C = \frac{1}{B^2}, A = \frac{C}{D_0}, X=D \quad (2.9)$$

Bu dönüşüm ile X, Y eksen takımında doğru denklemi elde edilir. Gerçekte sonuçlar dağılım göstereceğinden lineer korelasyon ile A doğru eğimi, C doğrunun Y eksenini kestiği nokta olarak bulunur. Bunlardan yararlanarak (2.1) denklemi için gerekli olan B ve D_0 sabitleri bulunur. Böylece boyut etkisi yasasının bilinmeyenleri bulunmuş olur.



2.5. Gevreklik Tanımı

Bu çalışmada dataların başlangıç ve bitim noktalarının doğrusal olmayan kırılma mekaniği eğrisini kestiği yerleri birleştiren doğru eğimi ile gevreklik tanımlanmaya çalışılmıştır. Doğru eğimi α , LEKM'ye ($\alpha=26.56^\circ$) yakın ise gevrek, $\alpha=0^\circ$ 'a yakın ise boyut etkisi yoktur sonucu çıkarılabilir. Değişik yük, malzeme, eleman için boyut etkisi sonuçlarından α değerleri elde edilip karşılaştırılacaktır. Bazı yükleme yada malzeme dayanımları için gevrekliğin az yada çok olmasının bilinmesi güvenli, ekonomik yapı tasarımı için önemlidir.



Şekil 2.5. Gevrekliğin tanımlanması

3. DENEY ANALİZLERİ

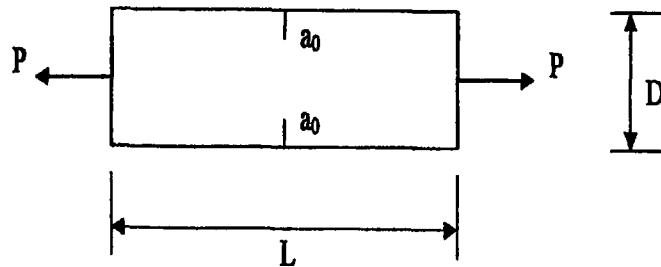
3.1. Direkt Çekme Deneyleri

3.1.1.Çentikli numunede direkt çekme deneyleri

Çentikli numune üzerinde direkt çekme deneyi Bazant ve Pfeiffer [2] tarafından 1987 yılında beton ve harç numuneler üzerinde yapılmıştır. Numunelerin kesiti dikdörtgen şeklinde olup, uzunluğun yüksekliğe oranı (L/ D) 8/3 olarak düzenlenmiştir (Şekil 3.1). Yükseklik değerleri $D=38,1$; $76,2$; $152,4$ mm ve genişlik $b=19$ mm'dir. Sertleşmiş numunede elmas kesici ile çentik açılmış olup çentik derinliği $a_0=D/6$ ve çentik açıklığı 2,5 mm'dir. Beton ve harç numunelerin karışım oranı ağırlıkça her ikisi için aynıdır. Karışım oranı çimento/kum/çakıl =1/2/2 ve su/çimento=0,6 olarak düzenlenmiştir. En büyük dane çapı beton için $d_{max}=12,7$ mm ve harç için $d_{max}=4,83$ mm'dir. Beton basınç dayanımını belirlemek için her karışımdan silindir numuneleri alınıp (çap=76,2 mm, yükseklik=152,4 mm) 28 günlük kür bakımından sonra ortalama basınç dayanımı beton için $f_c=33,5$ MPa ve harç için $f_c=47,6$ MPa olarak elde edilmiştir. Nominal çekme dayanımı elastisite teorisine göre aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\sigma_N = \frac{P_u}{(D - 2a_0)b} \quad (3.1)$$

P_u : maksimum yük, b : numune genişliği, D : numune yüksekliği, a_0 : çentik derinliği

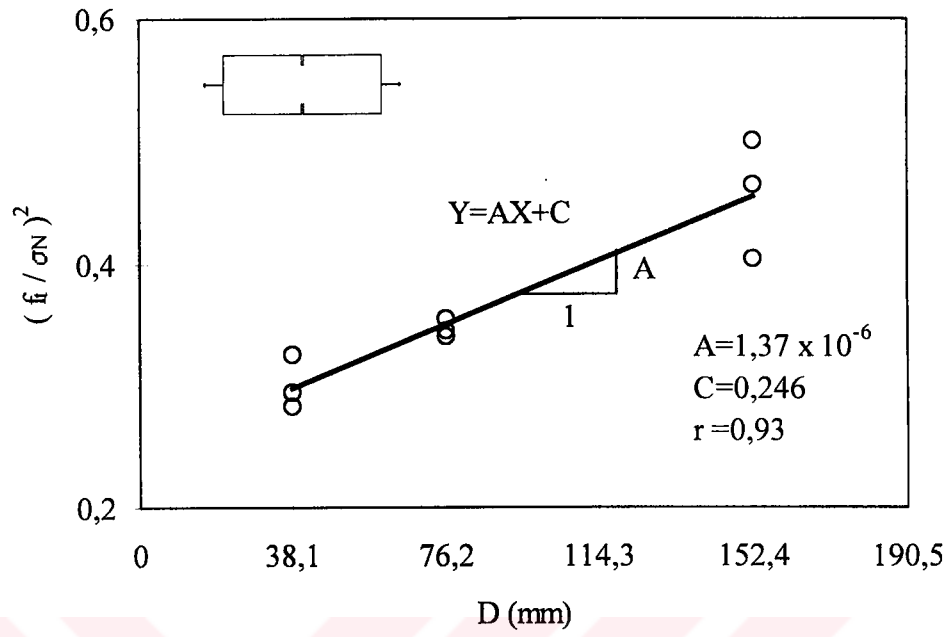


Şekil 3.1. Direkt çekmede numune geometrisi (simetrik çentikli)

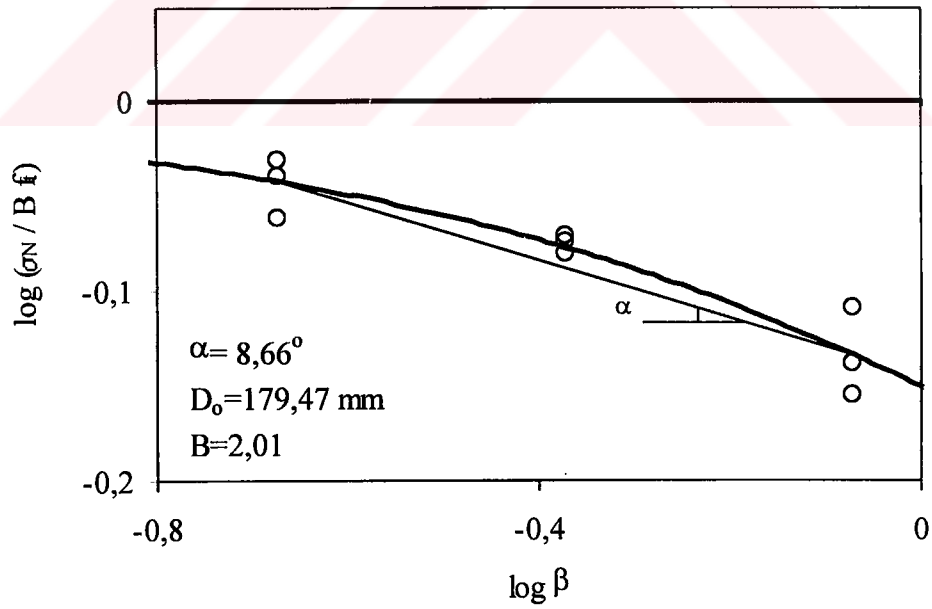
3.1.1.1 Çentikli numunede direkt çekmede beton numunelerinin analizi

Çizelge 3.1. Çentikli numunede direkt çekmede beton numunelerinin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk L (mm)	Yükseklik D (mm)	Genişlik b (mm)	En Büyük Yük P _u (N)	σ_N (MPa)	f _c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	log β	log ($\sigma_N / B f_t$)
1	101,6	38,1	19	1712	3,547	33,5	38,1	0,326098	-0,673	-0,06097
2	101,6	38,1	19	1801	3,732	33,5	38,1	0,294665	-0,673	-0,03896
3	101,6	38,1	19	1837	3,806	33,5	38,1	0,283229	-0,673	-0,03037
4	203,2	76,2	19	3283	3,401	33,5	76,2	0,354710	-0,372	-0,07924
5	203,2	76,2	19	3327	3,447	33,5	76,2	0,345390	-0,372	-0,07345
6	203,2	76,2	19	3354	3,475	33,5	76,2	0,339852	-0,372	-0,06994
7	406,4	152,4	19	5524	2,862	33,5	152,4	0,501151	-0,071	-0,15428
8	406,4	152,4	19	5738	2,972	33,5	152,4	0,464483	-0,071	-0,13778
9	406,4	152,4	19	6147	3,184	33,5	152,4	0,404715	-0,071	-0,10787



(a)



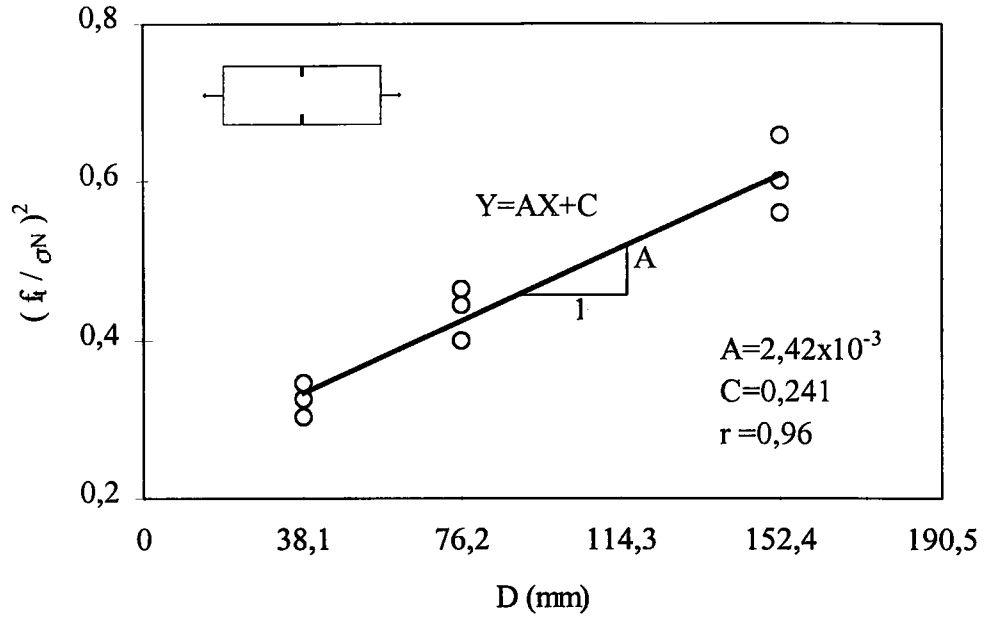
(b)

Şekil 3.2. Çentikli numunede direkt çekme deneyi beton numunelerinin
a) Doğrusal korelasyon
b) Boyut etkisi

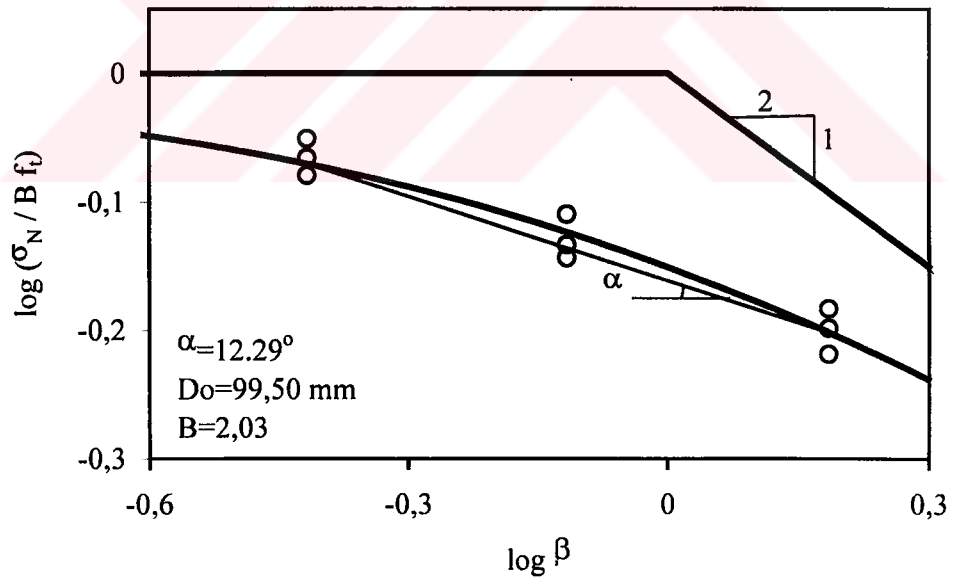
3.1.1.2 Çentikli numunede direkt çekmede harç numunelerinin analizi

Çizelge 3.2. Çentikli numunede direkt çekmede harç numunelerinin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk L (mm)	Yükseklik D (mm)	Genişlik b (mm)	En Büyük Yük P_u (N)	σ^N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma^N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma^N / B f_t)$
1	101,6	38,1	19	1712	3,547	47,6	38,1	0,346758	-0,417	-0,07924
2	101,6	38,1	19	1801	3,732	47,6	38,1	0,325691	-0,417	-0,06563
3	101,6	38,1	19	1837	3,806	47,6	38,1	0,304172	-0,417	-0,05079
4	203,2	76,2	19	3283	3,401	47,6	76,2	0,465524	-0,116	-0,14320
5	203,2	76,2	19	3327	3,447	47,6	76,2	0,444462	-0,116	-0,13315
6	203,2	76,2	19	3354	3,475	47,6	76,2	0,398524	-0,116	-0,10946
7	406,4	152,4	19	5524	2,862	47,6	152,4	0,657893	0,185	-0,21831
8	406,4	152,4	19	5738	2,972	47,6	152,4	0,599955	0,185	-0,19829
9	406,4	152,4	19	6147	3,184	47,6	152,4	0,559478	0,185	-0,18312

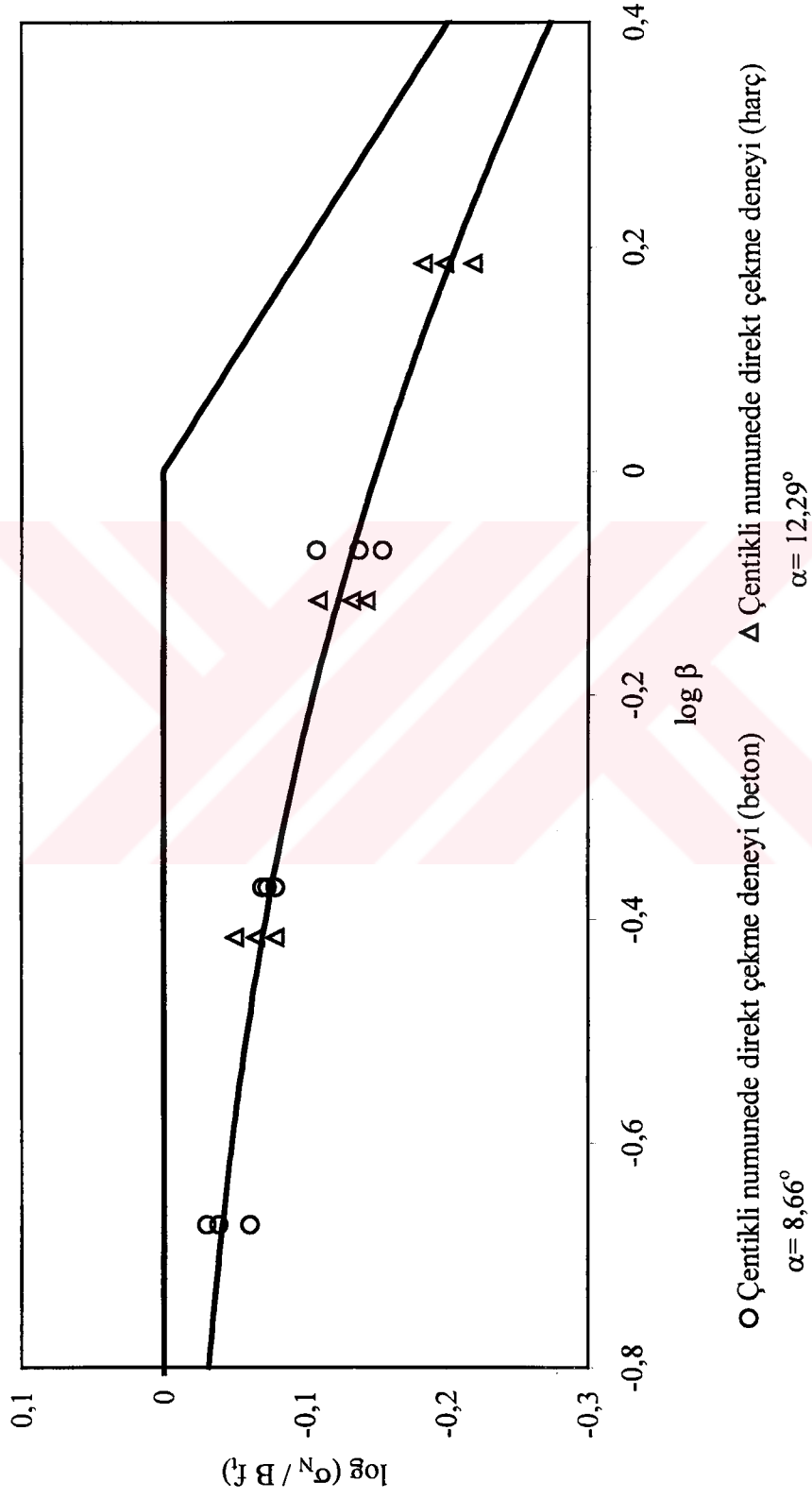


(a)



(b)

Şekil 3.3. Çentikli numunede direkt çekme deneyi harç numunelerinin
 a) Doğrusal korelasyon
 b) Boyut etkisi



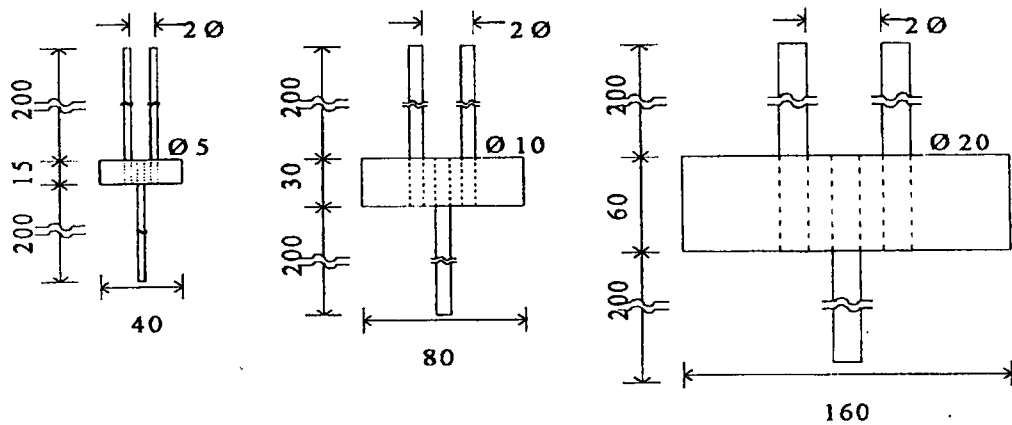
Şekil 3.4. Çentikli numunede direkt çekme deneyi harç ve beton numunelerin boyut etkisi

3.1.2. Direkt çekmede aderans deneyleri

Direkt yüklemede aderans deneyi Prof. Şener [3] tarafından Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Numunelerin kesiti D yüksekliğe ve L uzunluğa sahip kare prizmadan oluşmaktadır ve D=40, 80, 160 mm olup L/D =3/8 oranı tüm numuneler için eşittir (Şekil 3.5). Çelik donatılar eğilme etkisini azaltmak için numunenin bir kenarına paralel ve simetrik olarak iki yüzeyden dışarıya çıkarılmıştır. Düz donatı için akma dayanımı 220 MPa ve nervürlü donatı için 420MPa kullanılmıştır. Donatı çapları $d_b=5, 10, 20$ mm'dir. Çelik çubuğun numune içine gömülü uzunluğu prizmanın uzunluğuna eşit ve sırasıyla $L_d=15, 30, 60$ mm'dir. Tüm numuneler aynı beton malzemesinden yapılmış olup ağırlıkça karışım oranı su/çimento/agrega=0,7/1/4 olarak düzenlenmiştir. En büyük dane çapı $d_{max}=4,76$ mm'dir. Beton basınç dayanımını belirlemek için üç adet standart silindir numuneleri alınıp (çap=76,2 mm, yükseklik=152,4 mm) 28 günlük kür bakımından sonra ortalama basınç dayanımı beton için $f_c=11,3$ MPa elde edilmiştir. Numune üzerinde olan donatıların birbirine olan temiz açıklığı 2ϕ olarak düzenlenmiştir. Nominal çekme dayanımı aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\sigma_N = \frac{P_u}{(2\pi d_b L_d)} \quad (3.2)$$

P_u : maksimum yük, d_b : donatı çapı, L_d : donatının beton içine gömülü uzunluğu

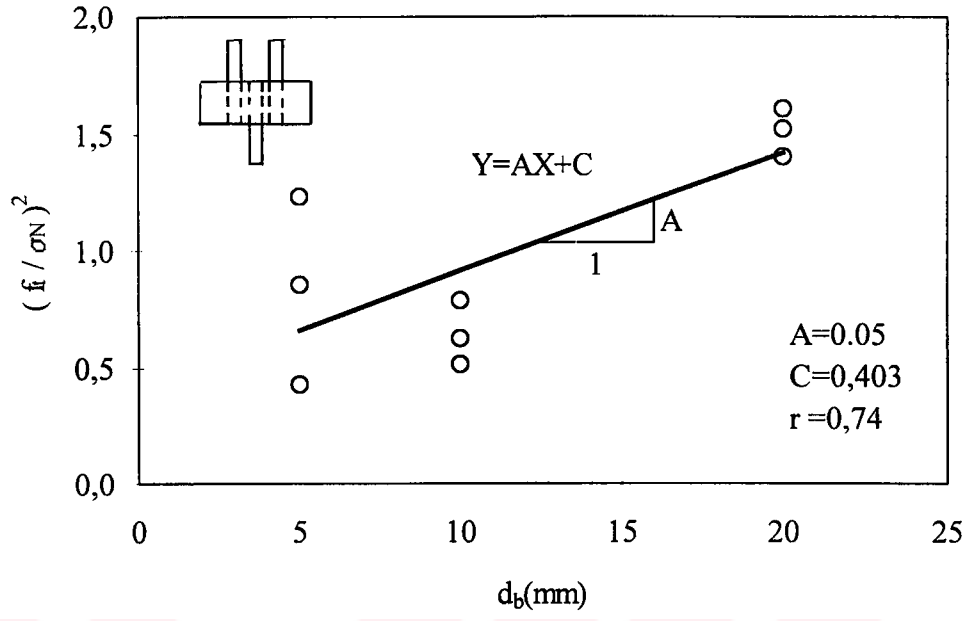


Şekil 3.5. Direkt çekmede aderans deneyi numune geometrisi

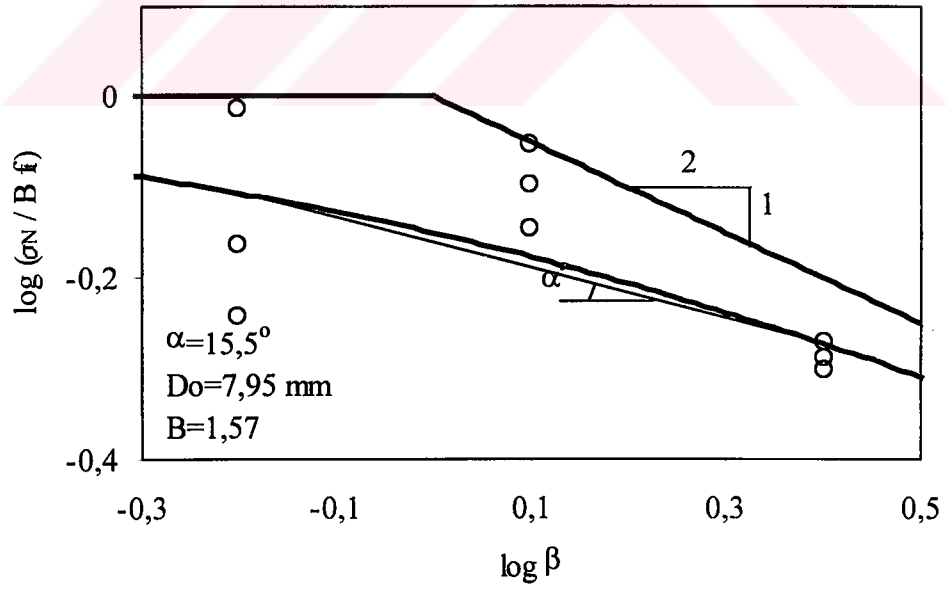
3.1.2.1 Direkt çekmede aderans deney (nervürlü donatılı) analizi

Çizelge 3.3. Direkt çekmede aderans deneyinde nervürlü donatılı numunelerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk (mm) D	Yükseklik (mm) L_d	Donatı Çapı (mm) d_b	En Büyük Çekme P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	40	15	5	850	1,804	11,3	5	0,425459	-0,202	-0,01151
2	40	15	5	600	1,273	11,3	5	0,853874	-0,202	-0,16278
3	40	15	5	500	1,061	11,3	5	1,229578	-0,202	-0,24196
4	80	30	10	3100	1,645	11,3	10	0,511791	0,099	-0,05163
5	80	30	10	2500	1,326	11,3	10	0,786930	0,099	-0,14505
6	80	30	10	2800	1,485	11,3	10	0,627336	0,099	-0,09584
7	160	60	20	7000	0,928	11,3	20	1,605979	0,400	-0,29996
8	160	60	20	7500	0,995	11,3	20	1,398986	0,400	-0,26999
9	160	60	20	7200	0,955	11,3	20	1,517997	0,400	-0,28772



(a)



(b)

Şekil 3.6. Direkt çekmede aderans deneyi (nervürlü donatılı)

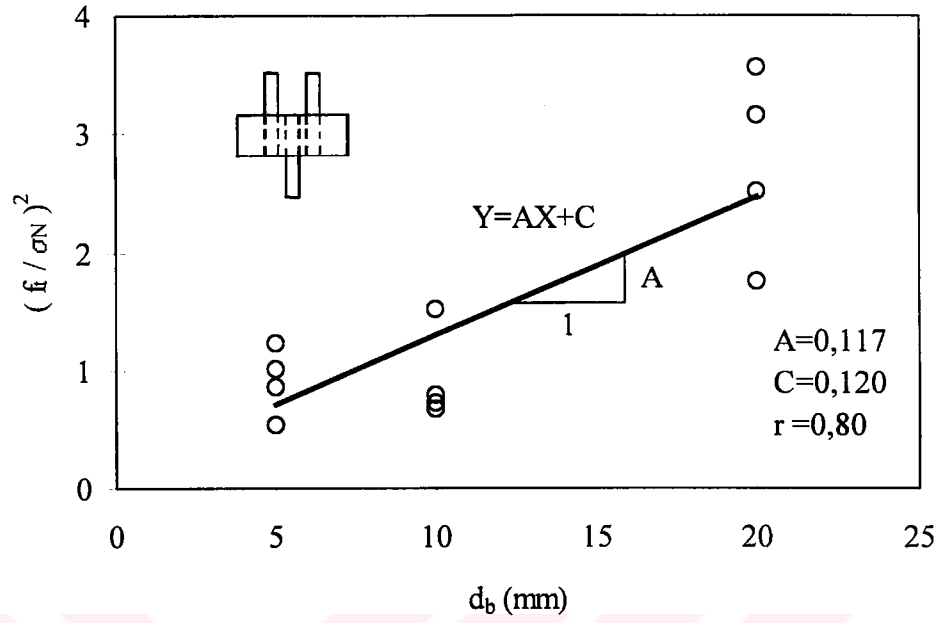
a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi

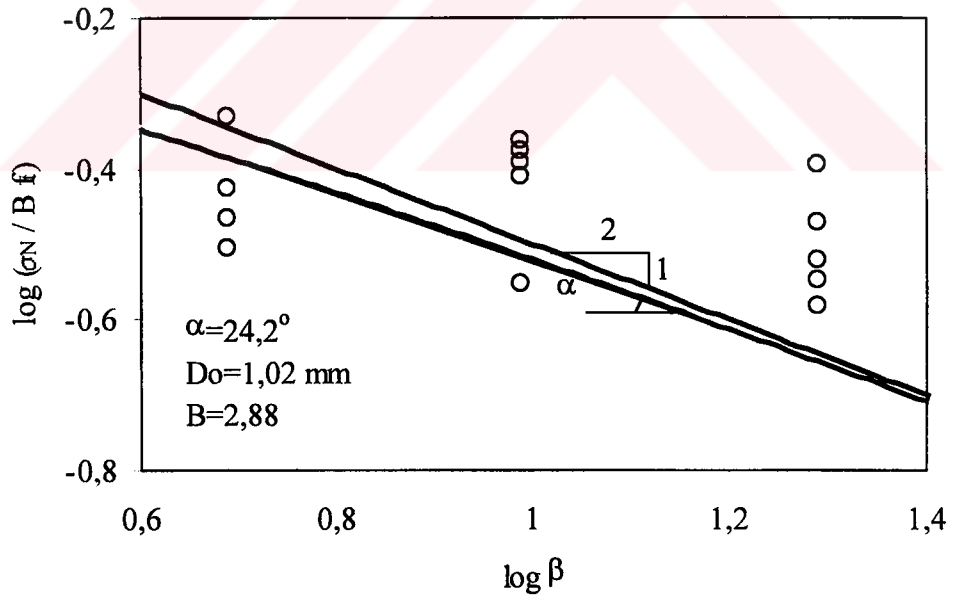
3.1.2.2 Direkt çekmede aderans deneyi (düz donatılı) analizi

Çizelge 3.4. Direkt çekmede aderans deneyi düz donatılı numunelerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk (mm) D	Yükseklik (mm) Ld	Donatı Çapı (mm) db	En Büyük Çekme P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	40	15	5	750	1,592	11,3	5	0,546479	0,687	-0,32849
2	40	15	5	600	1,273	11,3	5	0,853874	0,687	-0,42540
3	40	15	5	500	1,061	11,3	5	1,229578	0,687	-0,50458
4	40	15	5	550	1,167	11,3	5	1,016180	0,687	-0,46318
5	80	30	10	2600	1,379	11,3	10	0,727561	0,988	-0,39063
6	80	30	10	2700	1,432	11,3	10	0,674666	0,988	-0,37424
7	80	30	10	2500	1,326	11,3	10	0,786930	0,988	-0,40767
8	80	30	10	1800	0,955	11,3	10	1,517997	0,988	-0,55034
9	80	30	10	1800	0,955	11,3	10	1,517997	0,988	-0,36126
10	160	60	20	5600	0,743	11,3	20	2,509343	1,289	-0,47040
11	160	60	20	4700	0,623	11,3	20	3,562381	1,289	-0,54649
12	160	60	20	5000	0,663	11,3	20	3,147719	1,289	-0,51962
13	160	60	20	6700	0,889	11,3	20	1,753018	1,289	-0,39252
14	160	60	20	6700	0,889	11,3	20	1,753018	1,289	-0,58159



(a)

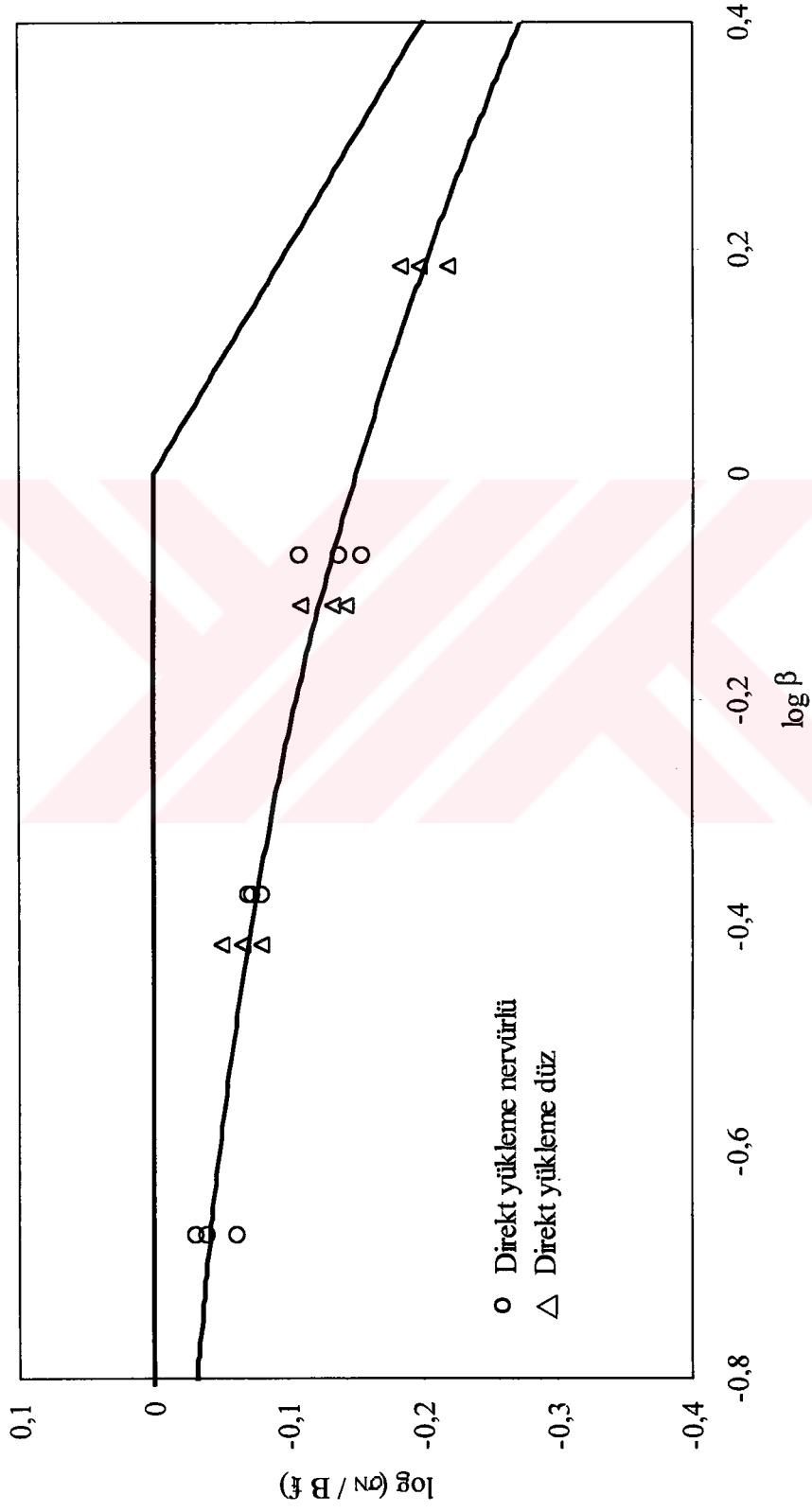


(b)

Şekil 3.7. Direkt çekmede aderans deneyi (düz donatılı)

a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi



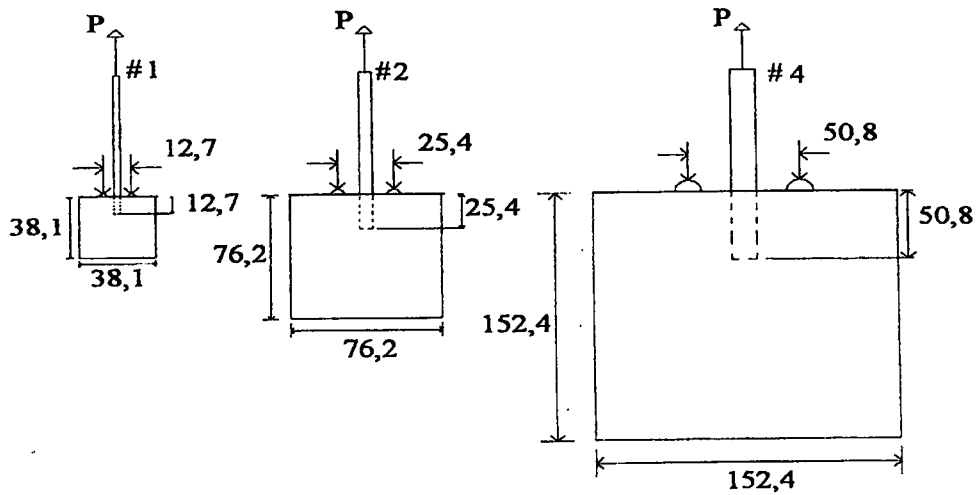
Şekil 3.8. Direkt çekmede aderans deneyi nervürlü ($\alpha=15,5^\circ$) ve düz donatılı ($\alpha=24,2^\circ$) numunelerin boyut etkisi

3.1.3 Çekip çıkarma deneyleri

Dolaylı çekme deneyi olan çekip çıkarma deneyi Bazant ve Şener [4] tarafından 1988 yılında Northwestern Üniversitesinde yapılmıştır. Deney numuneleri küp şeklinde olup donatı numunenin bir kenarına paralel ve üst yüzeyinin merkezinden dışarıya çıkarılmıştır. Boyut etkisini belirlemek için geometrik olarak benzer farklı boyutlu deney numuneleri kullanılmıştır. Küp şeklinde deney numunelerinin boyutu $D=38,1;76,2;152,4$ mm'dir (Şekil 3.9). Çelik donatıların akma dayanımı 414 MPa ve çapları $d_b=2,9;6,4;12,7$ mm'dir. Çelik donatının numune içine gömülü uzunluğu $L_d=12,7;25,4;50,8$ mm'dir. Tüm numuneler aynı beton malzemesinden yapılmış olup ağırlıkça karışım oranı su/çimento/kum/çakıl=0,6/1/2/2 olarak düzenlenmiştir. En büyük dane çapı $d_{max}=6,4$ mm'dir. Beton basınç dayanımını belirlemek için üç adet standart silindir numuneleri alınıp (çap=76,2 mm, yükseklik=152,4 mm) 28 günlük kür bakımından sonra ortalama basınç dayanımı beton için $f_c=485,8$ MPa elde edilmiştir. Nominal gerilme aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\sigma_N = \frac{P_u}{(\pi d_b L_d)} \quad (3.3)$$

P_u : maksimum yük, d_b : donatı çapı, L_d : donatının beton içine gömülü uzunluğu

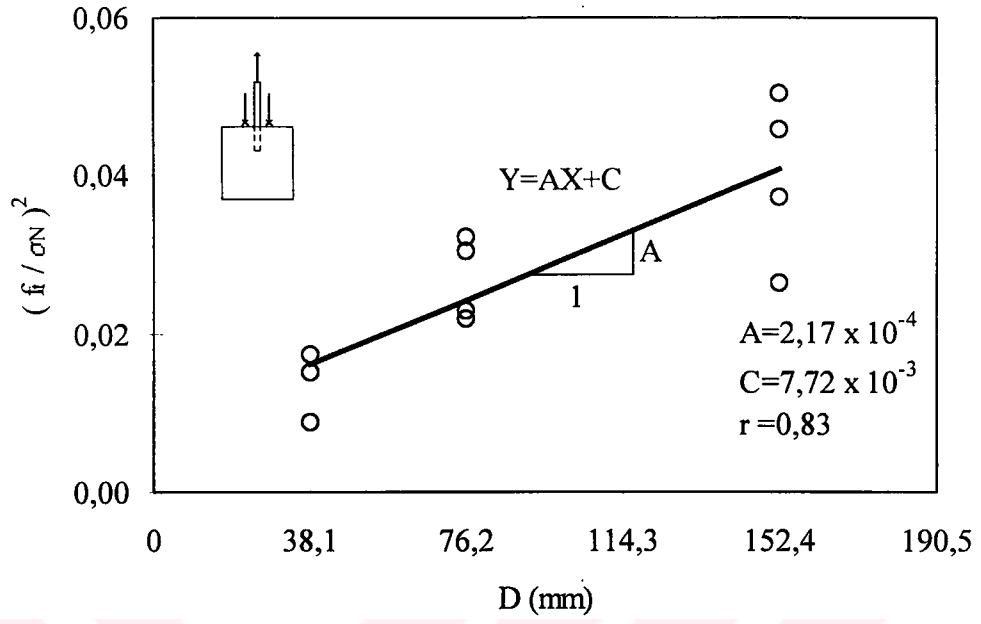


Şekil 3.9. Çekip çıkarma deneyi numune geometrisi.

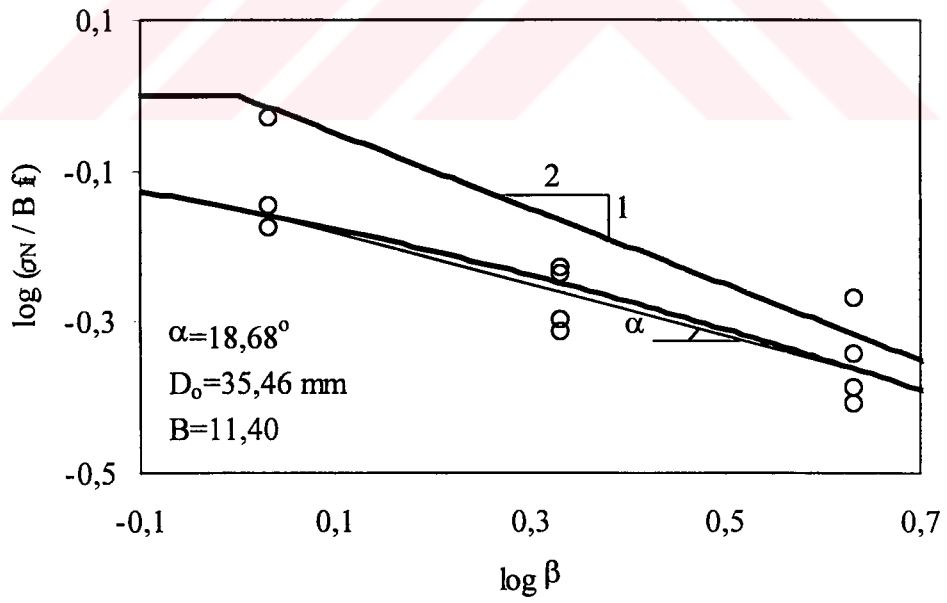
3.1.3.1. Çekip çıkarma deney analizi

Çizelge 3.5. Çekip çıkarma deney ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk (mm)	Gömülü Uzunluk L_d (mm)	Donatı Çapı d_b (mm)	En Büyük Çekme Kuvveti P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_0)$
1	38,1	12,7	2,9	2917,89	25,218	45,8	38,1	0,008822	0,031	-0,02890
2	38,1	12,7	2,9	2081,66	17,991	45,8	38,1	0,017333	0,031	-0,17555
3	38,1	12,7	2,9	2232,90	19,298	45,8	38,1	0,015065	0,031	-0,14510
4	76,2	25,4	6,4	6938,88	13,587	45,8	76,2	0,030391	0,332	-0,29749
5	76,2	25,4	6,4	8166,53	15,991	45,8	76,2	0,021941	0,332	-0,22674
6	76,2	25,4	6,4	8006,40	15,677	45,8	76,2	0,022827	0,332	-0,23534
7	76,2	25,4	6,4	6725,38	13,169	45,8	76,2	0,032352	0,332	-0,31106
8	152,4	50,8	12,7	29463,55	14,537	45,8	152,4	0,026550	0,633	-0,26815
9	152,4	50,8	12,7	24873,20	12,272	45,8	152,4	0,037254	0,633	-0,34170
10	152,4	50,8	12,7	21354,80	10,536	45,8	152,4	0,050541	0,633	-0,40793
11	152,4	50,8	12,7	22417,90	11,061	45,8	152,4	0,045861	0,633	-0,38684



(a)



(b)

Şekil 3.10. Çekip çıkarma deneyi a) Doğrusal korelasyon b) Boyut etkisi

3.1.4 Direkt çekme deney bulguları

Yapılan analizler sonucu bulunan α değerleri Çizelge 3.6' da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Direkt çekme deney bulguları

Deney Adı		α (Derece)
Çentikli Numunede Direkt Çekme Deneyi	Beton	8,66
	Harç	12,29
Direkt Çekmede Aderans Deneyi	Nervürlü	15,5
	Düz	24,2
Çekip Çıkarma Deneyi		18,68

Çizelge 3.6'da görüleceği gibi yükleme, malzeme, numune, donatı farklılık göstermesine karşın burada incelenen çekme deneylerinde en gevrek davranışı düz donatılı aderans deneyi göstermiştir.

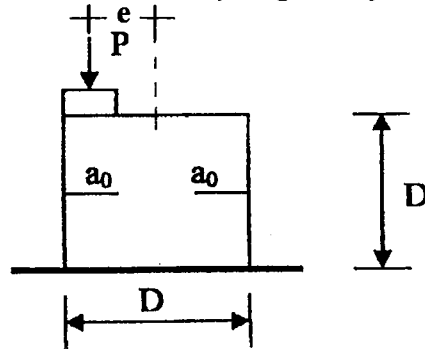
3.2. Basınç Deneyleri

3.2.1 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyleri

Dışmerkez basınç deneyi Barr, Abusiaf ve Şener [5] tarafından 1996 yılında Wales Cardiff Üniversitesinde yapılmıştır. Numunelerin kesiti kare, çift simetrik çentikli olup sabit kalınlıktan oluşmuşlardır (Şekil 3.11). Beş farklı numunede $D = 100, 150, 200, 300, 400$ mm ve kalınlık $b = 100$ mm tüm numuneler için geçerlidir. Çentiğin eleman boyutuna oranı tüm numuneler için 0,25'e eşittir. Deneyde dört farklı beton sınıfı, C50-C70-C80-C90 kullanılmıştır. Deney numunelerinin ağırlıkça karışım oranları su/çimento/kum/çakıl sırası ile C50 için 0,5/1/1,87/3,13; C70 için 0,46/1/1,87/3,13; C80 için 0,34/1/1,80/3,00; C90 için 0,30/1/1,76/2,94 olarak düzenlenmiş ve ayrıca beton için silis dumanı ile süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Agrega en büyük dane çapı $d_{max} = 10$ mm olarak seçilmiştir. Beton basınç dayanımını belirlemek için 15 adet standard küp numunesi alınmış, küplerin kenar uzunlukları 100 mm' dir. Elde edilen 28 günlük basınç dayanımları sırası ile $f_c = 48,1; 66,03; 82,37; 88,4$ MPa'dır. Maksimum gerilme aşağıdaki denklemden elde edilir.

$$\sigma_N = \frac{(P_u + (mg/2))}{A_{lig}} - \frac{(P_u e)}{(I/y)} \quad (3.4)$$

σ_N : maksimum gerilme, P_u : maksimum yük, mg : numune ağırlığı, A_{lig} : kırılmamış bölgenin kesit alanı olup $b(D-2a_0)$ olarak bulunur, e : dışmerkezlik, y : kesit ortası ile çatlak başı arasındaki uzaklık, I : kırılmamış bölgenin eylemsizlik momenti.

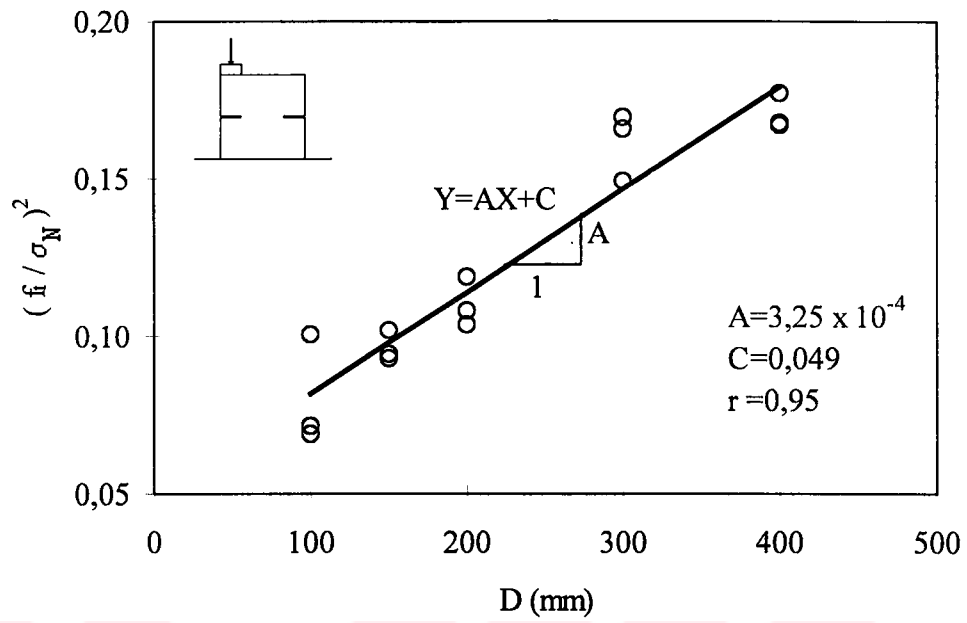


Şekil 3.11 Dışmerkez basınçta numune geometrisi ve yükleme şekli

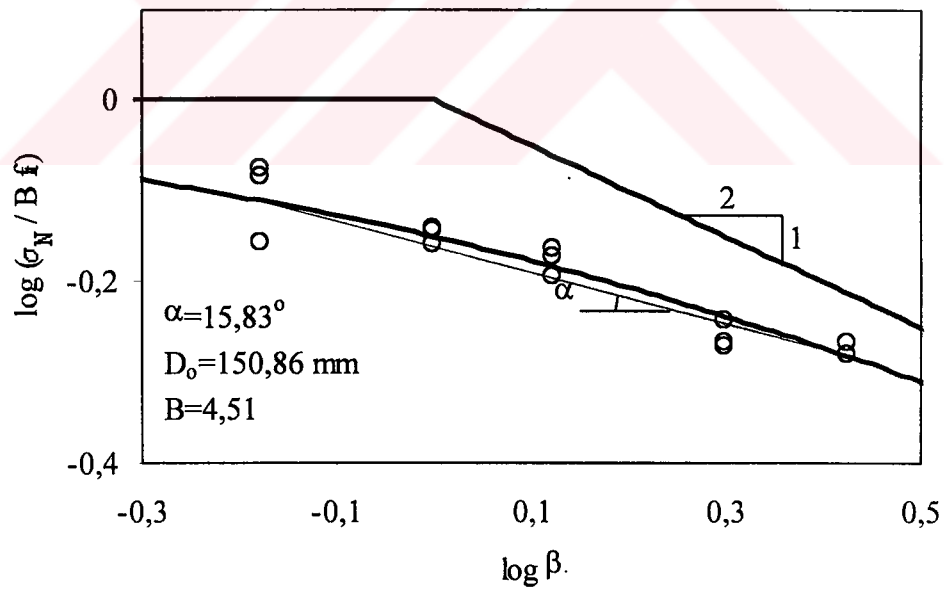
3.2.1.1 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi (C50)

Çizelge 3.7. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C50) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk D (mm)	Çentik Uzunluğu a_0 (mm)	Numune Ağırlığı mg (N)	En Büyük Yük P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	25	25	10310	9,070	48,1	100	0,071621	-0,179	-0,08210
2	100	25	25	8710	7,662	48,1	100	0,100361	-0,179	-0,15537
3	100	25	25	10500	9,238	48,1	100	0,069051	-0,179	-0,07417
4	150	37,5	56,25	13500	7,916	48,1	150	0,094025	-0,002	-0,14121
5	150	37,5	56,25	12980	7,611	48,1	150	0,101713	-0,002	-0,15827
6	150	37,5	56,25	13560	7,951	48,1	150	0,093194	-0,002	-0,13928
7	200	50	100	16000	7,035	48,1	200	0,119056	0,122	-0,19246
8	200	50	100	16780	7,378	48,1	200	0,108238	0,122	-0,17178
9	200	50	100	17130	7,532	48,1	200	0,103857	0,122	-0,16280
10	300	75	225	20100	5,889	48,1	300	0,169931	0,299	-0,26972
11	300	75	225	21440	6,282	48,1	300	0,149329	0,299	-0,24166
12	300	75	225	20330	5,956	48,1	300	0,166103	0,299	-0,26477
13	400	100	400	27060	5,943	48,1	400	0,166817	0,423	-0,26571
14	400	100	400	26240	5,763	48,1	400	0,177425	0,423	-0,27909
15	400	100	400	27000	5,930	48,1	400	0,167561	0,423	-0,26667



(a)



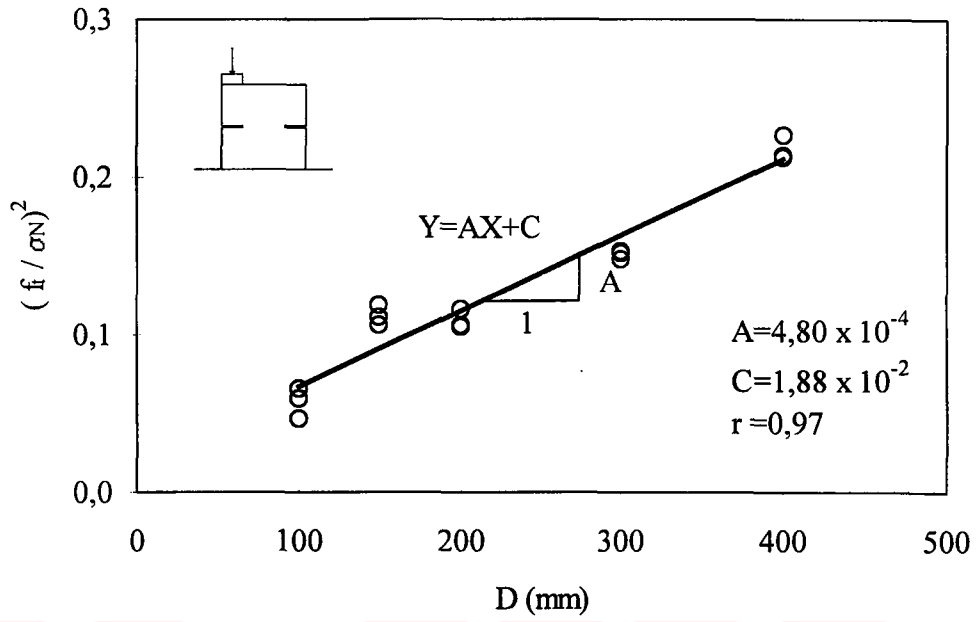
(b)

Şekil 3.12 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C50)
 a) Doğrusal korelasyon
 b) Boyut etkisi

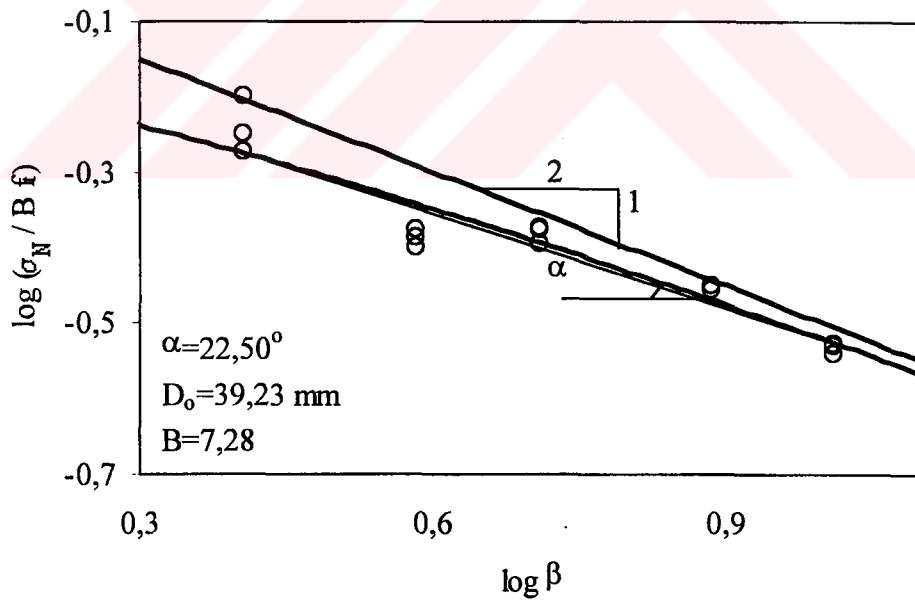
3.2.1.2 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi (C70)

Çizelge 3.8. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C70) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk D (mm)	Çentik Uzunluğu a_0 (mm)	Numune Ağırlığı mg (N)	En Büyük Yük P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	25	25	13260	11,666	66,03	100	0,059431	0,406	-0,24933
2	100	25	25	12590	11,077	66,03	100	0,065926	0,406	-0,27185
3	100	25	25	14970	13,171	66,03	100	0,046627	0,406	-0,19664
4	150	37,5	56,25	14080	8,257	66,03	150	0,118654	0,582	-0,39947
5	150	37,5	56,25	14870	8,720	66,03	150	0,106377	0,582	-0,37575
6	150	37,5	56,25	14570	8,544	66,03	150	0,110804	0,582	-0,38460
7	200	50	100	19840	8,725	66,03	200	0,106264	0,707	-0,37552
8	200	50	100	19000	8,355	66,03	200	0,115874	0,707	-0,39432
9	200	50	100	20000	8,795	66,03	200	0,104570	0,707	-0,37203
10	300	75	225	25180	7,379	66,03	300	0,148568	0,883	-0,44829
11	300	75	225	24900	7,297	66,03	300	0,151932	0,883	-0,45315
12	300	75	225	24800	7,267	66,03	300	0,153161	0,883	-0,45490
13	400	100	400	27240	5,983	66,03	400	0,225979	1,008	-0,53936
14	400	100	400	28090	6,170	66,03	400	0,212488	1,008	-0,52599
15	400	100	400	28010	6,152	66,03	400	0,213706	1,008	-0,52723



(a)



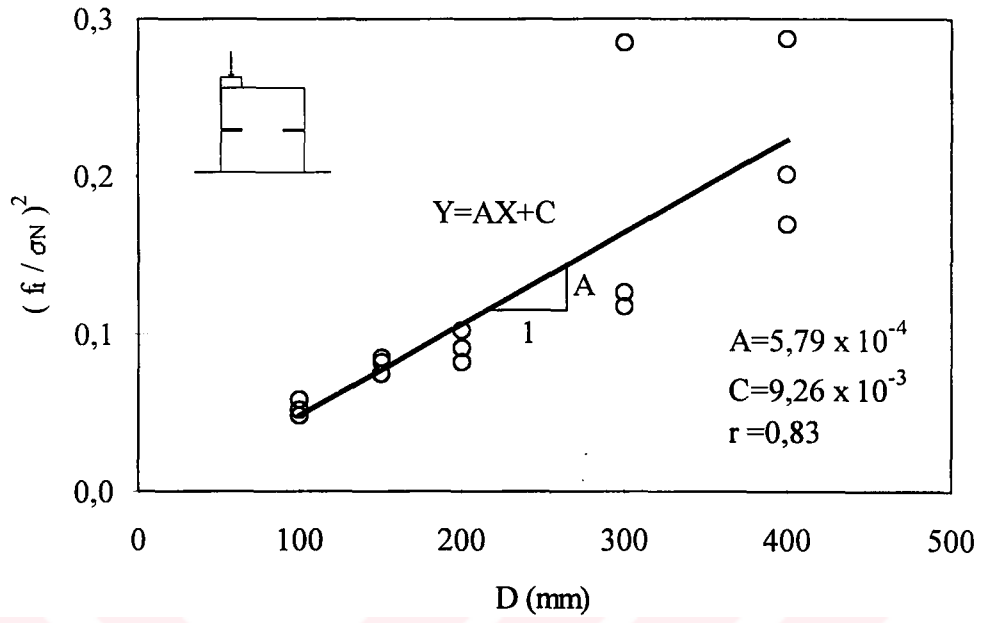
(b)

Şekil 3.13 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C70)
 a) Doğrusal korelasyon
 b) Boyut etkisi

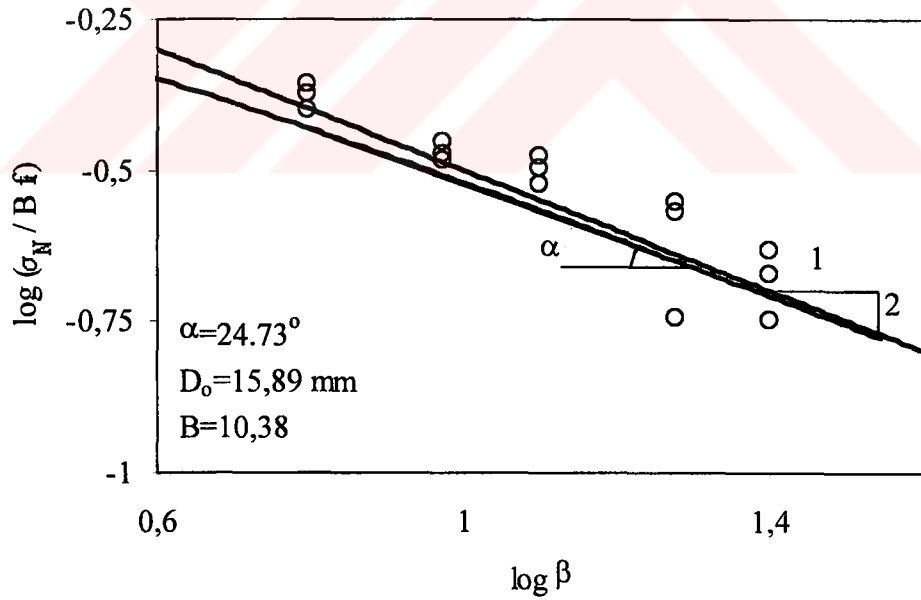
3.2.1.3 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi (C80)

Çizelge 3.9. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C80) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk D (mm)	Çentik Uzunluğu a_0 (mm)	Numune Ağırlığı mg (N)	En Büyük Yük P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	25	25	15890	13,981	82,37	100	0,051623	0,796	-0,37296
2	100	25	25	14980	13,180	82,37	100	0,058087	0,796	-0,39857
3	100	25	25	16510	14,526	82,37	100	0,047818	0,796	-0,35633
4	150	37,5	56,25	18610	10,914	82,37	150	0,084709	0,972	-0,48050
5	150	37,5	56,25	18950	11,114	82,37	150	0,081695	0,972	-0,47263
6	150	37,5	56,25	19840	11,636	82,37	150	0,074528	0,972	-0,45269
7	200	50	100	23960	10,537	82,37	200	0,090874	1,097	-0,49575
8	200	50	100	22580	9,930	82,37	200	0,102327	1,097	-0,52153
9	200	50	100	25200	11,083	82,37	200	0,082147	1,097	-0,47383
10	300	75	225	31670	9,282	82,37	300	0,117108	1,273	-0,55083
11	300	75	225	30450	8,925	82,37	300	0,126689	1,273	-0,56790
12	300	75	225	20330	5,956	82,37	300	0,284447	1,273	-0,74353
13	400	100	400	35100	7,712	82,37	400	0,169657	1,398	-0,63132
14	400	100	400	32220	7,078	82,37	400	0,201389	1,398	-0,66855
15	400	100	400	27000	5,930	82,37	400	0,286943	1,398	-0,74543



(a)



(b)

Şekil 3.14 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C80)

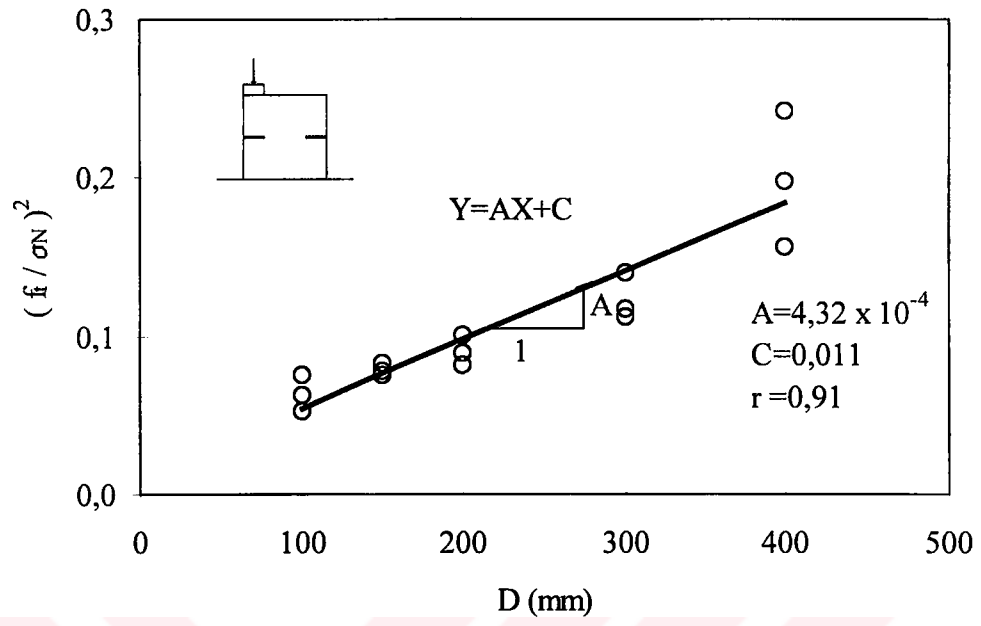
a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi

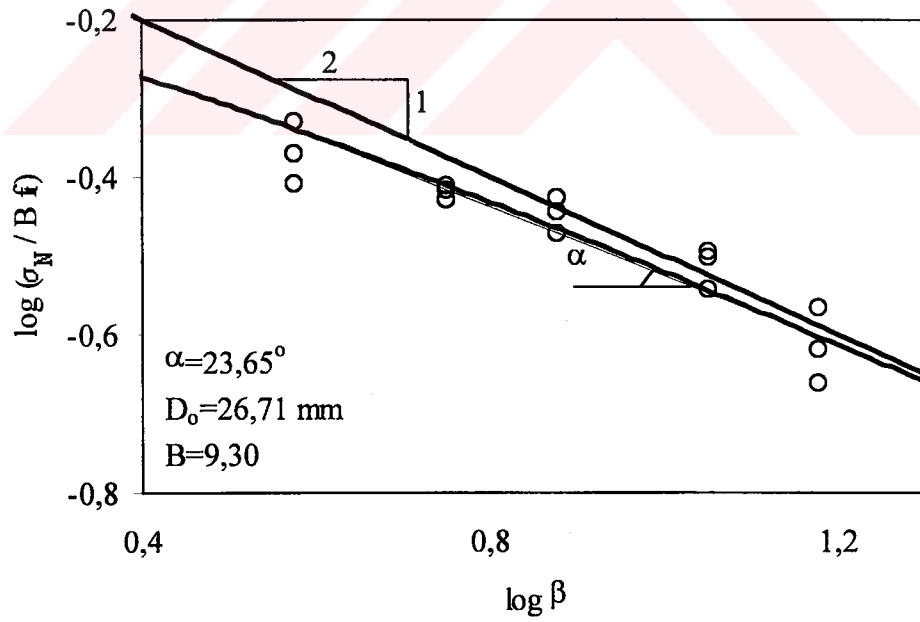
3.2.1.4 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney analizi (C90)

Çizelge 3.10. Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deney (C90) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk D (mm)	Çentik Uzunluğu a_0 (mm)	Numune Ağırlığı mg (N)	En Büyük Yük P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	25	25	14860	13,074	88,4	100	0,063351	0,573	-0,36945
2	100	25	25	16280	14,324	88,4	100	0,052780	0,573	-0,32981
3	100	25	25	13650	12,010	88,4	100	0,075082	0,573	-0,40634
4	150	37,5	56,25	20350	11,935	88,4	150	0,076024	0,749	-0,40905
5	150	37,5	56,25	19460	11,413	88,4	150	0,083139	0,749	-0,42847
6	150	37,5	56,25	20120	11,800	88,4	150	0,077772	0,749	-0,41398
7	200	50	100	23510	10,339	88,4	200	0,101297	0,874	-0,47137
8	200	50	100	25080	11,030	88,4	200	0,089006	0,874	-0,44328
9	200	50	100	26100	11,479	88,4	200	0,082183	0,874	-0,42596
10	300	75	225	33450	9,805	88,4	300	0,112652	1,050	-0,49444
11	300	75	225	32870	9,634	88,4	300	0,116665	1,050	-0,50204
12	300	75	225	30060	8,810	88,4	300	0,139517	1,050	-0,54089
13	400	100	400	30430	6,685	88,4	400	0,242347	1,175	-0,66079
14	400	100	400	37870	8,321	88,4	400	0,156385	1,175	-0,56567
15	400	100	400	33650	7,393	88,4	400	0,198128	1,175	-0,61705



(a)

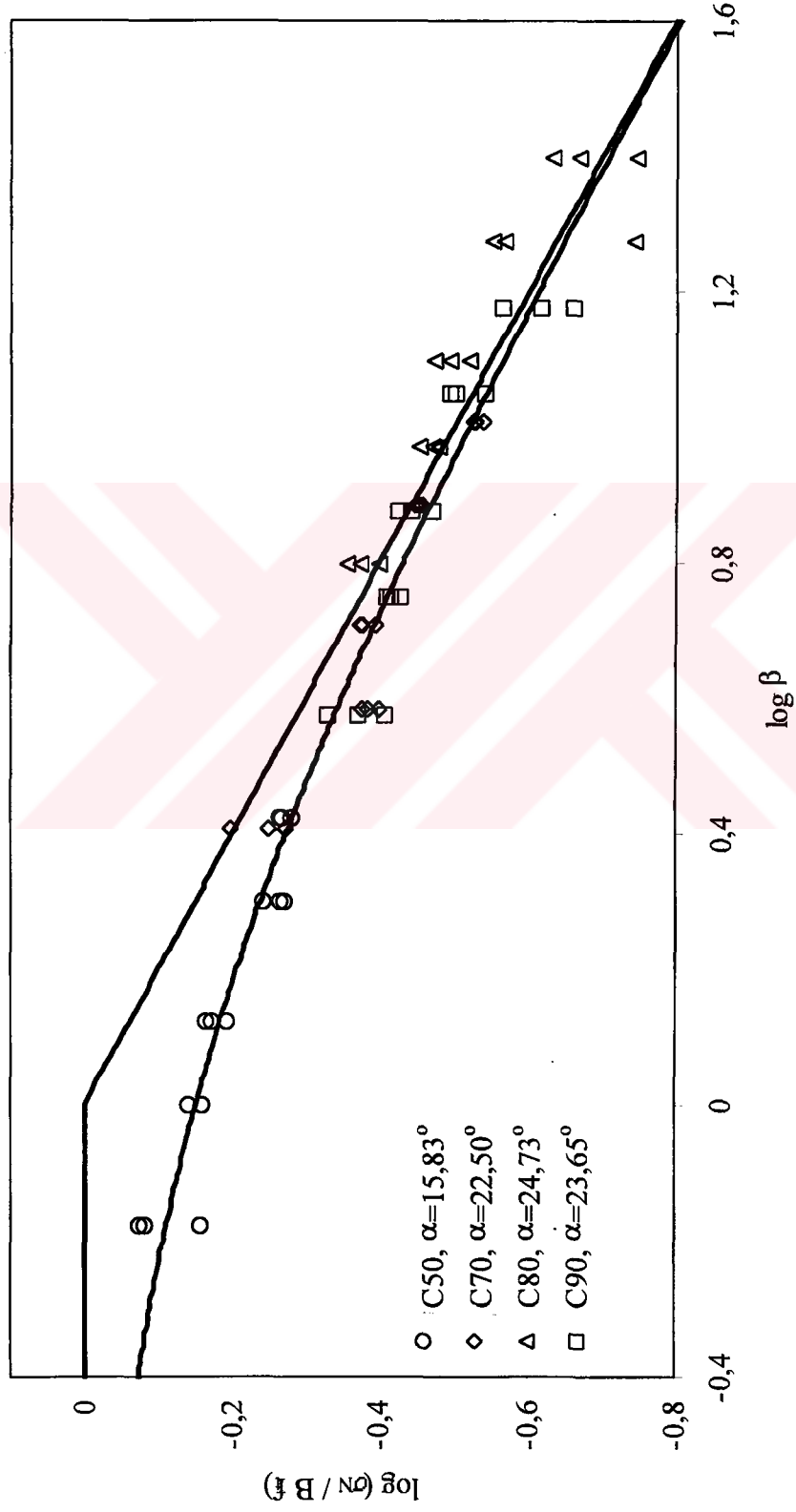


(b)

Şekil 3.15 Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi (C90)

a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi



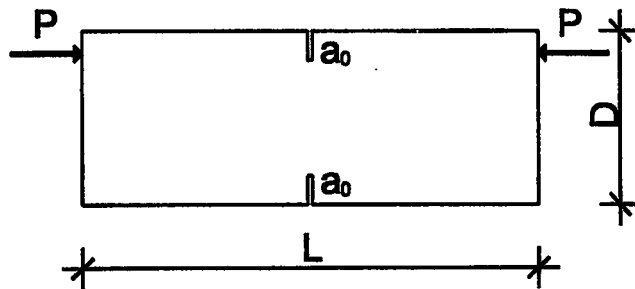
Şekil 3.16 Simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi C50, C70, C80 ve C90 basınç dayanımlı numunelerin boyut etkisi

3.2.2 Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyleri

Çentikli numune üzerinde eksantrik basınç deneyi Bazant ve Pfeiffer [2] tarafından 1987 yılında yapılmıştır. Beton ve harç numuneler üzerinde deney yapılmıştır. Numunelerin kesiti dikdörtgen şeklinde olup ve uzunluk / yükseklik oranı 8/3 olarak düzenlenmiştir (Şekil 3.17). Yükseklikleri $D = 38,1; 76,2; 152,4; 304,8$ mm ve kalınlık $b=38$ mm'dir. Bu dört farklı numune, farklı beton karışımlardan elde edilmiş fakat her numune serisi aynı beton karışımından yapılmışlardır. Çentik derinliği $a_0 = D/6$ ve kalınlığı 2,5 mm olarak numuneden elmas kesici ile elde edilmiştir. Beton karışımının ağırlıkça oranı her iki numune için su/çimento/kum/çakıl = 0,6/1/2/2 düzenlenmiştir. En büyük dane çapı beton için $d_{\max} = 12,7$ mm ve harç için $d_{\max} = 4,83$ mm'dir. Betonun basınç dayanımını belirlemek için her karışımdan silindirik numuneleri alınıp (çap=76,2 mm, yükseklik=152,4 mm) 28 günlük kürden sonra ortalama basınç dayanımı beton için $f_c=33,5$ MPa ve harç için $f_c= 47,6$ MPa olarak elde edilmiştir. Maksimum yükteki nominal gerilme aşağıdaki denklemden elde edilmiştir:

$$\sigma_N = \frac{P_u}{A_{lig}} - \frac{(P_u e)}{(I/y)} \quad (3.4)$$

P_u : maksimum yük, A_{lig} : kırılmamış bölgenin kesit alanı, e : dışmerkezlik, y : kesit ortası ile çatlak başı arasındaki mesafe, I : kırılmamış bölgenin eylemsizlik momenti.

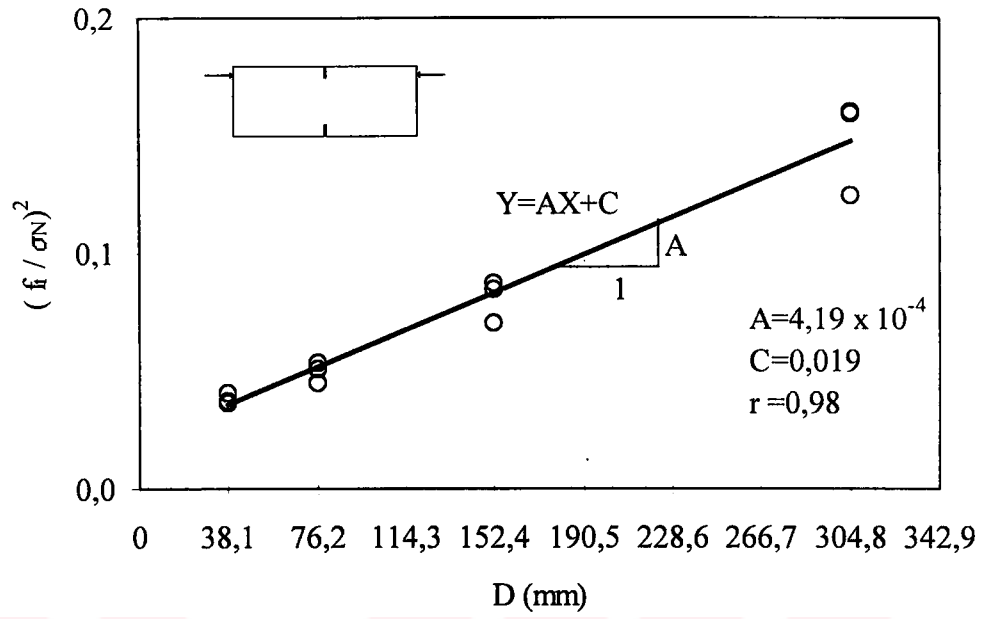


Şekil 3.17. Simetrik dışmerkez basınçta numune geometrisi (simetrik çentikli)

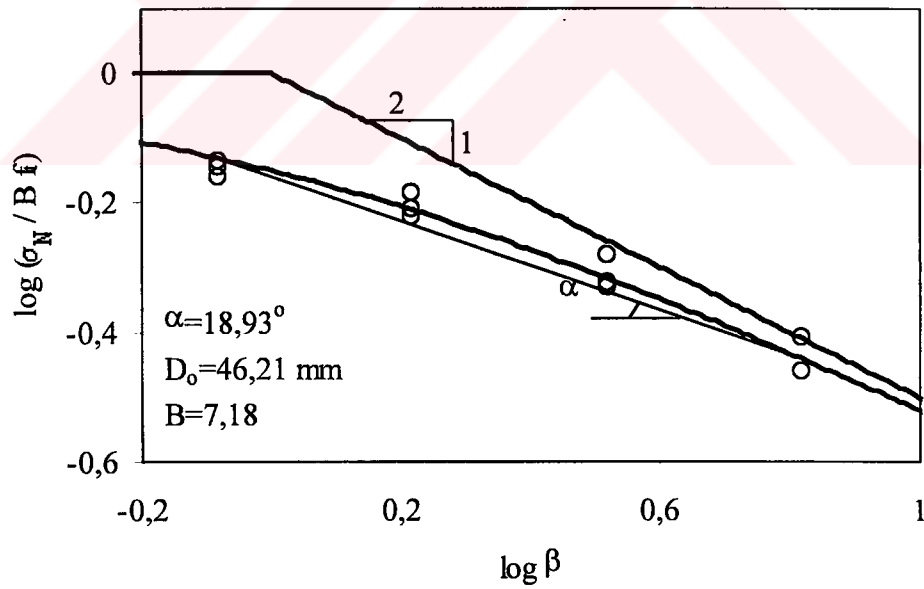
3.2.2.1 Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç beton numunelerin analizi

Çizelge 3.11. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deney (beton) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Kalınlık b (mm)	Uzunluk L (mm)	Çentik Uzunluğu a_0 (mm)	En Büyük Yük P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	38,1	38	101,6	6,35	4092,2	10,069	33,5	38,1	0,040475	-0,084	-0,16012
2	38,1	38	101,6	6,35	4252,3	10,463	33,5	38,1	0,037484	-0,084	-0,14345
3	38,1	38	101,6	6,35	4336,8	10,671	33,5	38,1	0,036037	-0,084	-0,13491
4	76,2	38	203,2	12,7	7134,6	8,778	33,5	76,2	0,053261	0,217	-0,21974
5	76,2	38	203,2	12,7	7317,0	9,002	33,5	76,2	0,050639	0,217	-0,20878
6	76,2	38	203,2	12,7	7766,2	9,555	33,5	76,2	0,044950	0,217	-0,18290
7	152,4	38	406,4	25,4	11120,0	6,841	33,5	152,4	0,087700	0,518	-0,32803
8	152,4	38	406,4	25,4	11289,0	6,945	33,5	152,4	0,085093	0,518	-0,32148
9	152,4	38	406,4	25,4	12414,4	7,637	33,5	152,4	0,070365	0,518	-0,28021
10	304,8	38	812,8	50,8	16435,4	5,055	33,5	304,8	0,160586	0,819	-0,45939
11	304,8	38	812,8	50,8	16506,5	5,077	33,5	304,8	0,159205	0,819	-0,45751
12	304,8	38	812,8	50,8	18632,7	5,731	33,5	304,8	0,124944	0,819	-0,40489



(a)



(b)

Şekil 3.18 Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyi (beton)

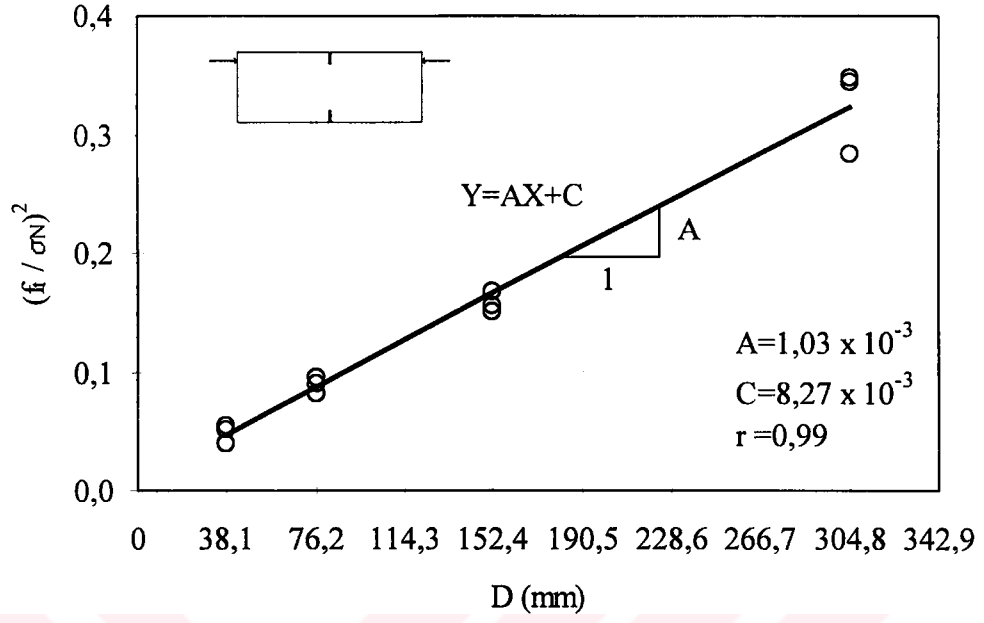
a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi

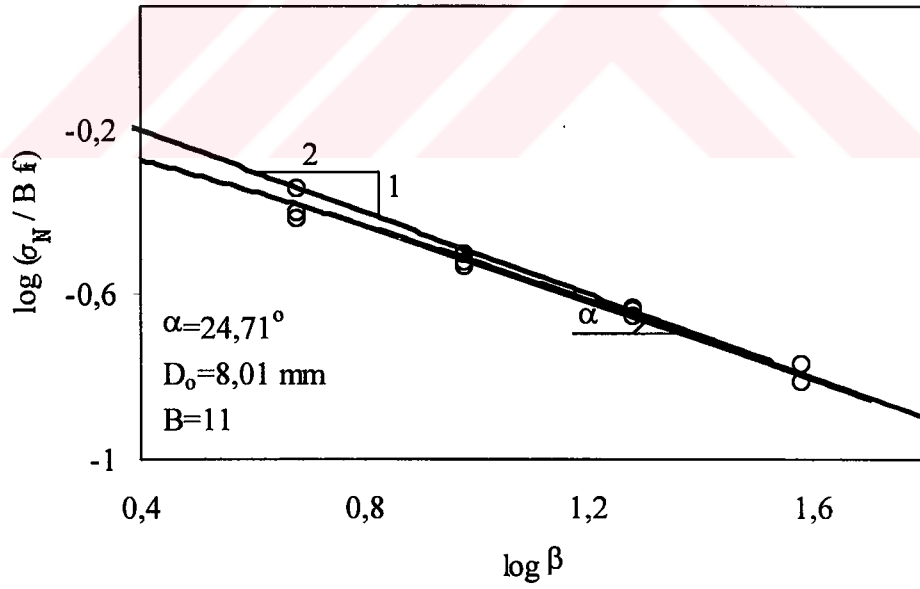
3.2.2.2 Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç harc numunelerin analizi

Çizelge 3.12. Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deney (harc) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Kalınlık b (mm)	Uzunluk L (mm)	Çentik Uzunluğu a ₀ (mm)	En Büyük Yük P _u (N)	σ_N (MPa)	f _c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	log β	log ($\sigma_N / B f_t$)
1	38,1	38	101,6	6,35	4163,3	10,244	47,6	38,1	0,055561	0,677	-0,41365
2	38,1	38	101,6	6,35	4323,5	10,638	47,6	38,1	0,051521	0,677	-0,39726
3	38,1	38	101,6	6,35	4910,6	12,083	47,6	38,1	0,039938	0,677	-0,34196
4	76,2	38	203,2	12,7	6347,3	7,809	47,6	76,2	0,095616	0,978	-0,53154
5	76,2	38	203,2	12,7	6485,2	7,979	47,6	76,2	0,091594	0,978	-0,52220
6	76,2	38	203,2	12,7	6805,4	8,373	47,6	76,2	0,083176	0,978	-0,50127
7	152,4	38	406,4	25,4	9589,9	5,899	47,6	152,4	0,167550	1,279	-0,65334
8	152,4	38	406,4	25,4	9927,9	6,107	47,6	152,4	0,156334	1,279	-0,63830
9	152,4	38	406,4	25,4	10105,9	6,217	47,6	152,4	0,150876	1,279	-0,63058
10	304,8	38	812,8	50,8	13308,4	4,093	47,6	304,8	0,348000	1,580	-0,81206
11	304,8	38	812,8	50,8	13388,5	4,118	47,6	304,8	0,343849	1,580	-0,80945
12	304,8	38	812,8	50,8	14714,0	4,526	47,6	304,8	0,284688	1,580	-0,76846



(a)

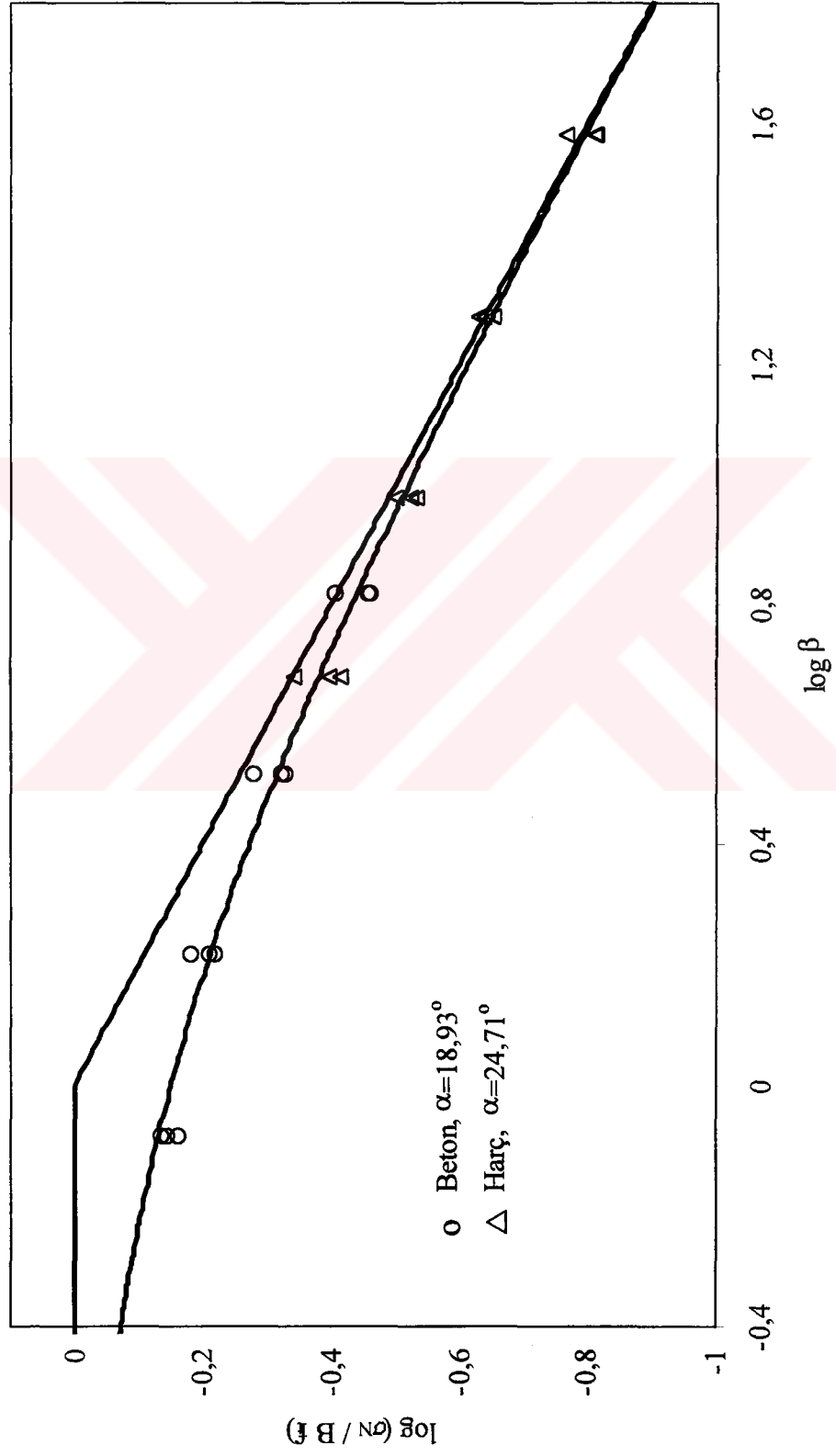


(b)

Şekil 3.19 Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyi (harc)

a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi



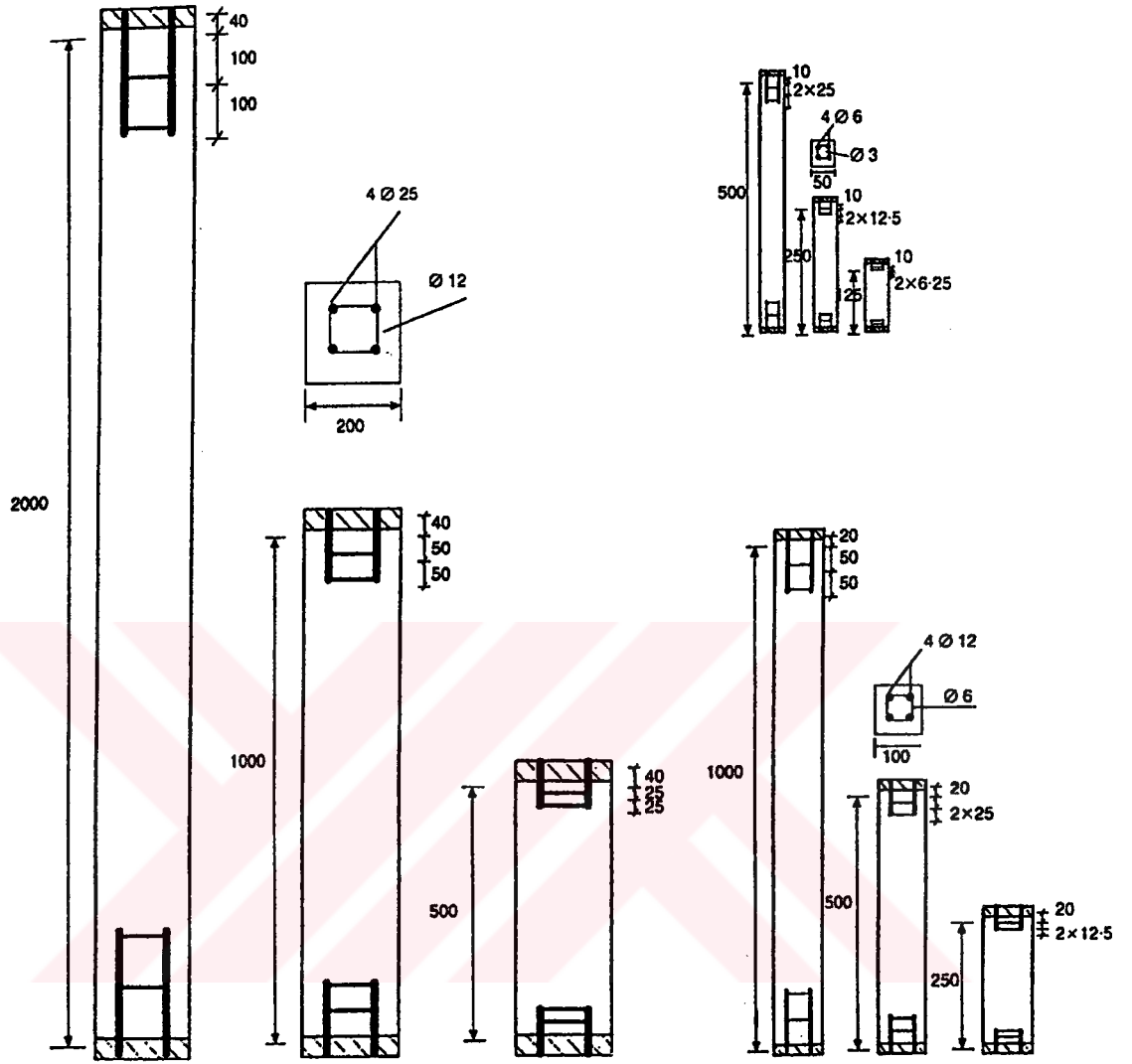
Şekil 3.20 Simetrik dış merkez basınç deneyi beton ve harç numunelerin boyut etkisi

3.2.3 Narin donatısız kolonlarda basınç deneyleri

Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi Şener, Barr ve Abusiaf [6] tarafından 1996 yılında Wales Cardiff Üniversitesinde yapılmıştır. Deney numunelerinin kesiti kare ve kenar uzunlukları $D=50,100,200$ mm'dir. Deney numunelerinin boyutları ve donatıları Şekil 3.21'de verilmiştir. Deney numuneleri narinliklerine göre üç gruptan ve her grupta üçer numune olmak üzere toplam dokuz numuneden oluşmaktadır. Narinlik değerleri $\lambda=9,7;18;34,7$ ($\lambda=L/0,3D$) olarak düzenlenmiştir. Yükün düzgün dağılılı olarak iletilmesi için kolon başlarına çelik plaka yerleştirilmiş ve $L/10$ kadar uzunlukta etiyeli donatılar betona gömülmüştür. Donatı çapları $d_b=6,12,25$ mm'dir. Donatılar için paspayı $D/4$ 'dür. Tüm numunelerde aynı beton malzemesi kullanılmış olup ağırlıkça karışım oranları su/çimento/çakıl/kum=0,67/1/3,6/1,8 olarak düzenlenmiştir. En büyük dane çapı $d_{max}=10$ mm'dir. Betonun basınç dayanımını belirlemek için 6 adet standart küp numuneleri alınıp (kenar uzunluğu=100 mm) 28 günlük kürden sonra ortalama basınç dayanımı $f_c=37,7$ MPa olarak elde edilmiştir. Maksimum gerilme aşağıdaki denklemden elde edilmiştir.

$$\sigma_N = \frac{P}{D^2} \quad (3.5)$$

P: maksimum yük, D: kolon kesit genişliği

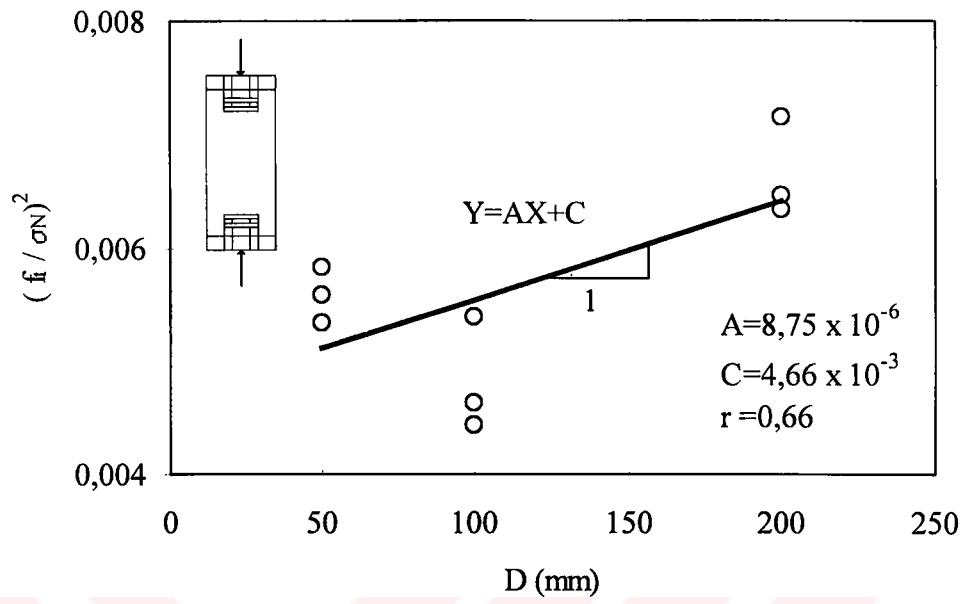


Şekil 3.21. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi numune geometrileri ve donatıları

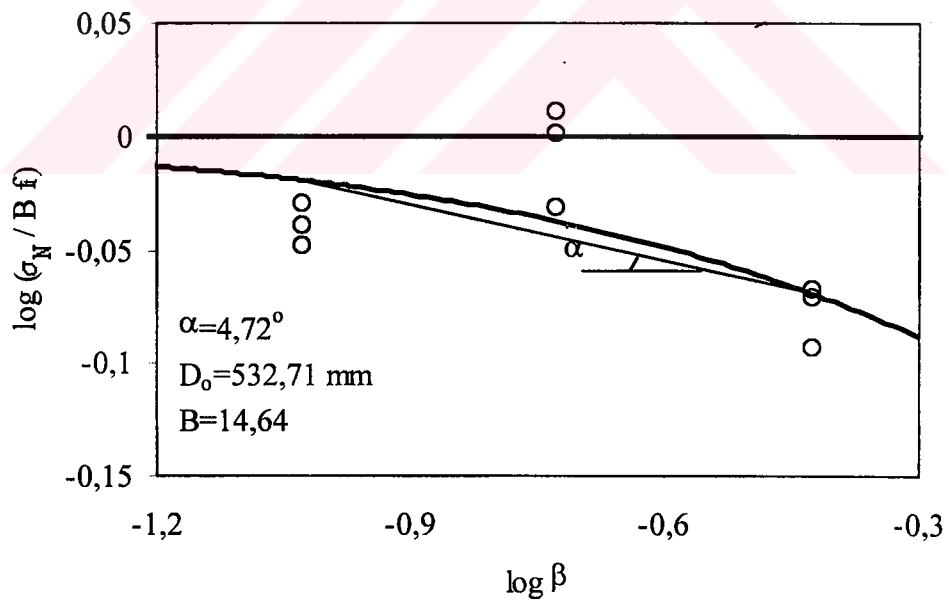
3.2.3.1 Narin donatısız kolonlarda basınç $\lambda=9,7$ numunelerin analizi

Çizelge 3.13. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=9,7$) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Kenar Uzunluğu D (mm)	Yükseklik L (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	50	125	68,5	27,40	35,7	50	0,005825	-1,028	-0,04823
2	50	125	71,5	28,60	35,7	50	0,005347	-1,028	-0,02961
3	50	125	70,0	28,00	35,7	50	0,005578	-1,028	-0,03882
4	100	250	314,0	31,40	35,7	100	0,004436	-0,726	0,01095
5	100	250	285,0	28,50	35,7	100	0,005384	-0,726	-0,03113
6	100	250	307,0	30,70	35,7	100	0,004640	-0,726	0,00116
7	200	500	989,0	24,73	35,7	200	0,007154	-0,425	-0,09284
8	200	500	1040,0	26,00	35,7	200	0,006469	-0,425	-0,07101
9	200	500	1050,0	26,25	35,7	200	0,006347	-0,425	-0,06685



(a)



(b)

Şekil 3.22 Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=9,7$)

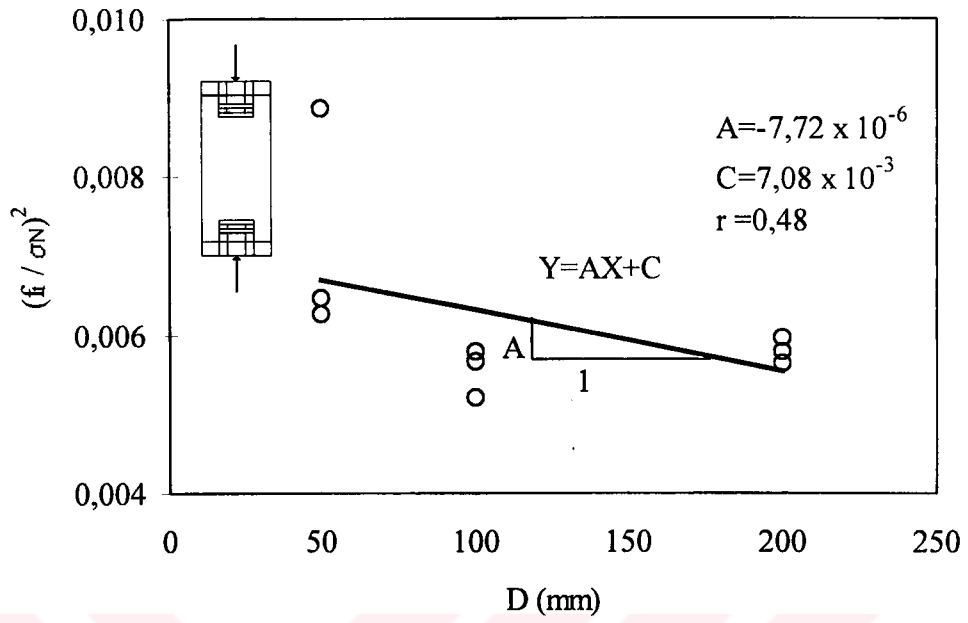
a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi

3.2.3.2 Narin donatısız kolonlarda basınç $\lambda=18$ numunelerin analizi

Çizelge 3.14. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=18$) ve lineer korelasyon sonuçları

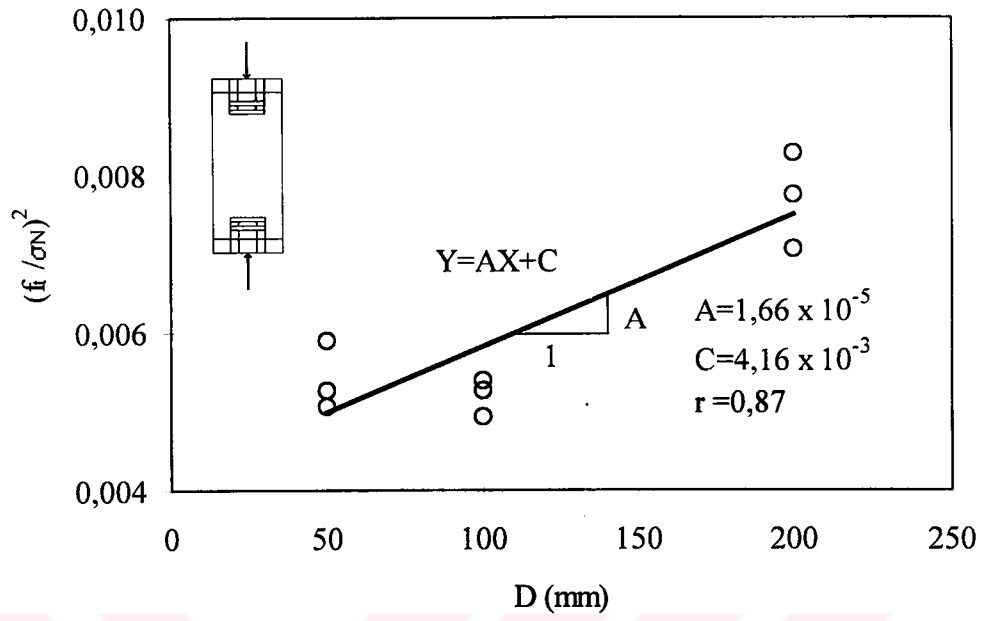
Numune Adı	Kenar Uzunluğu D (mm)	Yükseklik L (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$
1	50	250	65,0	26,00	35,7	50	0,006469
2	50	250	55,5	22,20	35,7	50	0,008874
3	50	250	66,0	26,40	35,7	50	0,006275
4	100	500	275,0	27,50	35,7	100	0,005783
5	100	500	278,0	27,80	35,7	100	0,005659
6	100	500	290,0	29,00	35,7	100	0,005200
7	200	1000	1100,0	27,50	35,7	200	0,005783
8	200	1000	1083,0	27,08	35,7	200	0,005966
9	200	1000	1115,0	27,88	35,7	200	0,005628



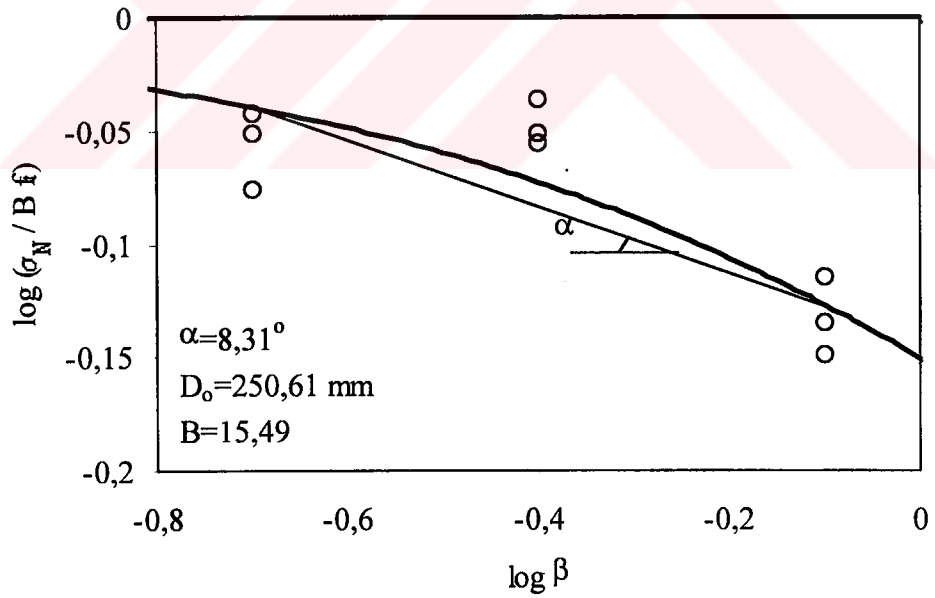
3.2.3.3 Narin donatısız kolonlarda basınç $\lambda=34,7$ numunelerin analizi

Çizelge 3.15. Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=34,7$) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Kenar Uzunluğu D (mm)	Yükseklik L (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	50	500	72,0	28,80	35,7	50	0,005273	-0,700	-0,05129
2	50	500	68,0	27,20	35,7	50	0,005911	-0,700	-0,07612
3	50	500	73,5	29,40	35,7	50	0,005060	-0,700	-0,04234
4	100	1000	285,0	28,50	35,7	100	0,005384	-0,399	-0,05584
5	100	1000	288,0	28,80	35,7	100	0,005273	-0,399	-0,05129
6	100	1000	298,0	29,80	35,7	100	0,004925	-0,399	-0,03647
7	200	2000	920,0	23,00	35,7	200	0,008267	-0,098	-0,14896
8	200	2000	950,0	23,75	35,7	200	0,007753	-0,098	-0,13502
9	200	2000	995,0	24,88	35,7	200	0,005628	-0,098	-0,11492



(a)

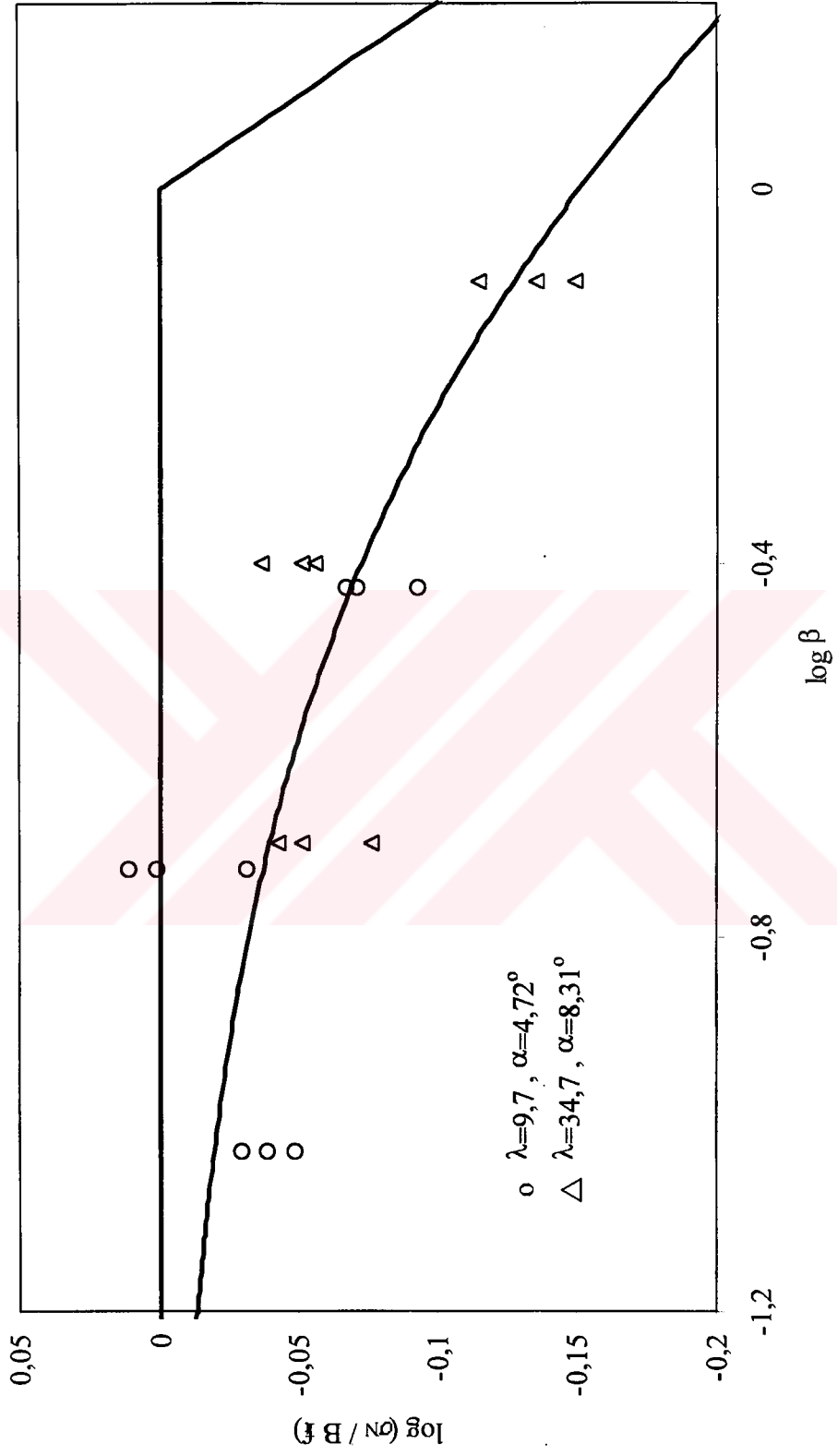


(b)

Şekil 3.24 Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi ($\lambda=34,7$)

a) Doğrusal korelasyon

b) Boyut etkisi



Şekil 3.25 Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi 9,7 ve 34,7 narinlikli numunelerin boyut etkisi

3.2.4 Basınç deney bulguları

Yapılan analizler sonucu bulunan α değerleri Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Basınç deneyi bulguları

Deney Adı		α (Derece)
Çentikli Numunede Simetrik Olmayan Dışmerkez Basınç Deneyi	C50	15,83
	C70	22,5
	C80	24,73
	C90	23,65
Çentikli Numunede Simetrik Dışmerkez Basınç Deneyi	Beton	18,93
	Harç	24,71
Narin Donatısız Kolonlarda Basınç Deneyi	$\lambda=9,7$	4,72
	$\lambda=34,7$	8,32

Çizelge 3.16’da görüldüğü gibi, burada verilen gevreklik tanımlarına göre en gevrek davranışı C80 betonu ile yapılmış çentikli simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi ile çentikli simetrik dışmerkez basınç deneyinde harç numuneler göstermiştir.

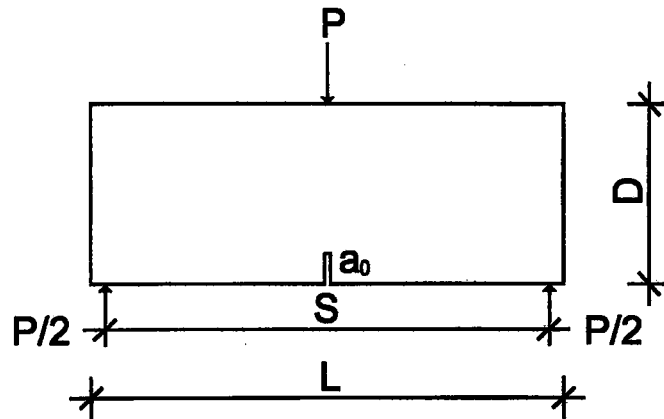
3.3. Eğilme Deneyleri

3.3.1. Üç nokta yüklemesinde eğilme deneyleri

Çentikli numune üzerinde üç nokta yükleme deneyi Bazant ve Pfeiffer [6] tarafından 1987 yılında Northwestern Üniversitesinde yapılmıştır. İki tür malzeme, beton ve harç kullanılmış olup dikdörtgen kesitlidirler ve uzunluk / yükseklik oranı 8/3 olarak düzenlenmiştir (Şekil 3.26). Yükseklik değerleri $D = 38,1; 76,2; 152,4; 304,8$ mm ve kalınlık değeri $b = 38$ mm'dir. Bu üç farklı numune farklı beton karışımlarından fakat her bir numune serisi aynı beton karışımından yapılmıştır. Çentik derinliği $a_0 = D/6$ ve kalınlığı 2,5 mm olarak sertleşmiş numuneden elmas kesici ile elde edilmiştir. Betonun ağırlıkça karışım oranı her iki numune için su/çimento/kum/çakıl=0,6/1/2/2 olarak düzenlenmiştir. En büyük dane çapı beton için $d_{max}=12,7$ mm ve harç için $d_{max}=4,83$ mm'dir. Betonun basınç dayanımını belirlemek için her karışımdan silindir numuneler alınıp (çap=76,2 mm, yükseklik=152,4 mm) 28 günlük kürden sonra ortalama basınç dayanımı beton için $f_c=33,5$ MPa ve harç için $f_c = 47,6$ MPa olarak elde edilmiştir. Nominal gerilme aşağıdaki denklemden elde edilir.

$$\sigma_N = \frac{3P_u S}{2bD^2} \quad (3.6)$$

P_u : maksimum yük (N), S : mesnetler arası uzaklık (mm), b : numunenin kalınlığı (mm), D : numune yüksekliği (mm).

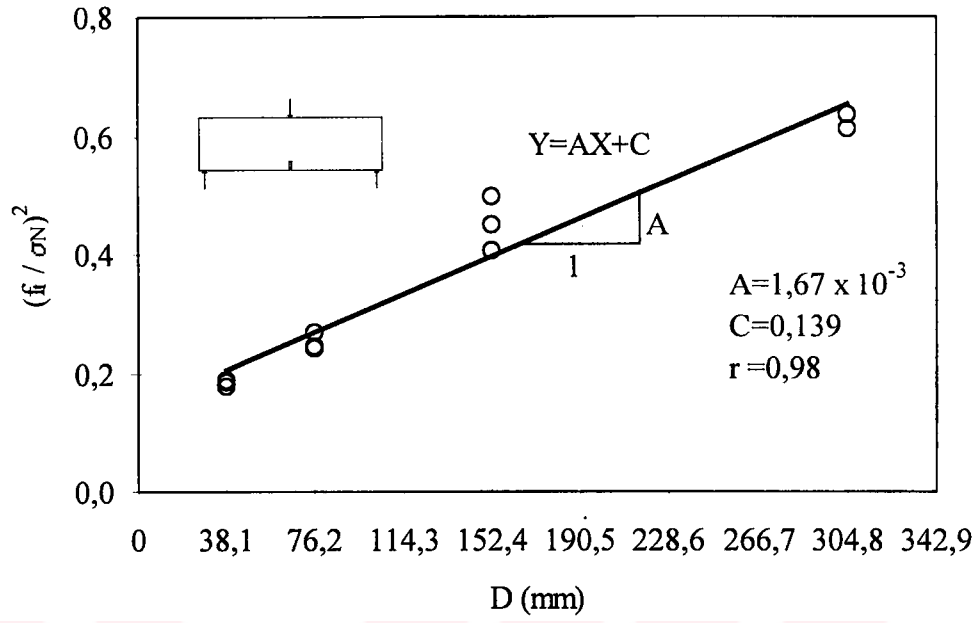


Şekil 3.26.Üç nokta yüklemesinde numune geometrisi ve yükleme durumu

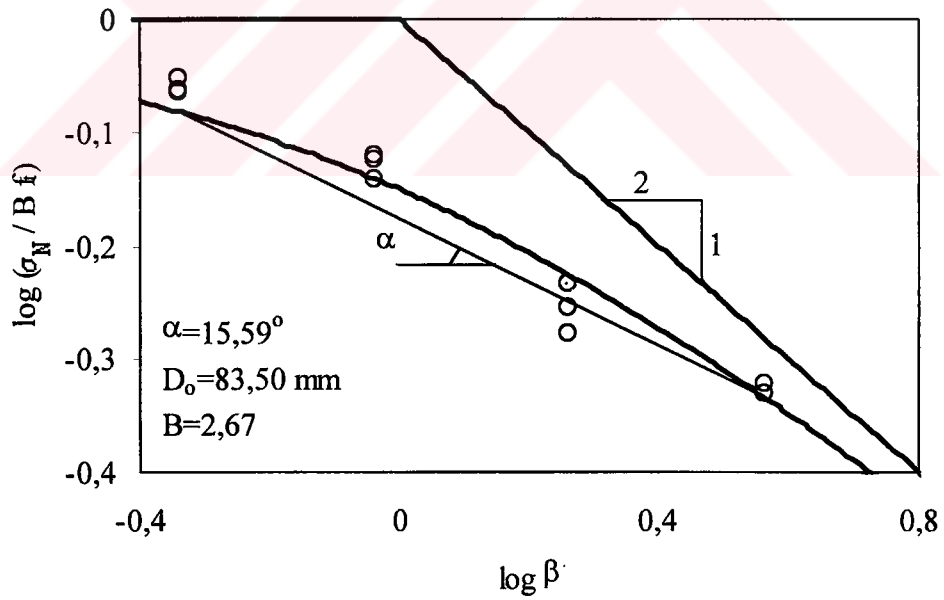
3.3.1.1.Üç nokta yüklemede eğilme deneyi beton numunelerinin analizi

Çizelge 3.17 Üç nokta eğilme deneyi (beton) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	38,1	101,6	38	95,25	1803,2	4,67	33,5	38,1	0,188134	-0,341	-0,06424
2	38,1	101,6	38	95,25	1816,5	4,70	33,5	38,1	0,185381	-0,341	-0,06103
3	38,1	101,6	38	95,25	1856,5	4,81	33,5	38,1	0,177473	-0,341	-0,05157
4	76,2	203,2	38	190,5	3018,2	3,91	33,5	76,2	0,268601	-0,040	-0,14156
5	76,2	203,2	38	190,5	3147,2	4,08	33,5	76,2	0,247035	-0,040	-0,12338
6	76,2	203,2	38	190,5	3169,4	4,10	33,5	76,2	0,243580	-0,040	-0,12032
7	152,4	406,4	38	381	4431,0	2,87	33,5	152,4	0,498485	0,261	-0,27583
8	152,4	406,4	38	381	4653,4	3,01	33,5	152,4	0,451975	0,261	-0,25456
9	152,4	406,4	38	381	4902,5	3,17	33,5	152,4	0,407213	0,261	-0,23191
10	304,8	812,8	38	762	7840,5	2,54	33,5	304,8	0,636832	0,562	-0,32901
11	304,8	812,8	38	762	7845,0	2,54	33,5	304,8	0,636109	0,562	-0,32877
12	304,8	812,8	38	762	7996,2	2,59	33,5	304,8	0,612276	0,562	-0,32048



(a)



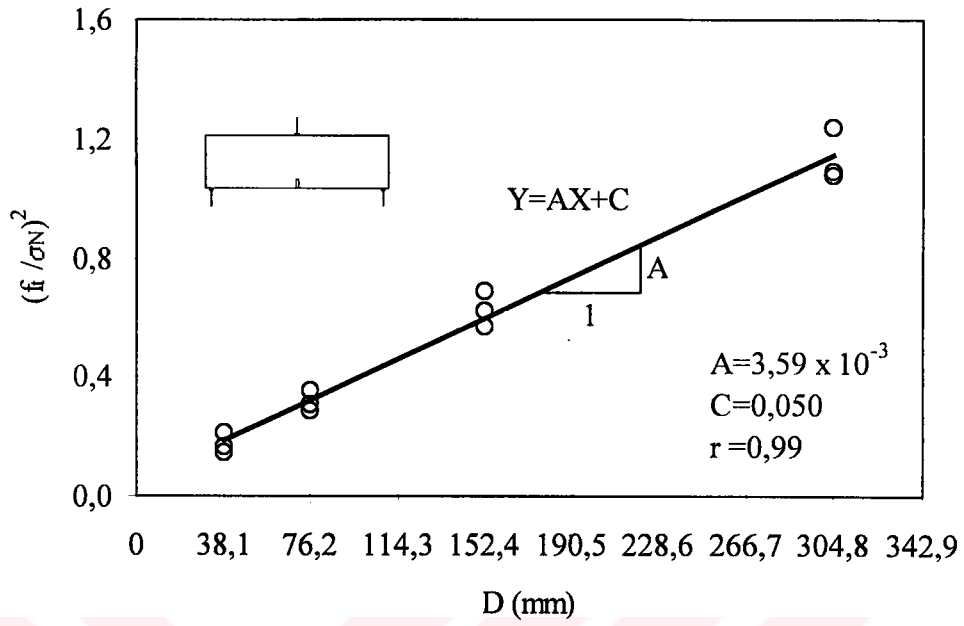
(b)

Şekil 3.27 Üç nokta yüklemesi deneyi beton numunelerinin
a) Doğrusal korelasyonu
b) Boyut etkisi

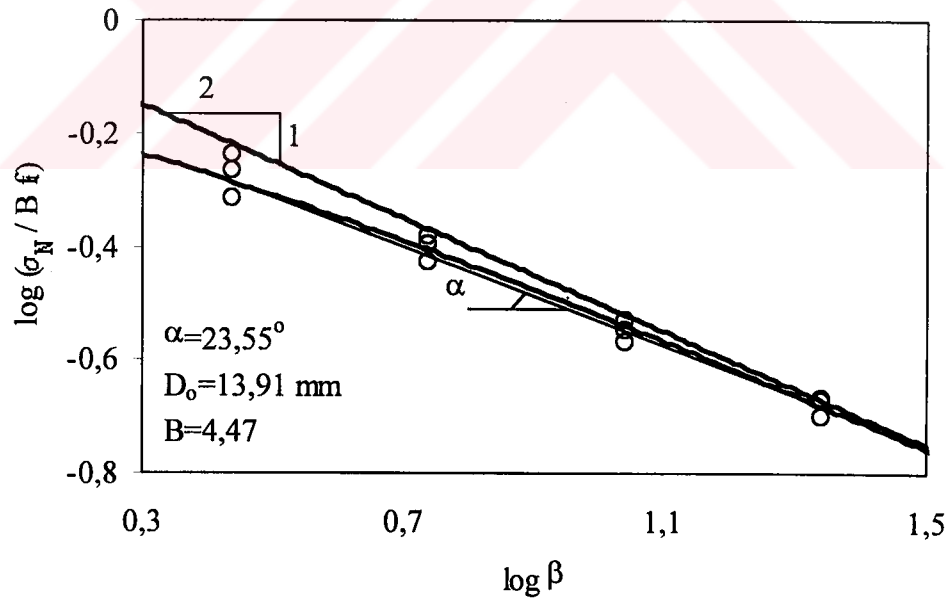
3.3.1.2.Üç nokta yüklemede eğilme deneyi harç numunelerinin analizi

Çizelge 3.18 Üç nokta eğilme deneyi (harç) ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik B (mm)	Mesnetler Arası Mesafe S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	38,1	101,6	38	95,25	2030,0	5,26	47,6	38,1	0,210912	0,438	-0,31248
2	38,1	101,6	38	95,25	2261,3	5,86	47,6	38,1	0,169974	0,438	-0,26562
3	38,1	101,6	38	95,25	2417,0	6,26	47,6	38,1	0,148782	0,438	-0,23670
4	76,2	203,2	38	190,5	3133,8	4,06	47,6	76,2	0,354007	0,739	-0,42493
5	76,2	203,2	38	190,5	3351,8	4,34	47,6	76,2	0,309464	0,739	-0,39573
6	76,2	203,2	38	190,5	3463,0	4,48	47,6	76,2	0,289908	0,739	-0,38156
7	152,4	406,4	38	381	4497,7	2,91	47,6	152,4	0,687437	1,040	-0,56904
8	152,4	406,4	38	381	4737,9	3,07	47,6	152,4	0,619504	1,040	-0,54645
9	152,4	406,4	38	381	4938,1	3,20	47,6	152,4	0,570300	1,040	-0,52848
10	304,8	812,8	38	762	6710,7	2,17	47,6	304,8	1,235199	1,341	-0,69630
11	304,8	812,8	38	762	7146,7	2,31	47,6	304,8	1,089112	1,341	-0,66896
12	304,8	812,8	38	762	7173,3	2,32	47,6	304,8	1,081026	1,341	-0,66735

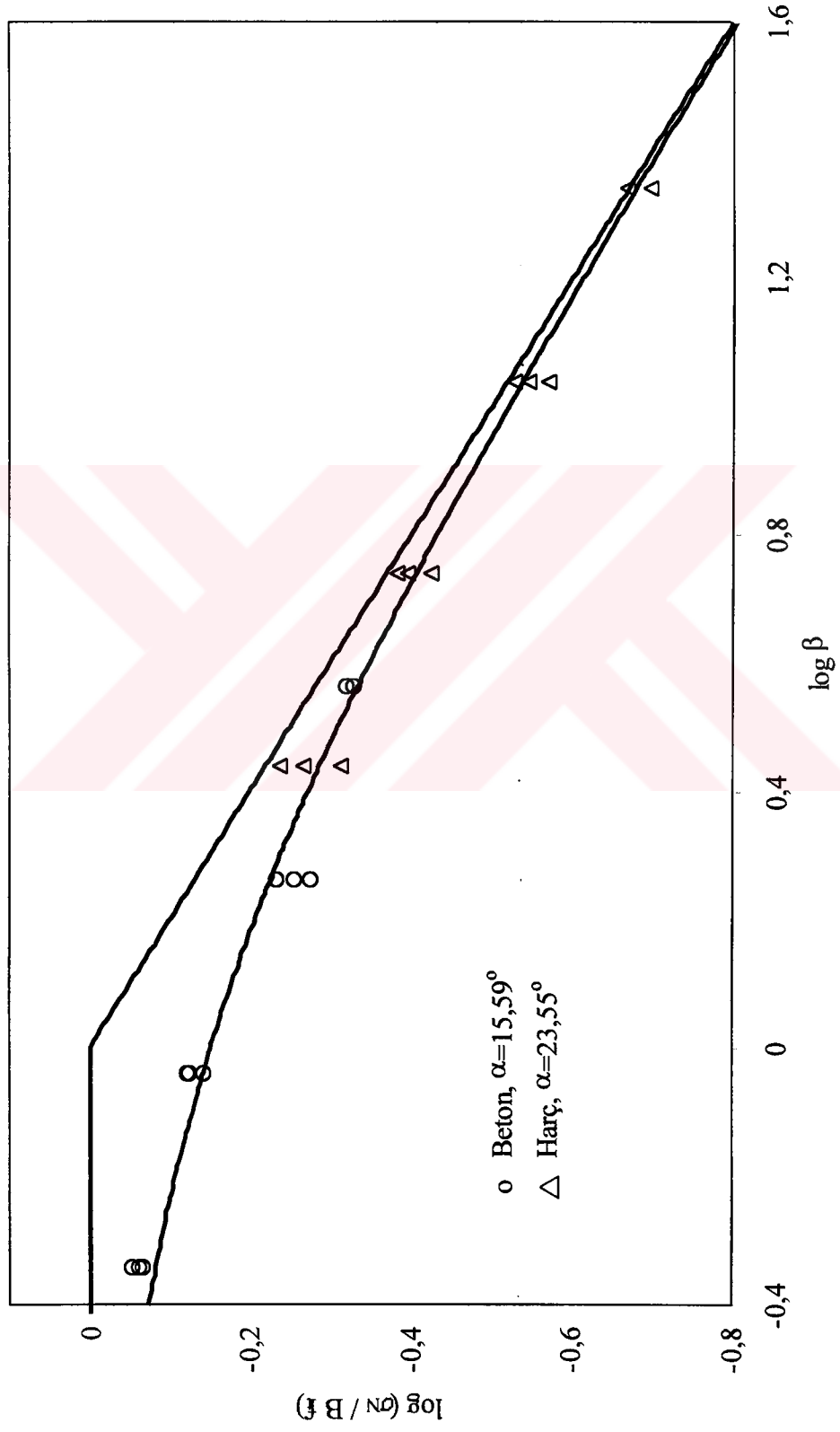


(a)



(b)

Şekil 3.28 Üç nokta yüklemesi deneyi harç numunelerin
a) Doğrusal korelasyonu
b) Boyut etkisi



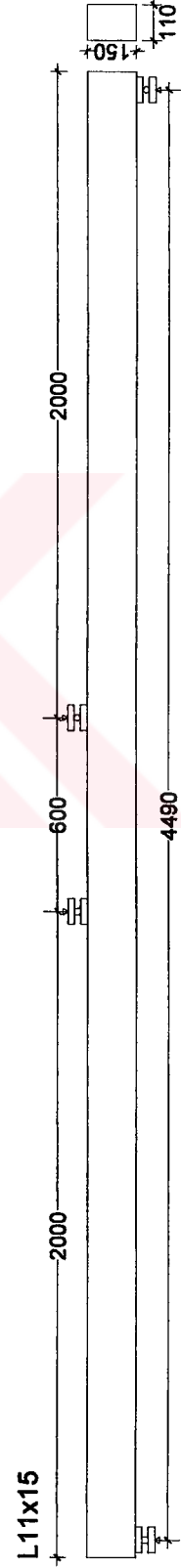
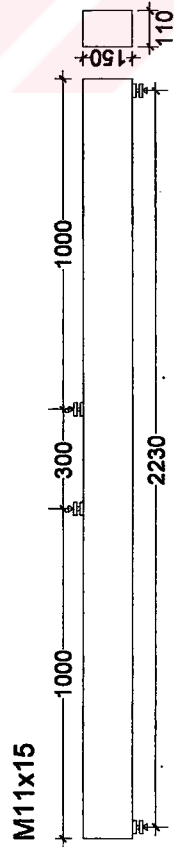
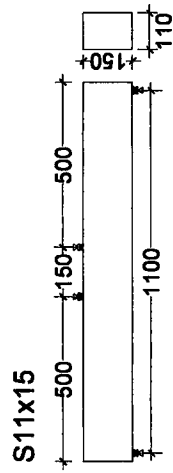
Şekil 3.29 Üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi beton ve harç numunelerin boyut etkisi

3.3.2. Aşırı Donatılı Kirişlerde Basınç Göçmesi Deneyleri

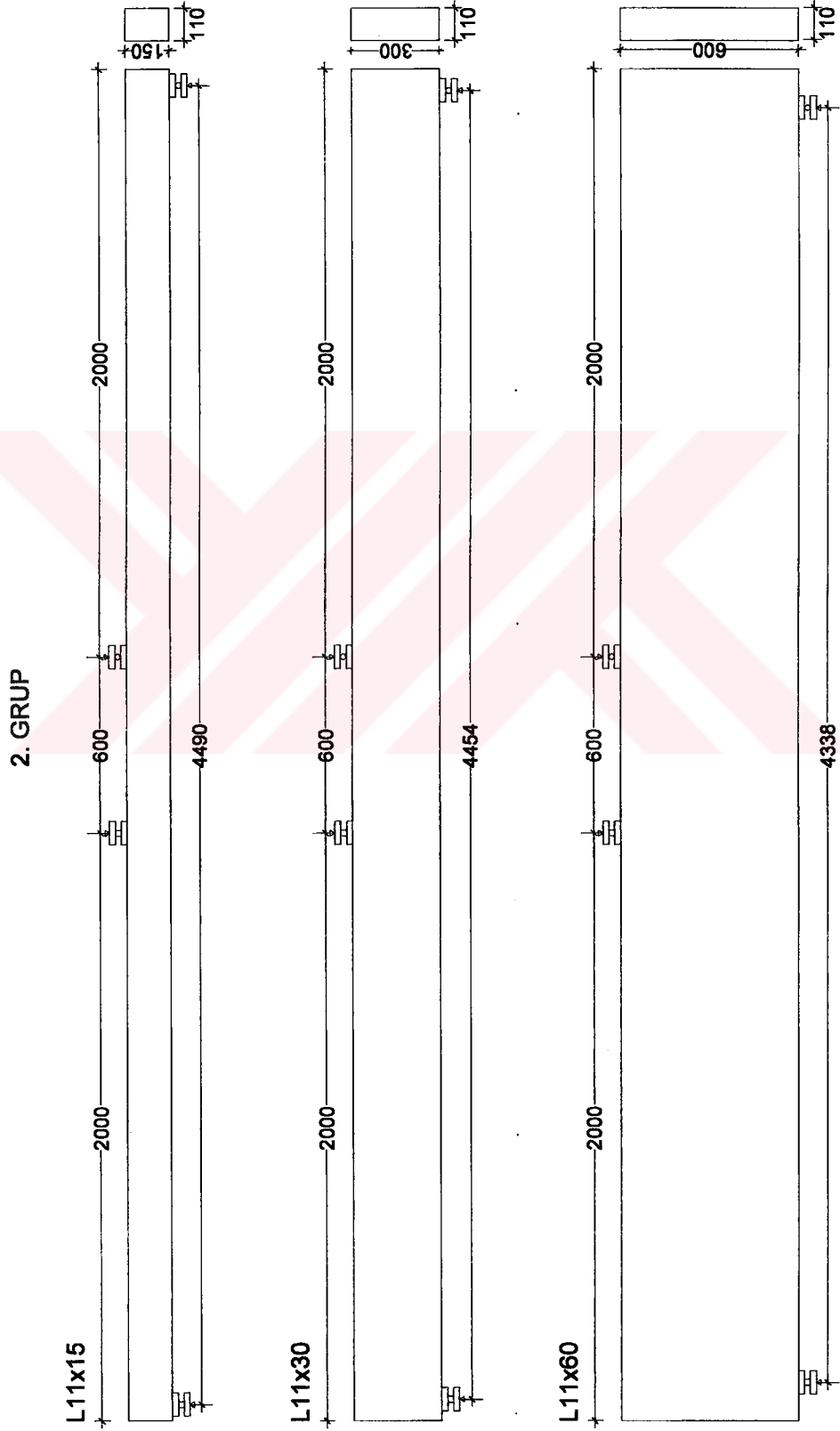
Deney kirişleri 10 farklı tipte ve her tipte 3 adet olmak üzere $10 \times 3 = 30$ adet kirişten oluşmaktadır. Kiriş kesitleri dikdörtgen olup yükseklikleri $D=75, 150, 300, 600$ mm ve genişlikleri $B=55, 110, 220$ mm dir. Faydalı kiriş yükseklikleri $d=61, 122, 244, 488$ mm dir. Kiriş uzunlukları $L=1150, 2300, 4600$ mm dir ve sırasıyla S, M ve L harfleriyle adlandırıp yanlarına kesit boyutları yazılmıştır. Kirişler 5 grupta incelenmiştir. 1.grup uzunlukları değişken $S11 \times 15, M11 \times 15, L11 \times 15$ adlı kirişlerden, 2.grup yükseklikleri değişken $L11 \times 15, L11 \times 30, L11 \times 60$ adlı kirişlerden, 3.grup üç boyutuda değişken $S55 \times 75, M11 \times 15, L22 \times 30$ adlı kirişlerden, 4.grup genişlikleri değişken $S11 \times 15, M11 \times 30, L11 \times 60$ adlı kirişlerden, 5.grup uzunlukları sabit $M55 \times 75, M11 \times 15, M222 \times 30$ adlı kirişlerden oluşmaktadır.

1.grup $S11 \times 15, M11 \times 15, L11 \times 15$ deney numunelerinden oluşmaktadır. Bu grupta kiriş kesitleri aynı olup (110×150 mm) uzunluklar $L=1150, 2300, 4600$ mm, genişlikleri $b=110$ mm'dir. Mesnetler arası uzaklıklar sırasıyla $S=1100, 2230, 4490$ mm'dir (Şekil 3.30). 2. grup $L11 \times 15, L11 \times 30, L11 \times 60$ deney numunelerinden oluşmaktadır. Bu grupta kirişlerin uzunlukları ($L=4600$ mm) ve genişlikleri ($b=110$ mm) aynı olup yükseklikleri sırasıyla $D=150, 300, 600$ mm'dir. Mesnetler arası uzaklıklar sırasıyla $S=4490, 4454, 4338$ mm'dir (Şekil 3.31). 3.grup $S55 \times 75, M11 \times 15, L22 \times 30$ deney numunelerinden oluşmaktadır. Bu grupta kirişlerin üç boyutuda değişken olup sırasıyla uzunluklar $L=1150, 2300, 4600$ mm yükseklikler $D=75, 150, 300$ mm genişlikler $b=55, 110, 220$ mm'dir. Mesnetler arası uzaklık sırayla $S=1120, 2230, 4450$ mm'dir (Şekil 3.32). 4.grup $S11 \times 15, M11 \times 30, L11 \times 60$ deney numunelerinden oluşmaktadır. Bu grupta kirişlerin genişlikleri aynı ($b=110$ mm) uzunlukları $L=1150, 2300, 4600$ mm ve yükseklikleri $D=150, 300, 600$ mm'dir. Mesnetler arası uzaklık sırayla $S=1100, 2184, 4338$ mm'dir (Şekil 3.33). 5. grup $M55 \times 75, M11 \times 15, M22 \times 30$ deney numunelerinden oluşmaktadır. Bu grupta kirişlerin uzunlukları aynı ($L=2300$ mm) sırasıyla yükseklikleri $D=75, 150, 300$ mm genişlikleri $b=55, 110, 220$ mm'dir. Mesnetler arası mesafeler sırayla $S=2250, 2230, 2190$ mm'dir (Şekil 3.34).

1. GRUP

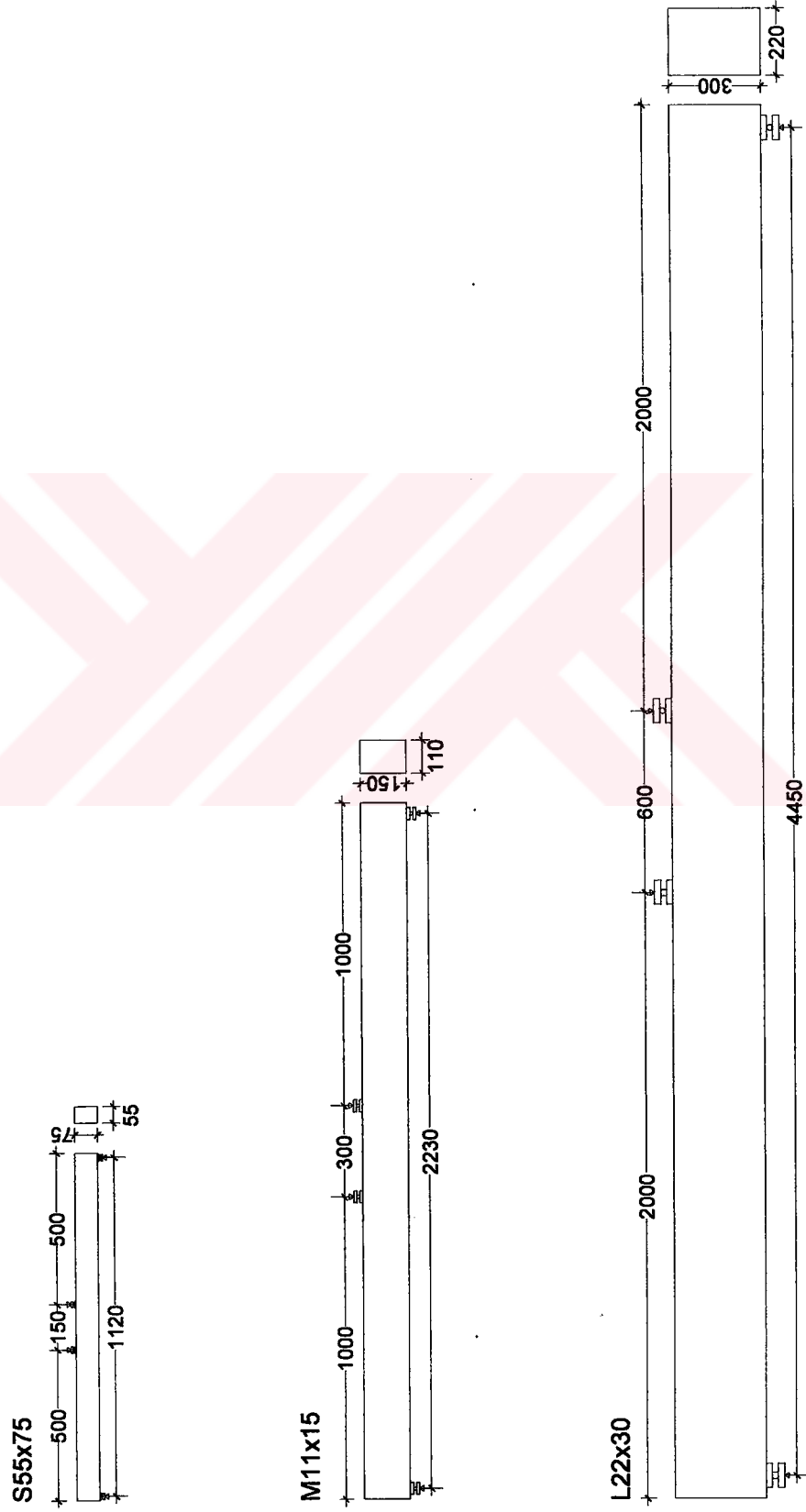


Şekil 3.30. Uzunlukları değişken tek boyutlu deney kirişleri



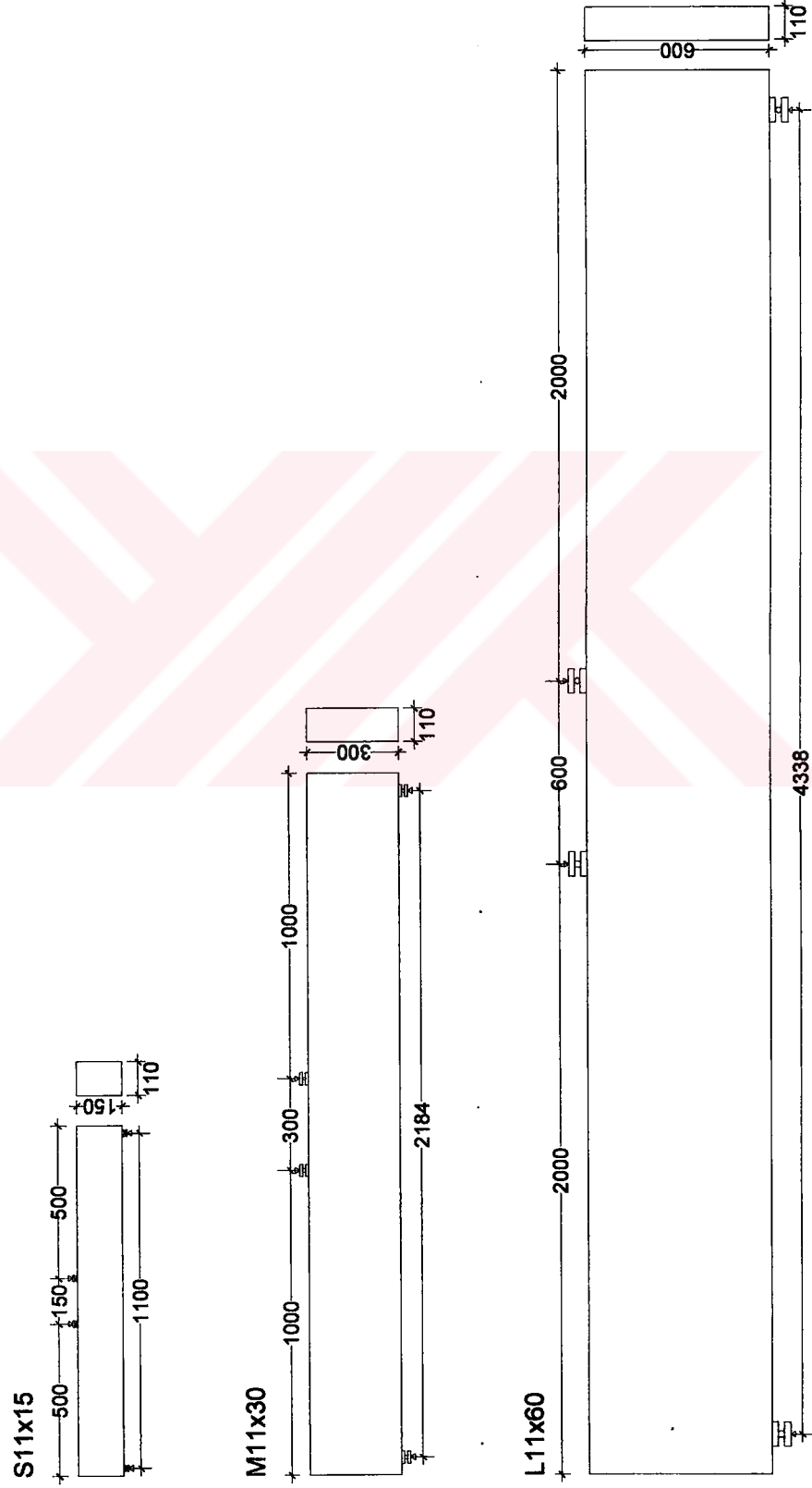
Şekil 3.31. Yükseklikleri değişken tek boyutlu deney kirişleri

3. GRUP



Şekil 3.32. Üç boyutu değişken üç boyutlu deney kirişleri

4. GRUP



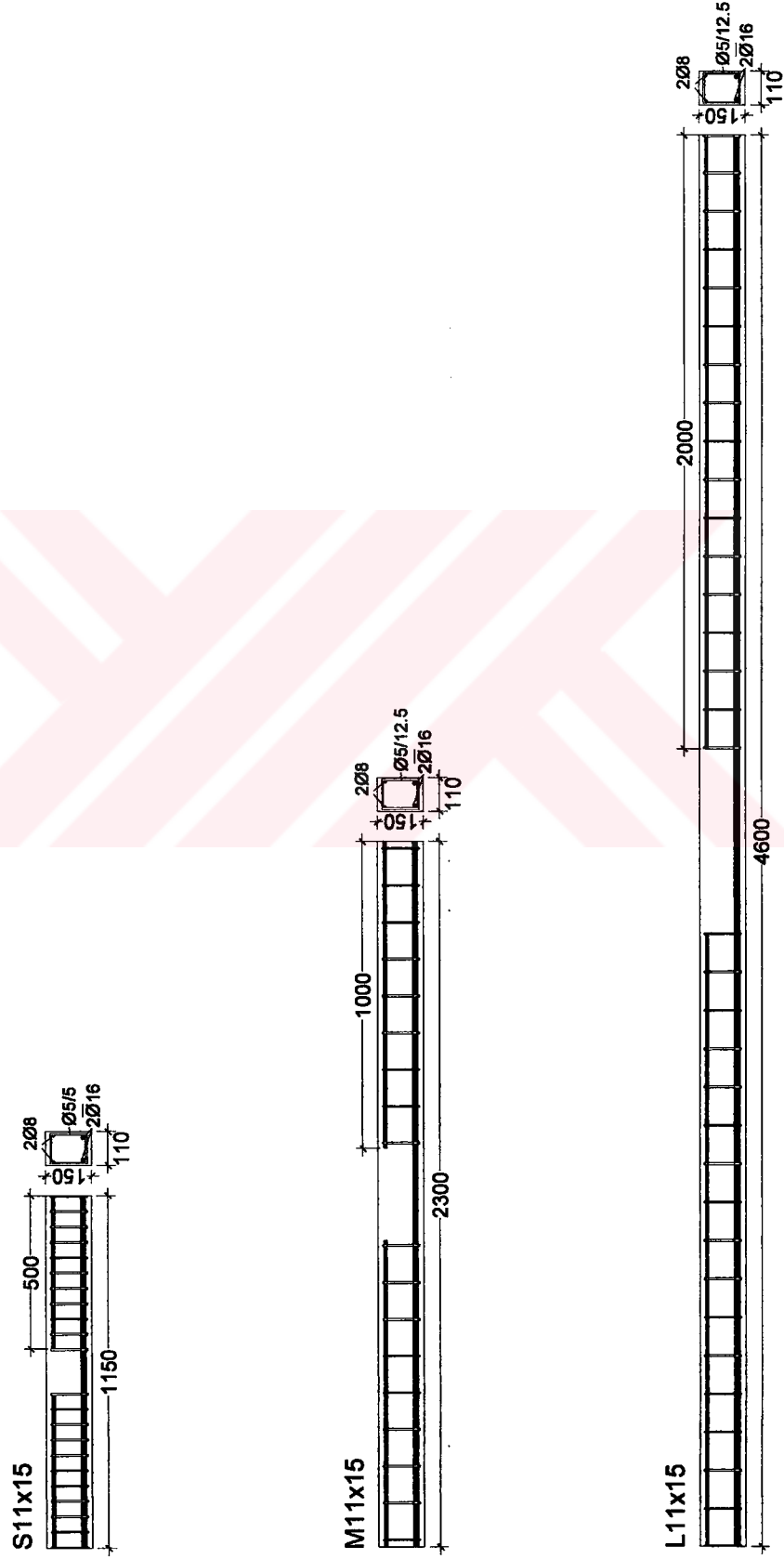
Şekil 3.33. Genişlikleri sabit iki boyutlu deney kirişleri

Kirişlerin basınç donatıları yoktur ve basınç göçmesi olacak biçimde $\rho=0,024 > \rho_b=0,020$ (C20 için) aşırı donatılı olarak düzenlenmiştir. Donatı çapları $\phi=8, 16, 32$ mm ve etriye çapları sıra ile $\phi=5, 8$ mm dir. Etriyeler S220 ve çekme donatıları S420 dir.

1.grup bütün deney numune kesitleri aynı olduğu için boyuna donatıları altta $2\Phi 16$ üstte $2\Phi 8$ dir. Boyuna donatıların boyları ve yerleşim biçimleri Şekil 3.35’ de verilmiştir. 2. grup deney numune kesitlerinde sırasıyla boyuna donatı altta $2\Phi 16, 4\Phi 16, 2\Phi 32$ üstte $2\Phi 8, 2\Phi 16, 2\Phi 16$ olarak düzenlenmiştir. Boyuna donatıların boyları ve yerleşim biçimleri Şekil 3.36’ da verilmiştir. 3. grup deney numune kesitlerinde sırasıyla boyuna donatı altta $2\Phi 8, 2\Phi 16, 2\Phi 32$ üstte $2\phi 5, 2\Phi 8, 2\Phi 16$ olarak düzenlenmiştir. Boyuna donatıların boyları ve yerleşim biçimleri Şekil 3.37’ de verilmiştir. 4. grup deney numune kesitlerinde sırasıyla boyuna donatı altta $2\Phi 16, 4\Phi 16, 2\Phi 32$ üstte $2\Phi 8, 2\Phi 16, 2\Phi 16$ olarak düzenlenmiştir. Boyuna donatıların boyları ve yerleşim biçimleri Şekil 3.38’ de verilmiştir. 5. grup deney numune kesitlerinde sırasıyla boyuna donatı altta $2\Phi 8, 2\Phi 16, 2\Phi 32$ üstte $2\phi 5, 2\Phi 8, 2\Phi 16$ olarak düzenlenmiştir. Boyuna donatıların boyları ve yerleşim biçimleri Şekil 3.39’ da verilmiştir.

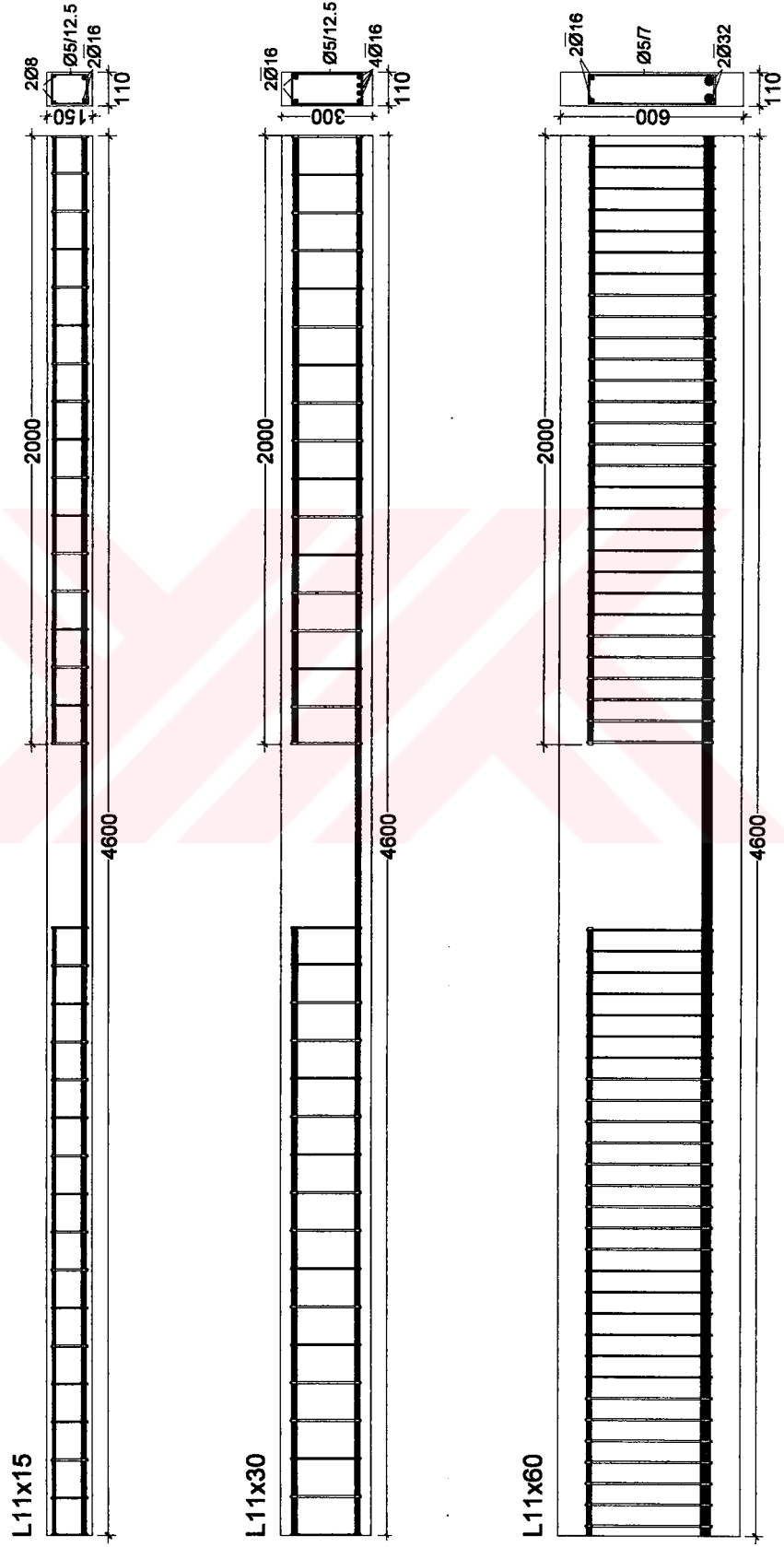
Beton üretiminde KPÇ32.5 çimentosu kullanılmıştır. Yapılan karışımın oranı su/çimento/agrega/kum (w/c/a/s)= 0.6/1/2,2/1,8 dir (ağırlık olarak). En büyük agrega çapı $d_{max}=10$ mm en büyük kum çapı $d_{max}=6$ mm dir. Beton basınç dayanımları standart silindir basınç deneyinden L11x15 ve L11x30 için $f_c=20,4$ MPa, L11x60 için $f_c=20,5$ MPa, M55x75 ve M22x30 için $f_c= 20,7$ MPa, S11x15 ve M11x30 için $f_c=17,5$ MPa, L22x30 için $f_c=17,3$ MPa, S55x75 ve M11x15 için $f_c=17,2$ MPa bulunmuştur.

1. GRUP



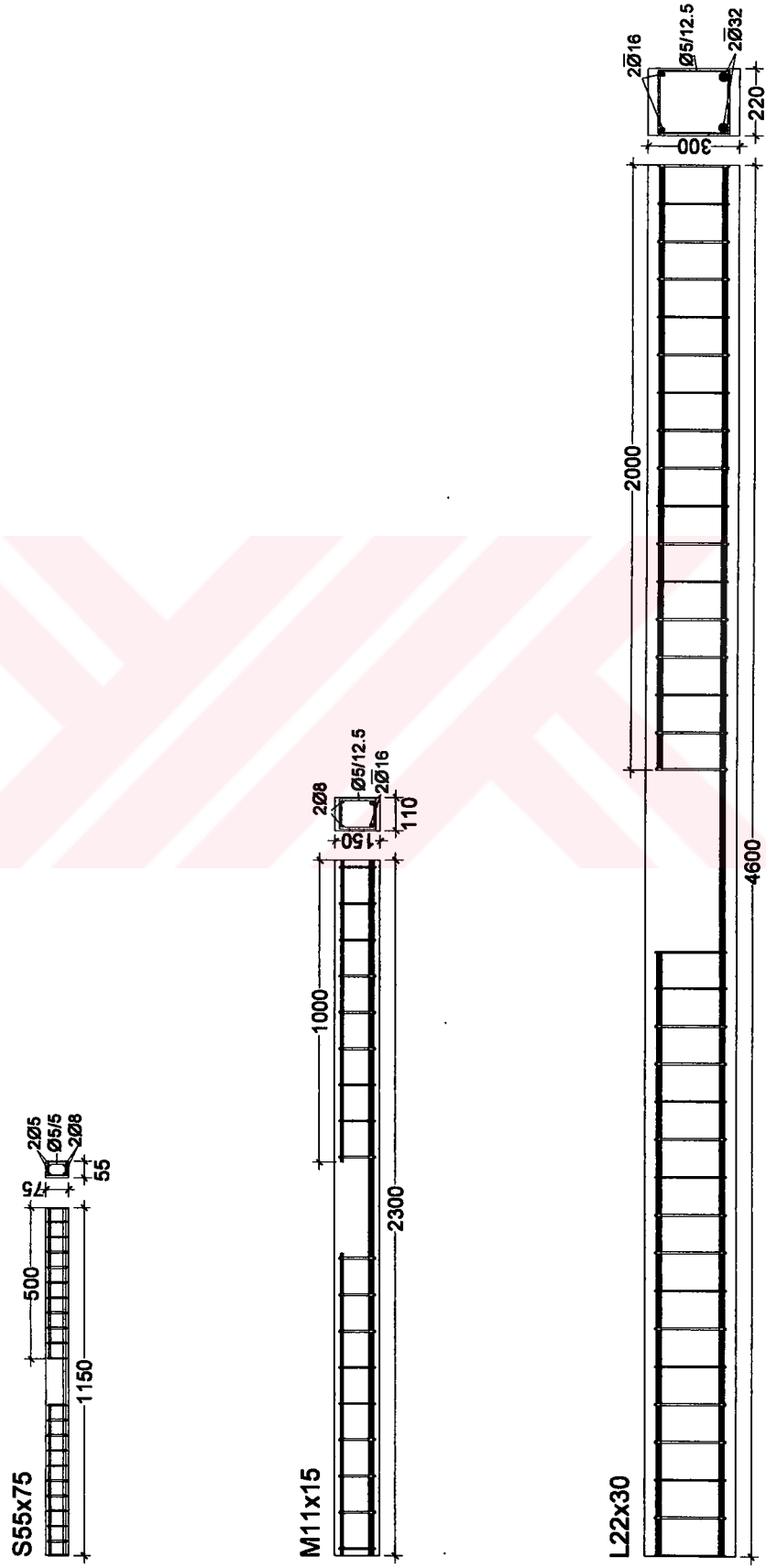
Şekil 3.35. Uzunlukları değişken tek boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları.

2. GRUP



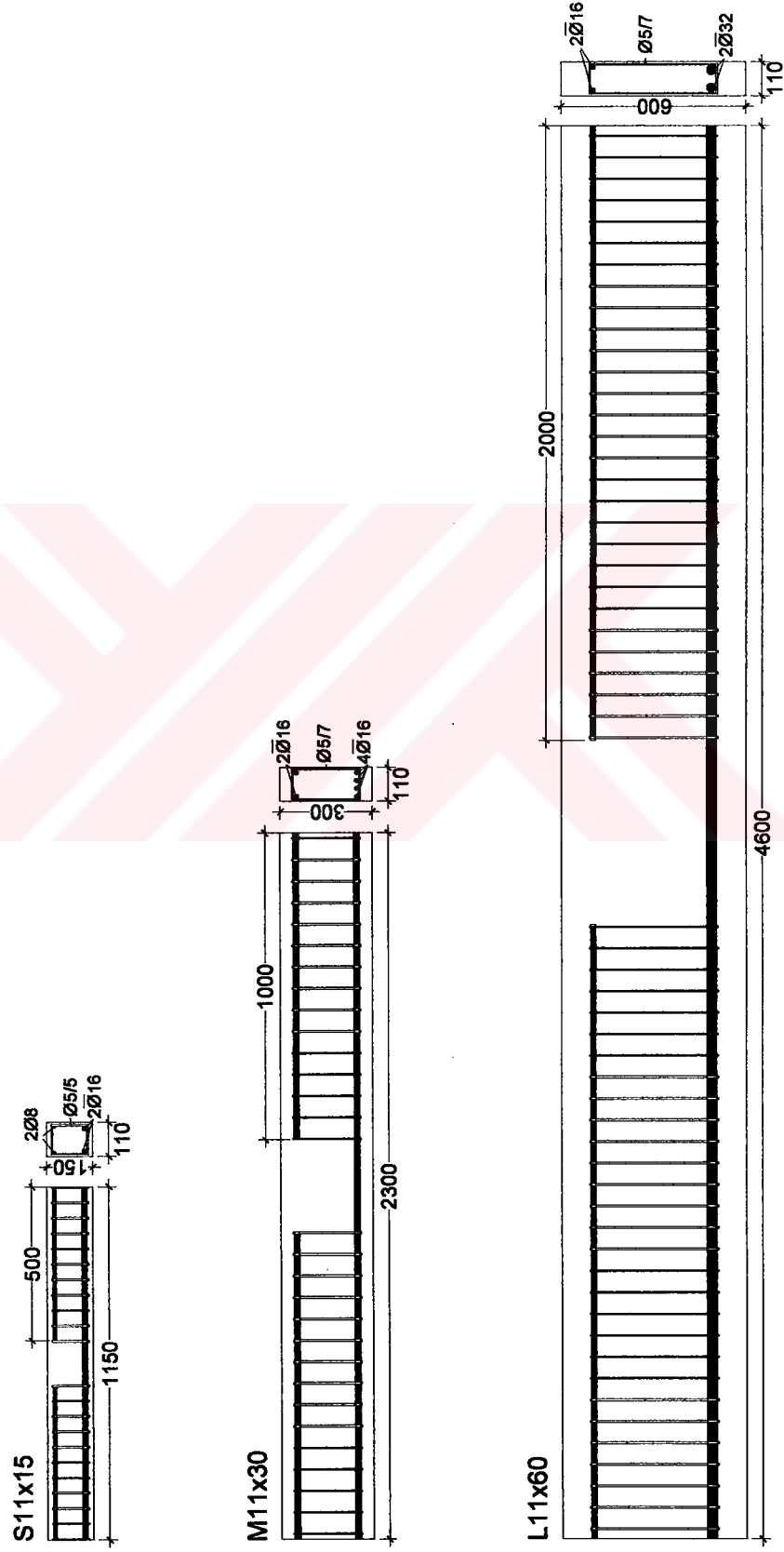
Şekil 3.36. Yükseklikleri değişken tek boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları.

3. GRUP



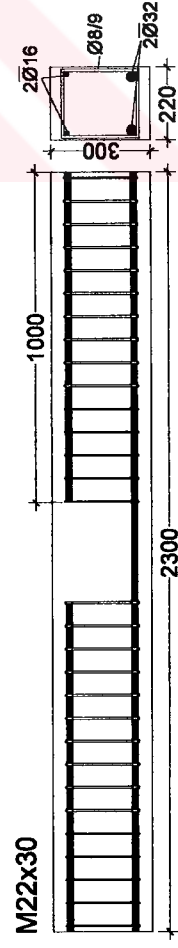
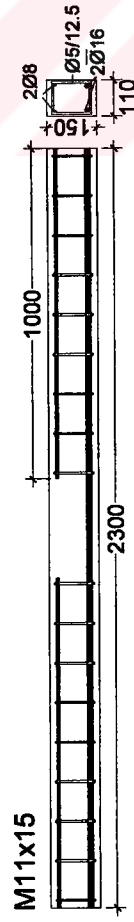
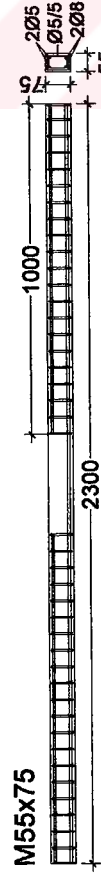
Şekil 3.37. Üç boyutu değişken üç boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları.

4. GRUP



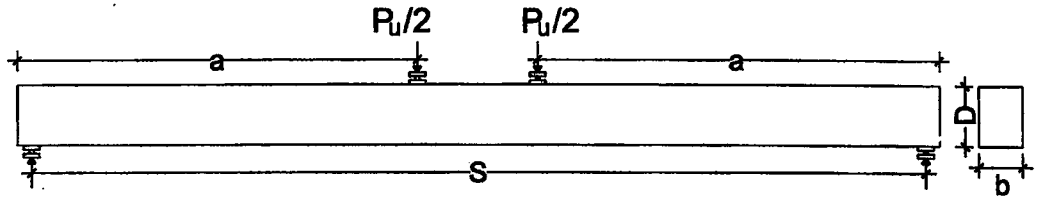
Şekil 3.38. Genişlikleri sabit iki boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları.

5. GRUP



Şekil 3.39. Uzunlukları sabit iki boyutlu deney kirişlerinin boyut ve donatıları.

Bütün numuneler 200 kN kapasiteli Hi-Tec çerçevede, yük (150 N hassasiyetli 300 kN kapasiteli load cell) ölçümleri deney sırasında alınarak yapılmıştır (Şekil 3.40). Elemanlarda açıklıkta yatay yerdeğiştirme ve dönme, mesnetlerde ise çökme ölçümleri LVDT yardımı ile yapılmıştır. Her eleman 5 dakikada kırılacak şekilde yüklenmiştir.

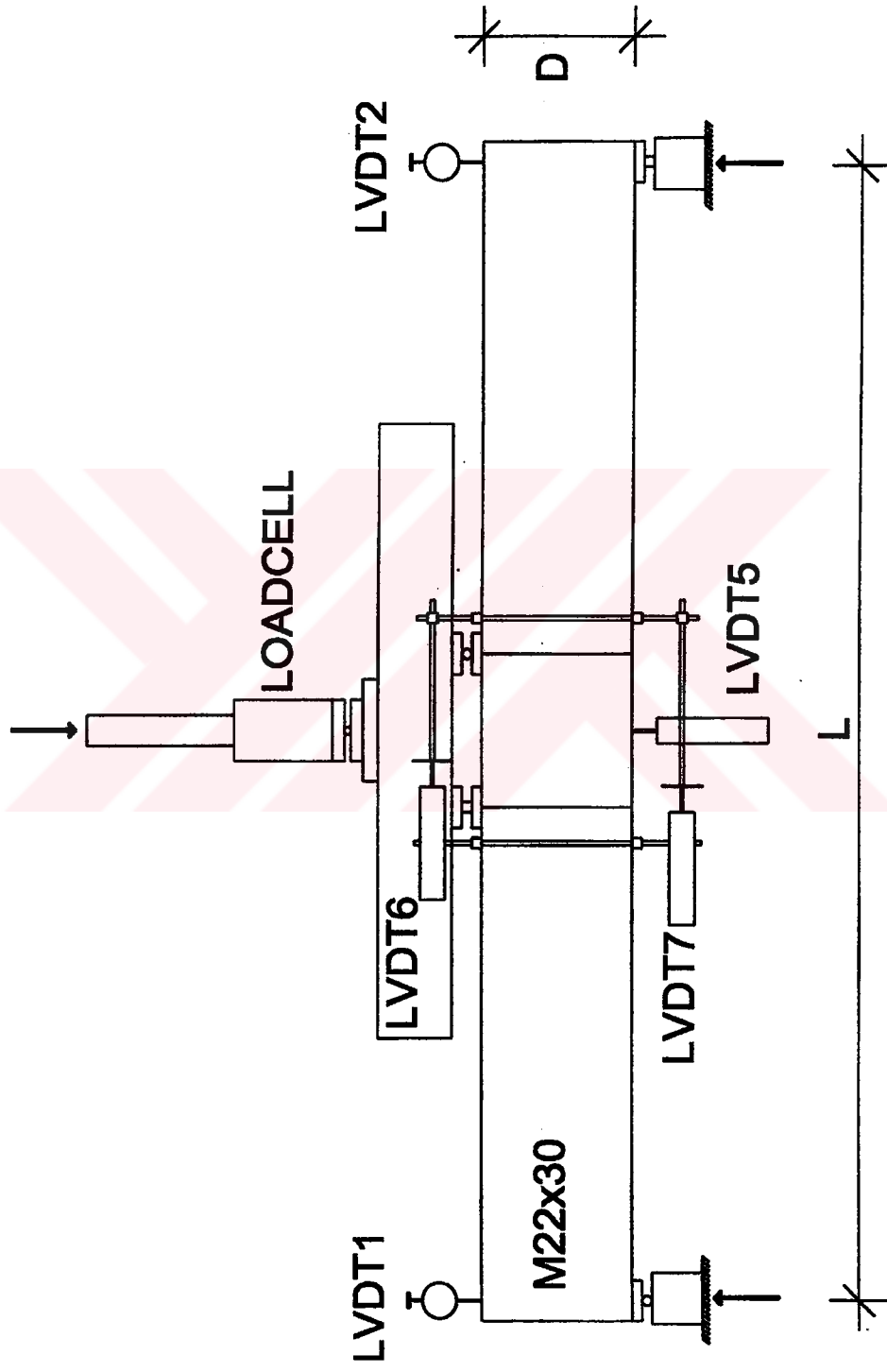


Şekil 3.40. Yük yerleşimi ve kesit boyutları.

Nominal gerilmeler aşağıdaki denklemden elde edildi.

$$\sigma_N = \frac{M}{W} = \frac{(P_u / 2)a}{\frac{bD^2}{6}} = \frac{3P_u a}{bD^2} \quad (3.7)$$

P_u : maksimum yük (N), a : moment kolu (mm), b : numunenin kalınlığı (mm),
 D : numune yüksekliği (mm)(Şekil 3.40).

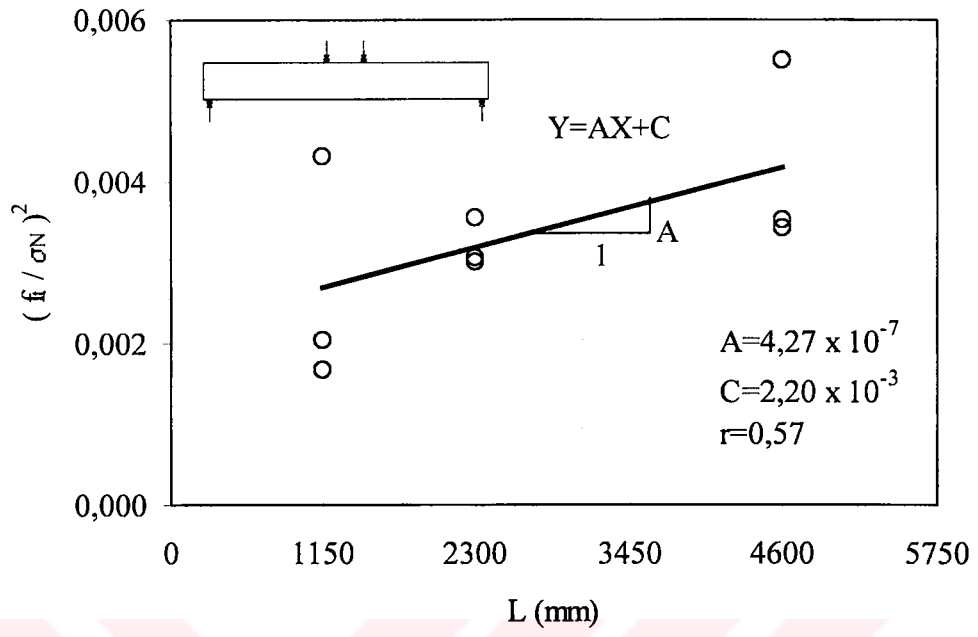


Şekil 3.41. Deney düzenneđi.

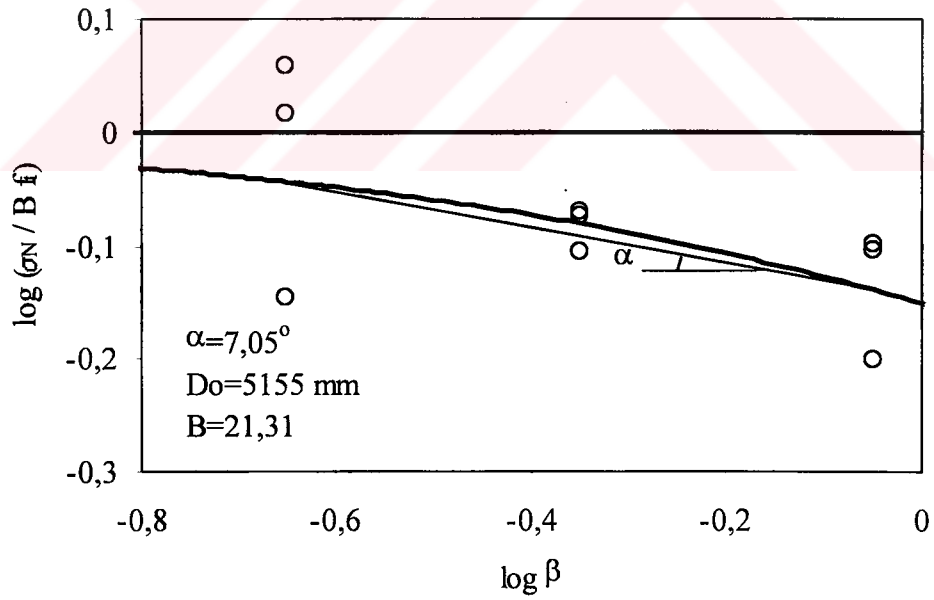
3.3.2.1 Uzunlukları değişken tek boyutlu kirişlerin analizi

Çizelge 3.19. Uzunlukları değişken tek boyutlu kirişlerin lineer korelasyon sonuçları.

Kiriş Adı	Uzunluk L (mm)	Yükseklik D (mm)	Genişlik b (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
S11x15A	1150	150	110	62,088	35,748	17,5	1150	0,001678	-0,652	0,05906
S11x15B	1150	150	110	38,660	22,306	17,5	1150	0,004309	-0,652	-0,14577
S11x15C	1150	150	110	56,521	32,440	17,5	1150	0,002037	-0,652	0,01689
M11x15A	2300	150	110	20,799	24,366	17,2	2300	0,003549	-0,351	-0,10364
M11x15B	2300	150	110	22,577	26,422	17,2	2300	0,003018	-0,351	-0,06847
M11x15C	2300	150	110	22,423	26,201	17,2	2300	0,003069	-0,351	-0,07212
L11x15A	4600	150	110	11,289	26,615	20,4	4600	0,003528	-0,050	-0,10236
L11x15B	4600	150	110	11,443	26,950	20,4	4600	0,003441	-0,050	-0,09693
L11x15C	4600	150	110	9,046	21,310	20,4	4600	0,005503	-0,050	-0,19890



(a)



(b)

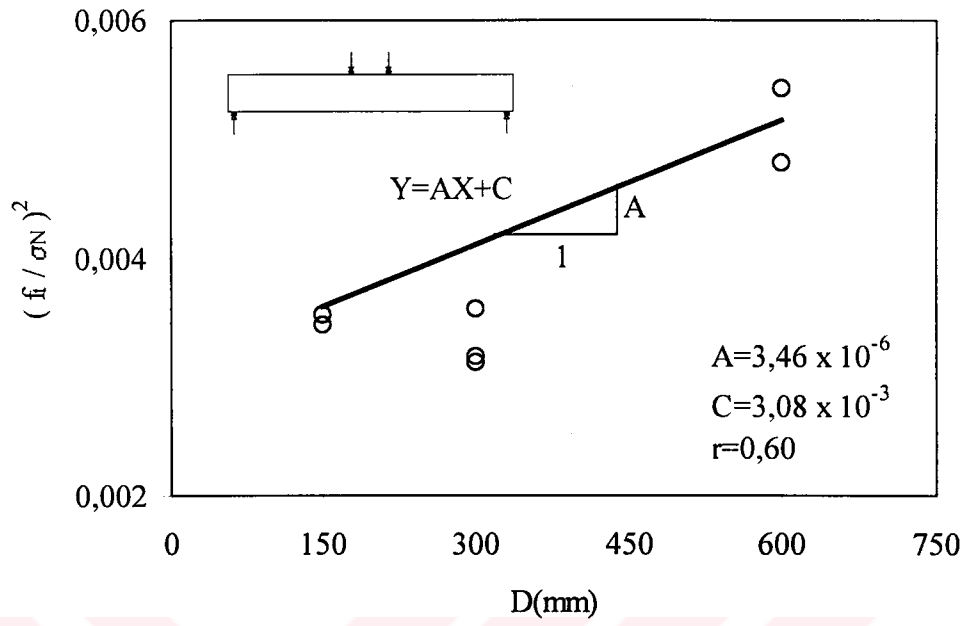
Şekil 3.42. Uzunlukları değişken tek boyutlu kirişlerde

a) Doğrusal korelasyon b) Boyut etkisi

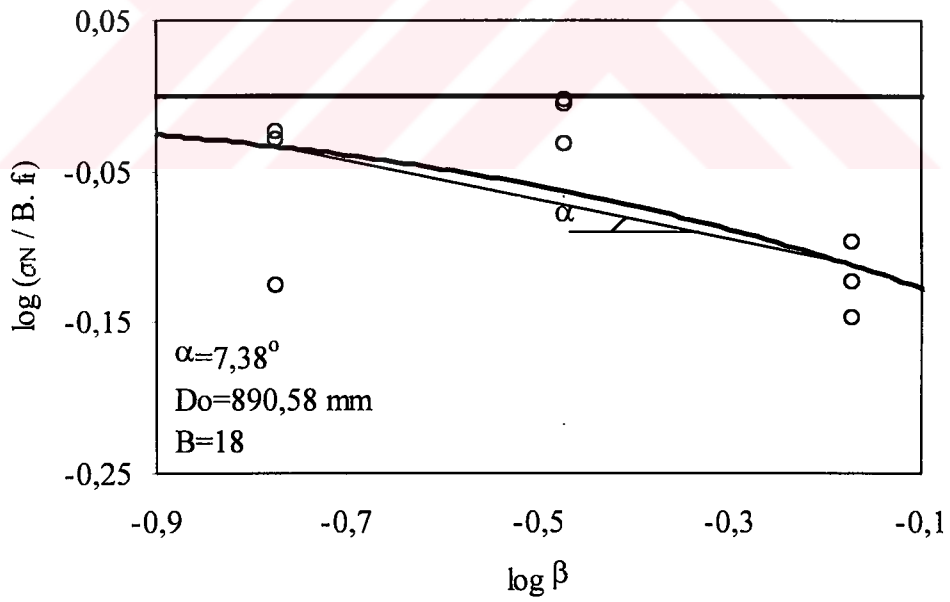
3.3.2.2 Yükseklikleri değişken tek boyutlu kirişlerin analizi

Çizelge 3.20. Yükseklikleri değişken tek boyutlu kirişlerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk L (mm)	Yükseklik D (mm)	Genişlik b (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
L11x15A	4600	150	110	11,289	26,615	20,4	150	0,003528	-0,774	-0,02922
L11x15B	4600	150	110	11,443	26,950	20,4	150	0,003441	-0,774	-0,02378
L11x15C	4600	150	110	9,046	21,310	20,4	150	0,005503	-0,774	-0,12575
L11x30A	4600	300	110	48,402	28,264	20,4	300	0,003128	-0,473	-0,00311
L11x30B	4600	300	110	45,232	26,426	20,4	300	0,003578	-0,473	-0,03230
L11x30C	4600	300	110	48,093	28,083	20,4	300	0,003169	-0,473	-0,00589
L11x60A	4600	600	110	143,738	20,330	20,5	600	0,006076	-0,172	-0,14726
L11x60B	4600	600	110	161,444	22,847	20,5	600	0,004811	-0,172	-0,09657
L11x60C	4600	600	110	151,702	21,508	20,5	600	0,005428	-0,172	-0,12279



(a)



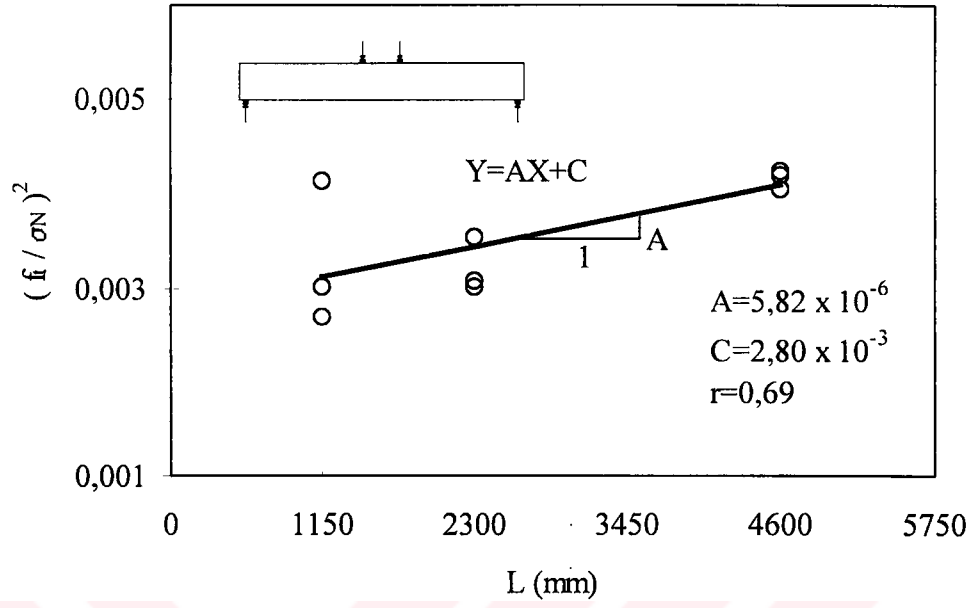
(b)

Şekil 3.43 Yükseklikleri değişken tek boyutlu kirişlerde
a) Doğrusal korelasyon b) Boyut etkisi

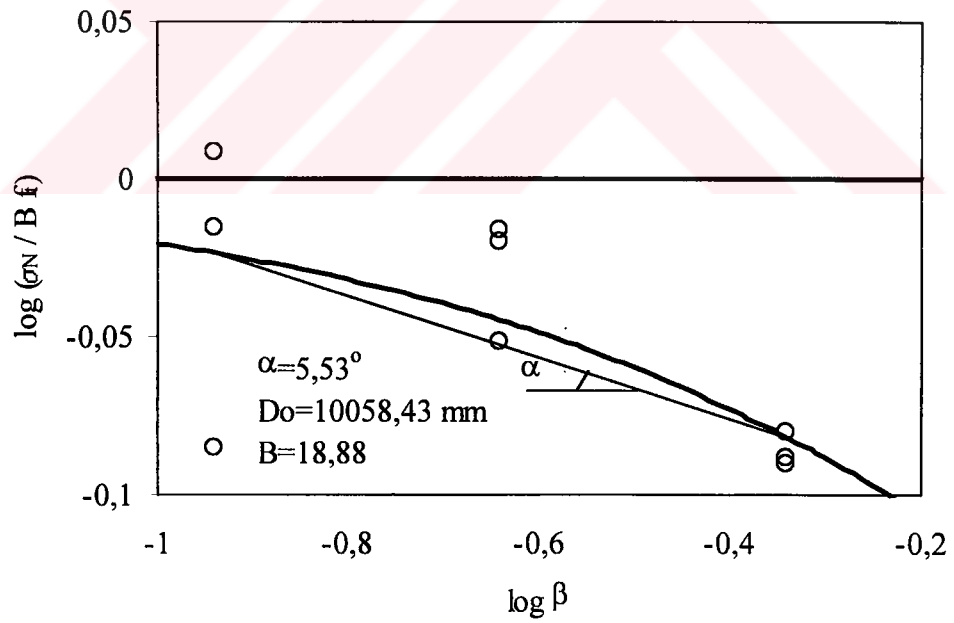
3.3.2.3 Üç boyutu değişken üç boyutlu kirişlerin analizi

Çizelge 3.21. Üç boyutu değişken üç boyutlu kirişlerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk L (mm)	Yükseklik D (mm)	Genişlik b (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
S55x75A	1150	75	55	4,794	22,546	17,2	1150	0,004145	-0,942	-0,08494
S55x75B	1150	75	55	5,954	28,002	17,2	1150	0,002687	-0,942	0,00917
S55x75C	1150	75	55	5,644	26,489	17,2	1150	0,003003	-0,942	-0,01494
M11x15A	2300	150	110	20,799	24,366	17,2	2300	0,003549	-0,641	-0,05122
M11x15B	2300	150	110	22,577	26,422	17,2	2300	0,003018	-0,641	-0,01605
M11x15C	2300	150	110	22,423	26,201	17,2	2300	0,003069	-0,641	-0,01970
L22x30A	4600	300	220	78,634	22,875	17,3	4600	0,004050	-0,340	-0,07990
L22x30B	4600	300	220	77,011	22,462	17,3	4600	0,004201	-0,340	-0,08783
L22x30C	4600	300	220	76,701	22,365	17,3	4600	0,004237	-0,340	-0,08970



(a)



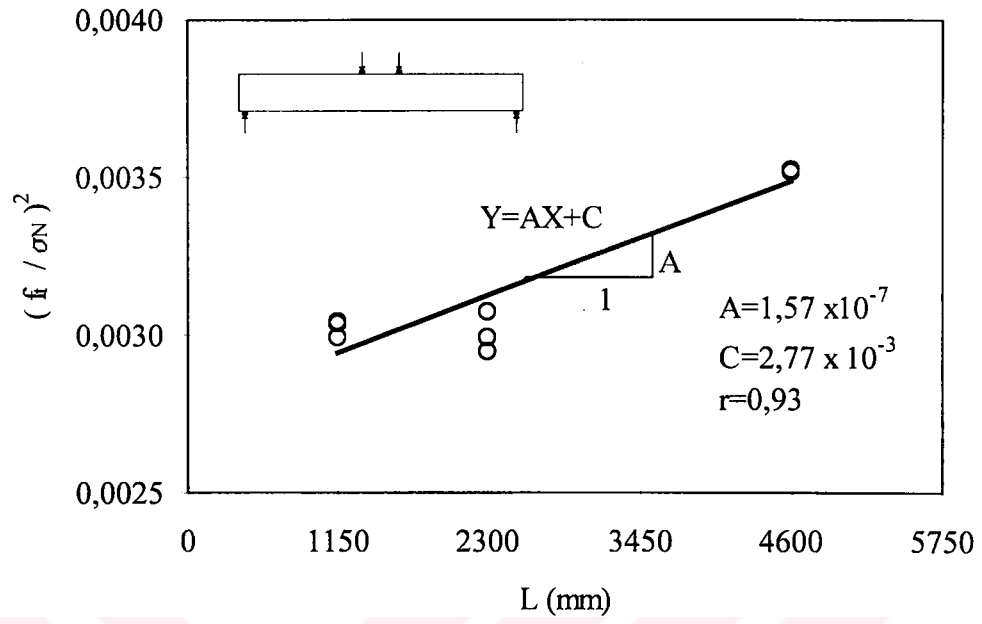
(b)

Şekil 3.44. Üç boyutu değişken üç boyutlu kirişlerde
a) Doğrusal korelasyon b) Boyut etkisi

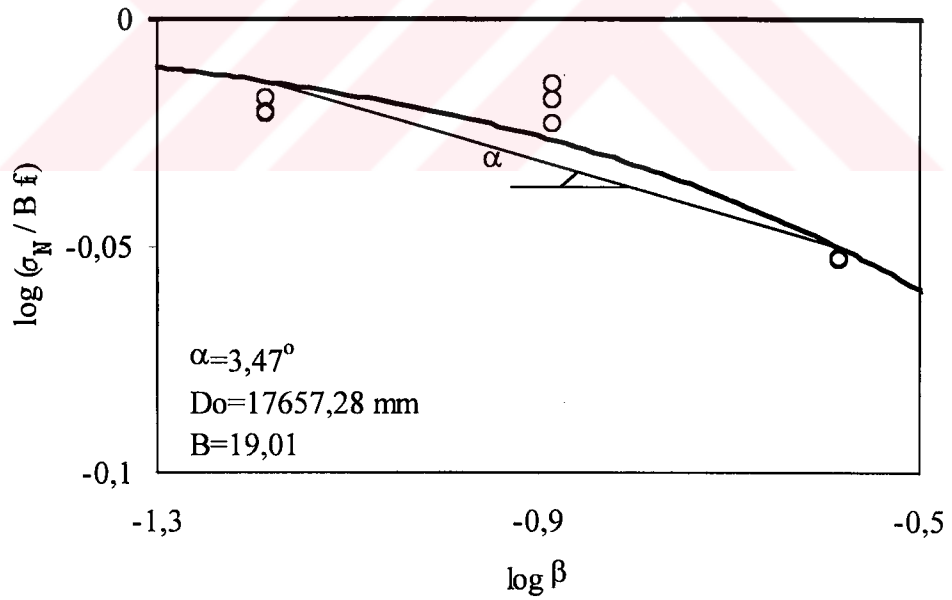
3.3.2.4 Genişlikleri sabit iki boyutlu kirişlerin analizi

Çizelge 3.22. Genişlikleri sabit iki boyutlu kirişlerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk L (mm)	Yükseklik D (mm)	Genişlik b (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
S11x15A	1150	150	110	46,100	26,542	17,5	1150	0,003043	-1,186	-0,02083
S11x15B	1150	150	110	46,500	26,773	17,5	1150	0,002991	-1,186	-0,01708
S11x15C	1150	150	110	46,250	26,573	17,5	1150	0,003036	-1,186	-0,02033
M11x30A	2300	300	110	93,550	26,747	17,5	2300	0,002997	-0,885	-0,01750
M11x30B	2300	300	110	92,450	26,404	17,5	2300	0,003075	-0,885	-0,02309
M11x30C	2300	300	110	94,550	26,961	17,5	2300	0,002949	-0,885	-0,01403
L11x60A	4600	600	110	189,050	26,696	20,5	4600	0,003524	-0,584	-0,05268
L11x60B	4600	600	110	188,600	26,704	20,5	4600	0,003522	-0,584	-0,05255
L11x60C	4600	600	110	188,500	26,683	20,5	4600	0,003527	-0,584	-0,05290



(a)



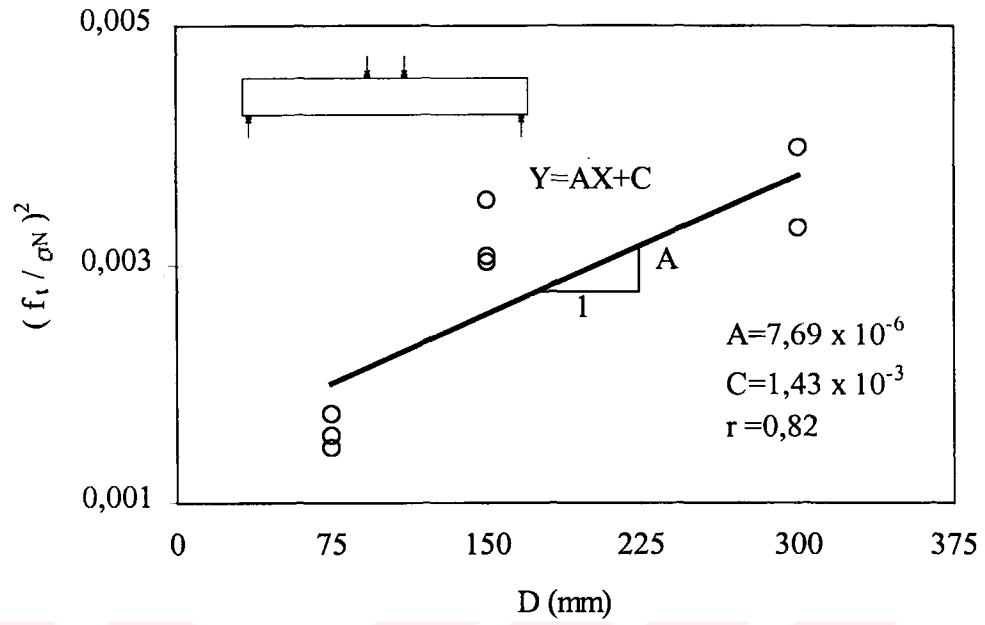
(b)

Şekil 3.45. Genişlikleri sabit iki boyutlu kirişlerde
a) Doğrusal korelasyon b) Boyut etkisi

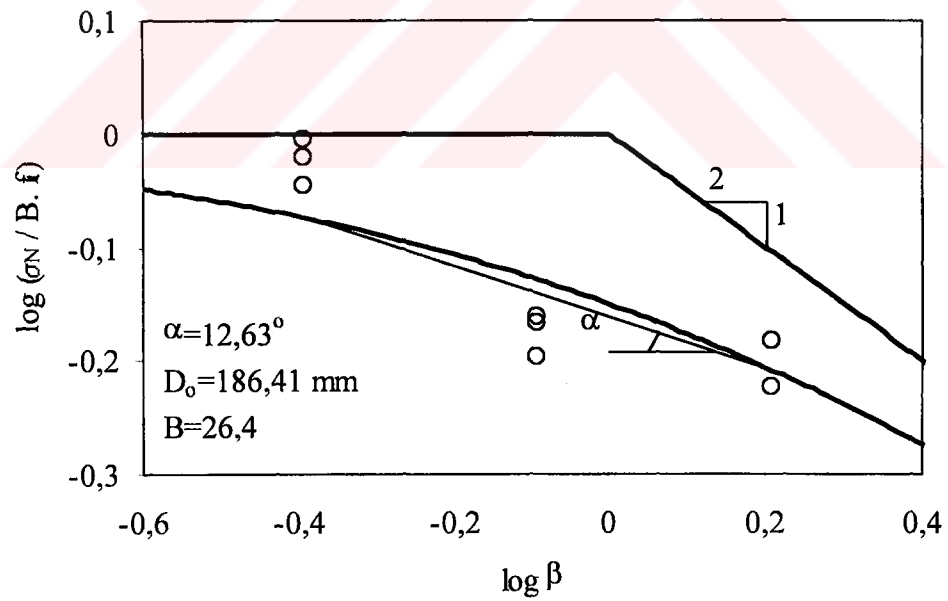
3.3.2.5 Uzunlukları sabit iki boyutlu kirişlerin analizi

Çizelge 3.23. Uzunlukları sabit iki boyutlu kirişlerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Uzunluk L (mm)	Yükseklik D (mm)	Genişlik b (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
M55x75A	2300	75	55	62,088	4,253	20,7	75	0,001678	-0,395	-0,01985
M55x75B	2300	75	55	38,660	4,021	20,7	75	0,004309	-0,395	-0,04376
M55x75C	2300	75	55	56,521	4,407	20,7	75	0,002037	-0,395	-0,00395
M11x15A	2300	150	110	20,799	20,799	17,2	150	0,003549	-0,094	-0,19673
M11x15B	2300	150	110	22,577	22,577	17,2	150	0,003018	-0,094	-0,16155
M11x15C	2300	150	110	22,423	22,423	17,2	150	0,003069	-0,094	-0,16520
M22x30A	2300	300	220	11,289	176,135	20,7	300	0,003528	0,207	-0,22200
M22x30B	2300	300	220	11,443	193,223	20,7	300	0,003441	0,207	-0,18179
M22x30C	2300	300	220	9,046	193,996	20,7	300	0,005503	0,207	-0,18121

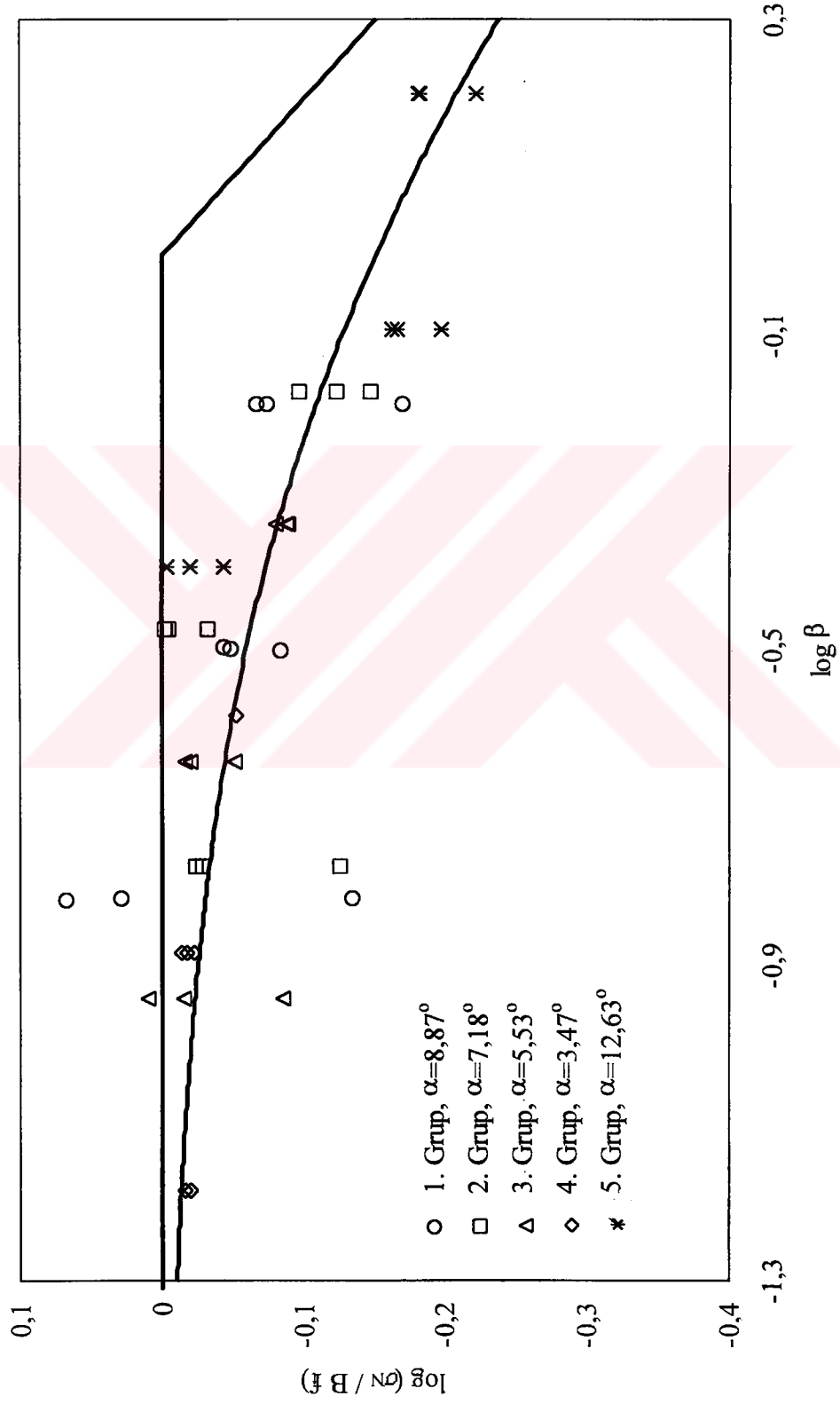


(a)



(b)

Şekil 3.46. Uzunlukları sabit iki boyutlu kirişlerde
a) Doğrusal korelasyon b) Boyut etkisi



Şekil 3.47. Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyleri boyut etkileri

3.3.3. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta eğilme deneyleri

Kiriş üzerinde üç nokta yükleme deneyi Bosco, Carpinter ve Debernardi [7] tarafından 1989 yılında yapılmıştır. Deney numunelerinde üç farklı boyutta dikdörtgen kesitler kullanılmıştır ve uzunluğun yüksekliğe oranı $S/D=6$ olarak düzenlenmiştir. Deney numuneleri yükseklikleri $D=100,200,400$ mm ve genişlikleri $b=150$ mm'dir (Şekil 3.47). Beton karışımında ağırlıkça su/çimento oranı 0,27 olarak düzenlenmiştir. En büyük dane çapı $d_{max}=12,7$ mm'dir. Beton basınç dayanımını belirlemek için 20 adet küp numunesi alınıp (kenar uzunluğu 160 mm) 28 günlük kürden sonra ortalama basınç dayanımı $f_c=91,2$ MPa olarak elde edilmiştir. Deneyde dört çeşit donatı $\phi=4,5,8,10$ mm kullanılmış ve akma dayanımları sırası ile $f_y=637, 569, 441, 456$ MPa olarak elde edilmiştir. Deneylerde beş sınıf donatı oranı $N_p=0; 0,10; 0,26; 0,53; 0,87$ olarak kullanılmıştır. Gevreklik sayısı N_p aşağıdaki denklemden elde edilir:

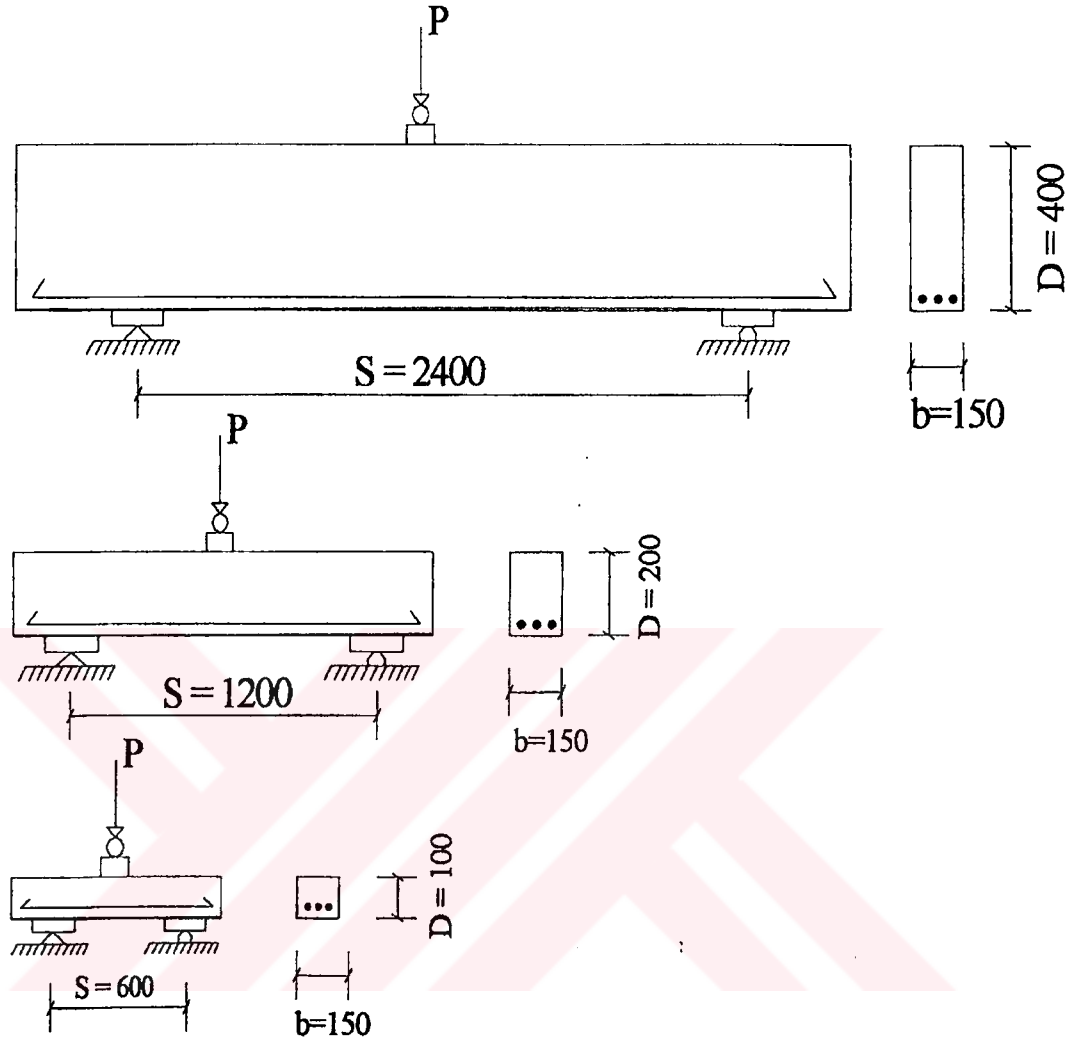
$$N_p = \frac{f_y \sqrt{D} A_s}{K_{IC} A} \quad (3.8)$$

N_p : donatı ile ilgili gevreklik sayısı, f_y : donatının akma dayanımı (MPa), D : kesit yüksekliği (mm), A_s : donatı kesit alanı(mm²), K_{IC} : kırılma tokluğu (MPa√m), A : kirişin kesit alanı dır (mm²).

Nominal gerilme aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\sigma_N = \frac{3P_u S}{2bD^2} \quad (3.9)$$

P_u : maksimum yük (N), S : mesnetler arası uzaklık (mm), b : numunenin kalınlığı (mm), D : numune yüksekliği (mm).



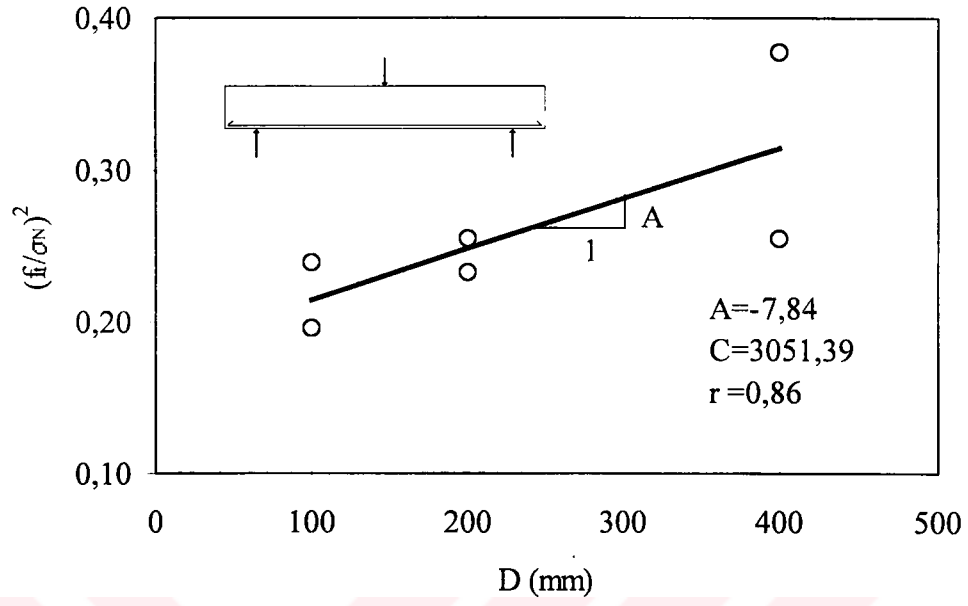
Şekil 3.48 Yüksek dayanımlı betonda üç nokta yüklemesinde numune geometrisi ve yükleme durumu

3.3.3.1. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0$ numunelerin analizi

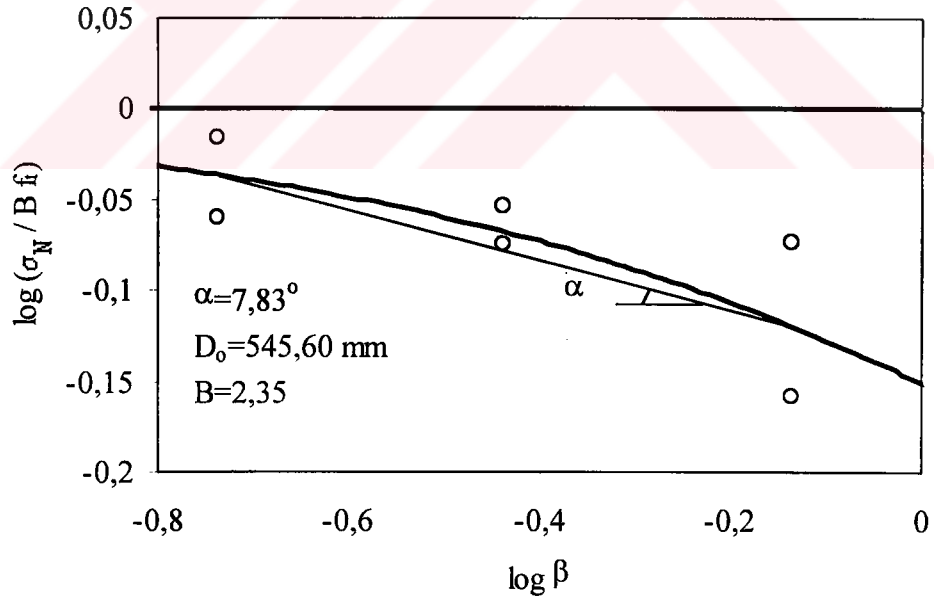
3.3.3.1.1 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0$ numunelerin çatlama yükünde analizi

Çizelge 3.24 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0$ numunelerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_c / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_c)$
1	100	750	150	600	11,38	6,83	91,2	100	0,240	-0,737	-0,0601
2	100	750	150	600	12,60	7,56	91,2	100	0,195	-0,737	-0,0159
3	200	1500	150	1200	23,08	6,92	91,2	200	0,233	-0,436	-0,0541
4	200	1500	150	1200	22,03	6,61	91,2	200	0,256	-0,436	-0,0743
5	400	3000	150	2400	44,12	6,62	91,2	400	0,255	-0,135	-0,0737
6	400	3000	150	2400	36,28	5,44	91,2	400	0,377	-0,135	-0,1587



(a)



(b)

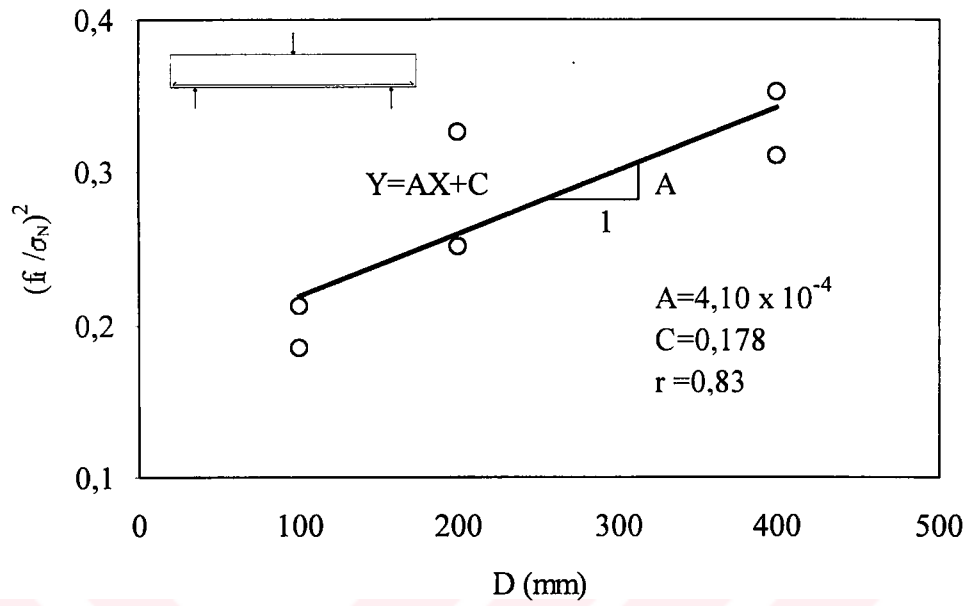
Şekil 3.49 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0$ numunelerin çatlama yükünde a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

3.3.3.2. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,26$ numunelerin analizi

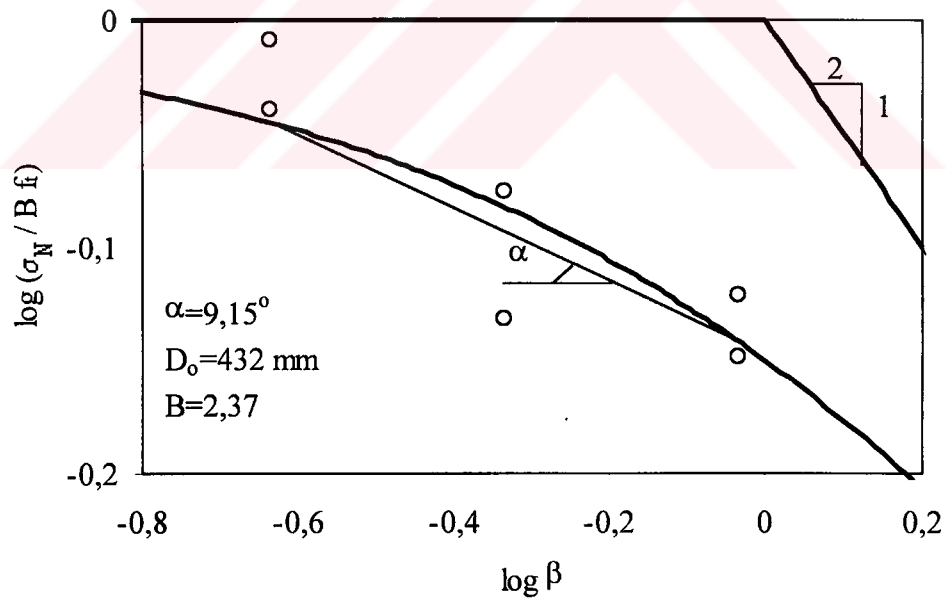
3.3.3.2.1 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,26$ numunelerin çatlama yükünde analizi

Çizelge 3.25 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,26$ numunelerin çatlama yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	750	150	600	12,07	7,24	91,2	100	0,213	-0,636	-0,0394
2	100	750	150	600	12,95	7,77	91,2	100	0,185	-0,636	-0,0089
3	200	1500	150	1200	19,50	5,85	91,2	200	0,326	-0,335	-0,1321
4	200	1500	150	1200	22,19	6,66	91,2	200	0,252	-0,335	-0,0760
5	400	3000	150	2400	39,97	6,00	91,2	400	0,311	-0,034	-0,1215
6	400	3000	150	2400	37,49	5,62	91,2	400	0,353	-0,034	-0,1493



(a)



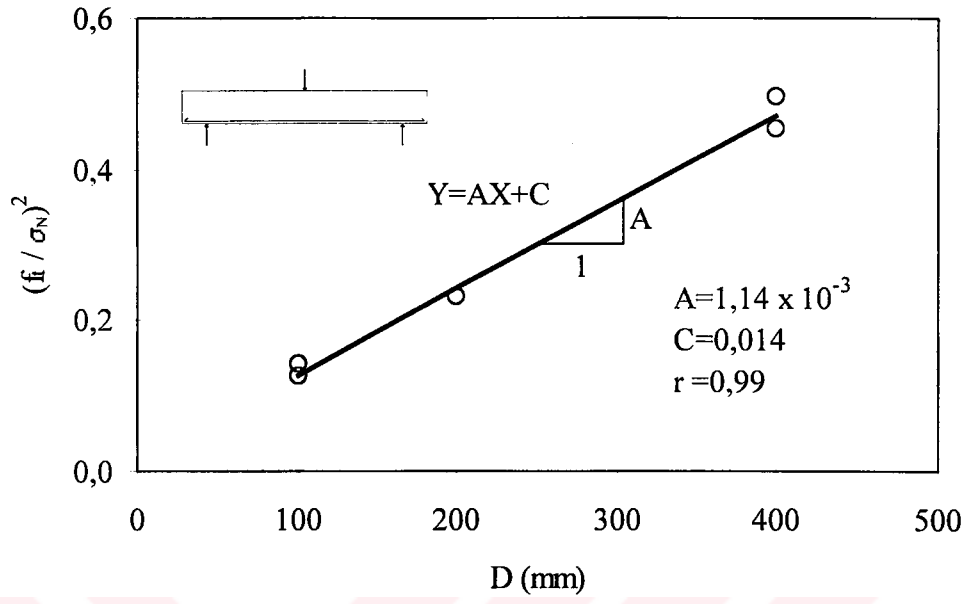
(b)

Şekil 3.50 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,26$ numunelerin çatlama yükünde
 a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

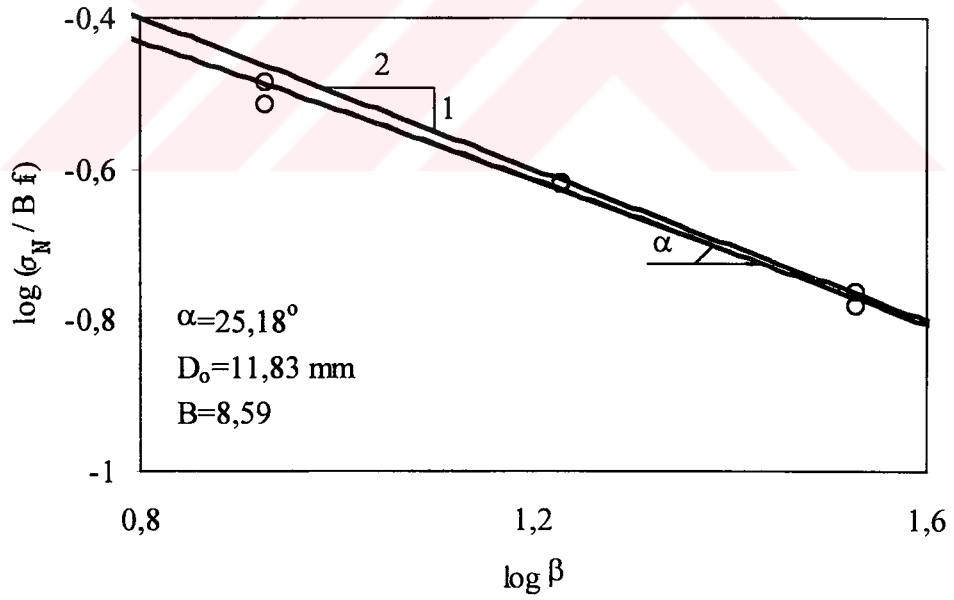
3.3.3.2.2 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,26$ numunelerin akma yükünde analizi

Çizelge 3.26 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,26$ numunelerin akma yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	750	150	600	14,71	8,83	91,2	100	0,143	0,927	-0,5125
2	100	750	150	600	15,70	9,42	91,2	100	0,126	0,927	-0,4842
3	200	1500	150	1200	23,04	6,91	91,2	200	0,234	1,228	-0,6186
4	200	1500	150	1200	23,16	6,95	91,2	200	0,231	1,228	-0,6164
5	400	3000	150	2400	33,08	4,96	91,2	400	0,454	1,529	-0,7626
6	400	3000	150	2400	31,64	4,75	91,2	400	0,496	1,529	-0,7819



(a)



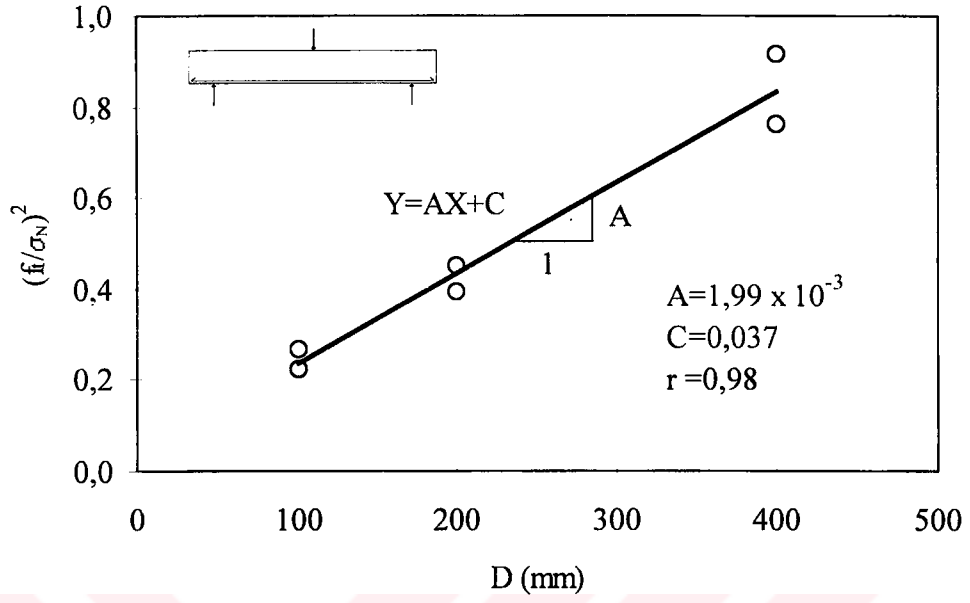
(b)

Şekil 3.51 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,26$ numunelerin akma yükünde
 a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

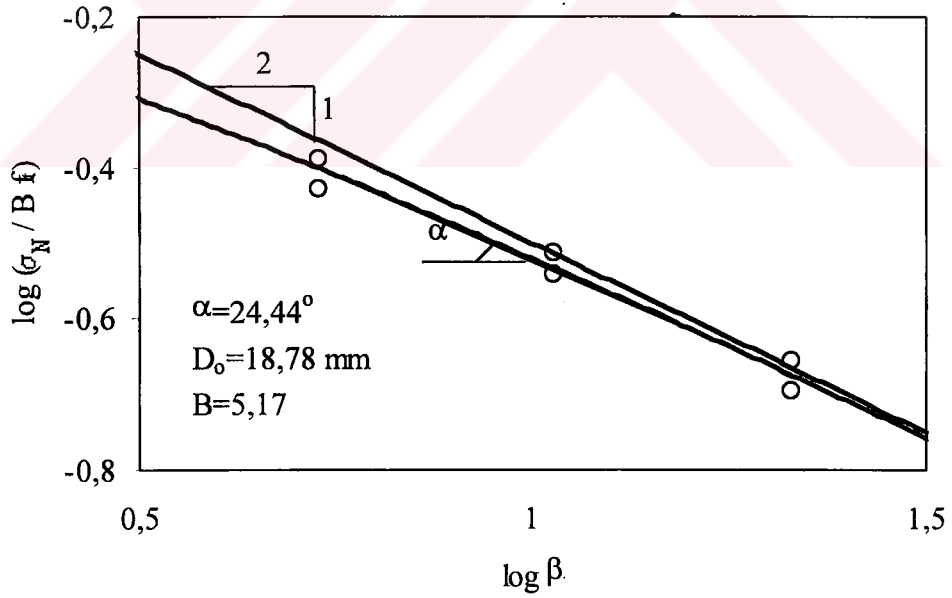
3.3.3.2.3 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,26$ numunelerin kopma yükünde analizi

Çizelge 3.27 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,26$ numunelerin kopma yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	750	150	600	11,77	7,06	91,2	100	0,224	0,726	-0,3884
2	100	750	150	600	10,79	6,47	91,2	100	0,267	0,726	-0,4261
3	200	1500	150	1200	17,69	5,31	91,2	200	0,397	1,027	-0,5124
4	200	1500	150	1200	16,59	4,98	91,2	200	0,451	1,027	-0,5403
5	400	3000	150	2400	25,50	3,83	91,2	400	0,764	1,328	-0,6547
6	400	3000	150	2400	23,29	3,49	91,2	400	0,915	1,328	-0,6940



(a)



(b)

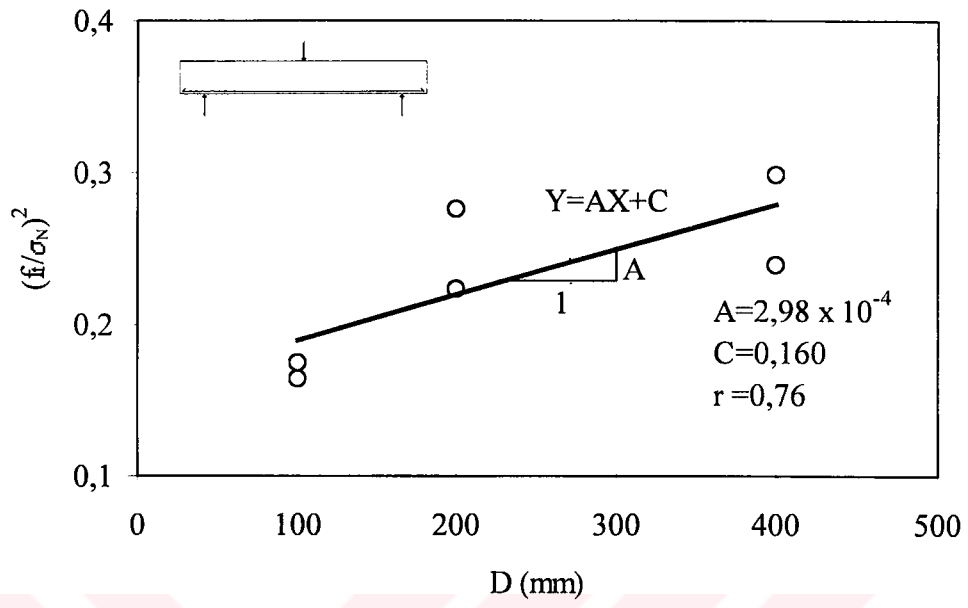
Şekil 3.52 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,26$ numunelerin kopma yükünde
 a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

3.3.3.3. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,53$ numunelerin analizi

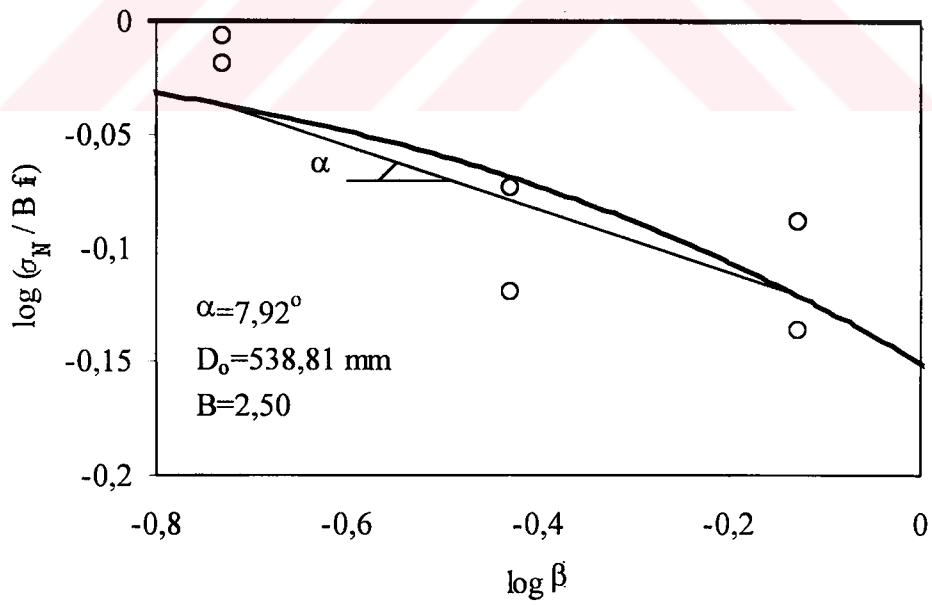
3.3.3.3.1 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,53$ numunelerin çatlama yükünde analizi

Çizelge 3.28 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,53$ numunelerin çatlama yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	750	150	600	13,73	8,24	91,2	100	0,165	-0,730	-0,0061
2	100	750	150	600	13,34	8,00	91,2	100	0,174	-0,730	-0,0186
3	200	1500	150	1200	21,19	6,36	91,2	200	0,276	-0,429	-0,1187
4	200	1500	150	1200	23,54	7,06	91,2	200	0,224	-0,429	-0,0730
5	400	3000	150	2400	45,50	6,83	91,2	400	0,240	-0,128	-0,0878
6	400	3000	150	2400	40,79	6,12	91,2	400	0,298	-0,128	-0,1353



(a)



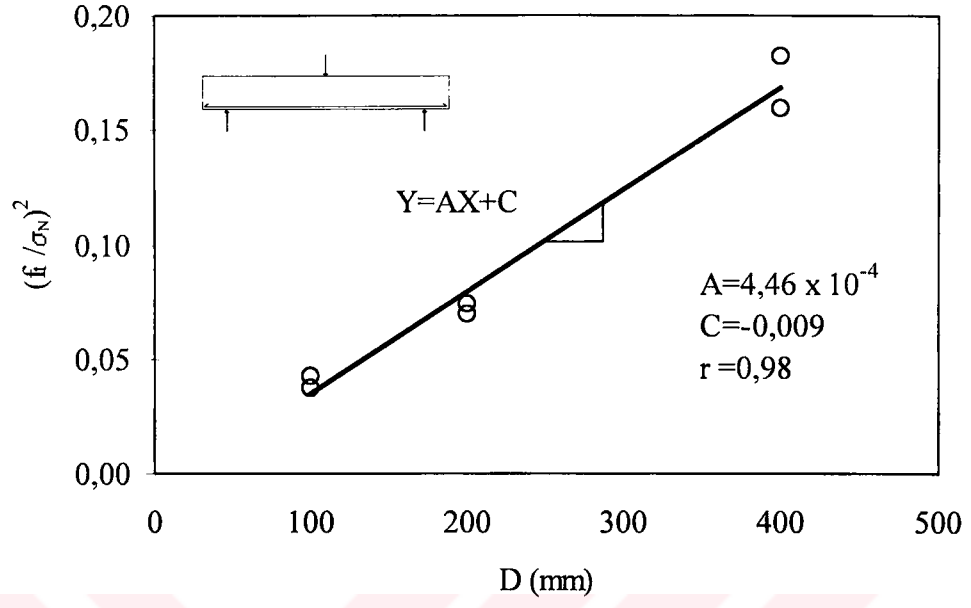
(b)

Şekil 3.53 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,53$ numunelerin çatlama yükünde
 a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

3.3.3.3.2 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,53$ numunelerin akma yükünde analizi

Çizelge 3.29 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,53$ numunelerin akma yükünde ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$
1	100	750	150	600	26,98	16,19	91,2	100	0,043
2	100	750	150	600	28,90	17,34	91,2	100	0,037
3	200	1500	150	1200	40,79	12,24	91,2	200	0,075
4	200	1500	150	1200	42,06	12,62	91,2	200	0,070
5	400	3000	150	2400	55,69	8,35	91,2	400	0,160
6	400	3000	150	2400	52,16	7,82	91,2	400	0,183



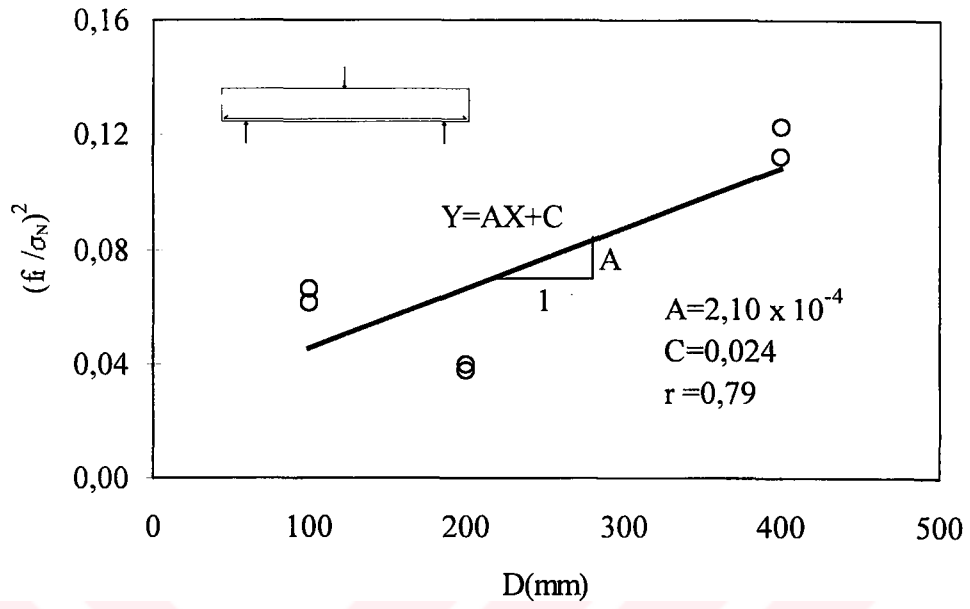
Şekil 3.54 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi $N_p=0,53$ numunelerin akma yükünde doğrusal korelasyonu

Doğrusal korelasyon sonucu doğrunun sabiti negatif çıktığı için boyut etkisi analizi yapılamamıştır.

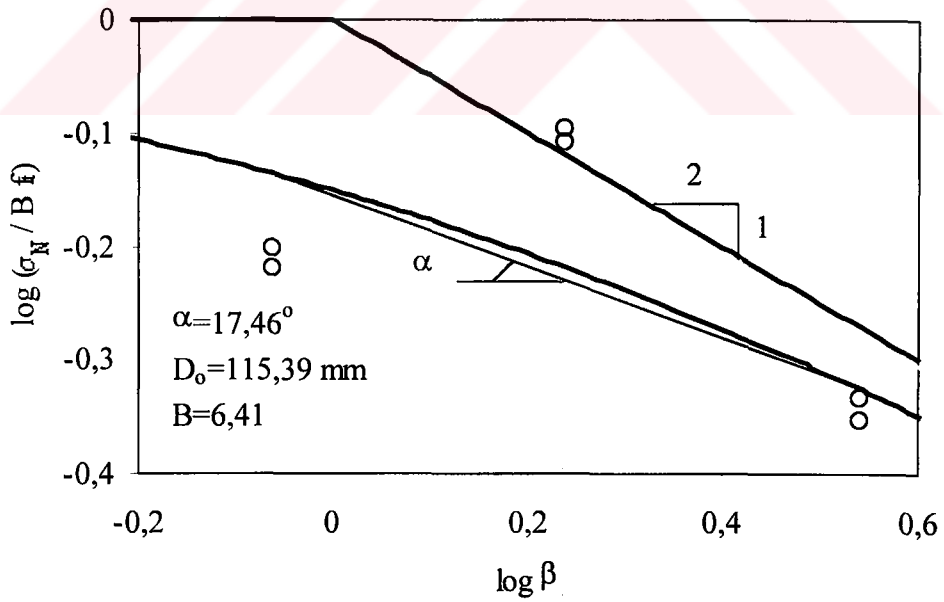
3.3.3.3.3 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,53$ numunelerin çatlama yükünde analizi

Çizelge 3.30 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,53$ numunelerin kopma yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	750	150	600	22,48	13,49	91,2	100	0,061	-0,062	-0,2015
2	100	750	150	600	21,64	12,98	91,2	100	0,066	-0,062	-0,2180
3	200	1500	150	1200	57,53	17,26	91,2	200	0,038	0,239	-0,0944
4	200	1500	150	1200	55,91	16,77	91,2	200	0,040	0,239	-0,1068
5	400	3000	150	2400	66,54	9,98	91,2	400	0,112	0,540	-0,3322
6	400	3000	150	2400	63,46	9,52	91,2	400	0,123	0,540	-0,3528



(a)



(b)

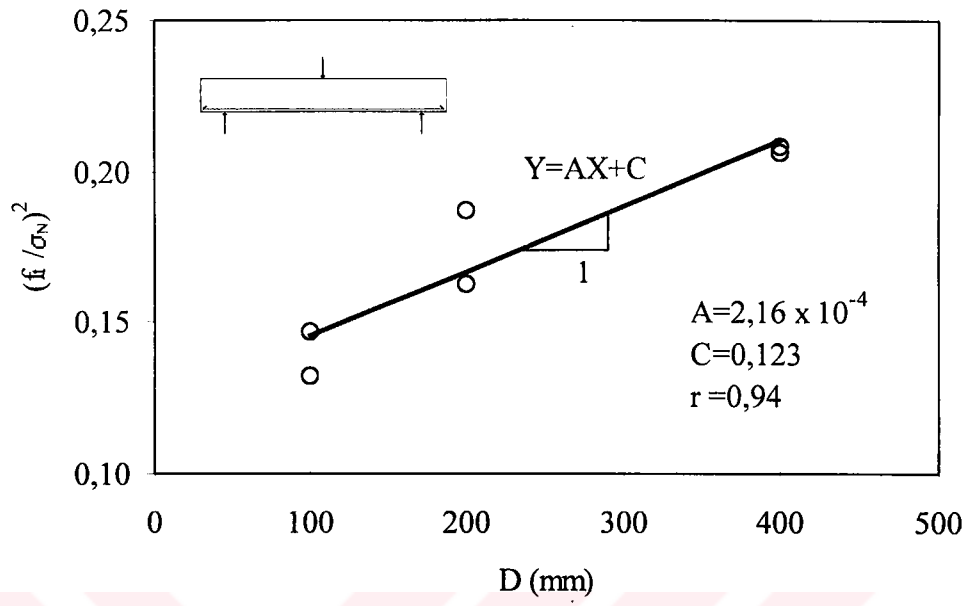
Şekil 3.55 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,53$ numunelerin kopma yükünde
 a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

3.3.3.4. Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,87$ numunelerin analizi

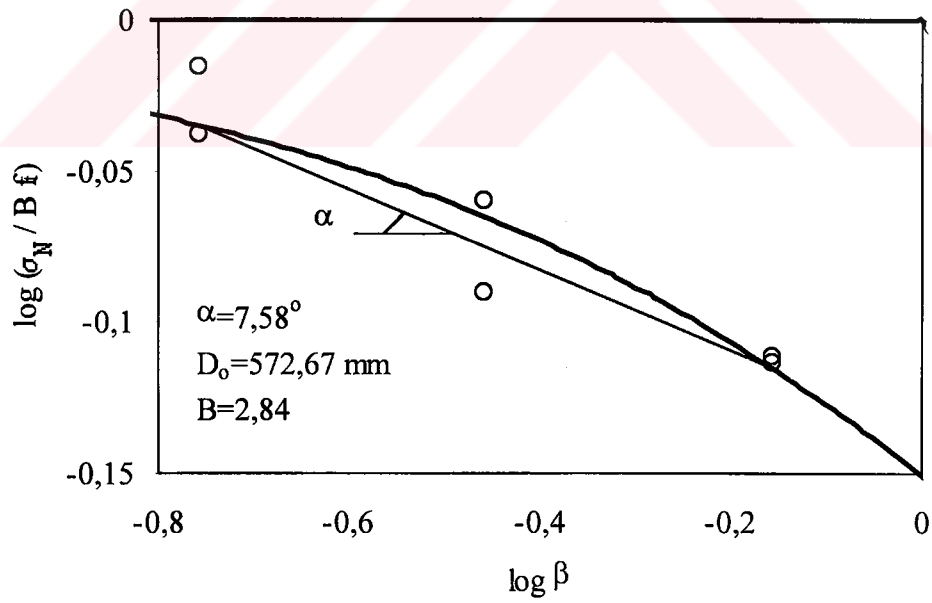
3.3.3.4.1 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,87$ numunelerin çatlama yükünde analizi

Çizelge 3.31 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,87$ numunelerin çatlama yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	750	150	600	15,30	9,18	91,2	100	0,133	-0,758	-0,0150
2	100	750	150	600	14,52	8,71	91,2	100	0,147	-0,758	-0,0378
3	200	1500	150	1200	25,74	7,72	91,2	200	0,187	-0,457	-0,0901
4	200	1500	150	1200	27,62	8,29	91,2	200	0,163	-0,457	-0,0595
5	400	3000	150	2400	49,03	7,35	91,2	400	0,207	-0,156	-0,1113
6	400	3000	150	2400	48,83	7,32	91,2	400	0,208	-0,156	-0,1131



(a)



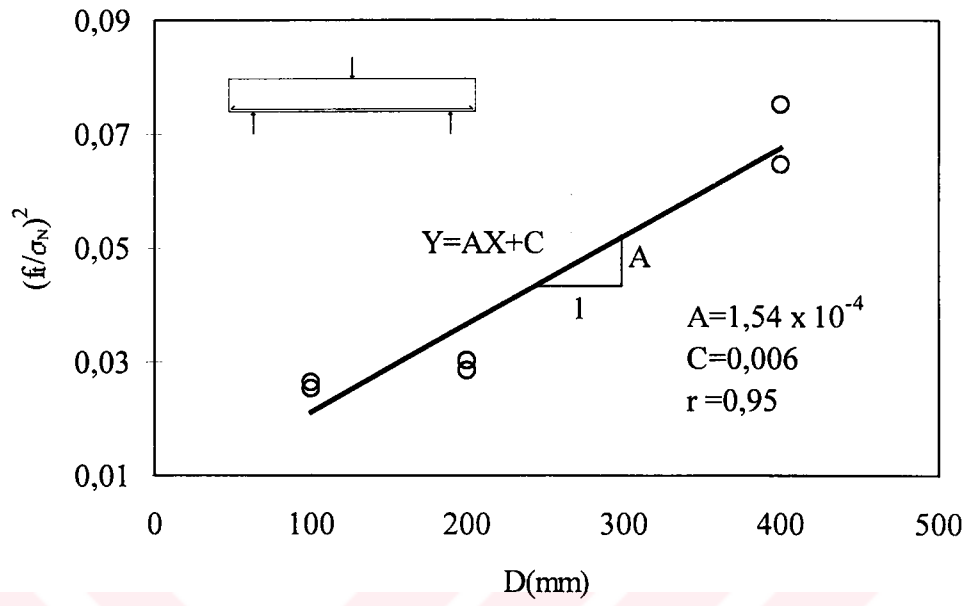
(b)

Şekil 3.56 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,87$ numunelerin çatlama yükünde
 a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

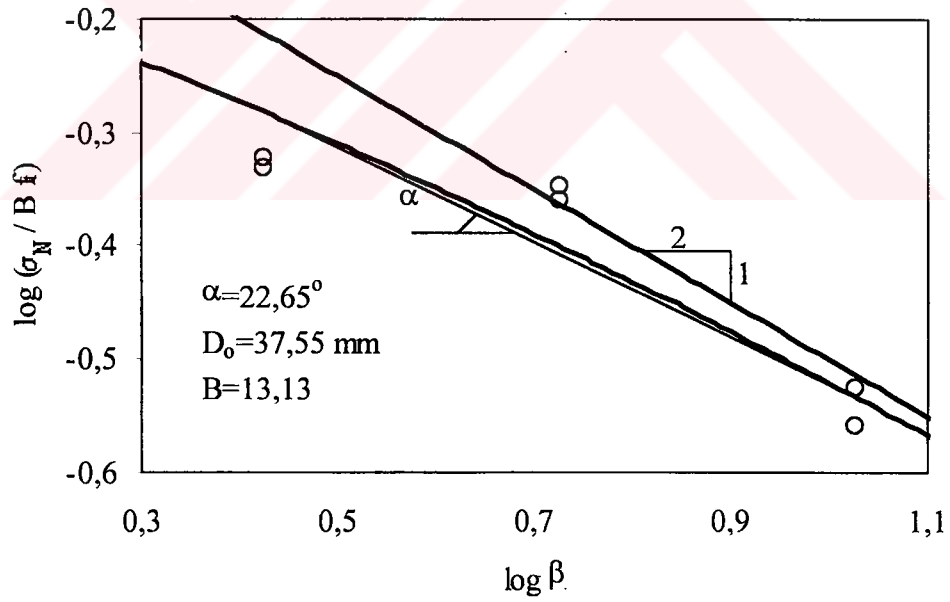
3.3.3.4.2 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,87$ numunelerin akma yükünde analizi

Çizelge 3.32 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemede $N_p=0,87$ numunelerin akma yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	100	750	150	600	34,14	20,48	91,2	100	0,027	0,425	-0,3310
2	100	750	150	600	34,88	20,93	91,2	100	0,026	0,425	-0,3217
3	200	1500	150	1200	64,01	19,20	91,2	200	0,030	0,726	-0,3590
4	200	1500	150	1200	65,89	19,77	91,2	200	0,029	0,726	-0,3465
5	400	3000	150	2400	87,66	13,15	91,2	400	0,065	1,027	-0,5235
6	400	3000	150	2400	81,18	12,18	91,2	400	0,075	1,027	-0,5569



(a)



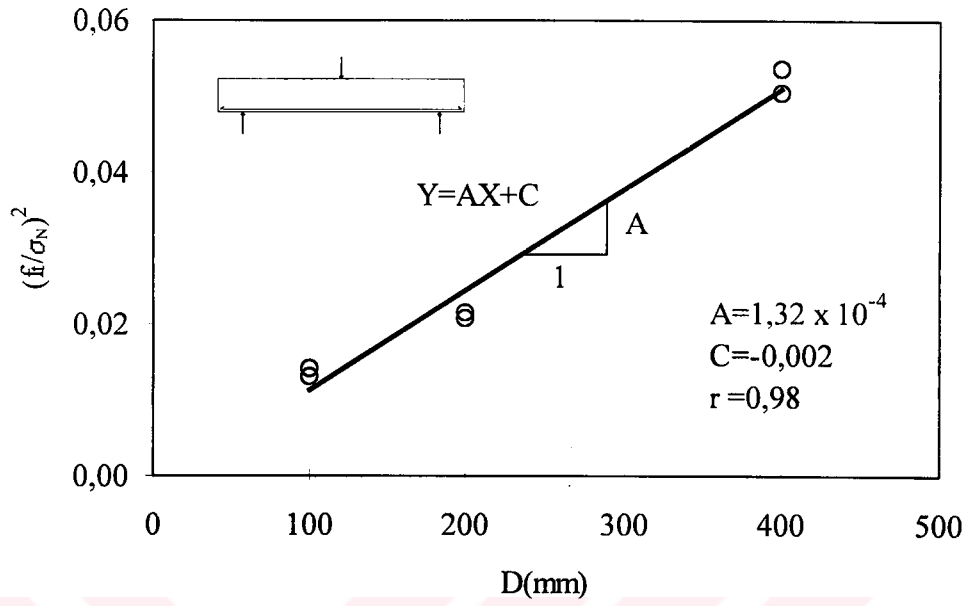
(b)

Şekil 3.57 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,87$ numunelerin akma yükünde
 a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

3.3.3.4.3 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,87$ numunelerin kopma yükünde analizi

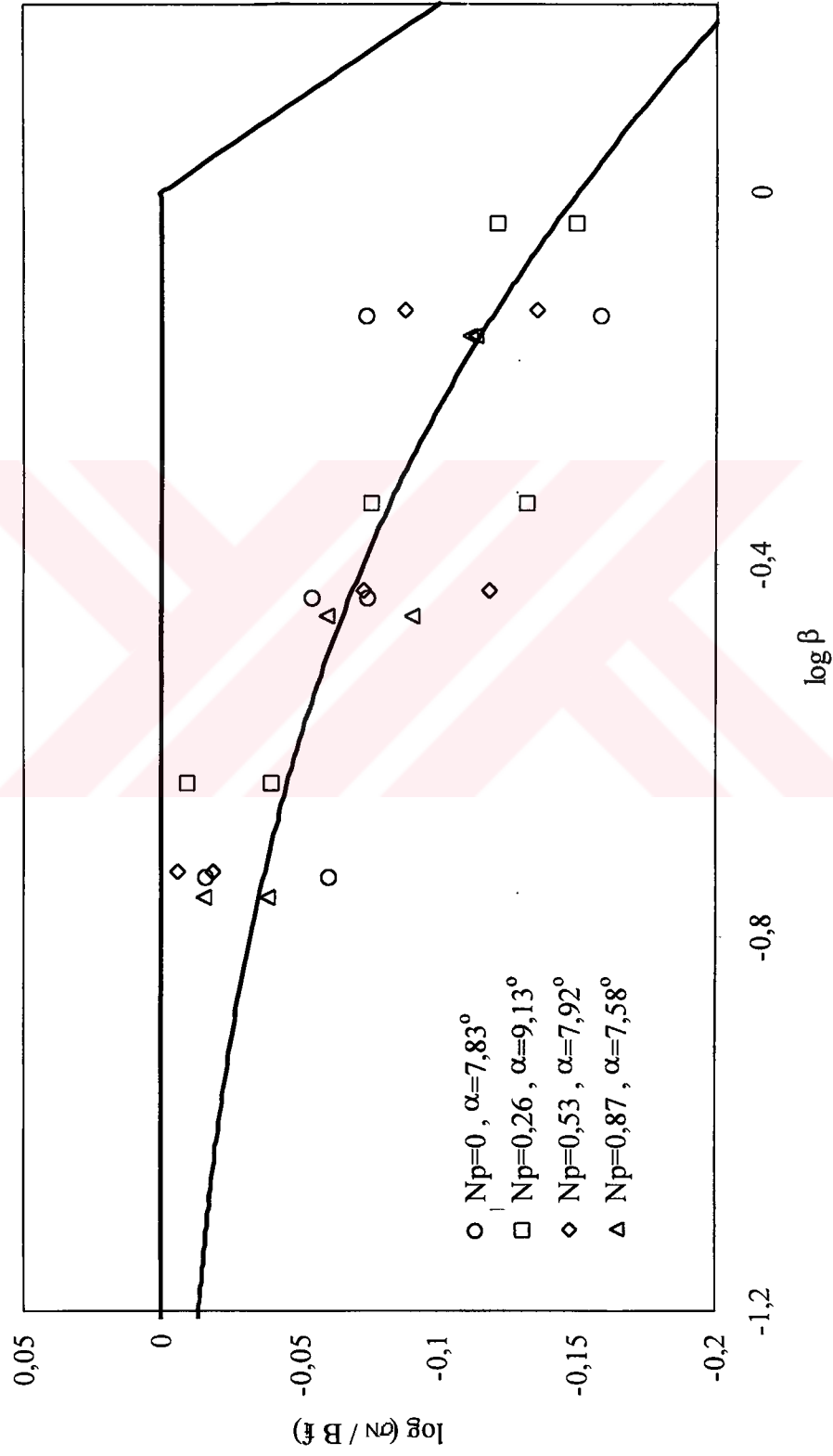
Çizelge 3.33 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde $N_p=0,87$ numunelerin kopma yükünde lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	En Büyük Yük P_u (kN)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$
1	100	750	150	600	48,79	29,27	91,2	100	0,013
2	100	750	150	600	46,83	28,10	91,2	100	0,014
3	200	1500	150	1200	77,31	23,19	91,2	200	0,021
4	200	1500	150	1200	75,81	22,74	91,2	200	0,022
5	400	3000	150	2400	99,18	14,88	91,2	400	0,050
6	400	3000	150	2400	96,12	14,42	91,2	400	0,054



Şekil 3.58 Yüksek mukavemetli betonda üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi
 $N_p=0,87$ numunelerin kopma yükünde doğrusal korelasyonu

Doğrusal korelasyon sonucu doğrunun sabiti negatif çıktığı için boyut etkisi analizi yapılamamıştır.



Şekil 3.59 Yüksek mukavemetli betonda eğilme deneyi $N_p=0$, $N_p=0,26$, $N_p=0,53$ ve $N_p=0,87$ çatlama yükünde boyut etkisi

3.3.4 Eğilme deney bulguları

Yapılan analizler sonucu α değerleri Çizelge 3.34’de verilmiştir.

Çizelge 3.34. Eğilme deneyleri bulguları

Deney Adı			α (Derece)
Üç Nokta Yüklemede Eğilme Deneyi	Beton		15,59
	Harç		23,55
Aşırı Donatılı Kirişlerde Basınç Göçmesi Deneyi	1.Grup		8,87
	2.Grup		7,18
	3.Grup		5,53
	4.Grup		3,47
	5.Grup		12,63
Yüksek Mukavemetli Betonda Üç Nokta Eğilme Deneyi	$N_p=0$	Çatlama Yüğü	7,83
	$N_p=0.26$	Çatlama Yüğü	9,13
		Akma Yüğü	25,18
		Kopma Yüğü	24,44
	$N_p=0.53$	Çatlama Yüğü	7,92
		Kopma Yüğü	17,46
	$N_p=0.87$	Çatlama Yüğü	7,58
		Akma Yüğü	22,65

Çizelge 3.34’de görüldüğü gibi burada verilen gevreklik tanımına ve incelenen kiriş eğilme deneyi sonuçlarına göre en gevrek davranışı donatısız kirişlerde harç numunelerde, donatılı kirişlerde ise yüksek dayanımlı $N_p=0,26$ donatı oranlı kirişlerin akma yüğü için görülmüştür.

3.4. Kesme Deneyleri

3.4.1. Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyleri

Diyagonal kesme göçmesinde boyut etkisi deneyi Bazant ve Kazemi [8] tarafından 1991 yılında yapılmıştır. İki farklı numune serisi deneyde kullanılmış ve her bir seri için farklı d değerleri seçilmiştir. d , kirişin üst lifi ile çekme donatısının merkezi arasındaki uzaklıktır. Birinci seride L uzunluğunda ($L = 6D$) ve D yüksekliğindeki kirişte ($D = 1,25d$) çekme donatısı düz olarak yerleştirilmiş ve d değerlerinin oranı $1/2/4/8$ olarak düzenlenmiştir. İkinci seride ise L uzunluğunda ve ($L = 6D$) ve D yüksekliğindeki kirişlerde ($D = 16d/13$) çekme donatısı 90 derecelik eğimle kanca yapılarak kirişe ankraj yapılmış ve d değerlerinin oranı $1/2/4/8/16$ olarak düzenlenmiştir (Şekil 3.60).

Kirişlerde $L/D=6$ ve $S/d=7$ oranları tüm numuneler için geçerlidir (S : iki mesnet arasındaki mesafedir). Dört nokta eğilme yüklemesi uygulanmış ve kesme kolunun uzunluğu $a_s = 3d$ 'dir (a_s : yük ile donatı ucu arasındaki mesafedir). Tüm numunelerde kalınlık $b = 38,1$ mm'dir (Şekil 3.60).

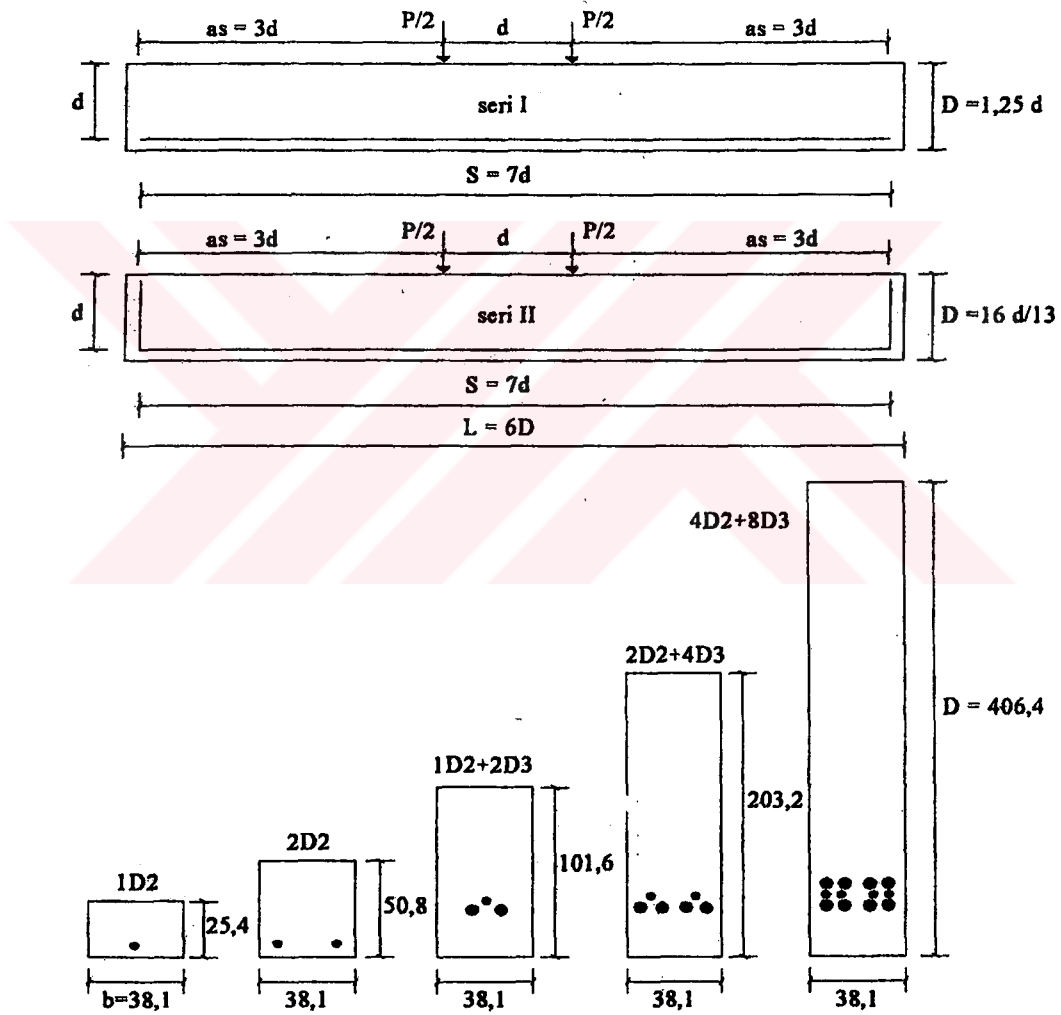
Boyuna giden donatılar iki numune serisi için nervürlü olup ve akma dayanımları 690 ile 890 MPa arası değişmektedir. Donatıların etkin alanı $D_2=12,90$ mm² ve $D_3=19,75$ mm² olarak seçilmiş ve numunelerde bu iki tip donatı kullanılmıştır. Kesitte donatı oranı $\rho=A_s/(bd)$, birinci seri için 1,65 ve ikinci seri için 1,62 yüzde olarak kullanılmıştır (A_s =donatının kesit alanı).

Ekonomik nedenlerden dolayı mikrobeton kullanılmış, en büyük dane çapı $d_{max}=4,88$ mm'dir. Betonda kullanılan karışım oranları su/çimento/agrega=1/2/4 olarak ayarlanmıştır. Betonun basınç dayanımını belirlemek için her karışımdan silindirik numuneler alınıp (çap=76,2 mm, yükseklik=152,4 mm) 28 günlük kürden sonra ortalama basınç dayanımı birinci seri için $f_c=46,8$ MPa ve ikinci seri için $f_c=46,2$ MPa olarak elde edilmiştir.

Deneyde nominal gerilme aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\sigma_N = \frac{P_u / 2}{(bD)} \quad (3.10)$$

σ_N : göçmedeki nominal kesme gerilmesi (MPa), P_u : en büyük yük (N), b: numune kalınlığı (mm), D: kiriş yüksekliği (mm)

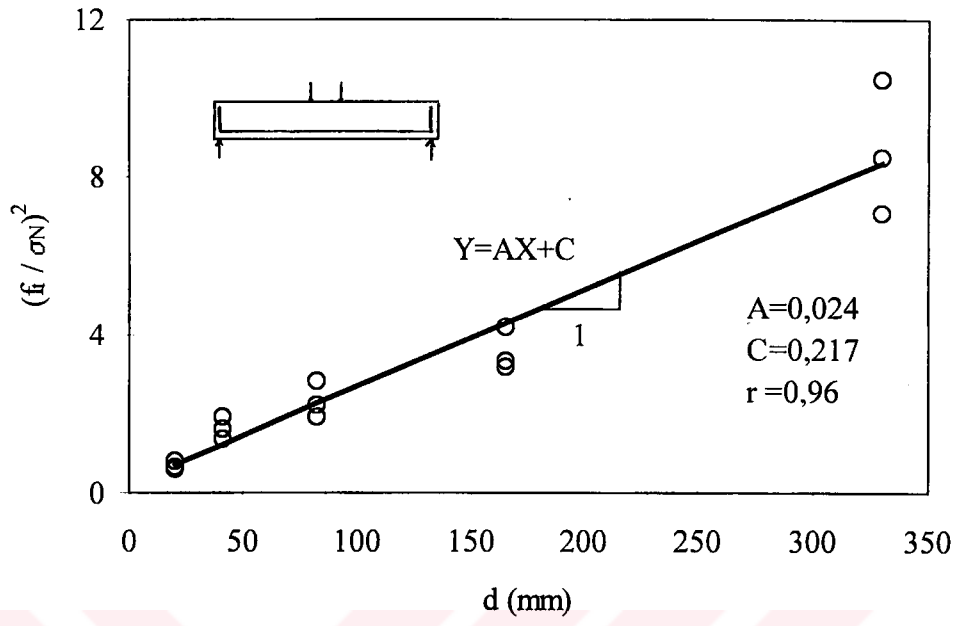


Şekil 3.60. Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyinde numune geometrisi, kesitler, donatı yerleşimi ve yükleme durumu (tüm ölçüler mm'dir)

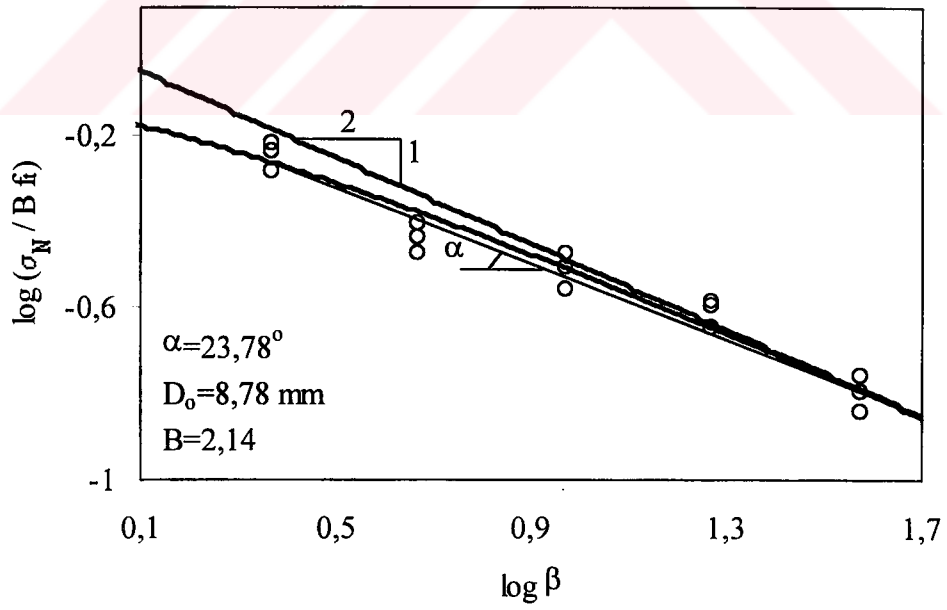
3.4.1.1 Betonarme kirişte kesmede kanca ankrajlı numunelerin analizi

Çizelge 3.35 Betonarme kirişte kesmede kanca ankrajlı numunelerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	Yararlı Yükseklik d (mm)	En Büyük Yük P_u (N)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	25,4	152,4	38,1	144,5	20,6	4181,1	2,66	46,2	20,6	0,801	0,371	-0,283
2	25,4	152,4	38,1	144,5	20,6	4848,3	3,08	46,2	20,6	0,595	0,371	-0,219
3	25,4	152,4	38,1	144,5	20,6	4670,4	2,97	46,2	20,6	0,642	0,371	-0,235
4	50,8	304,8	38,1	288,9	41,3	5871,0	1,87	46,2	41,3	1,624	0,672	-0,437
5	50,8	304,8	38,1	288,9	41,3	5382,1	1,71	46,2	41,3	1,933	0,672	-0,475
6	50,8	304,8	38,1	288,9	41,3	6360,6	2,02	46,2	41,3	1,384	0,672	-0,402
7	101,6	609,6	38,1	577,9	82,6	10809,0	1,72	46,2	82,6	1,917	0,973	-0,473
8	101,6	609,6	38,1	577,9	82,6	10052,0	1,60	46,2	82,6	2,216	0,973	-0,505
9	101,6	609,6	38,1	577,9	82,6	8896,0	1,41	46,2	82,6	2,830	0,973	-0,558
10	203,2	1219,2	38,1	1155,7	165,1	14589,0	1,16	46,2	165,1	4,209	1,274	-0,644
11	203,2	1219,2	38,1	1155,7	165,1	16769,0	1,33	46,2	165,1	3,185	1,274	-0,583
12	203,2	1219,2	38,1	1155,7	165,1	16413,0	1,30	46,2	165,1	3,325	1,274	-0,593
13	406,4	2438,4	38,1	2311,4	330,2	20550,0	0,82	46,2	330,2	8,484	1,575	-0,796
14	406,4	2438,4	38,1	2311,4	330,2	22507,0	0,89	46,2	330,2	7,073	1,575	-0,757
15	406,4	2438,4	38,1	2311,4	330,2	18504,0	0,74	46,2	330,2	10,464	1,575	-0,842



(a)



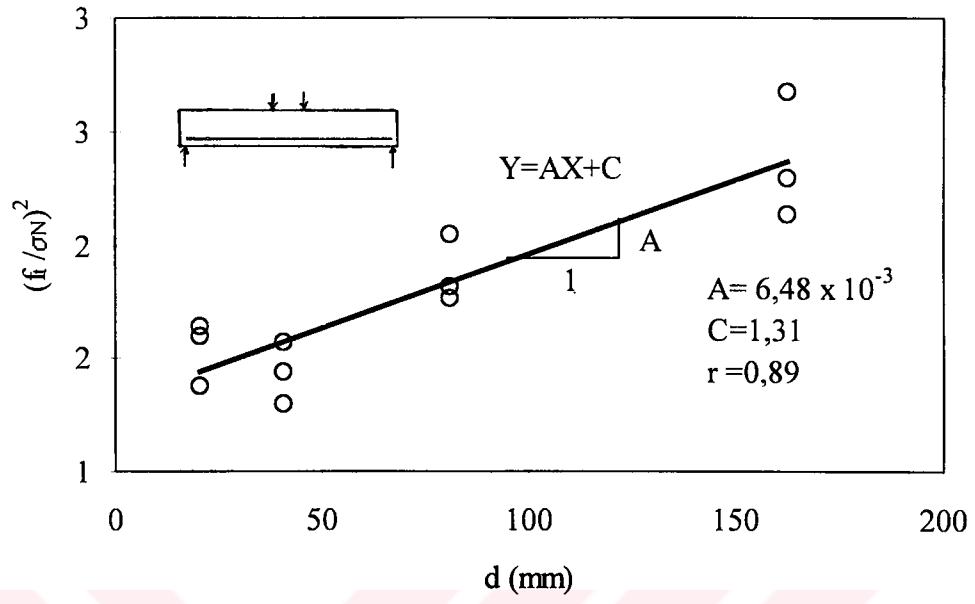
(b)

Şekil 3.61 Betonarme kirişte kesme deneyi kanca ankrajlı numunelerin
a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

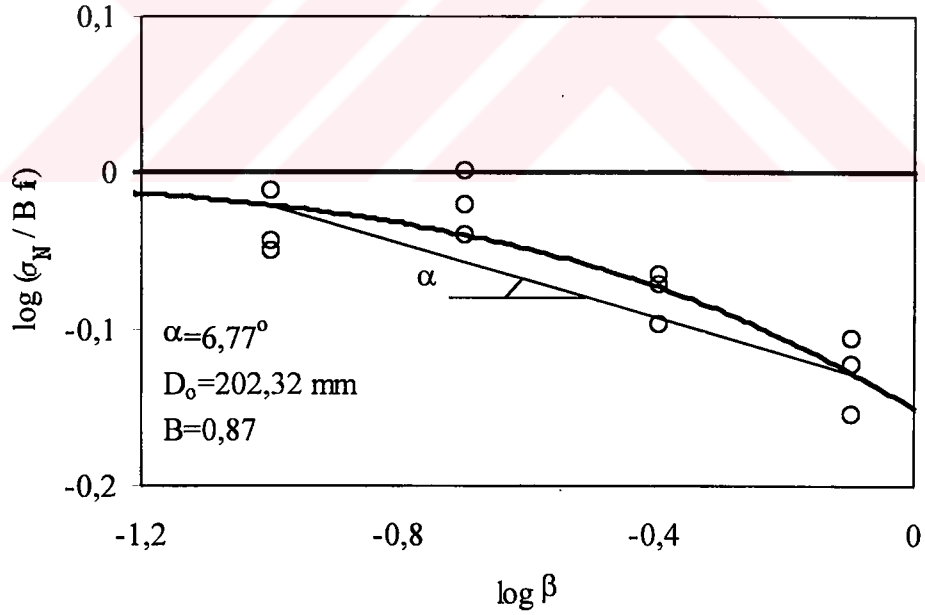
3.4.1.2 Betonarme kirişte kesmede kancasız ankrajlı numunelerin analizi

Çizelge 3.36 Betonarme kirişte kesmede kancasız ankrajlı numunelerin lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	Genişlik b (mm)	Mesnetler Arası Uzaklık S (mm)	Yararlı Yükseklik d (mm)	En Büyük Yük P _u (N)	σ_N (MPa)	f _c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	log β	log ($\sigma_N / B f_t$)
1	25,4	152,4	38,1	142,2	20,3	2891,2	1,87	46,8	20,3	1,644	-0,998	-0,049
2	25,4	152,4	38,1	142,2	20,3	2935,7	1,90	46,8	20,3	1,595	-0,998	-0,042
3	25,4	152,4	38,1	142,2	20,3	3158,1	2,04	46,8	20,3	1,378	-0,998	-0,011
4	50,8	304,8	38,1	284,5	40,6	6494,1	2,10	46,8	40,6	1,304	-0,697	0,001
5	50,8	304,8	38,1	284,5	40,6	5915,8	1,91	46,8	40,6	1,571	-0,697	-0,039
6	50,8	304,8	38,1	284,5	40,6	6182,7	2,00	46,8	40,6	1,438	-0,697	-0,020
7	101,6	609,6	38,1	569,0	81,3	10986,6	1,77	46,8	81,3	1,822	-0,396	-0,071
8	101,6	609,6	38,1	569,0	81,3	11164,5	1,80	46,8	81,3	1,764	-0,396	-0,064
9	101,6	609,6	38,1	569,0	81,3	10363,8	1,67	46,8	81,3	2,047	-0,396	-0,097
10	203,2	1219,2	38,1	1137,9	162,6	18147,8	1,47	46,8	162,6	2,671	-0,095	-0,154
11	203,2	1219,2	38,1	1137,9	162,6	19571,2	1,58	46,8	162,6	2,297	-0,095	-0,122
12	203,2	1219,2	38,1	1137,9	162,6	20282,9	1,64	46,8	162,6	2,138	-0,095	-0,106

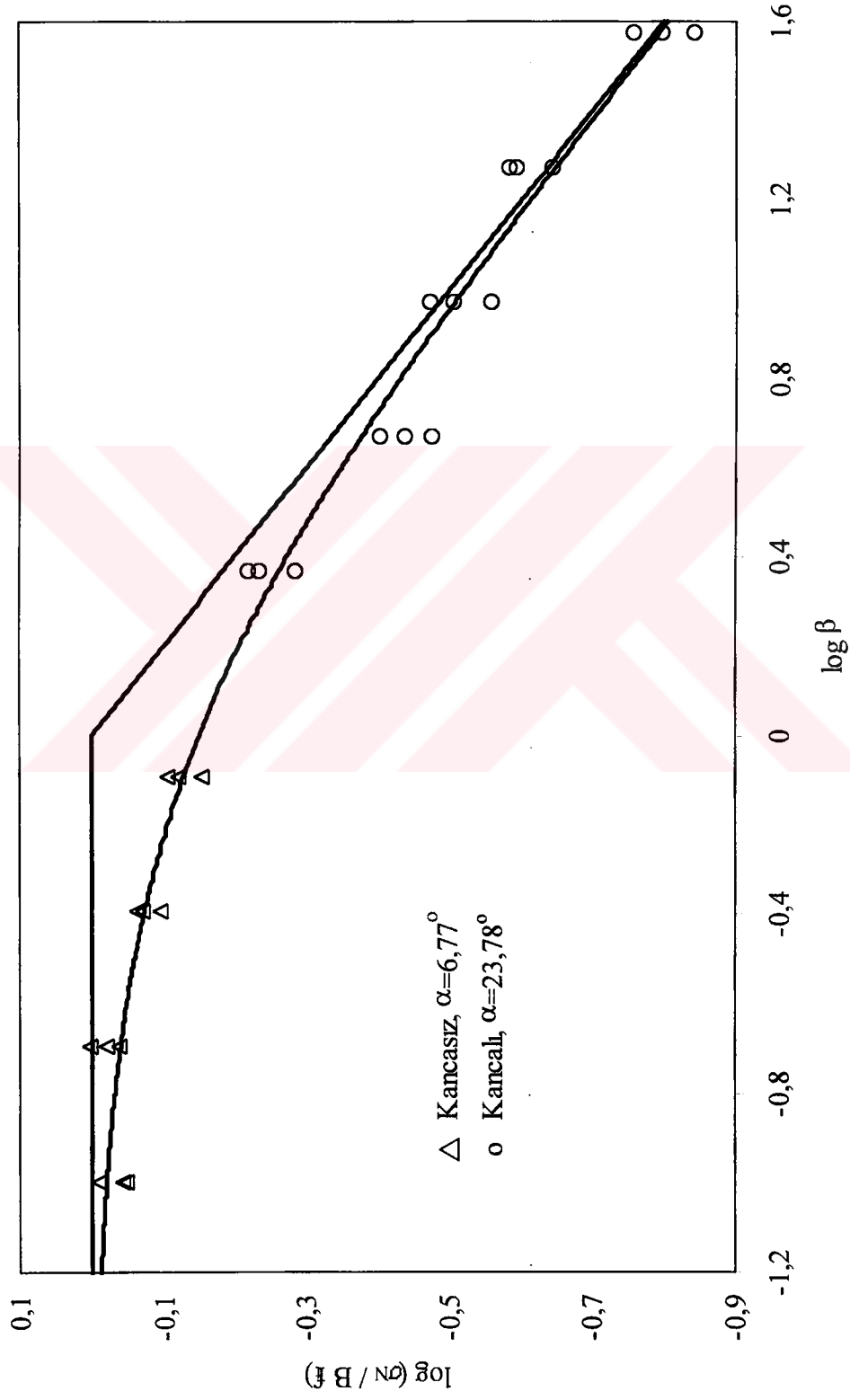


(a)



(b)

Şekil 3.62 Betonarme kirişte kesme deneyi kancasız ankrajlı numunelerin
a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi



Şekil 3.63. Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyi kancalı ve kancasız numunelerin boyut etkisi

3.4.2. Kesme deney bulguları

Yapılan analizler sonucu α değerleri Çizelge 3.37’de verilmiştir.

Çizelge 3.37. Kesme deney bulguları

Deney Adı		α (Derece)
Betonarme Kirişte Diyagonal Kesme Deneyi	Kancalı Ankrajlı	23,78
	Kancasız Ankrajlı	6,77

Çizelge 3.37’ de verilen iki sonuca göre genelleme yapılması güçtür. Ancak betonarme kirişlerin kancalı ankrajlı olanlarının burada verilen gevreklik tanımına göre daha gevrek olduğu görülür.

3.5.Burulma Deneyleri

3.5.1. Boyuna donatılı, donatısız kirişlerde burulma deneyleri

Kiriş üzerinde burulma deneyi Bazant, Şener ve Prat [9] tarafından Northwestern Üniversitesinde 1987 yılında yapılmıştır. İki tür malzeme, beton ve betonarme numuneleri, kare kesitli kullanılmış ve uzunluk / yükseklik oranı 8:3 olarak düzenlenmiştir. Yükseklik D=38,1;76,2 ve 152,4 mm'dir. Kiriş numuneleri karşı yönlü kuvvetlerle yüklenmiş ve bu yükleme kirişin her iki ucundan yapılmıştır (Şekil 3.62). Yük ve kiriş ucu arasındaki uzaklık e ($e/L = 3/32$) olarak düzenlenmiştir. Beton karışımının ağırlıkça oranı her iki numune için çimento/kum/çakıl/su = 1/2/2/0,6 olarak düzenlenmiştir. En büyük dane çapı her iki numune için $d_{max}=4,8$ mm'dir .Betonun basınç dayanımını belirlemek için her iki karışımdan silindir numuneler alınıp (çap=76,2 mm, yükseklik=152,4 mm) 28 günlük kürden sonra ortalama basınç dayanımı her iki numune için $f_c =43,6\sim44,1$ MPa olarak elde edilmiştir.

Betonarme numunede dört adet nervürlü donatı kesitinin dört köşesine yerleştirilmiş ve paspayı değerleri üç numune için sırası ile 8,1; 16,3 ve 31,5 mm olarak düzenlenmiştir. Donatılar 3,18; 6,35 ve 12,7 mm çaplıdır ve akma dayanımı ise en küçük donatı için $f_y =310$ MPa ve en büyük donatı için $f_y= 413$ MPa olarak elde edilmiştir. Nominal gerilme elastisite teorisine göre aşağıdaki denklemden elde edilmiştir:

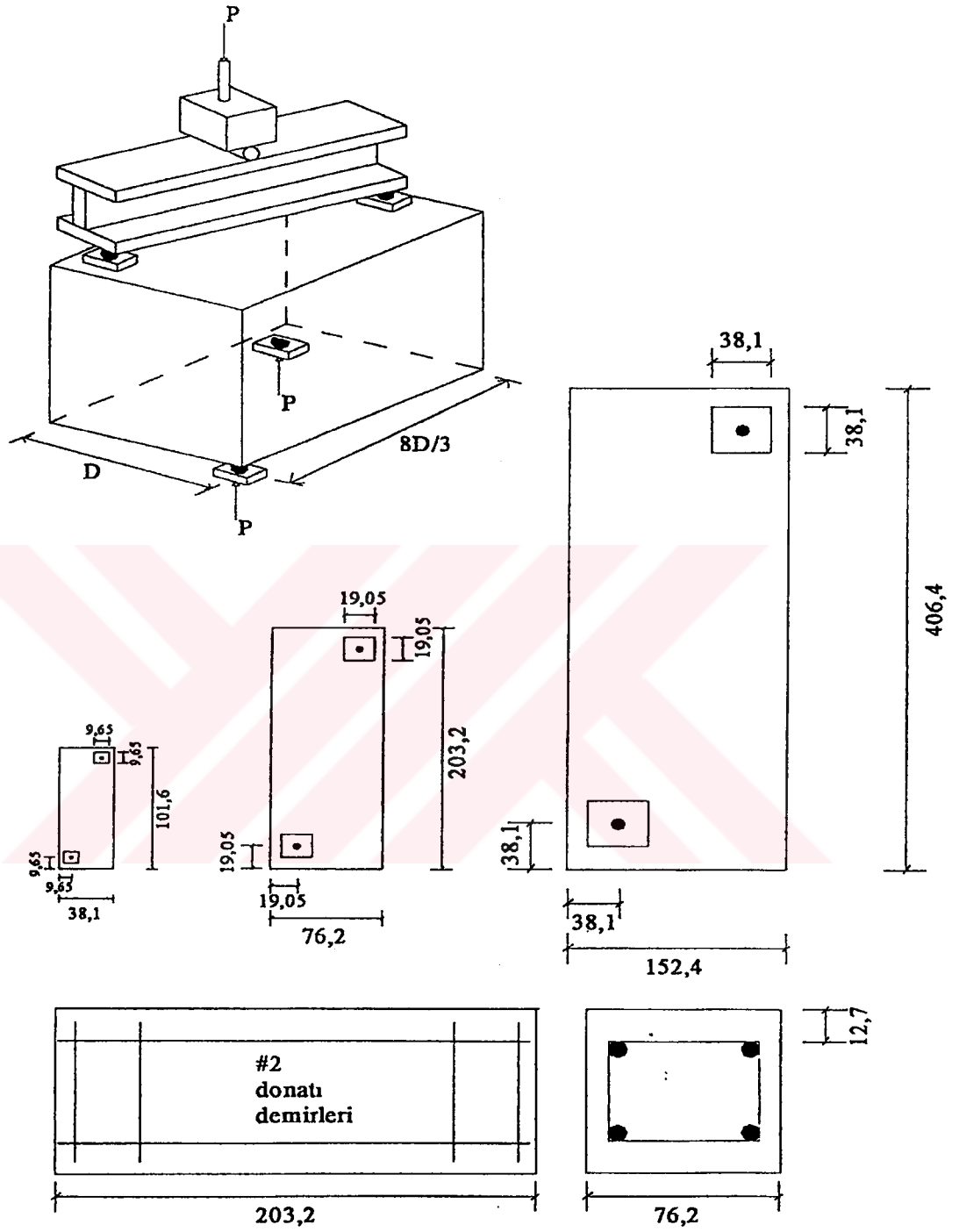
$$\sigma_N = \frac{T}{\alpha D^3} \quad (3.11)$$

σ_N : maksimum yükde nominal gerilme (MPa)

T : maksimum yükde burulma momenti (N-mm)

α : numune geometresine bağlı olan sabit ($\alpha=1/3$)

D : numune yüksekliği (mm)

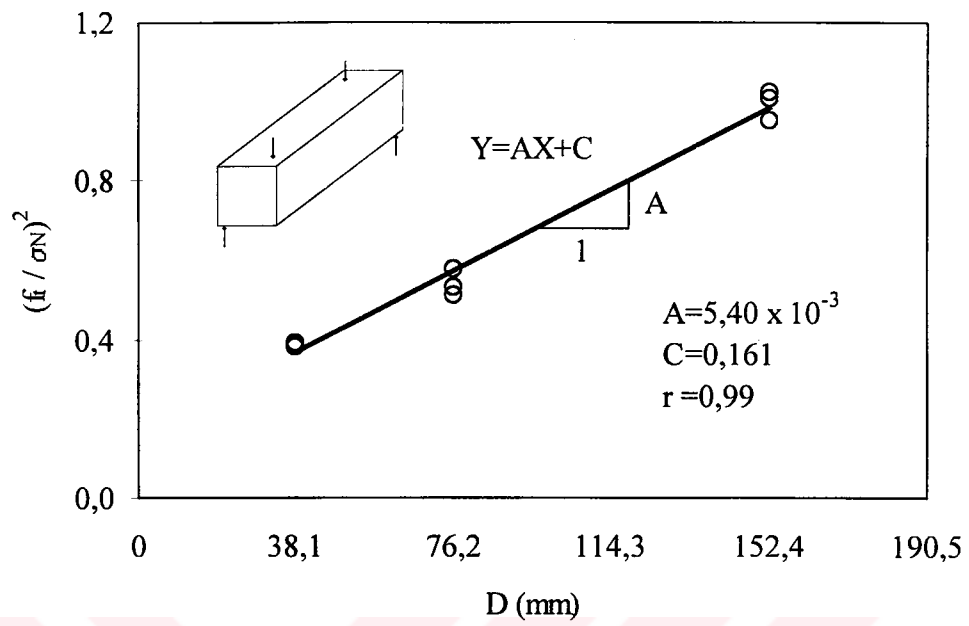


Şekil 3.64. Burulma deneyinde numune geometrisi ve yükleme durumu

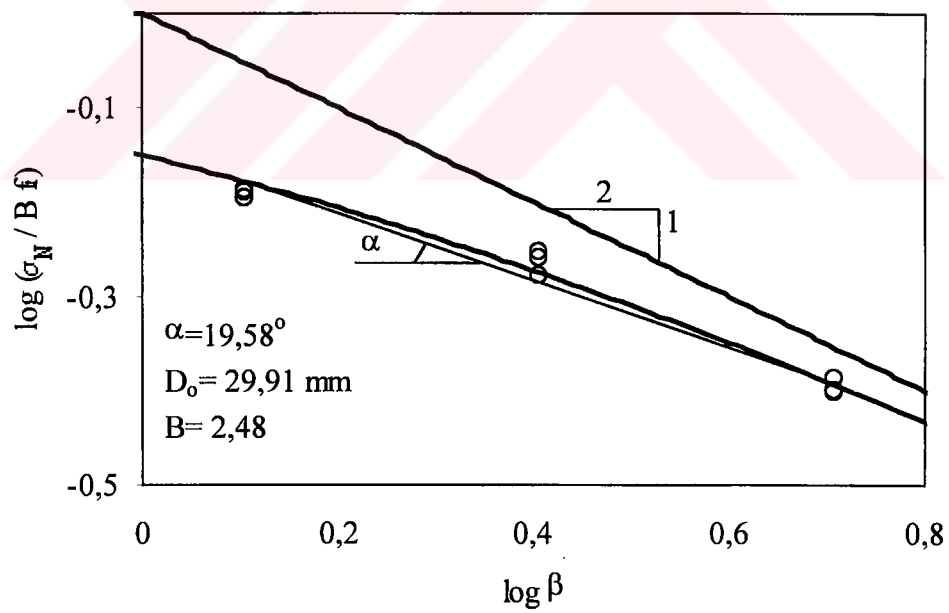
3.5.1.1 Beton kirişlerde burulma deney analizi

Çizelge 3.38. Beton kirişte burulma deneyi ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	En Büyük Yükle Burulma Momenti T (Nmm)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	38,1	101,6	68917,0	3,74	44,13	38,1	0,387	0,105	-0,189
2	38,1	101,6	67788,0	3,68	43,61	38,1	0,395	0,105	-0,194
3	38,1	101,6	68917,0	3,74	43,61	38,1	0,382	0,105	-0,187
4	76,2	203,2	470030,2	3,19	44,13	76,2	0,532	0,406	-0,259
5	76,2	203,2	447465,2	3,03	43,61	76,2	0,580	0,406	-0,278
6	76,2	203,2	474454,7	3,22	43,61	76,2	0,516	0,406	-0,252
7	152,4	406,4	2711338,1	2,30	44,13	152,4	1,024	0,707	-0,401
8	152,4	406,4	2793928,9	2,37	43,61	152,4	0,953	0,707	-0,385
9	152,4	406,4	2712517,9	2,30	43,61	152,4	1,011	0,707	-0,398



(a)



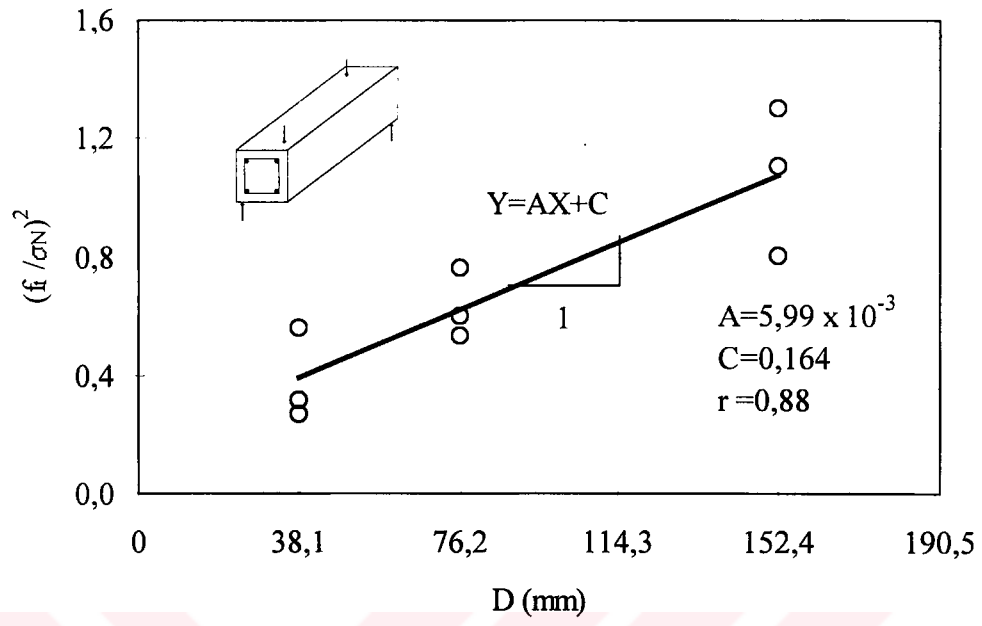
(b)

Şekil 3.65. Beton kirişte burulma deneyi a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi

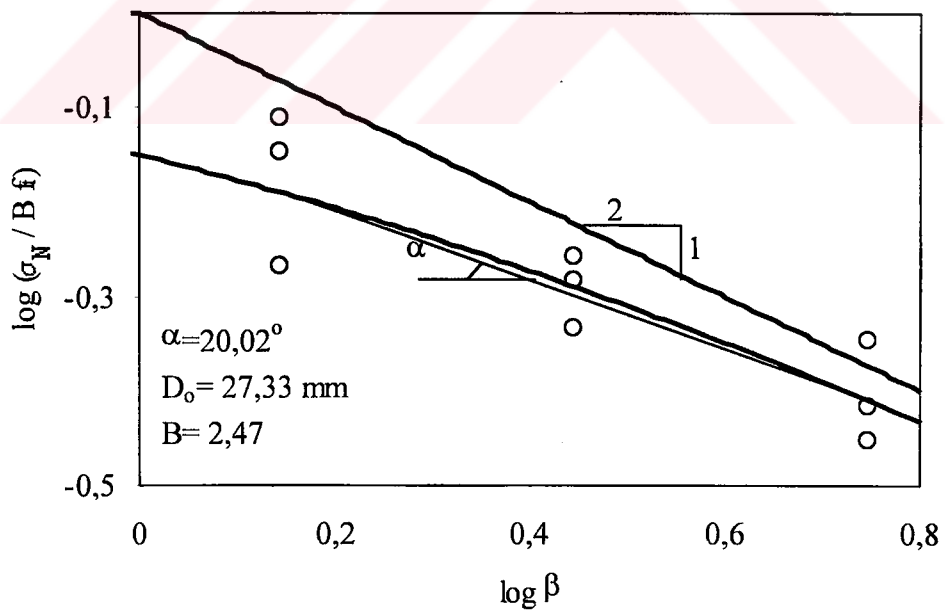
3.5.1.2 Betonarme kirişlerde burulma deney analizi

Çizelge 3.39. Betonarme kirişte burulma deneyi ve lineer korelasyon sonuçları

Numune Adı	Yükseklik D (mm)	Uzunluk L (mm)	En Büyük Yükle Burulma Momenti T (Nmm)	σ_N (MPa)	f_c (MPa)	D (mm)	$(f_t / \sigma_N)^2$	$\log \beta$	$\log (\sigma_N / B f_t)$
1	38,1	101,6	75696,0	4,11	44,13	38,1	0,321	0,144	-0,146
2	38,1	101,6	81345,0	4,41	43,09	38,1	0,271	0,144	-0,110
3	38,1	101,6	56490,0	3,06	43,09	38,1	0,562	0,144	-0,268
4	76,2	203,2	470030,2	3,19	44,13	76,2	0,532	0,445	-0,256
5	76,2	203,2	437288,8	2,97	43,09	76,2	0,600	0,445	-0,282
6	76,2	203,2	388619,2	2,64	43,09	76,2	0,760	0,445	-0,333
7	152,4	406,4	3055859,7	2,59	44,13	152,4	0,806	0,746	-0,346
8	152,4	406,4	2575653,2	2,18	43,09	152,4	1,108	0,746	-0,415
9	152,4	406,4	2372715,8	2,01	43,09	152,4	1,305	0,746	-0,451

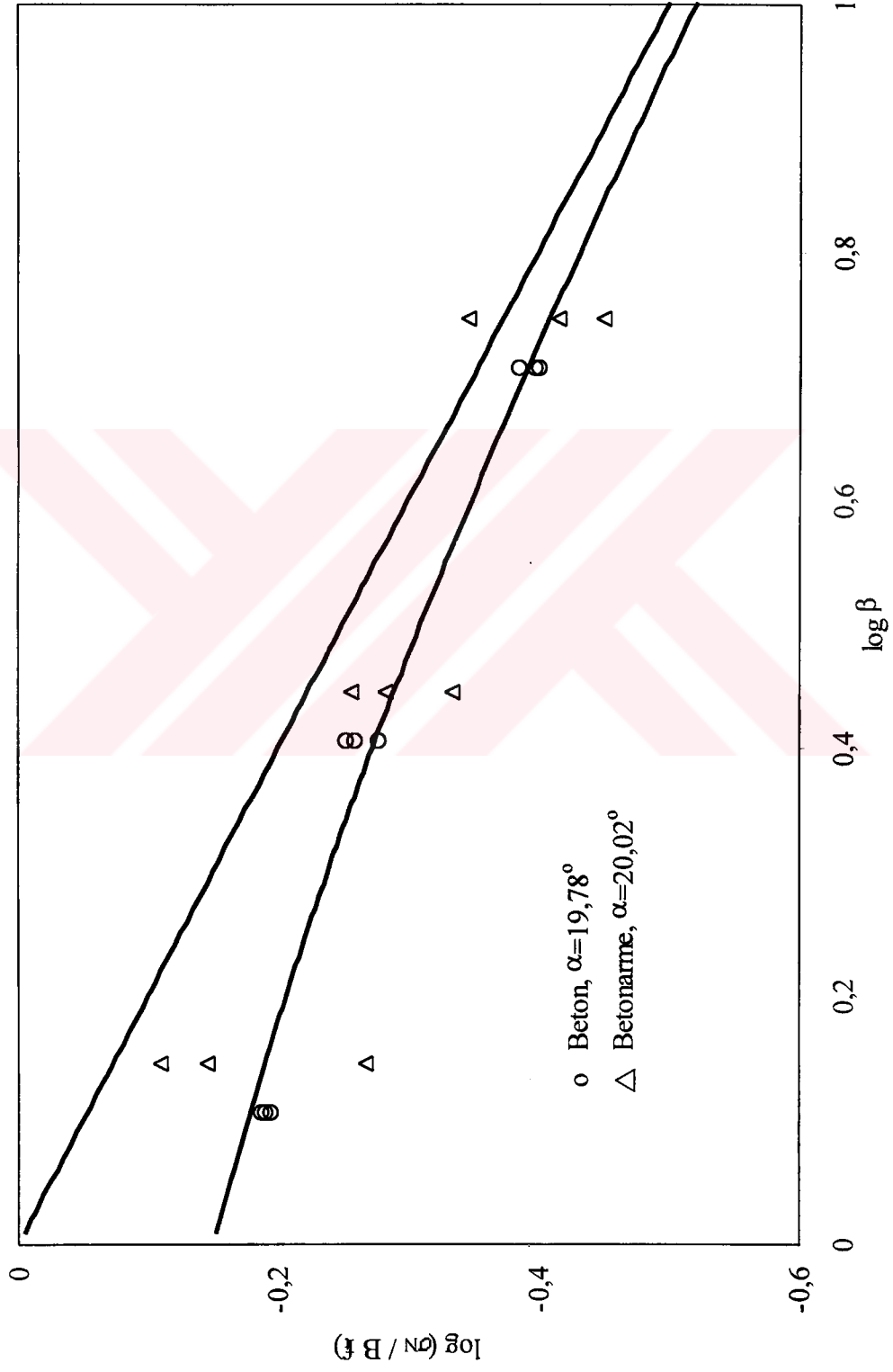


(a)



(b)

Şekil 3.66 Betonarme kirişte burulma deneyi a) Doğrusal korelasyonu b) Boyut etkisi



Şekil 3.67 Burulma deneyi beton ve betonarme numunelerin boyut etkisi

3.5.2 Burulma deney bulguları

Yapılan analizler sonucu α değerleri Çizelge 3.40' da verilmiştir.

Çizelge 3.40 Burulma deneyi bulguları

Deney Adı		α (Derece)
Burulma Deneyi	Beton	19,58
	Betonarme.	20,02

Burulma deneyleri için genelleme yapmak deney sayısı azlığı nedeni ile güçtür. Ancak her iki tür boyuna donatılı, donatısız kirişlerin burulma göçmesi burada verilen gevreklik tanımına göre önemli olup gevrektiler.

4. GEVREKLİK

Gevreklik malzemeye, yapının geometrisine ve yükleme durumuna, yapının boyutuna bağlıdır. Bu etmenlerin hepsini birden içeren bir gevreklik tanımı bulunması kolay değildir. Bir çok gevreklik tanımı yapılmıştır. Bu bölümde bunlardan birkaçına değinilecektir.

4.1. Irwin Gevreklik Tanımı

Irwin gevreklik sayısını aşağıdaki formülle tanımlamıştır.

$$\beta_K = \frac{Df_t}{K_{IC}^2} \geq 2.5 \quad (4.1)$$

D: boyut, f_t : çekme dayanımı, K_{IC} : kırılma tokluğu olup

$$K_{IC} = \sqrt{EG_F} \quad (4.2)$$

4.2 bağıntısı ile verilir. E: elastisite modülü, G_F : kırılma enerjisidir.

Irwin'ın gevreklik formülü düzenlenirse,

$$\beta_K = \frac{Df_t^2}{EG_F} \text{ elde edilir. Bu formülden D arttıkça, çekme dayanımı arttıkça ve kırılma}$$

tokluğu azaldıkça gevrekliğin arttığı çıkarılabilir.

4.2. Hillerborg Gevreklik Tanımı

Hillerborg gevreklik sayısını aşağıdaki formülle tanımlamıştır.

$$\beta_H = \frac{D}{l_{ch}} \quad (4.3)$$

l_{ch} : karakteristik uzunluk, çatlak önündeki kırılma bölgesi uzunluğudur. Aşağıdaki, 4.4 bağıntısından bulunur.

$$l_{ch} = \frac{EG_F}{f_t^2} \quad (4.4)$$

Hillerborg'un formülü düzenlenirse,

$\beta_H = \frac{Df_t^2}{EG_F} = \beta_K$ elde edilir. Görüldüğü üzere Irwin'in gevreklik tanımıyla aynıdır.

4.3. Carpinteri Gevreklik Tanımı

Carpinteri gevreklik sayısını aşağıdaki bağıntı ile tanımlamıştır.

$$\frac{1}{\beta_C} = s_C = \frac{G_F}{Df_t} \quad (4.5)$$

Hillerborg'un formülüyle bağıntı kuracak olursak,

$$\frac{1}{\beta_C} = \frac{f_t}{\beta_H E} \text{ elde edilir bu da bize her iki formülün } f_t/E \text{ oranı aynı olan malzemelerde}$$

karşılaştırılabileceğini gösterir. Carpinteri'nin gevreklik sayısı (β_C) diğerlerinde olduğu gibi boyut ve çekme dayanımı arttıkça artar.

4.4. Bazant Gevreklik Tanımı

Bazant gevreklik sayısını aşağıdaki formülle tanımlamıştır.

$$\beta_B = \frac{D}{D_0} = \frac{\bar{D}}{c_f} \quad (4.6)$$

D_0 : Yapı biçimine bağlı katsayı, c_f : çatlak önündeki karakteristik uzunluktur, $\bar{D}$ ise

$$\bar{D} = \frac{\partial \ln K_I^2(\alpha)}{\partial a} \Big|_{a=a_0} \quad (4.7)$$

a : çatlak boyutu, D_0 : malzeme sabiti, K_I : gerilme şiddet çarpanı, $\alpha=a/a_0$: çatlak boyunun ilk çatlağa oranıdır. Bazant'ın gevreklik sayısı boyut arttıkça artar. Bu çalışmada Bazant'ın gevreklik tanımı $\beta=D/D_0$ temel alınmış bütün karşılaştırmalarda grafikler β_B 'ye göre elde edilip gevreklikler bulunmuştur.

4.5. Planas Gevreklik Tanımı

Planas gevreklik sayısını aşağıdaki formülle tanımlamıştır.

$$\beta_p = \frac{\bar{D}}{l_{ch}} > 0.04 \quad (4.8)$$

Karakteristik uzunluk (l_{ch}) arttıkça gevreklik azalmaktadır.

4.6. Önerilen Gevreklik Tanımı

Bölüm 2.5’de anlatıldığı gibi elde edilen α açısı ile gevreklik tanımlanmaya çalışılmıştır. Bazant’ın boyut analizinden yararlanıldığı için boyut arttıkça, dayanım arttıkça gevreklik artmaktadır. İncelenen deneyler de bulunan α değerlerin büyükten küçüğe doğru sıralı olarak Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Gevreklik değerleri

Deney		α°
Çentikli numunede simetrik olmayan dışmerkez basınç deneyi	C80	24,73
Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyi	Harç	24,71
Direkt yüklemde aderans deneyi	Düz Donatılı	24,20
Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyi	Kancalı Ankrajlı	23,78
Çentikli numunede simetrik olmayan dışmerkez basınç deneyi	C90	23,65
Üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi (harç)	Harç	23,55
Çentikli numunede simetrik olmayan dışmerkez basınç deneyi	C70	22,50
Kiriş numunelerinde burulma deneyi	Betonarme	20,02
Kiriş numunelerinde burulma deneyi	Beton	19,58
Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyi	Beton	18,93
Çekip çıkarma deneyi		18,68
Çentikli numunede simetrik olmayan dışmerkez basınç deneyi	C50	15,83
Üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi (beton)	Beton	15,59
Direkt yüklemde aderans deneyi	Nervürlü Donatılı	15,50
Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyi	5. Grup	12,63
Çentikli numunede direkt çekme deneyi	Harç	12,29
Yüksek mukavemetli betonda üç nokta eğilme deneyi	$N_p=0.26$	9,13
Çentikli numunede direkt çekme deneyi	Beton	8,66
Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi	$\lambda=34,7$	8,31
Yüksek mukavemetli betonda üç nokta eğilme deneyi	$N_p=0.53$	7,92
Yüksek mukavemetli betonda üç nokta eğilme deneyi	$N_p=0$	7,83
Yüksek mukavemetli betonda üç nokta eğilme deneyi	$N_p=0.87$	7,58
Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyi	2. Grup	7,38
Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyi	1. Grup	7,05
Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyi	Kancasız Ankrajlı	6,77
Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyi	3. Grup	5,53
Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi	$\lambda=9,7$	4,72
Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyi	4. Grup	3,47

4.7. Gevreklik Tanımlarının Karşılaştırması

Önerilen gevreklik tanımı ile Irwin, Hillerborg, Carpinteri, Bazant ve Planas'ın gevreklik tanımları Çizelge 4.2' de verilmiştir. Önerilen gevreklik tanımı ile diğer gevreklik tanımları arasında paralellik olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Gevreklik sayılarının karşılaştırılması

Gevreklik Tanımları			α^u	Do (mm)	Db (mm)	f _t (MPa)	$\beta_K K_{IC}^2 = \beta_C G_f = Df_t$	β_B
Çentikli numunede direkt çekme deneyi	Beton		8,66	179,47	76,2	2,026	154,364	0,42
	Harç		12,29	99,5	76,2	2,415	184,004	0,77
Direkt yüklemede aderans deneyi	Nervürlü Donatılı		15,5	7,95	10	1,177	11,765	1,26
	Düz Donatılı		24,2	1,02	10	1,177	11,765	9,80
Çekip çıkarma deneyi			18,68	35,46	76,2	2,369	180,491	2,15
Çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basınç deneyi	C50		15,83	150,86	200	2,427	485,479	1,33
	C70		22,5	39,23	200	2,844	568,812	5,10
	C80		24,73	15,89	200	3,177	635,305	12,59
	C90		23,65	26,71	200	3,291	658,149	7,49
Çentikli numunede simetrik dış merkez basınç deneyi	Beton		18,93	46,21	152,4	2,026	308,728	3,30
	Harç		24,71	8,01	152,4	2,415	368,007	19,03
Narin donatısız kolonlarda basınç deneyi	$\lambda=9,7$		4,72	532,71	100	2,091	209,123	0,19
	$\lambda=34,7$		8,31	250,61	100	2,091	209,123	0,40
Üç nokta yüklemesinde eğilme deneyi (beton)	Beton		15,59	83,5	152,4	2,026	308,728	1,83
	Harç		23,55	13,91	152,4	2,415	368,007	10,96
Aşırı donatılı kirişlerde basınç göçmesi deneyi	1. Grup		7,07	5155	2300	1,452	3338,567	0,45
	2. Grup		7,38	890,58	300	1,581	474,247	0,34
	3. Grup		5,53	10058	2300	1,452	3338,567	0,23
	4. Grup		3,47	17657	2300	1,464	3367,557	0,13
	5. Grup		12,63	186,46	150	1,452	217,733	0,80
Yüksek mukavemetli betonda üç nokta eğilme deneyi	Np=0	Çatlama Yüğü	7,83	545,6	200	3,342	668,491	0,37
	Np=0.26	Çatlama Yüğü	9,13	432	200	3,342	668,491	0,46
		Akma Yüğü	25,18	11,83	200	3,342	668,491	16,91
		Kopma Yüğü	24,44	18,78	200	3,342	668,491	10,65
	Np=0.53	Çatlama Yüğü	7,92	538,81	200	3,342	668,491	0,37
		Kopma Yüğü	17,46	115,39	200	3,342	668,491	1,73
	Np=0.87	Çatlama Yüğü	7,58	572,67	200	3,342	668,491	0,35
Akma Yüğü		22,65	37,55	200	3,342	668,400	5,33	
Betonarme kirişte diyagonal kesme deneyi	Kancalı Ankrajlı		23,78	8,78	101,6	2,379	241,703	11,57
	Kancasız Ankrajlı		6,77	202,32	101,6	2,394	243,268	0,50
Kiriş numunelerinde burulma deneyi	Beton		19,58	29,91	76,2	2,325	177,170	2,55
	Betonarme		20,02	22,33	76,2	2,298	175,070	3,41

Çizelge 4.2' de görüldüğü gibi burada verilen gevreklik tanıma göre çentikli numunede simetrik olmayan dış merkez basıçda C80 için en gevrek davranış iken, Bazant'a göre ise çentikli simetrik dış merkez basınçda harç numune en gevrek olmaktadır.



5.SONUÇLAR

Bu tezde beton yapılar üzerinde yapılmış olan direkt çekme, basınç, kesme, eğilme ve burulma deneyleri incelenmiş ve Bazant'ın önerdiği boyut etkisi formülü yardımı ile gevreklik doğru eğimleri elde edilmiştir.

1) Beton yapılar üzerinde yapılan değişik analizler sonucu doğru eğiminin en büyük olduğu en büyük gevreklik çentikli numunede simetrik olmayan dışmerkez basınç deneyinde C80 betonunda elde edilmiştir.

2) Aynı tür yüklemede değişik beton kaliteleri için farklı gevreklikler bulunmuştur.

3) Beton yapılarda dayanım arttıkça gevrekliğin arttığı görülmüştür.

4) Yüksek dayanımlı numunelerinin gevrekliği doğru eğimleri (α), -1/2 doğrusunun eğimi 26,5°'ye yakın çıkmıştır.

5) Diğer gevreklik tanımlamaları ile karşılaştırıldığında, paralel sonuçlar elde edilmiş olup, önerilen gevreklik tanımı kullanılabilir.

6) Bazant'ın gevreklik tanımında sonuçlar birbirinden oldukça farklı iken burada tanımlanan gevreklik sonuçları oldukça yakın çıkmıştır.

7) Benzer sonuçlar dataların orta noktasında ki teğetin eğimi ile karşılaştırıldığında hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir.

8) Değişik yükleme, malzeme ve numuneler için sınırlı sayıda yapılmış çalışmalardan bir genelleme yapmak güçtür. Ancak bir tip yükleme ve malzeme için çok fazla sonuç olduğunda genelleme yapmak kolaylaşır.

KAYNAKLAR

1. TS 500, 2000, Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları **Türk Standartları Enstitüsü**, s 75, Ankara.
2. Bazant, Z.P., Pfeiffer, P.A., 1987, Determination of fracture energy from size effect and brittleness number, **ACI Materials Journal**, 84, pp. 463-480.
3. Şener, S., 1993, Size effect in the direct loading tests, **Advances in Civil Engineering, First Technical Congress Gazimagusa**, North Cyprus, pp. 720-727
4. Bazant, Z.P. and Şener, S.; 1987, Tests of size effect in pull-out of reinforcing bars from concrete, computational mechanics of concrete structures-advances and applications, **IABSE Colloquium**, Delft, Netherland, pp. 139-142.
5. Barr, B.I.G., Abusiaf, H.F. and Şener, S., 1996, Size effect and fracture energy studies using compact compression specimens, **Wales Cardiff University**, Vol. 31, pp. 36-41.
6. Şener, S., Barr, B.I.G. and Abusiaf, H.F., 1999, Size effect tests in unreinforced concrete columns, Wales Cardiff University, **Magazine of Concrete Research**, No. 1, Vol 51, pp.3-11.
7. Bosco, C., Carpinteri, A. And Debernardi, P.G., 1989, Minimum reinforcement in high-strength concrete, **Journal of Structural Engineering**, Vol. 116, No.2, pp. 427-437.
8. Bazant, Z.P. and Kazemi, M.T., 1991, Size effect on diagonal shear failure of concrete beams without stirrups, **ACI Structural Journal**, Vol. 88, No.3, pp 268-276.

9. Bazant, Z.P. and Şener, S., and Prat, P., 1988, Size effect tests of torsional failure of plain and reinforced concrete beams, **RILEM Materials and Structures**, Vol 21, pp 425-430.



ÖZGEÇMİŞ

Özden Özdem, 1976 yılında Akşehir’de doğdu. 1996 yılında Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü ikincilik ile bitirdi. 1999 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde tezsiz yüksek lisans programını tamamladı.

