

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

168511

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KESME DONATISIZ
BETONARME KİRİŞLERİN ANALİZİ**

İnşaat Mühendisi Hüseyin Serdar KÜYÜK

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. H. Orhun KÖKSAL (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İkinci Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR (Sakarya Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Sema Alacalı

HA

Prof. Dr. Cengiz Karakoz
Karakoz

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması	2
2. KESME DONATISIZ BETONARME KİRİŞLER	6
2.1 Giriş	6
2.2 Çatlamış Kiriş Davranışı.....	12
2.3 Kesme Açıklığının Faydalı Yüksekliğe Oranının (a/d), Kiriş Davranışına Etkisi	14
2.4 Tarihsel Gelişim.....	18
2.5 Kesme Kuvveti Aktarım Mekanizması	20
2.5.1 Çatlamamış Kesitte Taşınan Kesme Kuvveti, V_{cc}	21
2.5.2 Çekme Donatısı Tarafından Taşınan Kesme Kuvveti, V_{cd}	21
2.5.3 Agrega kenetlenmesi q_c	22
2.5.4 Kemer davranışı.....	25
2.5.5 Artık Çekme Gerilmeleri	26
2.6 Diş Modeli	27
2.7 Eğik Çatlak Dayanımı.....	28
2.8 Yönetmeliklere Bakış	30
2.8.1 Avrupa Yönetmeliği (Eurocode-2-2000),.....	30
2.8.2 Amerikan Yönetmeliği (ACI-318-02),	30
2.8.3 Avrupa Örnek Yönetmeliği (CEB-FIB-1990)	31
2.8.4 Türk Yönetmeliği (TS-500-2000)	32
2.9 Yüksek Dayanımlı Betonarme Kirişlerde Kesme Dayanımı.....	32
2.9.1 Kesme Donatısız Yüksek Dayanımlı Betonarme (YDB) Kirişlerde Kesme Dayanımı ile İlgili Çalışmalar	33
2.10 Sonuç	35
3. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	36
3.1 Giriş	36
3.2 YSA'nın Temel Özellikleri.....	36
3.3 YSA'nın Genel Tanımı.....	37

3.4	İşlem Elemanı	38
3.5	Ağ Yapıları	40
3.6	YSA Uygulamalarının Geliştirilme Adımları.....	40
3.6.1	Tasarım	40
3.6.2	YSA'da Öğrenme	41
3.6.3	Hatayı Geriye Yayma Ağı Öğrenme Prosedürü	42
3.6.4	Test/Uygulama.....	43
4.	ÖNERİLEN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ VE UYGULAMASI	45
4.1	Deneysel Veritabanına Giriş.....	45
4.1.1	Önerilen Model ve Programın Tanıtılması.....	47
5.	İSTATİSTİKSEL ANALİZ.....	52
5.1	Regresyon Analizi	55
5.1.1	Mümkün Olan Tüm Regresyonlar (All Possible Regressions).....	58
5.1.2	Değişken Ekleme İşlemi (Forward Selection).....	59
5.1.3	Değişken Ekleme ve Eleme İşlemi (Stepwise Selection).....	60
5.1.4	Değişken Eleme İşlemi (Backward Selection)	60
6.	SAYISAL UYGULAMA	61
6.1	Kodların Karşılaştırılması.....	65
6.1.1	Eurocode 2 (Nisan 2002 son taslak) Yönetmeliği	69
6.1.2	ACI-318-02 Yönetmeliği.....	70
6.1.3	CEB-FIB-90 Örnek Yönetmeliği.....	72
6.1.4	TS 500-2000 Yönetmeliği	73
6.1.5	Yapay Sinir Ağları Sonuçları	74
6.1.6	Boyuna Donatı Oranın Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması.....	76
6.1.7	Beton Dayanımının Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması.....	78
6.1.8	Boyut Etkisinin Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması.....	81
6.1.9	Faydalı Yüksekliğinin Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması	83
6.1.10	Örnek Sayısal Uygulama	85
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	88
	KAYNAKLAR.....	90
	EKLER	95
	Ek 1a Tüm Verilerin İstatiksel Sonuçları	96
	Ek 1b $d \geq 900$ Verilerin İstatiksel Sonuçları	98
	Ek 1c $f_c > 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları.....	100
	Ek 1d $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları	102
	Ek 1e $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları	104
	Ek 1f $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları	106
	Ek 1g $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları	108
	Ek 1h $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları	110
	Ek 2a Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performansları Çizelgesi.....	112
	Ek 2b İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performansları Çizelgesi.....	117

Ek 3 Veritabanı..... 119

ÖZGEÇMİŞ..... 127



SİMGE LİSTESİ

A_c	Beton kesit alanı
A_i	Sigmoid fonksiyonu
A_n	Ağırlıklar
A_s	Donatı alanı
A_{sl}	Çekme donatısı kesit alanı
a	Kesme açıklığı
a_x	z düzlemindeki dokunma uzunluğunun x eksenine üzerine izdüşümü
a_y	z düzlemindeki dokunma uzunluğunun y eksenine üzerine izdüşümü
B_{nn}	Çatlak rijitlik katsayısı
b_w	Kiriş genişliği
C	Çatlamamış beton bloğu bileşke kuvveti
C_{vx}	Varyasyon katsayısı
C_{sx}	Çarpıklık katsayısı
CoV	Kovaryans
D_{max}	maksimum dairesel agrega çapı
d	Etkili derinlik veya faydalı yükseklik
e_y	Gözlenmiş noktaların regresyon doğrusuna düşey uzaklıkları
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctf}	Beton eğilmede çekme dayanımı
f_{ctk}	Karakteristik beton çekme dayanımı
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{yk}	Karakteristik donatı akma dayanımı
F	Eşik fonksiyonu
h	Kiriş yüksekliği
I	Eylemsizlik momenti
i, j	İşlem elemanı
M	Moment
M_t	Kirişin eğilmedeki taşıma gücü
M_u	Moment kapasitesi
N	Veri sayısı
N_d	Eksenel kuvvet
net_i	İşlem elemanına giren net girdi
P	Tekil kuvvet
q_c	Çatlak içi kesme gerilmeleri
$r_{x,y}, R$	Korelasyon katsayısı
$r^2_{x,y}, R^2$	Determinasyon katsayısı
s_c	Çatlak genişliği
T	Boyuna donatı bileşke kuvveti
s_x	Standart sapma
X	Bağımsız değişken
$\bar{x}$	Ortalama
w	Çatlak genişliği (Walraven Modelinde)
V	Kesme Kuvveti
Var	Varyans
V_{cc}	Çatlamamış kesitte taşıma kesme kuvveti
V_{cd}	Çekme donatısı tarafından taşınan kesme kuvvet (Kaldıraç kuvveti)
V_{cr}	Eğik çekme dayanımı
V_u	Kırılma yükü
Y	Bağımlı değişken

z	Manevela kou
Σ	Toplama fonksiyonu
μ_x	Medyan
ρ	Donatı oranı
τ	Kayma gerilmesi
σ	Normal gerilme
δ_{nn}	Çatlak genişliği
δ_{nt}	Kayma deplasmanı
Δ	Kayma deplasmanı
ΔT	Aderans kuvvetleri
Δx	Birim boydaki değişim
β_0	Regresyon sabit katsatısı
β_p	Bağımsız değişken katsayıları



KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
AİGM	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ASCE	American Society of Civil Engineers
BP	Back Propagation
CEB	Comite Euro International du Beton
EC-2	Eurocode 2
GBAM	Gerilme Basınç Alanı Modeli
GY	Geri Yayınım
GYA	Geriye Yayılma Algoritması
HKT	Hata Kareler Toplamı
KGY	Konjuge Gradyant Yöntemi
NDB	Normal Dayanımlı Beton
ÖKGY	Ölçeklenmiş Konjuge Gradyant Yöntemi
RC	Reinfoced Concrete
YSA	Yapay Sinir Ağları
YDB	Yüksek Dayanımlı Beton
TS	Türk Standartları



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Tarafsız ekseninde asal gerilmeler	7
Şekil 2.2 Mohr dairesi	7
Şekil 2.3 Betonarme bir kirişte gerilme dağılımları	8
Şekil 2.4 Bir kirişte asal gerilme doğrultularının değişimi.....	9
Şekil 2.5 Çatlamamış betondaki asal basınç gerilmeleri antolojisi ve Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvar'ında kırılmış kesme donatısız betonarme kirişte oluşan çatlaklar.....	10
Şekil 2.6 Kirişte oluşan eş gerilme eğrileri.....	10
Şekil 2.7 B ve D bölgeleri (Schlaich vd., 1987)	11
Şekil 2.8 Kirişteki kemer davranışı	11
Şekil 2.9 Kiriş davranışı	11
Şekil 2.10 Narin kiriş, kesme açıklığı $a > 2h$	11
Şekil 2.11 Çatlamış bir kirişte çatlak dağılımları	12
Şekil 2.12 Farklı geometri kesitine sahip kirişlerde kesme gerilmesi dağılımları	13
Şekil 2.13 Eğilme çatlakları oluşmuş betonarme bir kirişte kesme gerilme dağılımı (Collins ve Mitchell, 1997).....	13
Şekil 2.14 Eğik çatlakların oluşumu.....	15
Şekil 2.15 Kesme dayanımının (a/d) oranına göre değişimi (Collins ve Mitchell, 1997)	15
Şekil 2.16 Kesme vadisi	16
Şekil 2.17 Kemer etkisi altında kesme kırılması (Park ve Paulay, 1975)	17
Şekil 2.18 Kiriş etkisi altında kesme kırılması (Park ve Paulay, 1975)	17
Şekil 2.19 Kesme tesiri altındaki çatlamış kiriş için Kani'nin tarak (comb) modeli.....	18
Şekil 2.20 Maksimum agrega boyutu ve eleman genişliğinin kesme dayanımı üzerindeki etkisi (Collins ve Mitchell, 1997)	19
Şekil 2.21 Kesme donatısız çatlamış kirişin serbest cisim diyagramı.....	20
Şekil 2.22 Kaldıraç etkisi ve çatlak içi gerilmeleri.....	21
Şekil 2.23 Agrega kenetlenmesi	22
Şekil 2.24 Düzlemsel çatlakların başlıca değişkenleri.....	23
Şekil 2.25 Normal ve yüksek dayanımlı betonda agrega kenetlenmesi	23
Şekil 2.26 Walraven'in çatlak arası sürtünme modeli.....	25
Şekil 2.27 Gergili kemer davranışı	26
Şekil 2.28 Dişlerin oluşumu	27
Şekil 2.29 Oluşan dişler için serbest cisim diyagramı.....	27
Şekil 2.30 Kesme dayanımının $M/(V \times d)$, $\sqrt{f_c}$ ve ρ 'ya göre değişimi (ACI-318-02).....	29
Şekil 2.31 Yüksek dayanımlı betonda çatlak (Cladera ve Mari)	33
Şekil 3.1 Biyolojik nöronun/sinir hücresinin şematik yapısı (Cladera ve Mari)	37
Şekil 3.2 Tek ve çok katmanlı YSA modelleri.....	38
Şekil 3.3 Bir işlem elemanı.....	39
Şekil 3.4 Sigmoid transfer fonksiyonu	39
Şekil 3.5 Eğitim ve test seti üzerinde hatayı gösteren tipik bir eğitim eğrisi	42
Şekil 3.6 Hatayı geri yayma prosedürü örnek şekli.....	43
Şekil 4.1 YSA modelinin mimarisi.	47
Şekil 4.2 Matlab tabanlı oluşturulan programın arayüzü	48
Şekil 4.3 Hata azalım performans grafiği.....	48
Şekil 4.4 İstenen hata hedefine ulaşılmış grafik	48
Şekil 4.5 Örneklerin performansı arayüzü.....	49
Şekil 4.6 YSA eğitim setinin performansı.....	49
Şekil 4.7 YSA test setinin performansı	49
Şekil 4.8 YSA istenen sonuçlar arayüzü	50

Şekil 4.9 YSA-istenen sonuçların eğitim seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi	50
Şekil 4.10 YSA-istenen sonuçların test seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi.....	50
Şekil 5.1 Simetrik dağılım.....	52
Şekil 5.2 Sağa çarpık dağılım.....	53
Şekil 5.3 Sola çarpık dağılım.....	53
Şekil 5.4 Regresyon doğrusu gözlem noktalarının düşey uzaklıklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde geçirilmesi.....	56
Şekil 5.5 Regresyon denklemiyle yapılan tahminler için belli bir güven düzeyindeki güven bölgesi (Bayazit ve Oğuz 1994).....	58
Şekil 6.1 EC-2 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması	70
Şekil 6.2 EC-2 tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması.....	70
Şekil 6.3 ACI 11-5 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması	71
Şekil 6.4 ACI 11- tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması .71	71
Şekil 6.5 ACI 11-3 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması	72
Şekil 6.6 ACI 11-3 tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması72	72
Şekil 6.7 CEB-FIB örnek yönetmeliği tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması	73
Şekil 6.8 CEB-FIB örnek yönetmeliği tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması.....	73
Şekil 6.9 TS 500-2000 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması.....	73
Şekil 6.10 TS 500-2000 tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması.....	73
Şekil 6.11 YSA tarafından önerilen modelin ampirik testlerle karşılaştırılması.....	74
Şekil 6.12 YSA tarafından önerilen model ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması.....	74
Şekil 6.13 YSA (eğitim seti) tarafından önerilen modelin ampirik testlerle karşılaştırılması	75
Şekil 6.14 YSA (eğitim seti) tarafından önerilen model ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması	75
Şekil 6.15 YSA (test seti) tarafından önerilen modelin ampirik testlerle karşılaştırılması	75
Şekil 6.16 YSA (test seti) tarafından önerilen model ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması	75
Şekil 6.17 Kesme dayanımının boyuna donatı oranı ile ilişkisi	76
Şekil 6.18 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile boyuna donatı oranı değişimi ...	76
Şekil 6.19 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile boyuna donatı oranı değişimi.....	76
Şekil 6.20 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile boyuna donatı oranı değişimi.....	77
Şekil 6.21 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile boyuna donatı oranı değişimi.....	77
Şekil 6.22 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile boyuna donatı oranı değişimi.....	77
Şekil 6.23 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile boyuna donatı oranı değişimi	77
Şekil 6.24 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile boyuna donatı oranı değişimi.....	78
Şekil 6.25 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile boyuna donatı oranı değişimi78	78
Şekil 6.26 Kesme dayanımının beton basınç dayanımı ile ilişkisi	78
Şekil 6.27 Kesme dayanımının derin kirişlerde beton basınç dayanımı ile ilişkisi.....	79
Şekil 6.28 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile beton dayanımı değişimi	79
Şekil 6.29 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile beton dayanımı değişimi79	79
Şekil 6.30 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile beton dayanımı değişimi80	80
Şekil 6.31 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile beton dayanımı değişimi80	80
Şekil 6.32 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile beton dayanımı değişimi80	80

Şekil 6.33 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile beton dayanımı değişimi	80
Şekil 6.34 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile beton dayanımı değişimi.....	81
Şekil 6.35 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile beton dayanımı değişimi...	81
Şekil 6.36 Kesme dayanımının a/d oranı ile ilişkisi	81
Şekil 6.37 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile a/d oranı değişimi	82
Şekil 6.38 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile a/d oranı değişimi.....	82
Şekil 6.39 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile a/d oranı değişimi	82
Şekil 6.40 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile a/d oranı değişimi	82
Şekil 6.41 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile a/d oranı değişimi	82
Şekil 6.42 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile a/d oranı değişimi	82
Şekil 6.43 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile a/d oranı değişimi	83
Şekil 6.44 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile a/d oranı değişimi.....	83
Şekil 6.45 Kesme dayanımının etkili derinlik ile olan ilişkisi.....	83
Şekil 6.46 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi.....	84
Şekil 6.47 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi.....	84
Şekil 6.48 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi.....	84
Şekil 6.49 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi.....	84
Şekil 6.50 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile faydalı yüksekliğin değişimi	85
Şekil 6.51 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile faydalı yüksekliğin değişimi	85
Şekil 6.52 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile faydalı yüksekliğin değişimi.....	85
Şekil 6.53 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile faydalı yüksekliğin değişimi.....	85
Şekil 6.54 Wilkins hava kuvvetleri deposu, Shelby, Ohio	86

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Veri tabanındaki giriş özellikleri özeti	46
Çizelge 4.2 Veritabanındaki parametrelerin minimum ve maksimum değerleri	46
Çizelge 4.3 Girdi Katmanı Bilgileri	47
Çizelge 4.4 YSA'nın kesme dayanımı için eğitim ve test seti istatistiksel sonuçları.....	51
Çizelge 6.1 Tüm alt regresyonlara ait R , R^2 , $\bar{R}^2$, S_x	61
Çizelge 6.2 Tanımlayıcı istatistik	62
Çizelge 6.3 Giren/Çıkan değişkenler	62
Çizelge 6.4 Model özeti.....	63
Çizelge 6.5 Katsayılar.....	63
Çizelge 6.6 Tüm modele ve alt regresyonlara ait katsayı tahminleri	64
Çizelge 6.7 172 girişinin V_{test}/V_{reg} sonuç istatistiği.....	64
Çizelge 6.8 Tüm veriler için yönetmeliklerin karşılaştırılması	65
Çizelge 6.9 Güven sınırları çizelgesi.....	66
Çizelge 6.10 Faydalı yükseklik $d \geq 900$ (mm) için yönetmeliklerin karşılaştırılması	66
Çizelge 6.11 Faydalı yükseklik $d \leq 100$ (mm) için yönetmeliklerin karşılaştırılması	67
Çizelge 6.12 Donatı oranı $p \leq \%1$ için yönetmeliklerin karşılaştırılması	67
Çizelge 6.13 Beton basınç dayanımı $f_c > 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması	67
Çizelge 6.14 Beton basınç dayanımı $f_c \leq 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması	68
Çizelge 6.15 Donatı oranı $p > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması.....	68
Çizelge 6.16 Donatı oranı $p > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması.....	68
Çizelge 6.17 Donatı oranı $p < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması.....	69
Çizelge 6.18 Donatı oranı $\%1 \leq p$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması...	69
Çizelge 6.19 Determinasyon katsayıları.....	69
Çizelge 6.20 Sayısal uygulama sonuç tablosu.....	87
Çizelge 7.1 Tüm verilerin EC-2 için istatistiksel sonuçları	96
Çizelge 7.2 Tüm verilerin ACI 11-5 için istatistiksel sonuçları.....	96
Çizelge 7.3 Tüm verilerin ACI 11-3 için istatistiksel sonuçları.....	96
Çizelge 7.4 Tüm verilerin TS-500 için istatistiksel sonuçları	96
Çizelge 7.5 Tüm verilerin CEB-FIB için istatistiksel sonuçları.....	96
Çizelge 7.6 Tüm verilerin YSA (Test Seti) için istatistiksel sonuçları	96
Çizelge 7.7 $d \geq 900$ verileri EC-2 için istatistiksel sonuçlar	98
Çizelge 7.8 $d \geq 900$ verileri ACI 11-5 için istatistiksel sonuçlar	98
Çizelge 7.9 $d \geq 900$ verileri ACI 11-3 için istatistiksel sonuçlar	98
Çizelge 7.10 $d \geq 900$ verileri TS-500 için istatistiksel sonuçlar	98
Çizelge 7.11 $d \geq 900$ verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar	99
Çizelge 7.12 $d \geq 900$ verileri YSA (Eğitim Seti) için istatistiksel sonuçlar.....	99
Çizelge 7.13 $d \geq 900$ verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel sonuçlar.....	99
Çizelge 7.14 $f_c > 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatistiksel sonuçlar	100
Çizelge 7.15 $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatistiksel sonuçlar	100
Çizelge 7.16 $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatistiksel sonuçlar	100
Çizelge 7.17 $f_c > 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatistiksel sonuçlar.....	100
Çizelge 7.18 $f_c > 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatistiksel sonuçlar	101
Çizelge 7.19 $f_c > 50$ (MPa) verileri YSA (Eğitim Seti) için istatistiksel sonuçlar	101
Çizelge 7.20 $f_c > 50$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel sonuçları.....	101
Çizelge 7.21 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatistiksel sonuçlar	102
Çizelge 7.22 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatistiksel sonuçlar	102
Çizelge 7.23 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatistiksel sonuçlar	102
Çizelge 7.24 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatistiksel sonuçlar.....	102
Çizelge 7.25 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar	103

Çizelge 7.26 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (Eğitim Seti) için istatiksel sonuçlar	103
Çizelge 7.27 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatiksel sonuçlar	103
Çizelge 7.28 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar	104
Çizelge 7.29 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar	104
Çizelge 7.30 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar	104
Çizelge 7.31 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar	104
Çizelge 7.32 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri CEB-FIB için istatiksel sonuçlar	105
Çizelge 7.33 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri YSA (Eğt. Seti) için istatiksel sonuçlar	105
Çizelge 7.34 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatiksel sonuçlar	105
Çizelge 7.35 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar	106
Çizelge 7.36 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar	106
Çizelge 7.37 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar	106
Çizelge 7.38 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar	106
Çizelge 7.39 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri CEB-FIB için istatiksel sonuçlar	107
Çizelge 7.40 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (ES) için istatiksel sonuçlar	107
Çizelge 7.41 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatiksel sonuçlar	107
Çizelge 7.42 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar	108
Çizelge 7.43 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar	108
Çizelge 7.44 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar	108
Çizelge 7.45 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar	108
Çizelge 7.46 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri CEB-FIB için istatiksel sonuçlar	109
Çizelge 7.47 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (Eğitim Seti) için istatiksel sonuçlar ..	109
Çizelge 7.48 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatiksel sonuçlar	109
Çizelge 7.49 $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar	110
Çizelge 7.50 $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar	110
Çizelge 7.51 $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar	110
Çizelge 7.52 $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar	110
Çizelge 7.53 $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri CEB-FIB için istatiksel sonuçlar	111
Çizelge 7.54 $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri YSA (Eğt. Seti) için istatiksel sonuçlar ..	111
Çizelge 7.55 $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatiksel sonuçlar ..	111

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı hazırlama sürecinde, manevi desteğini esirgemeyen aileme ve nişanlıma, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen, bir mühendis olarak ve akademik çalışmalarıyla ufkumu açan her zaman destek ve teşviklerini gördüğüm sayın Yrd. Doç. Dr. Orhun KÖKSAL hocama, yardımcı danışman olarak beni kabul eden, Yapay Sinir Ağları konusunda beni yönlendiren ve tezimin her aşamasında yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR'a teşekkür ederim. Kendisi aynı zamanda bana danışman olmaktan öte örnek bir Üniversite hocası profili çizmiş, kişiliği ve yakınlığı ile paha biçilemez pek çok şey kazandırmıştır. Jürime katılarak beni onurlandıran Prof. Dr. Cengiz KARAKOÇ ve Yrd. Doç. Dr. Sema NOYAN ALACALI hocalarıma tavsiyelerinden dolayı teşekkür ederim. Tez donemi boyunca Betonarme I-II derslerine girerek bilgilerimi tazeleme fırsatı bulduğum, hocam Prof Adil ALTINDAL'a ayrıca teşekkür ederim. Yönlendirmelerinden dolayı ve tıkandığım her noktada yardım eden kaynaklarıyla ufkumu açan çok kıymetli arkadaşım ve hocam Dr. Muharrem AKTAŞ'a ve istatistiksel çalışmaları analiz ettiğimiz Yük. Müh. Emrah DOĞAN'a da çok teşekkür ederim. Tezimi yazma aşamasında, özellikle ev arkadaşlarım Vezir AYHAN ve Ferit FIÇICI, oda arkadaşlarım Yusuf SÜMER, Zeynep YAMAN, Elif Doğan ve bana yardımcı olan tüm dostlarıma ayrı ayrı çok teşekkür ederim.

Adapazarı, Haziran 2005.



ÖZET

Kesme donatısız betonarme kirişlerin kesme davranışlarının incelenmesi ve kesme dayanımlarının belirlenmesi bu çalışmanın başlıca amacıdır. Söz konusu kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenebilmesi için çeşitli betonarme yönetmelikleri tarafından önerilen bağıntılar araştırılmış ve deneysel sonuçlara daha yakın tahminlerde bulunabilmek amacıyla malzeme ve taşıma gücü mekanizmaları hakkında basitleştirici varsayımların gerekmediği matematiksel modele ihtiyaç duymayan, girdiler ve çıktılar arasında ilişki kurabilen yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. Günümüz yönetmeliklerinde yer alan kesme dayanımı hesabı büyük oranda basitleştirilmiş model ve ampirik bağıntılara dayanmaktadır. Agregatın kenetlenmesi, kemer etkisi, kaldıraç etkisi, çekme rijitleşmesi vb. gibi karmaşık mekanizmaların tam ve gerçekçi olarak tanımlandığı bir fiziksel model olmadığından deneysel verilere dayanan yaklaşımlar temel alınmıştır. Bu çalışmada literatürden seçilen 193 kiriş deneyi veri ve sonuçları kullanarak YSA modeli eğitilmiş ve test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Türk Yönetmeliği (TS-500-2000), Amerikan Yönetmeliği (ACI-318-02), Avrupa Yönetmeliği (Eurocode-2), Avrupa Örnek Yönetmeliği (CEB-FIB-90) ile karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak bulunan kesme kuvveti taşıma gücü değerlerinin, yönetmelik sonuçlarına bölünmesiyle elde edilen değerlerin ortalama ve standart sapmaları incelendiğinde YSA yaklaşımının gerçeğe çok daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. YSA'nın kesme dayanımını belirlemede etkin bir yöntem olabileceği belirlendikten sonra, YSA ile üretilen kiriş örnek deney veri ve sonuçları kullanılarak kesme dayanımını etkileyen beton basınç dayanımı (f_c), boyuna donatı yüzdesi (ρ), kesme açıklığının etkili derinliğe oranı (a/d) ve kiriş etkili derinliği (d) parametreleri teker teker incelenmiş ve YSA tabanlı model bu beş girdiden oluşturulmuştur. İncelemede YSA'nın kesme dayanımını belirlemede yapay sinir ağları algoritması kullanılarak MATLAB tabanlı bir program geliştirilmiş, kesme dayanımını belirlemede YSA'nın etkin olarak kullanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca istatistiksel bir çalışma yapılarak, kesme dayanımını etkileyen bu beş bağımsız değişken ile çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizlerinde söz konusu beş parametrenin kesme dayanımı üzerinde etkili olduğu ve kesme dayanımı tahmininde kullanılacak herhangi bir bağıntının beş değişkeni de kapsamaması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Betonarme kiriş, kesme dayanımı, kesme donatısı, yapay sinir ağları, geri-yayının algoritması, ölçeklenmiş konjuge gradyant, çoklu regresyon analizi

ABSTRACT

The main purpose of this research is to study the behavior of concrete beams without web reinforcement and the determination of the shear strength. In order to predict the shear strength of this type of beams, several design codes proposed empirical/semi-empirical relations using the truss analogies and experimental values. Artificial Neural Network (ANN) technique which do not need any simplifying assumptions for load carrying mechanisms such as aggregate interlocking, dowel action, etc., and any mathematical and constitutive models; utilizes only input and outputs for training and test sets for the prediction of the shear strength of RC beams. The shear provisions contained in current codes are mainly based on empirical procedures and physical models including several assumptions for the material and interface behavior. For the absence of comprehensive physical models describing complex all interface mechanisms, the main approach are primarily based on the evaluation of experimental data. In the present study, ANN is trained and tested using 193 experimental data which are collected from the literature. These test results were compared with shear strength values predicted by the Turkish Code (TS-500-2000) the 2002 Final Draft of Eurocode 2, the ACI Code 318-02, and CEB-FIB-90. Investigation of mean value and standart deviation of these values obtained from dividing experimental results of shear failure to code procedures, the results of ANN approach for the shear strength are found to be in better agreement with the experimental values. After finding ANN can be an efficient tool for the prediction of the ultimate shear strength, the aim of this work is to evaluate the effects of the compressive strength (f_c), tensile reinforcement ratio (ρ), shear span-to-depth ratio (a/d) and effective depth on shear strength of reinforced concrete beams without web reinforcement using beam specimen generated from available experimental data and its results and ANN model is developed using these five inputs. It is shown that neural networks algorithm which based MATLAB program provide an efficient alternative method in predicting the shear strength capacity of reinforced-concrete without web reinforcement. Furthermore pertaining a study based on statistics, multiple regression analyses are performed using these five independent variables. In this regression analysis, it is found that these five parameters have an important influence on the shear strength if any equations using for the prediction of shear strength should comprise these five independent variables.

Keywords: Concrete beam, shear strength, shear reinforcement, artificial neural network, back propagation, conjugate gradient, multiple regression analysis

1. GİRİŞ

Betonarme kirişlerde kesme davranışı ve kırılmasının önemli bir mühendislik problemi olmasının yanısıra kesme donatısız kirişlerin kesme kuvveti aktarım mekanizmalarını kavramada hala bir takım belirsizlikler mevcuttur. Betonarme davranışını tanımlayan geleneksel yöntemler bir takım basitleştirici varsayımlar yapmışlar ve bu basitleştirmeler neticesinde gerçek çözümden uzaklaşarak belirli bir hata payına sahip olan sonuçlar elde edilmektedir. Yapay sinir ağları pek çok karmaşık davranış mekanizmasına bağlı olan bu tip kompleks problemleri, hızlı ve yeterli bir yaklaşıklıkta çözmektedir. Bu çalışmada ele alınan kirişlerin kesme dayanımlarının bulunmasında, daha gerçekçi bir şekilde modellenip çözümlenebilmesi için hiçbir kabul yapmayan, matematiksel modele ihtiyaç duymayan, direkt girdiler ve çıktılar arasında ilişki kurabilen YSA'nın kullanılması uygun olmaktadır.

Bugünkü yönetmeliklerde yer alan betonarme kirişlerin kesme dayanımının hesabı, büyük oranda ampirik/yarı-ampirik bağıntılara dayanmaktadır. Kesme davranışını tam ve gerçekçi olarak tanımlayan bir fiziksel modelin oluşturulması, karmaşık kesme kuvveti taşıma mekanizmalarının dikkate alınmasına bağlı olduğundan TS-500-2000'de olduğu gibi varolan yönetmeliklerin büyük bir çoğunluğunda kesme gerilmeleri ne denli küçük olursa olsun kesme donatısı bulundurma zorunluluğu vardır. Ancak, kesme donatılı kiriş davranışını anlayabilmek için, öncelikle kesme donatısı bulunmayan kirişin davranışı bilinmelidir. Taşıma gücüne ulaşılan kadar geçen zamanda gelişen ve sayıları artan eğik çatlaklar sonucunda kirişte kesme kapasitesinin belirlenmesi için yönetmeliklerde kullanılan basitleştirici varsayımların geçerliğini yitirdiği ve toplam kesme kuvvetinin yaklaşık % 20'sinin kaldıraç etkisi, % 30-40'ının çatlak yüzeyleri arasındaki sürtünme mekanizmaları ve kalan kısmının ise çatlamamış beton kesit tarafından taşındığı bilinmektedir.

Yapay Sinir Ağları (YSA), varolan modellerle çok iyi değerlendirilemeyen deney sonuçlarına uygulanmıştır. Yapay sinir ağı teknolojisi bilinen modellerden tamamen farklı bir yaklaşım getirmekte ve yapılmış diğer modellere alternatif olduğunu göstermektedir. Son yıllarda YSA bir çok mühendislik uygulamasında etkin bir şekilde uygulanmaktadır.

YSA karmaşık ve doğrusal olmayan bu tür problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Bu çalışmanın amacı ise açıklanmakta zorluk çekilen betonarme kirişlerdeki karmaşık eğilme ve kesme davranışı için, elde varolan deneysel sonuçlara dayanarak bir YSA modeli geliştirmek, ve sonuç olarak, diğer modellerden daha anlamlı ve gerçekçi sonuçlar elde etmektir.

Kesme donatısız betonarme kirişlerin kesme dayanımlarını tanımlamak için geliştirilen birçok

analitik ve sonlu elemanlar modeline alternatif olarak, bu çalışmada yapay sinir ağıları metodu sunulmuştur. Önerilen yapay sinir ağı tabanlı model ile kesme donatısız betonarme kirişlerin, kesme dayanımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Önerilen YSA modeli, literatürden toplanan 193 kiriş deneyi kullanarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Sonuçlar Türk Yönetmeliği (TS-500-2000), Amerikan Yönetmeliği (ACI-318-02), Avrupa Yönetmeliği (Eurocode-2), Avrupa Örnek Yönetmeliği (CEB-FIB-90) ile karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağlarının kesme dayanımını belirlemede etkinliğini gösterdikten sonra, dayanımını belirleyen beton basınç dayanımı (f_c), boyuna donatı oranı (ρ), kesme açıklığının etkili derinliğe oranı (a/d) ve kiriş boyutlarını (b , d) ayrı ayrı incelemek için yeni kirişler türetilmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Modeli geliştirme aşamasında önce bir gizli katmanlı ve 20 işlem elemanına kadar 5'er test yapılmıştır. Daha sonra, iki katmanlı modelle problem eğitilmeye çalışılmış, sonuçlar sunulmuştur. İncelemede, yapay sinir ağıları algoritması kullanılarak geliştirilen MATLAB programı kullanılmıştır.

Ayrıca istatistiksel bir çalışma yapılarak, eğik çatlama dayanımını etkileyen bu beş bağımsız değişken ile çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

Çalışma sonunda yapay sinir ağıları tabanlı modelin betonarme kirişlerin kesme dayanımlarını belirlemede oldukça gerçekçi sonuçlar ürettiği gözlenmiştir.

Yapılan çalışma 7 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde yapılan çalışma hakkında bilgi verilmiş, literatürde benzer çalışmalara değinilmiştir. 2. Bölümde kesme donatısız betonarme kirişler ile ilgili teorik bilgiler verilmiş ve incelenen yönetmeliklerin ilgili bağıntıları anlatılmıştır. YSA ile ilgili genel bilgiler Bölüm 3'de anlatılmıştır. Önerilen YSA modelinin anlatıldığı Bölüm 4'te deneysel veritabanına ve geliştirilen programa değinilmiştir. Bölüm 5'te ise çalışmada yürütülen istatistiksel çalışma ile ilgili kavramlar ve çoklu regresyon analizi anlatılmıştır. Yönetmelikler ile YSA'nın karşılaştırılması ve davranışı belirleyen parametrelerin irdelenmesi 6. Bölümde Sayısal Uygulama başlığı altında incelenmiştir.

1.1 Literatür Taraması

Bu başlık altında, tezin kapsamıyla ilgili olarak yapısal mühendislik alanındaki YSA uygulamalarının literatür taraması yapılmıştır. Kesme donatısız betonarme kirişler ile ilgili yayınlanmış literatürde sayısız örnek görmek mümkündür.

Fakat, Yapay Sinir Ağlarının betonarme kirişlerin kesme dayanımının belirlenmesi üzerine literatürde pek az çalışmaya rastlanmıştır. Yapılan araştırmaların büyük bir kısmı da son

yıllara aittir (Çağlar, 2001).

Flood ve Kartam (1994), inşaat mühendisliğinde YSA'nın uygulanması üzerinde çalışmış ve bu çalışmalarını iki makale halinde sunmuştur. İlk makalede YSA'nın çalıştırılma ve kullanışındaki temel ilkeleri açıklamıştır. Bir yapısal analiz problemini en çok kullanılan denetimli geri yayımlı YSA ile çözmüştür. YSA'nın kullanımı ile ilgili prensipleri, öğrenme ve genelleştirme kabiliyetini etkileyen faktörleri, uygun eğitim setinin seçimi, ve YSA'nın çalışma şeklinin grafiksel yorumunu sunmuştur. İkinci makalede ise YSA'nın problem-çözüm aracı olarak kapasitesini ve inşaat mühendisliğinde farklı problemlere nasıl uygulanabileceğini sunmuştur. Dinamik sistemlerin modellenmesi, yapısal optimizasyon gibi inşaat mühendisliğindeki farklı problem tiplerini incelemiş ve farklı YSA modelleri kullanarak bunlara çözümler üretmeye çalışmıştır.

Vanluchene ve Sun (1990), geri yayımlı YSA'nın inşaat mühendisliğinde uygulama potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu maksatla YSA'yı, basit bir kirişte yükün uygulanacağı yerin belirlenmesi, betonarme bir kirişte kesit belirlenmesini içeren tipik bir dizayn problemi ve sayısal hesap metotları ile ilgili hesaplanması zor olan plak hesabı gibi üç tip probleme uygulayarak YSA ile bu problemlerin nasıl kolay ve hızlı bir şekilde çözümlenebileceğini göstermiştir.

Hajela ve Berke (1991), YSA modelinin yapısal dizayn ve analiz problemlerine uygulanmasını araştırmıştır. İki farklı YSA modeli oluşturarak yapısal analize uygunluğunu incelemiş ve eğitilen YSA modellerinin yeterli uygunlukta sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Gunaratnam ve Gero (1994) geriye yayımlı YSA'nın inşaat mühendisliği uygulamalarındaki performansını incelemiş ve girdi-çıkış çiftlerinin eğitimi için uygun bir çerçeve sunan boyut analizini önermiştir. Ayrıca geri yayımlı YSA modelini Theocaris ve Panagiotopoulos (1993) kırılma mekaniğindeki parametre tanımlama problemine, Kang ve Yoan (1994) basit kafes kirişlerin dizaynına, Messner ve diğerleri (1994) uygulanabilir bina alanı, ekonomik şartlar ve bina yüksekliği gibi proje özellikleri verilen binanın en uygun yapı elemanlarının ön seçimine uygulamış ve uygun sonuçlar elde etmişlerdir.

Abdalla ve Stavroulakis (1995), çelik yapılardaki yarı rijit kiriş-kolon bağlantılarının davranışının belirlemek için YSA kullanmıştır. Eğitim ve test setini literatürdeki deneysel verilerden oluşturmuş ve sonuç performansını oldukça uygun bulmuştur.

Adeli ve Park (1995), yapıların optimum tasarımı için bir YSA modeli sunmuştur. Yapısal

optimizasyonda sinir ağ modelini geliştirmek ve düzenli çalıştığını göstermek için Layapunov fonksiyonunu kullanmıştır. Başka bir çalışmada (Park ve Adeli, 1997), bu sinir ağ modelini  elik yapıların optimum plastik dizaynına uygulamış ve uygun sonuçlar elde etmiştir.

Goh (1995) YSA'yı kesme etkisindeki derin betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenebilmesi için kullanmış ve eğitim setini daha önce yayınlanmış deneysel çalışmalardan oluşturmuştur. YSA modelini 3 işlem elemanlı tek gizli katmandan oluşturmuştur. Eğitilen YSA modelinin sonuçlarını diğer geleneksel metotlardan daha güvenilir bulmuştur. .

Ulucan ve diğerleri (1995), betonarmenin gerçek davranışını yakalayabilmek için YSA'yı tablalı kirişlerin betonarme hesabı için incelemişlerdir. Geleneksel metotlarla elde edilen sonuçlar ile YSA modelinin eğitim ve test setini oluşturmuştur. Modelini test etmiş ve YSA sonuçlarını geleneksel metotlarla bulunan sonuç değerlerine yakın bulmuştur.

Mukherjee ve Dashpande (1995) YSA'yı yapıların  n dizaynına uygulamıştır. YSA ile dikdörtgen betonarme kirişler üzerinde çalışmalar yapmışlar ve kirişlerin derinlik, genişlik, moment taşıma kapasitesi gibi büyüklüklerinin farklı yük ve malzeme durumları için dizayn aşamasında çok rahat bulunabileceğini göstermiştir.

Arslan ve diğerleri (1997), beton ağırlık barajların statik yük etkisi altında tasarımı için YSA'yı kullanmıştır. YSA modelini 6 işlem elemanlı tek gizli katmandan oluşturarak problemin değişkenlerini ağa normalize ederek tanıtımlardır. Eğitim setini ve test setini sonlu elemanlar yöntemi ile yaptıkları analiz sonuçlarından hazırlamıştır. Yapay sinir ağı ile elde edilen     mleri, sonlu elemanlar     mleri ile karşılaştırmışlar ve uygun sonuçlar verdiğini bulmuştur.

Kaltakçı ve Dere (1997) yüksek kirişlerde kesme kapasitesinin belirlenmesi için YSA yaklaşımını kullanmıştır. Siao tarafından yapılan deney verilerinden eğitim ve test setini oluşturmuştur. Ayrıca farklı gizli düğüm sayılarına sahip YSA modellerini denemişler ve en uygun modeli, ortalama hatalara ve standart sapmalara bakarak belirlemiştir. En uygun ağ modelini 8 düğümlü tek gizli katmandan oluştuğunu bildirmişlerdir. Geliştirdikleri modeli daha önce eğitimde kullanılmayan verilerle test etmiş ve sonuçların oldukça uygun olduğunu g rm ştir.

Civalek ve Calayır (1998), YSA'yı düzlem  er eve yapıların ikinci mertebe analizine uygulamışlardır. YSA modelini 4 işlem elemanlı tek gizli katmandan oluşturmuşlar ve

deneysel verilerle eğitilmiş modeli, sayısal çözümlerle test etmiştir.

Chuang ve diğerleri (1998), YSA'yı sabit uçlu betonarme kolonların yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi için, Stavroulakis ve Antes (1998), elastodinamik çatlak tanımlama için Jenkis (1999), iki boyutlu kafes kirişlerin tekrarlı analizi için kullanmış ve uygun sonuçlar elde etmiştir.

Civalek (1999), dairesel plakların analizine YSA'yı uygulamıştır. Üç farklı YSA modeli kullanmış ve modelin mimarisini 3-5 ve 7 elemanlı tek gizli katmandan oluşturmuştur. YSA modelinin eğitimi sırasında bağlantı ağırlıklarını ve kullandığı temel değişkenlerin belirlenmesinde Fuzzy Küme Teorisi'nden yararlanmıştır. Sonuçları sayısal teknikler ile karşılaştırmış ve YSA yönteminin yapı mühendisliğinde kullanılabilecek alternatif bir model olduğunu göstermiştir.

Sanad ve Saka (2001), betonarme derin kirişlerin kesme kuvveti kapasitesini belirlemek için YSA'yı kullanmıştır. Literatürden topladıkları 111 deneysel veri ile eğitim, ve test setini hazırlamıştır. Girdi katmanında, kirişin geometrik ve malzeme özelliklerini 10 değer ile, çıktı katmanında ise kesme kuvveti kapasitesini tek değer ile tanımlamıştır. Yaptıkları çalışmada kesme kuvveti kapasitesinin gerçek ve bulunan değerle arasındaki ortalama oranın YSA ile 0.99, Amerikan Beton Enstitüsü Yöntemi ile 2.08, payanda ve bağ (strut-and-tie) yöntemiyle 0.85 ve Mau-Hsu yöntemi ile 0.84 olarak bulmuş ve YSA'nın diğer metotlara kıyasla betonarme derin kirişlerin kesme kuvveti kapasitelerinin belirlenmesinde alternatif bir metot olduğunu belirtmiştir.

Wu ve Ghaboussi (1993), literatürde yayınlanmış deney sonuçlarını kullanarak betonun tek eksenli basınç etkisi altındaki davranışını yapay sinir ağlarına uygulamış ve oldukça uygun sonuçlar elde etmiştir.

Yapının boyutu değiştiği zaman yapı davranış özellikleri de buna bağlı olarak değişmektedir. Bu konuda daha önce yapılan deneysel çalışmalar Arslan ve İnce (1996) tarafından derlenmiş ve bunlar kullanılarak geri yayımlı yapay sinir ağı ile boyut etkisi incelenmiştir. Üç noktalı eğilme, direkt çekme, eksantrik basınç, dört noktalı kesme ve burulma etkisi altında yapılmış çeşitli deney sonuçları ile YSA modelinin eğitim ve test seti oluşturulmuştur. YSA modelinin global kırılmayı da belirleyebildiğini ortaya koymuşlardır.

2. KESME DONATISIZ BETONARME KİRİŞLER

Betonarme teorisinin ve pratiğinin oluşturulmasında üzerinde çok sayıda araştırmaya yapılan ve bilimsel yayın üretilen başlıca konulardan biri betonarme elemanların kesme davranışı ve dayanımlarının belirlenmesidir. Betonarme elemanlarda kesme kuvveti aktarımı konusunda önerilmiş olan kapsamlı fiziksel modeller ile malzeme davranışını gerçekçi bir şekilde dikkate almaya çalışan doğrusal olmayan bünyesel modellerin kullanıldığı sonlu eleman analizleri bu konuda halen tam bir başarı sağlayabilmiş değildir.

Kesme davranışını modellemede tam bir başarı sağlanamamasının başlıca nedenleri, kesme kuvvetinin çatlamış beton yüzeyleri arasında aktarılması, donatıdaki kaldıraç etkisi ve aderans gibi enterfaz malzeme davranışı özelliklerini, sadece beton ve çelik için önerilen malzeme modeller ile dikkate alınamaması ve ek bünyesel davranış modellerine ihtiyaç duyulması olarak özetlenebilir. 1912 yılında Mörsch tarafından ilk defa önerilen ve hala günümüzde geliştirilerek uygulama alanı bulunan kafes kiriş analojisi gibi önemli oranda basitleştirici varsayımlara dayanan fiziksel modeller ile deneysel çalışmalara dayanan ampirik/yarı-ampirik bağıntılar betonarme yönetmeliklerinde konu kapsamında dikkate alınmaktadır.

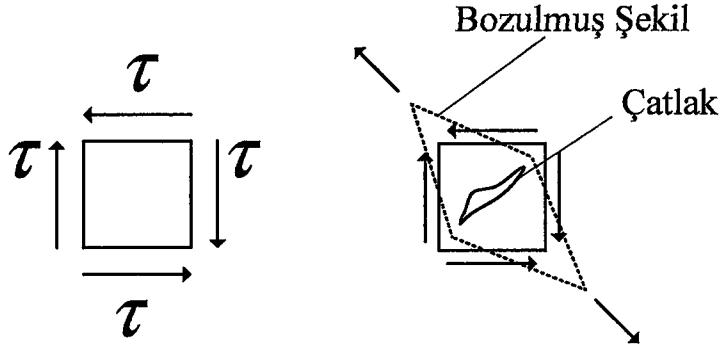
1990'lı yıllardan itibaren farklı bilim alanlarında kendine uygulama alanı bulan ve sadece deneysel veri ve sonuçlarını kullanarak kesme dayanım değerlerini belirleyebilen yapay sinir ağları (YSA) yöntemi karmaşık betonarme problemlerinin çözümlenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır.

2.1 Giriş

Betonarme kirişler, eksenel yükler ile eğilme oluşturan kuvvetlere ek olarak, kesme kuvveti de taşımak zorundadırlar. Betonun basınç ve kesme dayanımları, çekme dayanımına göre daha yüksek olduğundan, betonarme elemanlarda kesme kırılmasına pek rastlanmaz. Bu nedenle, kesme ve normal gerilmelerin sebep olduğu asal çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle önemli sorunlar doğurabilirler. Betonarme bir elemanda kesme kırılması eğik çekme kırılması olarak adlandırılabilir. Kesme davranışı dayanımının belirlenebilmesindeki güçlüklerden dolayı betonarme kirişler, eğilme etkisi altında taşıma gücüne ulaşılmasını sağlayacak şekilde, kesme donatsı bulundurularak tasarlanırlar.

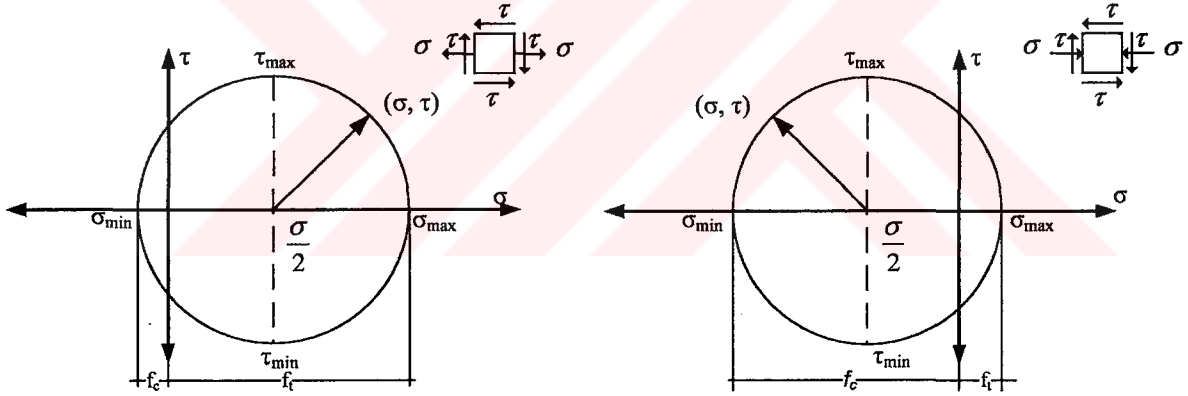
Basit kesme durumunda, asal çekme ve basınç gerilmeleri kesme gerilmesine eşit olacağından kırılma, en düşük dayanım olan çekme nedeni ile oluşacaktır. Asal çekme gerilmeleri, kesme gerilmelerinin etkidiği yüzeye 45 derecelik açı yapan bir düzlem üzerinde etkiyeceğinden,

kırılma asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan eğik bir çatlakla meydana gelecektir, (Şekil 2.1). Gelişen bu tür eğik çatlaklar son derece tehliktir ve önlem alınmadığı takdirde gevrek kırılmaya neden olabilirler.



Şekil 2.1 Tarafsız eksende asal gerilmeler

İki eksenli gerilme durumunda asal çekme ve basınç gerilmelerinin değerleri Mohr dairesi yardımıyla aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir (Şekil 2.2).

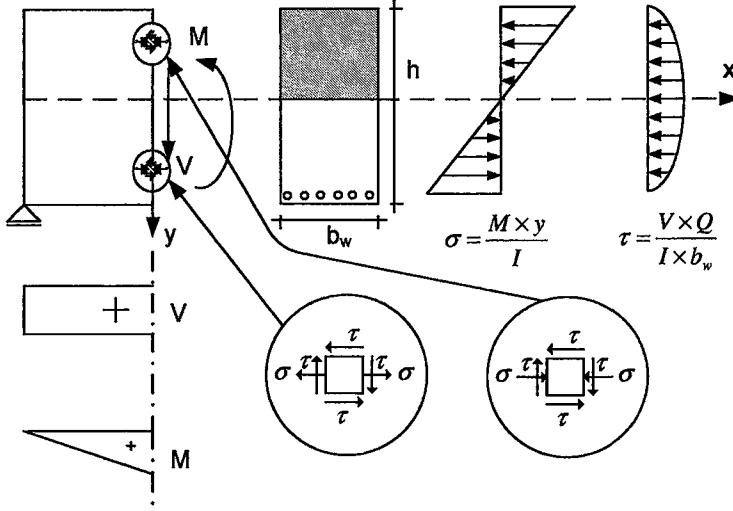


Şekil 2.2 Mohr dairesi

$$\sigma_{1,2} = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.1)$$

$$\tan 2\phi = 2\tau_{xy} / (\sigma_x - \sigma_y) \quad (2.2)$$

Bu bağıntılar, kesme kuvvetleri etkisindeki betonarme bir kesit için (Şekil 2.3), σ_2 gerilmesinin oluşmamasından dolayı daha basit bir şekilde ifade edilebilir (Bağıntı 2.3 ve Bağıntı 2.4).



Şekil 2.3 Betonarme bir kirişte gerilme dağılımları

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \times (\sigma \mp \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}) \quad (2.3)$$

Birbirine dik olan bu gerilmelerden çekme gerilmelerinin kiriş eksenine yaptığı Φ açısı

$$\tan 2\phi = 2\tau/\sigma \quad (2.4)$$

ifadesinden bulunur. Burada elastik çatlama yapmış bir kirişte normal gerilme değeri aşağıdaki bağıntıyla bulunabilir (Şekil 2.3):

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \quad (2.5)$$

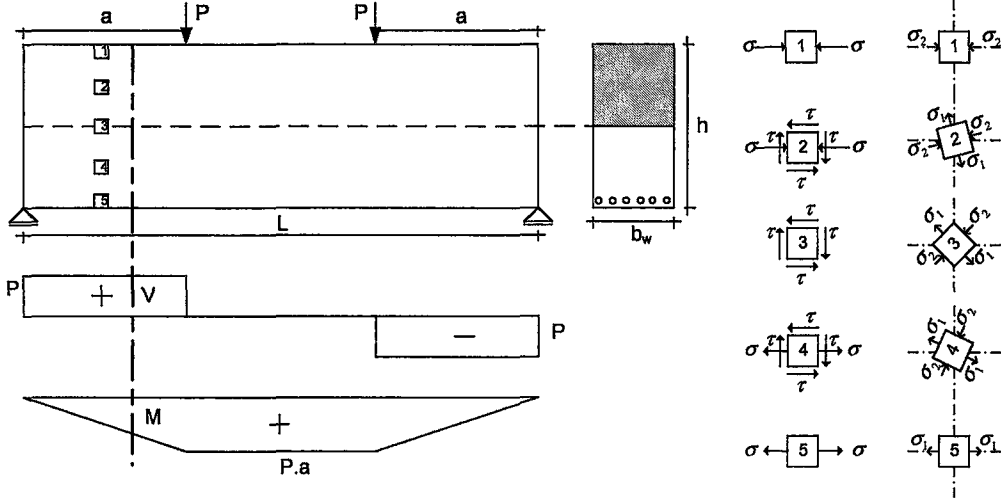
1886'da 35 yaşındaki Rus asıllı demiryolu mühendisi D.J. Jourawski tarafından geliştirilen kesme ağındaki maksimum kesme gerilmesi homojen, elastik ve çatlama yapmış kirişler için klasik teori kullanılarak hesaplanmıştır. (Collins, 2001):

$$\tau = \frac{V \times Q}{I \times b} \quad (2.6)$$

I kesit için atalet momenti, Q kesme gerilmesinin hesaplandığı noktadaki kesit momenti ve b kesme gerilmelerinin hesaplandığı kesitin genişliğidir.

Şekil 2.4'de kesme donatısız betonarme bir kirişte düşey kesit boyunca belirlenen beş noktadaki gerilmeler incelenmiştir.

1 ve 5 noktalarında $\tau = 0$ 'dır. Bu noktadaki gerilmeler sadece asal gerilmelerden oluşur.



Şekil 2.4 Bir kirişte asal gerilme doğrultularının değişimi

$$(1) \quad \sigma_1 = 0 \quad \sigma_2 = \sigma \quad \phi = 90 \quad (2.7)$$

$$(5) \quad \sigma_1 = \sigma \quad \sigma_2 = 0 \quad \phi = 90 \quad (2.8)$$

Tarafsız eksen üzerindeki bir noktada (3) ise

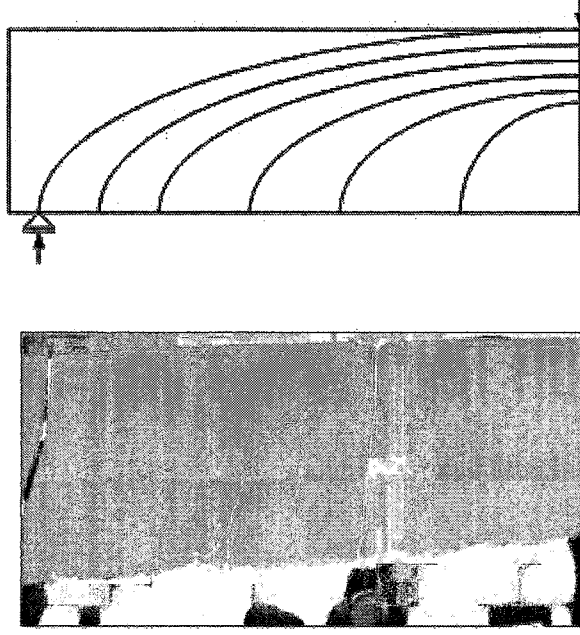
$$(3) \quad \sigma = 0 \quad \tau \neq 0 \quad \phi = 45 \quad (2.9)$$

Basınç ve çekme bölgesindeki 2 ve 4 elemanlarında ise sırasıyla;

$$(2) \quad \sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \times \left(\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right) \quad \sigma_1 < \sigma_2 \quad 45 < \phi < 90 \quad (2.10)$$

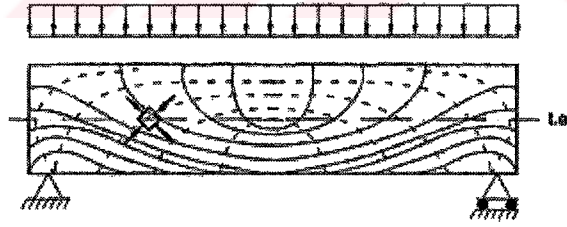
$$(4) \quad \sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \times \left(\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right) \quad \sigma_1 > \sigma_2 \quad 45 < \phi < 90 \quad (2.11)$$

Çatlağın eğimi, asal çekme gerilmelerinin yönüne bağlıdır. Bir başka deyişle çatlama, asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşur. 1, 2, 3, 4, 5 noktalarına etkiyen gerilmeler, bu gerilmelerin oluşturduğu asal gerilmeler ve yönleri, Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Normal gerilmeler, asal çekmelerin büyüklüğünü ve eğimini etkilemektedir. Şekil 2.5'de kirişin alt yüzünden üst yüzüne doğru uzayan eğik çatlağın eğiminin azaldığı gözükmemektedir. Deneysel veriler, çatlak eğimi ile ilgili yapılan bu irdelemeyi doğrulamaktadır. Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvar'ında kırılmış bir kiriş örneğinde görüldüğü gibi (Şekil 2.5), asal basınç gerilmeleri ile çatlamış betonarme kirişin resimleri birbirlerinin tıpatıp aynısı olmasa da birbirine çok benzemektedirler.



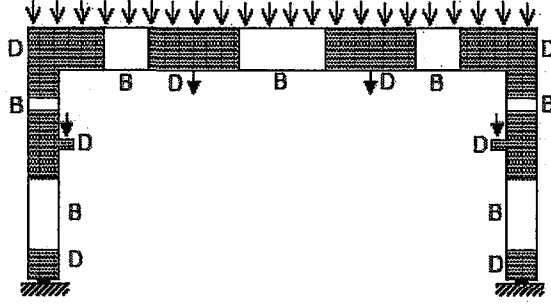
Şekil 2.5 Çatlamamış betondaki asal basınç gerilmeleri antolojisi ve Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvar'ında kırılmış kesme donatısız betonarme kirişte oluşan çatlaklar.

Düzgün yayılı yüke maruz basit mesnetli bir kirişte oluşan asal çekme ve basınç gerilmelerinin yönü Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Eş gerilme eğrileri olarak adlandırılan bu şekilde, sürekli çizgiler, asal çekme, kesik çizgiler ise asal basınç gerilmelerin yönünü belirtmektedir.



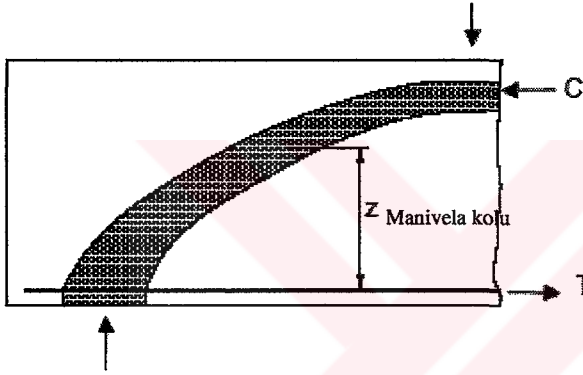
Şekil 2.6 Kirişte oluşan eş gerilme eğrileri

Bu çalışmada 1987'de Schlaich vd. tarafından tanımlanan ve ACI yönetmeliği (2002) kapsamında incelenen B ve D bölgelerinden sadece B bölgesinde oluşan mekanizma incelenecektir. B ve D bölgelerinin tanımı Şekil 2.7'de gösterildiği gibidir. B bölgesi, düzlem kesitinde, eğilme teorisinin uygulanabildiği eleman parçasıdır. Süreksizlik, geometri veya yüklemdeki ani değişiklik olarak tanımlanırsa, D, süreksiz veya karmaşık davranışı temsil ederken B, D bölgelerinin dışında kalan, kiriş veya Bernoulli davranışını temsil eder.

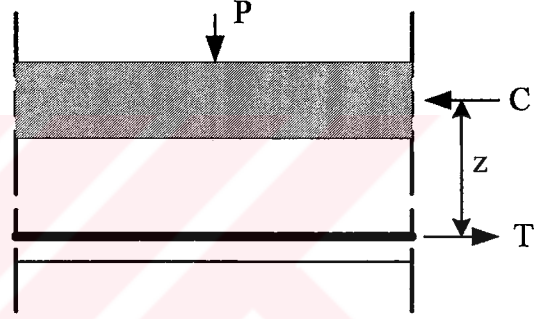


Şekil 2.7 B ve D bölgeleri (Schlaich vd., 1987)

B bölgesinde, gerilme dağılımı lineerdir ve eleman parçası temel olarak “kiriş davranışı” (Şekil 2.9) gösterir. (manivela kolu, z , sabit).

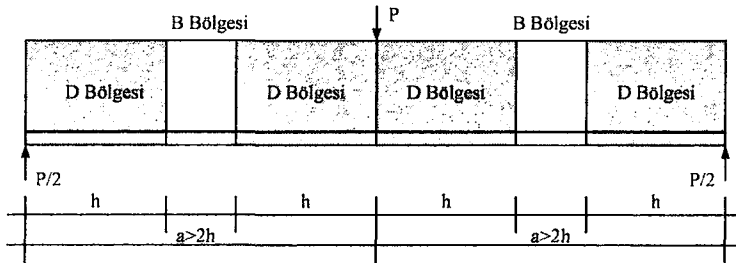


Şekil 2.8 Kirişteki kemer davranışı



Şekil 2.9 Kiriş davranışı

Bir kirişte, eğer boyuna donatıdaki gerilme sabit kalıyor ve beton ile donatı kenetlenmesi tam değilse veya kesme kuvveti aktarımı, eğik çatlaklardan dolayı engelleniyorsa, manivela kolu sabit kalmaz ve kesme gerilmeleri “kemer davranışı” (Şekil 2.8) ile aktarılır.

Şekil 2.10 Narin kiriş, kesme açıklığı $a > 2h$

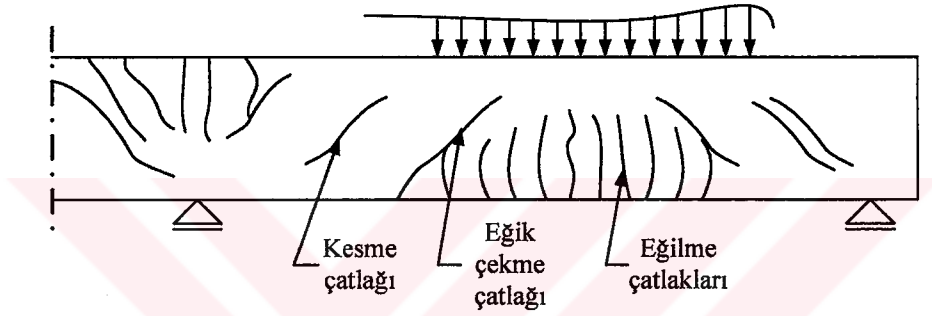
Kesme açıklığı içinde iki D bölgesi arasında bir B bölgesi varsa (Şekil 2.10) ve iki bölge de aynı geometriye ve donatıya sahipse kesme açıklığındaki dayanımı B bölgesinin dayanımı

belirler. Bunun nedeni B bölgesinin kesme dayanımının D bölgesine oranla daha düşük olmasıdır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi bu çalışmada ele alınacak kirişler a/d oranı 2.48'den büyük olan kirişlerdir.

2.2 Çatlamış Kiriş Davranışı

Kesme donatısız betonarme kirişlere etkiyen yüklerden dolayı, kirişte oluşan farklı çatlak tipleri Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Mesnete yakın bölgelerde kesme çatlakları oluşurken kirişin ortasında eğilme çatlakları oluşur.

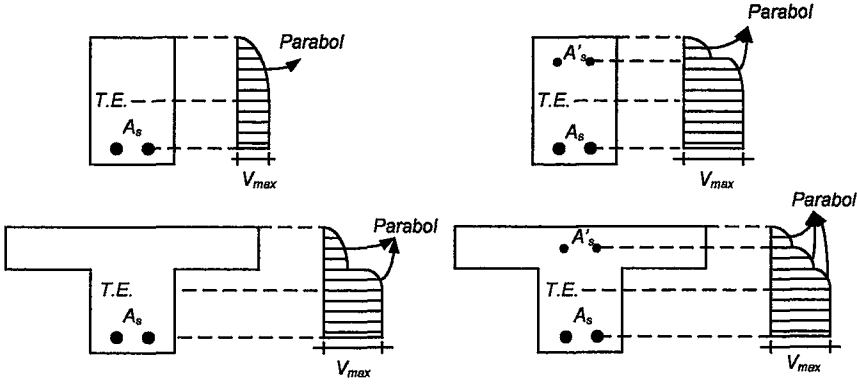


Şekil 2.11 Çatlamış bir kirişte çatlak dağılımları

1899-1902 yılları arasında yaptığı çalışmalarda Ritter betonarme elemanlarda kesme gerilmelerinin katkıda bulunduğu asal çekme gerilmelerinin neden olduğu eğik çekme çatlaklarının kırılmaya neden olduğunu öne sürmüştür. Bu çalışmayı takip eden yıllarda Mörsch yaptığı çok sayıda deneyde eğik çatlakları ve kırılmaları incelemiş ve Ritter'in ortaya attığı tezi geliştirmiştir.

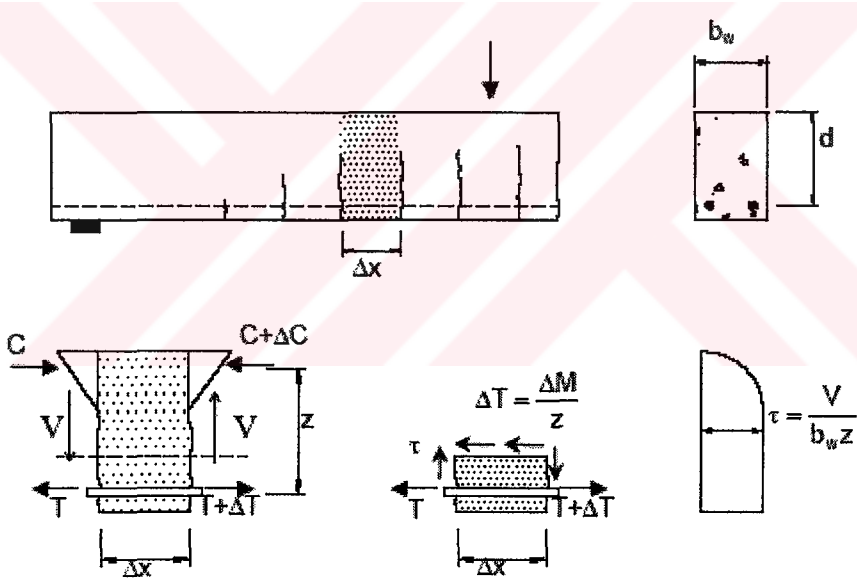
Mörsch tarafından öne sürülen model ve yaklaşımlar 1912 tarihinden sonra kabul görmüş ve betonarme tasarımında kullanılmaya başlamıştır. Mörsch eğik çekme çatlak ve kırılmalarında neden olan asal gerilmelerin basit kayma gerilmelerinden etkilendikleri için kesme gerilmeleri cinsinden ifade edilebilecekleri varsayımı ile tasarımda kesme kuvveti ve gerilmeleri kullanmıştır.

Şekil 2.12'de farklı geometri kesitine sahip kirişlerde kesme gerilmesi dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Farklı geometri kesitine sahip kirişlerde kesme gerilmesi dağılımları

Çatlamış bir betonarme kiriş kesitinde tarafsız eksenin altında kalan çatlamış beton kesitte kesme gerilmelerinin tarafsız eksen üzerinde ulaştıkları en büyük değerde sabit kaldıklarını varsayarak güvenli tarafta kalacak şekilde aşağıdaki bağıntıları geliştirmiştir (Şekil 2.13):



Şekil 2.13 Eğilme çatlağı oluşmuş betonarme bir kirişte kesme gerilme dağılımı (Collins ve Mitchell, 1997).

$$\Delta T = \tau \times b_w \times \Delta x \quad (2.12)$$

$$\Delta T = \frac{\Delta M}{z} \text{ ve } \frac{\Delta M}{\Delta x} = V \quad (2.13)$$

$$\frac{\Delta M}{\Delta x} = \tau \times b_w \times z = V \quad (2.14)$$

Burada z momet kolu için betonarme kirişler için yaklaşık olarak

$$z \approx 0.9d \quad (2.15)$$

değeri kabul edilelerek:

$$\tau = \frac{V}{b_w(z)} \approx \frac{V}{0.9b_w d} \quad (2.16)$$

bağıntısına ulaşılmıştır. Bağıntının çıkartılmasında, Şekil 2.13’de gösterilen gerilme dağılımı temel alınmış ve hesaplar, donatıdaki kuvvetin “ Δx ” uzaklığında “ ΔT ” kadar arttığına göre yapıldığından, kenetlenmenin tam olduğu varsayılmıştır. Mörsch tarafından çıkarılan (2.16) bağıntısının deneysel sonuçlarla da uyum gösterdiği saptanmıştır.

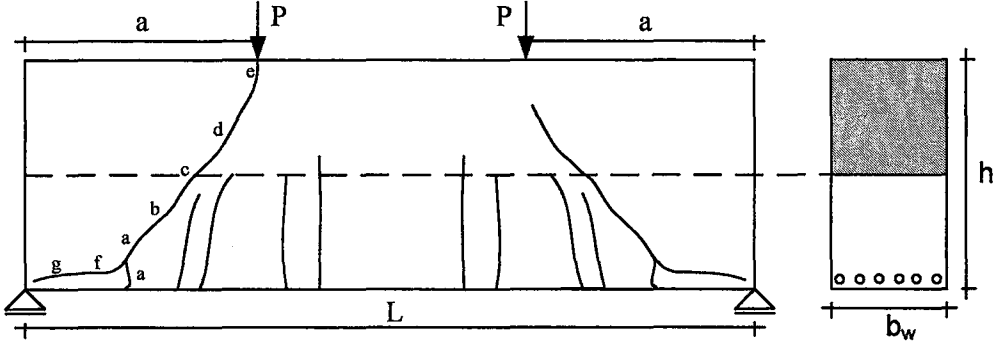
Taşıma gücüne ulaşılan kadar geçen zamanda gelişen ve sayıları artan eğik çatlaklar sonucunda kirişte kesme kapasitesinin belirlenmesi için yönetmeliklerde ve Mörsch modelinde kullanılan basitleştirici varsayımların geçerliğini yitirdiği ve toplam kesme kuvvetinin yaklaşık % 20’sinin kaldırıcı etkisi, % 30-40’ının çatlak yüzeyleri arasındaki sürtünme mekanizmaları ve kalan kısmının ise çatlamamış beton kesit tarafından taşındığı gerçeği klasik Mörsch yaklaşımının zaman içerisinde değiştirilerek geliştirilmesine ve betondaki enterfaz davranışlar için çeşitli bünyesel modellemeler önerilmesine neden olmuştur.

2.3 Kesme Açıklığının Faydalı Yüksekliğe Oranının (a/d), Kiriş Davranışına Etkisi

Betonarme kesitlerin kesme mukavemeti üzerinde, davranışa etkili en önemli faktör kesme açıklığının faydalı yüksekliğe (a/d), oranıdır. Burada “ a ” kesme açıklığı, tekil yükün mesnete uzaklığıdır. (a/d) oranı yalnız noktasal yüklü kirişler için geçerli olduğundan, bu değişken yayılı yük durumunda, $M/(V \times d)$ olarak düşünülmelidir. (a/d) oranının çok büyük olduğu durumlarda (yaklaşık, $a/d > 7$) kiriş eğilmedeki taşıma gücüne erişebilir, dolayısıyla kirişte eğik çatlamlar oluşmaz ve kesme kuvvetinin kırılma üzerindeki etkisi çok azdır. Bunun nedeni, kirişi eğilme kapasitesine ulaştıran kesme kuvvetinin düşük düzeyde kalmasıdır.

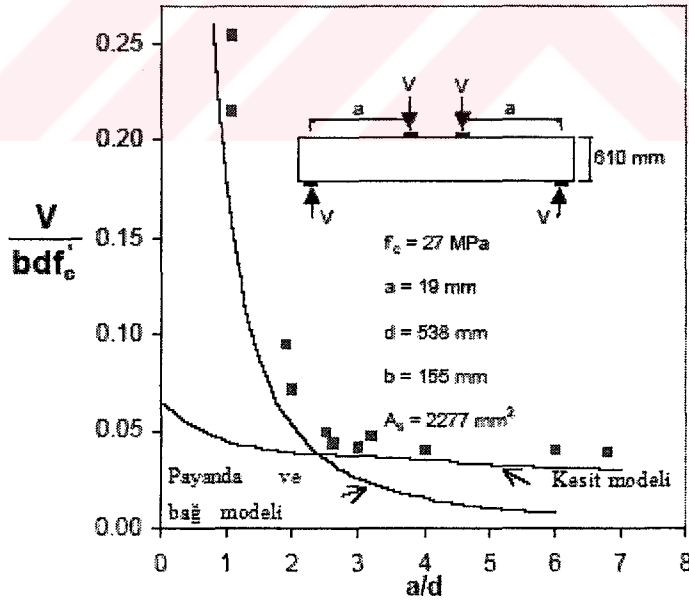
(a/d) oranının 3 ile 7 arasında kaldığı durumlarda, önce kiriş eksenine dik çatlaklar oluşacak, yük arttıkça kesme açıklığında oluşan çatlaklar tarafsız eksene doğru uzayacaklardır. Bu sırada çatlaklardan biri veya birkaçı, asal çekme gerilmelerine dik yönde eğikleşmeye başlayacaktır. Şekil 2.14’te çatlak ilerlemesi a , b ve c ’yi izlerken, f olarak gösterilen eğik çatlak aniden oluşur. Bu aşamaya ulaşıldığında, donatıdaki birim uzamada ani bir sıçrama

gözlenir. Bu sıçrama eğik çatlamanın neden olduğu bir “gerilme uyumu” nu gösterir. Eğik çatlama donatıda ani bir gerilme artışına sebep olduğundan, donatıya paralel aderans çatlakları (g) oluşmaya başlar. Yük biraz daha artırıldığında, eğik çatlak d ve e yönünde hızla gelişir ve kiriş kırılır. Bu kırılma son derece ani ve gevrektilir. (Ersoy ve Özcebe)



Şekil 2.14 Eğik çatlakların oluşumu

a/d oranı daha küçük kirişlerde (yaklaşık olarak $1.5 < a/d < 3$), çatlakın yukarıda anlatıldığı biçimde gelişmesine, noktasal yükün oluşturduğu yerel basınç gerilmeleri engel olur. Kiriş uzun süre dengesini koruduğundan kırılma yükü çatlama yükünün iki katına kadar çıkabilir.

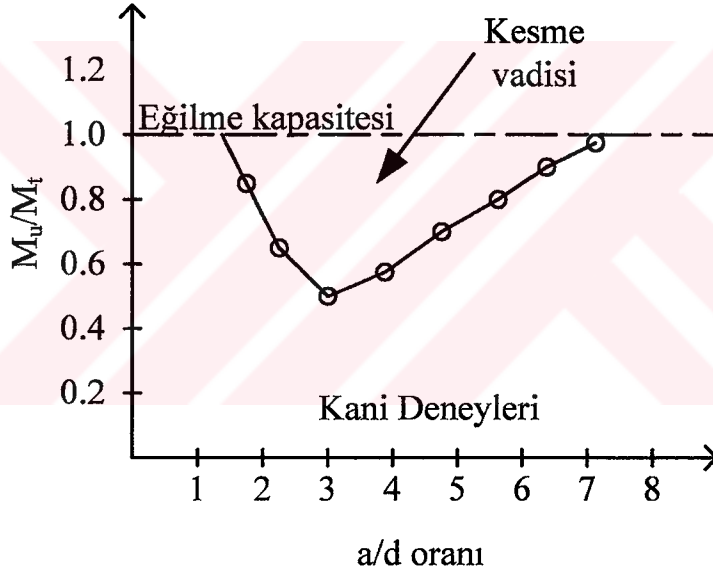


Şekil 2.15 Kesme dayanımının (a/d) oranına göre değişimi (Collins ve Mitchell, 1997)

Şekil 2.15’de kesme dayanımının a/d oranına göre değişimi gösterilmiştir. Açıkça görülebileceği gibi, a/d oranı yaklaşık 3-7 aralığında olduğunda kesme dayanımı neredeyse

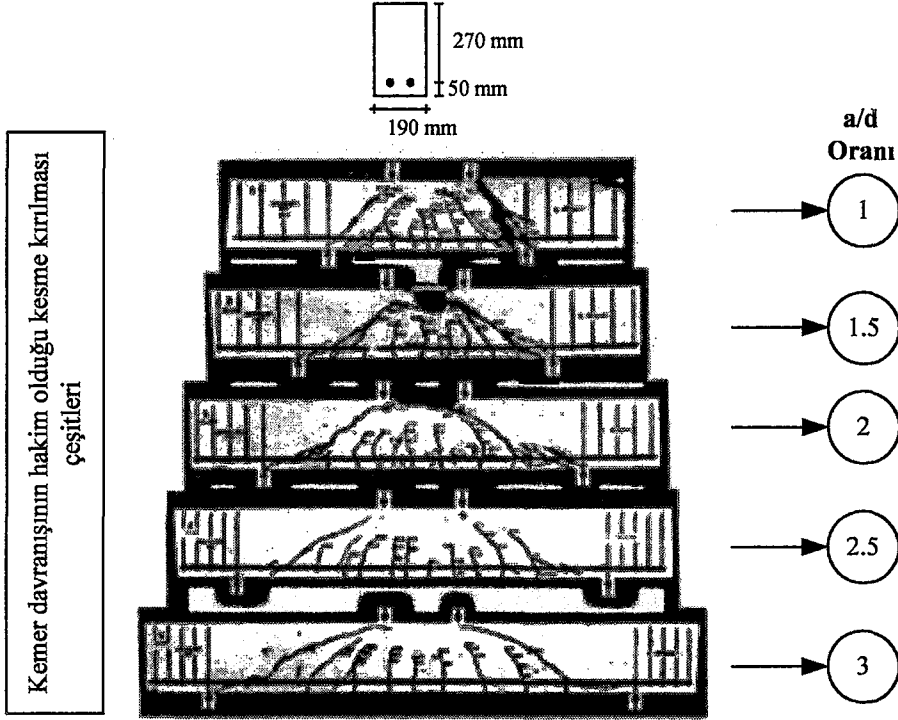
sabit kalırken, $M/(Vd) < 2.5$ olduğu durumlarda kesme dayanımı, a/d oranı azaldıkça ciddi bir oranda artmaktadır.

Şekil 2.16'da aynı deney sonuçları kullanılarak M_u/M_t oranının, a/d ile değişimi gösterilmiştir. M_t kirişin eğilmedeki taşıma gücü iken M_u , kırılma anında erişilen en büyük eğilme momentidir. Görüldüğü gibi a/d oranının büyük olduğu durumlarda kiriş eğilme kapasitesine ulaşırken ($M_u/M_t = 1.0$), a/d oranının yaklaşık 7'den küçük olduğu durumlarda kiriş eğilme kapasitesine erişemez. a/d oranının 1.0 veya daha küçük olduğu durumlarda kiriş eğilme kapasitesine yeniden ulaşabilir. Kesme kırılmasında kritik bölgenin yaklaşık olarak, $1.0 < a/d < 7.0$ olduğu söylenebilir.



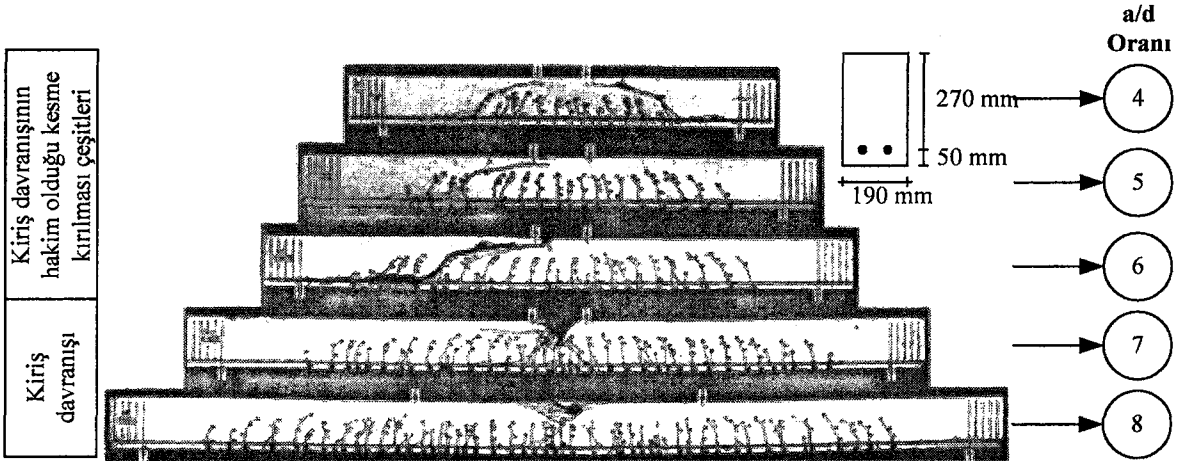
Şekil 2.16 Kesme vadisi

Deney numunesi, eğilmeden de kırılrsa, eğik çekmeden de kırılrsa, $a/d > 3.0$ olduğu durumlarda davranışa kiriş davranışı hakim olurken, $a/d < 3.0$ olduğunda gergili kemer davranışı etkili olmaya başlamaktadır. Şekil 2.16'da $a/d \approx 3.0$ değerinde eğrinin yön değiştirmesinin ve a/d azaldıkça kapasitenin artmasının sebebi de budur. Şekilde gösterilen alan, kesme kırılmasının oluşabileceği bölgeyi göstermektedir. Prof. Kani, bu alanı "Kesme Vadisi" olarak tanımlamıştır.



Şekil 2.17 Kemer etkisi altında kesme kırılması (Park ve Paulay, 1975)

Şekil 2.17 ve Şekil 2.18’de aynı donatı oranı, kesit ve basınç dayanımına sahip, fakat farklı a/d oranları için, kiriş deneyleri, kırılma biçimleri gösterilmiştir. a/d oranı 1-3 arasında olan kirişlerde davranışa kemerlenme etkisi hakim olurken, 4-7 arasında olan kirişler üzerinde, kiriş davranışı hakim olmaktadır.

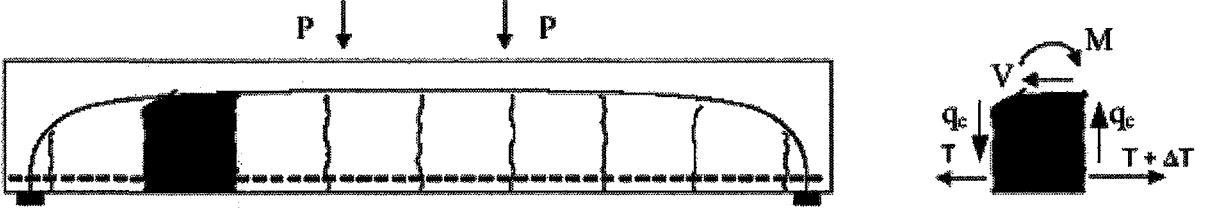


Şekil 2.18 Kiriş etkisi altında kesme kırılması (Park ve Paulay, 1975)

2.4 Tarihsel Gelişim

Mörsch ve Ritter'in önerdikleri bağıntılar 1950'li yıllara kadar kabul görmüş ve etkin olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım Bölüm 2.2'de anlatılmıştır.

1950-1960 yıllarında yapılan araştırmalarda, eğik çatlama dayanımı etkileyen en önemli üç değişkenin, $M/(V \times d)$, $\sqrt{f_c}$ ve ρ olduğu saptanmıştır.



Şekil 2.19 Kesme tesiri altındaki çatlamış kiriş için Kani'nin tarak (comb) modeli

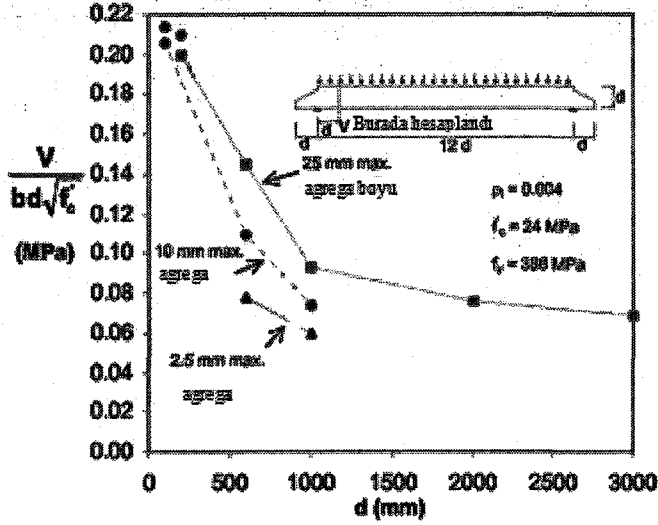
1964'de Kani eğik çatlakların arasındaki betonu "diş" olarak tanımlayarak daha gerçekçi bir yaklaşımda bulunmuştur. Eğik çatlaklar arasında kalan betonu, bir tarağın dişi gibi düşünerek, bir dişi kirişin basınç alanından sabitlenmiş ve yatay donatıdan dolayı ucunda yük bulunan bağımsız bir konsol olarak modellemiştir (Şekil 2.19). Bu teori ne kadar kesme aktarım mekanizmasını göstermese de rasyonel yaklaşımların başlangıcını oluşturmaktadır.

1967'de Kani boyut etkisi ile ilgili çalışmalar yapmış ve kiriş derinliği arttığında kesme dayanımı buna bağlı olarak azalma göstermiştir. Aynı zamanda kiriş derinliğinin artmasıyla beraber, çekme donatısı üzerindeki, çatlak eninin de arttığı görülmüştür. Bu ise çatlaktaki agrega kenetlenmesinin azalmasına ve sonuç olarak beklenenden önce eğik çatlakların oluşmasına neden olur. Şekil 2.20 Shioya vd. tarafından yapılan test sonuçlarını göstermektedir.

1968'de Fenwick ve Paulay diş modeli üzerinde çalışırken, normal dayanımlı kirişlerde çatlak sürtünmesiyle aktarılan kuvvetlerin de çok önemli olduğunu tespit etmişlerdir.

1974'de Taylor, yine Kani'nin yapmış olduğu modelle çalışmalarını sürdürürken kiriş dayanımının % 20-40'ını çatlama betonunun, % 35-50'sini çatlak sürtünmeleri ve %15-25'inin de kaldıraç etkisiyle taşındığını bulmuştur.

1980'de Hamadi ve Regan çatlak ara yüzü üzerinde yaptıkları geniş çapta deneysel çalışmalarda, çatlakların dikey mesafelerinin kiriş etkili derinliğinin yarısı olduğunu varsaymışlardır.



Şekil 2.20 Maksimum agrega boyutu ve eleman genişliğinin kesme dayanımı üzerindeki etkisi (Collins ve Mitchell, 1997)

Teorik temelini, plastisitenin alçak-bağlı (lower-bound) teorisinden alan, basit payanda ve bağ (strut-and-tie) modeli uygulamaları, çatlak oluşuktan sonra içsel gerilmelerin tekrar dağılımı için ve bütün yönlerde yeterli duktilite sağlamak maksadıyla, elemana dağıtılmış belirli bir minimum donatı gerektireceğini söyler. 1980’de Marti beton için çekme gerilmelerini de kapsayan Coulomb-Mohr akma kriterini kullanarak plastisite yaklaşımını geliştirmiştir.

1984’de Bazant ve Kim daha önce yapılan araştırmalar ışığında eğik çatlakların en önemli sebebinin asal çekme gerilmeleri olduğunu ortaya koymuşlardır.

1991’de Reineck kesme aktarım mekanizmasını dikkate alarak non-lineer hesaplamalar sonucu diğ teoremini geliştirmiştir ve kesme dayanımı için, deney sonuçlarına ve var olan ampirik formüllere uyan açık ve sade bir bağıntı bulmuştur.

1999’da Collins ve Kuchma boyut etkisinin kesme donatısız betonarme kirişlerde düzgün yayılmış boyuna donatının yerleştirilmesi durumunda gözükmeyeceğini ifade etmişlerdir.

Ampirik yolla elde edilmiş bağıntılar, kesme donatısız elemanların dizayn prosedürlerini geliştirmek için oldukça önemlidir. Eğik çatlak için en basit alçak-bağlı (lower-bound) ortalama gerilmesi aşağıda verilmiştir.

$$\frac{V}{b \times d} = \tau = \frac{\sqrt{f_c}}{6} \quad (2.17)$$

Biline gelen bu ACI bağıntısının, %1’ den az boyuna donatı ve eksenel kuvvete maruz

kalmayan narin kirişler için mantıklı sonuçlar verir (ACI-ASCE Committee 445, 1998). Fakat donatı oranı az, yüksek mukavemetli betonlar için güvenli değildir (Cladera ve Mari).

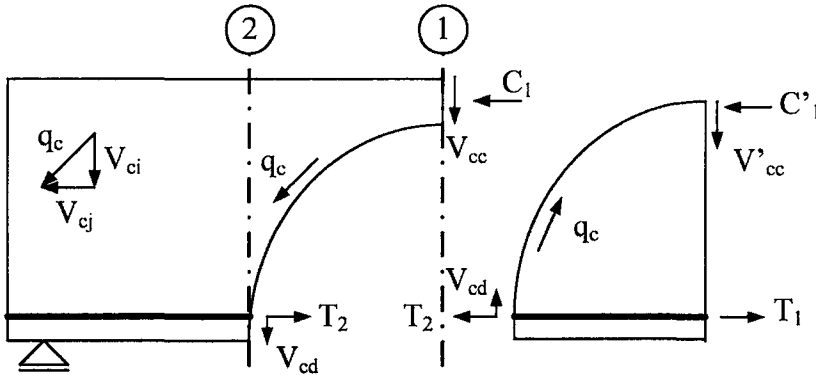
Önerilen diğer kırılma mekaniği modelleri maksimum çekme gerilmesini çatlağın ucunda ve azalan çekme gerilmesini (yumuşama) çatlak alanında (zone) oluştuğunu hesap etmişlerdir. Bu yaklaşım kesmede boyut etkisinin muhtemel bir açıklamasını oluşturur. Bilinen iki model sanal çatlak modeli (fictitious crack model, Hillerborg vd. 1976) ve çatlak sargı modelidir (crack band model, Bazant ve Oh, 1983).

Geliştirilmiş Basınç Alanı Modeli (GBAM, Vecchio ve Collins, 1986) kesmeden dolayı iki eksenli çatlamış betonun yük-deformasyon davranışı için genel bir modeldir. GBAM ortalama gerilmeye dayanarak formüle edilir ve yük dayanımını sağlamak için ekstra kontrol gerektirir. Kesme donatısız betonlar için, çatlaktaki yerel gerilmeler, elemanın kapasitesini kontrol eder ve ortalama gerilme hesaplaması sadece kritik eğik çatlağın eğilimini hesaplamak için kullanılır

ASCE-ACI Komitesi 445 (2002), artırılmış diğ modellerinin ve geliştirilmiş basınç alanı modelinin probleme farklı açılardan yaklaşımlarına rağmen, bu iki metot sonuçlarının kesme donatısız elemanlar için çok yakın olduğuna değinmektedir. İki metot da bu tür elemanlarda kesme dayanımının belirlenmesinde eğik çatlakların ara yüzündeki kesme gerilmelerinin rolünün önemine değinmektedir.

2.5 Kesme Kuvveti Aktarım Mekanizması

Kirişte çatlak oluşumundan sonra nasıl yük taşıdığını anlayabilmek için, kirişin çatlak boyunca kesilmesi ile elde edilen serbest cisim diyagramı incelenmelidir.



Şekil 2.21 Kesme donatısız çatlamış kirişin serbest cisim diyagramı

Şekil 2.21, 1973’de ASCE-ACI komitesi 426 No’lu raporunda kesme kuvveti aktarım mekanizması dört tür mekanizma ile iletileceğini öngörmüştür. Bunlar; çatlamamış betonda kesme gerilmeleri, kesme çatlağı arayüzü (agrega kenetlenmesi veya çatlak sürtünmesi), boyuna donatıların sağlayacağı kaldırıcı kuvveti ve kemer davranışdır.

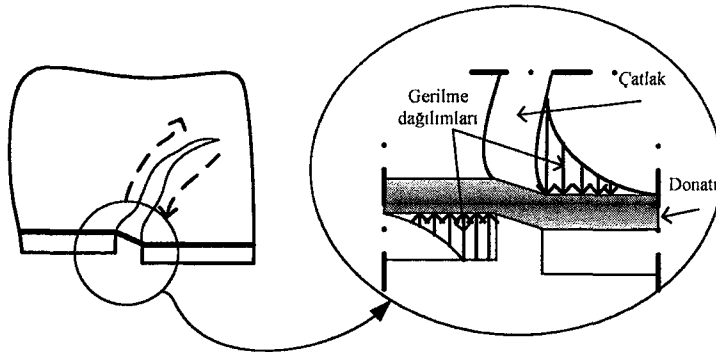
2.5.1 Çatlamamış Kesitte Taşınan Kesme Kuvveti, V_{cc}

Asal çekme gerilmeleri nedeni ile kirişin çatlaması, beton çekme dayanımının da önemli bir parametre olduğunu gösterir. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımını kare kökü ile orantılı olduğundan, bir parametre olarak $\sqrt{f_c}$ kesme dayanımı üzerinde önemli bir etkidir

Eksenel basınç altında olmayan narin elemanların çatlamamış beton kesitinde, kesme gerilmeleri çok da önemli bir mekanizma olarak gözükmez çünkü basınç bloğu derinliği nispeten küçük kalmaktadır. Öte yandan, narinliği çok az olan kirişlerin, maksimum momentin olduğu kesitte, kesme gerilmelerinin çoğunluğu, özellikle boyuna donatı aktıktan sonra, basınç bloğunda yoğunlaşır.

2.5.2 Çekme Donatısı Tarafından Taşınan Kesme Kuvveti, V_{cd}

Kaldıraç etkisi; çatlağın sağında kalan kiriş parçası yük etkisi ile aşağı doğru yer değiştirmeye çalışırken, donatı bunu engellemeye çalışacaktır, Şekil 2.22’de gösterildiği üzere, solda kalan kiriş parçasını donatı boyunca yırtmaya çalışacaktır. Şekil 2.21’den, donatıda gözlenen ani gerilme sıçramasının neden de kolayca görülebilir. Donatıdaki T_1 kuvveti, çatlak oluşmadan önce 2 nolu kesitte $T_2 = M_2/z$ değerindeyken, çatlağın oluşması ile, $T_2 = C_1$ olması gerektiğinden, “1” nolu kesitte $T_1 = M_1/z$ değerini alacaktır. $M_1 > M_2$ olduğundan, dengenin sağlanabilmesi için T_1 kuvvetinin, önemli ölçüde artması olağandır.



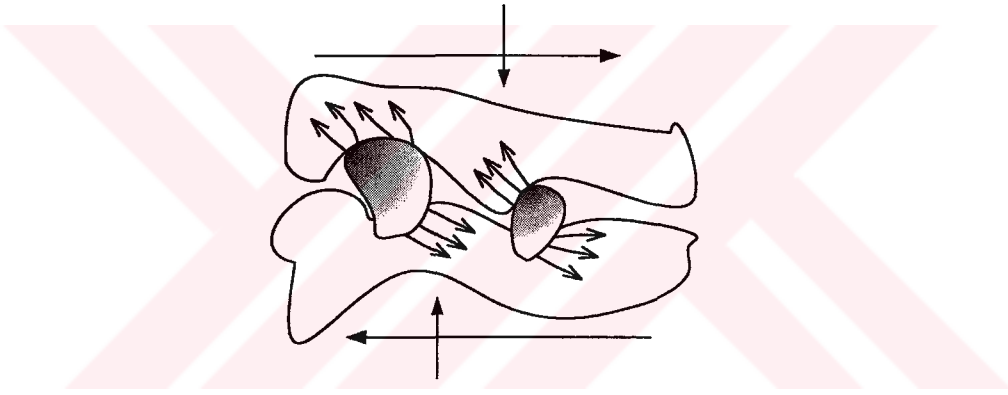
Şekil 2.22 Kaldıraç etkisi ve çatlak içi gerilmeleri

Donatıdaki maksimum kesme, donatıyı saran betonun çekme gerilmesi ile sınırlanmıştır. (Şekil 2.22) Fakat büyük miktarda boyuna donatılı elamanlar da, özellikle donatılar katmanlar halinde dağıtılmış ise kaldırıcı etkisi önemli bir faktör olarak karşımıza çıkar.

Çekme donatısının dayanıma kaldırıcı etkisi ile katkıda bulunduğu göz önüne alınırsa, bu katkı, donatı oranı “ ρ ” olarak dikkate alınmalıdır.

2.5.3 Agregat kenetlenmesi q_c .

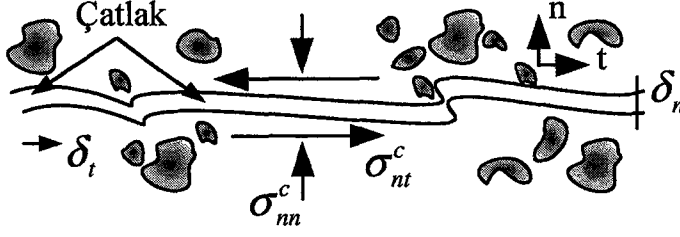
Sertleşmiş çimento hamuru normal dayanımlı betonlar için beton karışımı içindeki agregalardan daha düşük dayanıma sahiptir: bu nedenle çatlaklar çimento hamurunu kesecek ve agreganın etrafından dolanacak şekilde ilerlerler. Bir çatlak yüzeyi boyunca farklı boyutlardaki agregaların aralarındaki etkileşimden kaynaklanan sürtünme kuvvetleri kesme kuvveti etkisinde oluşacak deplasmanları önleyecektir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Agregat kenetlenmesi

Betonun bu enterfaz davranışına agregat kenetlenmesi adı verilir. q_c olarak gösterilen bu kesme gerilmelerinin toplam düşey bileşkesi kesme kuvvetinin taşınmasına katkıda bulunacaktır. Şekil 2.20’de maksimum agregat boyutu ve eleman genişliğinin kesme dayanımı üzerindeki etkisi görülmektedir

1980’li yıllarda beton için agregat kenetlenmesi, bir malzeme özelliği olarak kabul edilmiştir. Bu yüzden çevrimsel yüklere maruz düzlemsel çatlaklar daha dikkatli incelenme konusu haline gelmiş, çatlağın artan rijitlik matrixini formüle etmek için bağıntı (2.18) genel itibari ile kabul görmüştür. Bu sürtünme, çatlak arayüzü kesme gerilmesi, normal gerilme, çatlak genişliği ve çatlak kayması parametrelerini ihtiva eder (Şekil 2.24).

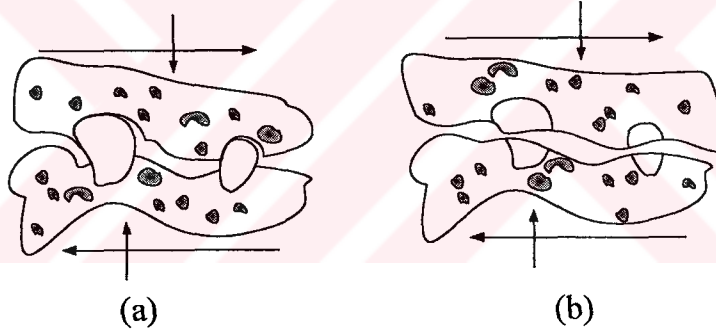


Şekil 2.24 Düzlemsel çatlakın başlıca değişkenleri

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_{nn}^c \\ d\sigma_{nt}^c \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{nn} & B_{nt} \\ B_{tn} & B_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\sigma_n \\ d\delta_t \end{Bmatrix} \quad (2.18)$$

Bağıntıda σ_{nt}^c , σ_{nn}^c gerilmeleri, δ_t , δ_n yer değiştirmeleri gösterirken, B'ler δ_t , δ_n , σ_{nt}^c , σ_{nn}^c ve olası diğer bazı parametrelere bağlı çatlak rijitlik katsayılarıdır

Yüksek dayanımlı betonda ilerleyen bu çatlaklarda, kesme kuvveti aktarımı için “agrega kenetlenmesi” tabirinden ziyade, “sürtünme” kelimesi daha uygundur



Şekil 2.25 Normal ve yüksek dayanımlı betonda agrega kenetlenmesi

Çatlak arayüzündeki davranışı modelleyen Walraven (1980), Bazant ve Gambarova (1982) ile Gambarova ve Karakoç (1983) kesme gerilmeleri aktarım mekanizmasını açıklamaya çalışmışlardır. Gambarova ve Karakoç geliştirdikleri pürüzlü çatlak modeli (rough crack model), çatlak, çatlak yüzeyleri tarafından oluşması beklenen bazı genel özelliklerine bağlı olduğuna dayanır. Bu modelde genel pürüzlülük ihmal edilmiş yerel pürüzlülük dikkate alınmıştır. Çatlak yüzeyleri arasında birbirine dokunan noktaların sınırsız sayıda olmasından dolayı, gerilme ve yer değiştirme ilişkisi sürekli ve düz olarak düşünülmüştür. Bu ilişki aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$a_3 = \frac{10}{f_c}$, $a_4 = 2.44 - \frac{39.84}{f_c}$, $r = \frac{w_t}{w_n}$ ve w çatlak genişliği olmak üzere;

$$\sigma_t^c = 0.245 \times f_c \times \left(1 - \sqrt{\frac{4w_n}{D_{\max}}} \right) \times r \times \frac{a_3 + a_4 |r|^3}{1 + a_4 \times r^4} \quad (2.19)$$

$$\sigma_n^c = -0.62 \times w_n^{0.50} \times \frac{r}{(1 + r^2)^{0.25}} \times \sigma_t^c \quad (2.20)$$

olarak tanımlanır ve Bağntı (2.18)'deki B değerleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$B_{tt} = \frac{\partial \sigma_{nt}^c}{\partial \delta_t} \times \sigma_{nt}^c \times \left(\frac{1}{\delta_t} + \frac{3 \times a_4 \times r^2}{|\delta_n| \times (a_3 + a_4 \times |r|^3)} - \frac{4 \times a_4 \times r^3}{\delta_n \times (1 + a_4 \times r^4)} \right) \quad (2.21)$$

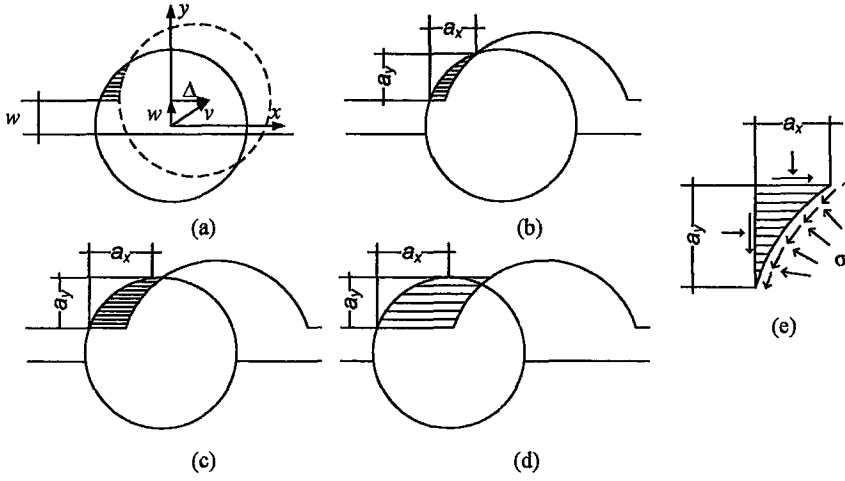
$$B_{tn} = \frac{\partial \sigma_{nt}^c}{\partial \delta_n} = \sigma_{nt}^c \times \left(-\frac{\left(1 - \frac{2\delta_n}{D_{\max}} \right)}{\sqrt{\frac{2\delta_n}{D_{\max}}}} - \frac{1}{\delta_n} + \frac{3 \times a_4 \times |r|^3}{|\delta_n| \times (a_3 + a_4 \times |r|^3)} - \frac{4 \times a_4 \times r^4}{\delta_t \times (1 + a_4 \times r^4)} \right) \quad (2.22)$$

$$B_{nn} = \frac{\partial \sigma_{nn}^c}{\partial \delta_n} = \sigma_{nn}^c \times \left(-\frac{1}{\delta_n} + \frac{B_{tn}}{\sigma_{nn}^c} + \frac{1}{2\sqrt{\delta_t}} + \frac{r^2}{\delta_n \times (1 + r^2)} \right) \quad (2.23)$$

Walraven (1981), yaptığı testler sonucu geliştirdiği modelde çatlak arayüzündeki agrega taneciklerinin yuvarlak parçalar olarak idealize etmiştir (Şekil 2.26). Çatlak geliştikçe matrix fazı agrega taneciğini itecek ve plastikleşerek yeni bir form alacak. Bu birbirine dokunan alanda sabit bir σ gerilmesi ve τ kesme gerilmesi oluşacaktır. Çatlak yüzü geometrisi ise istatistik olarak karışımın agrega içeriği ve parçacıkların muhtemel yerleşme açıları ile tarif edilir.

$$\tau = -\frac{f_c}{30} + (1.8w^{-0.80} + (0.234w^{-0.707} - 0.20) \times f_c) \times \Delta \quad (2.24)$$

$$\sigma = -\frac{f_c}{20} + (1.35w^{-0.63} + (0.191w^{-0.552} - 0.15) \times f_c) \times \Delta \quad (2.25)$$



Şekil 2.26 Walraven'in çatlak arası sürtünme modeli

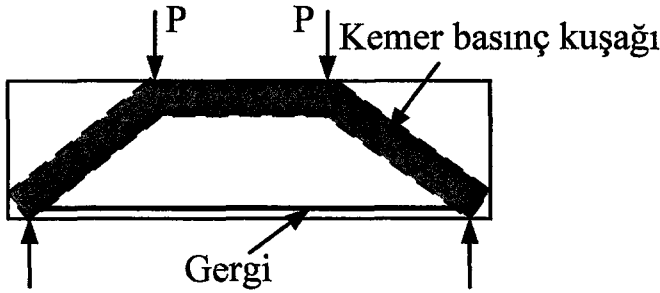
Genel olarak agraga kenetlenmesinin etkisi son derece değişken olduğundan dolayı güvenli tarafta kalacak şekilde ihmal edilmektedir. Ancak (Bazant ve Tsubaki, 1979) bu ihmal edilmenin hatalı olabileceğini göstermişlerdir. Ardışık olarak gelişen yatay deplasmanlar sırasında temas halindeki çatlak yüzeyi düzensizliklerinin takozlama etkisi ilave görelî normal deplasmanlara neden olur. Buda kaymaya bağlı genel bir hacim artışı ile desteklenir (dilatancy). Bu hacim artışı sırasında çatlağı geçmekte olan donatıda ek çekme gerilmeleri oluşur. Eğer bu etki hesaba katılmazsa çekme donatısı öngörülen yük taşıma gücü değerine ulaşmadan akabilir. Bundan başka kullanılabilirlik bağıntılarından hesap çatlak açıklığı değerleri de istenilmiyen boyutlara ulaşabilir. Dolayısıyla sanılanın aksine agrega kenetlenmesinin dikkate alınması durumunda daha büyük donatı oranları kullanılmak zorunda kalınabilir.

2.5.4 Kemer davranışı

Kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine oranı, a/d , ile doğrudan ilişkilidir. Etriyersiz kirişlerde $a/d \leq 2.5$ 'den küçük ise eğik çatlaklar oluştuğundan hemen sonra kemer davranışı ile kiriş, içindeki içsel kuvvetlerin yeniden dağılımı sonucu, bir miktar daha kuvvet taşımaya devam eder. Gergili kemer davranışı Şekil 2.27'de temsili olarak çizilmiştir.

Şekil 2.15'de basit mesnetli iki noktadan yüklü betonarme kirişin, maksimum kesme dayanımın, kesme açıklığı ile nasıl değiştiğini gösterilmiştir. Yapılan bu deneyler a/d oranının 1'den 7'e çıkmasıyla maksimum kesme dayanımının 6 kat azaldığını göstermektedir. Kirişlerde yeterli miktarda boyuna donatı oranı var ise ve a/d oranı da 1-7 arasında bir

değerde ise, kesme açıklığında, eğilmeden dolayı oluşabilecek göçme, kritik bir öneme sahip değildir.



Şekil 2.27 Gergili kemer davranışı

Çatlak oluştuğunda, iç kuvvetlerin toplamı, uygulanan kesme kuvvetini taşımaya yeterli ise, kiriş yük taşımaya devam edecektir. ($M/(V \times d) < 3.0$ durumunda olduğu gibi). Aksi durumlarda, ilk eğik çatlağın oluşması ile denge sağlanamayacak ve kiriş aniden kırılacaktır, ($3.0 < M/(V \times d) < 7.0$ durumunda olduğu gibi).

2.5.5 Artık Çekme Gerilmeleri

ACI komitesi 1998'de 445 No'lu raporunda yeni bir mekanizmaya daha işaret etmektedir. "Artık çekme gerilmeleri" olarak tanımlanan bu mekanizma doğrudan çatlaklar vasıtasıyla aktarılırlar. Farklı bilim adamları, kesme dayanımının bu mekanizmalardan herhangi birinin göreceli önemine bağlı olarak, kesme donatısız elemanlar için değişik modeller önermişlerdir.

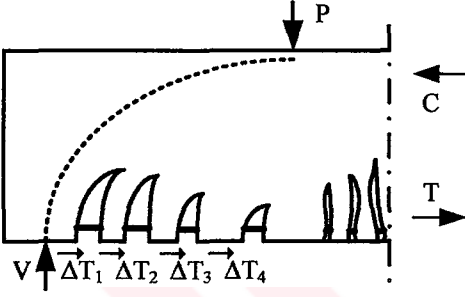
Betonda ilk çatlak oluştuğunda, küçük beton parçacıklarının çatlaklar arasında köprü oluşturması ve çatlaklar arası (ki bu çatlaklar genişlik olarak 0,05-0,15 mm 'yi geçmemelidir) çekme kuvveti aktarımının devam etmesi "Artık çekme gerilmeleri"nin en temel açıklamasıdır. Kesme tasarımı için Kırılma Mekaniği uygulamaları, başlıca kesme aktarım mekanizmasının "Artık Çekme Gerilmeleri" olduğu üzerine dayanır. (Cladera ve Mari)

Sonuç olarak, eğik çatlağın oluştuğu kirişteki düşey kuvvetler dengesi, aşağıdaki gibi sağlanacaktır (kiriş davranışı ile taşınan kesme kuvveti).

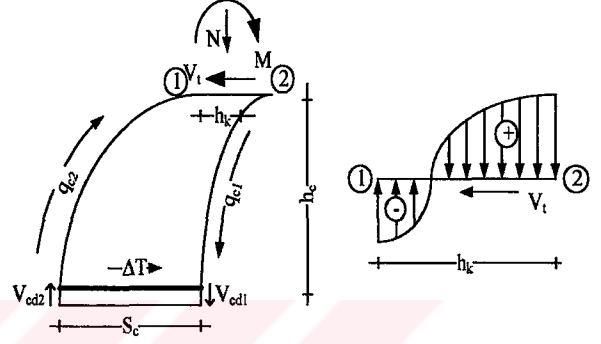
$$V = V_{cc} + V_{cd} + V_{ci} \quad (2.26)$$

2.6 Dış Modeli

Şekil 2.28’de gösterildiği gibi, eğik çatlaklar, kirişin alt bölgesinde bir çok dişin oluşmasına sebep olur. Bu dişler, tarafsız eksen dolaylarında ankastre olan ve ucunda ΔT_i yükünü taşıyan birer konsol kiriş olarak düşünülebilir. Bu durumda konsol dayanımına, ankastre uçta oluşan iç kuvvetlerin yanı sıra donatıdaki kaldırıcı kuvveti (V_{cd}) ve çatlak arayüzünde oluşan kayma gerilmeleri de katkıda bulunur. Yapılan deneyler, ΔT nedeni ile oluşan momentin ancak %20’sinin ankastrelilik momenti ile taşınabildiğini göstermektedir (Ersoy ve Özcebe).



Şekil 2.28 Dişlerin oluşumu



Şekil 2.29 Oluşan dişler için serbest cisim diyagramı

Ankastre uçta N ve M nedeni ile oluşan muhtemel dağılım Şekil 2.29’da gösterildiği gibi olacaktır. Dişler oluşuktan sonra kirişin taşıma gücü, dişlerin dayanımı ile sınırlı olacağından, boş uçta oluşan kuvvetin oluşturduğu eğilme momentin %20’sini, dişin ankastre uçtaki kapasitesine eşitlenirse, taşınabilecek moment bulunabilir.

$$0.2 \times \Delta T \times h_c = M = f_{ctf} \times \frac{I}{y} \quad (2.27)$$

$$f_{ctf} = 2.0 f_{ctk}, \quad I = \frac{1}{12} b h_k^3, \quad y = \frac{h_k}{2} \text{ ve yaklaşık olarak,}$$

$\Delta T = \frac{T}{a} s_c$, $h_k = 0.5 s_c$ ve $s_c = 10 \sqrt{\rho} h_c$ alınırsa, Bağıntı 2.27’den 2.28’deki Bağıntı elde edilir.

DeneySEL bulgular, h_c ’nin s_c ile orantılı olduğunu göstermektedir ve donatı oranı “ ρ ” ile de doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Bu nedenle $s_c = 10 \sqrt{\rho} h_c$ alınırsa;

$$T = 4.2 \times f_{ctk} \times (a) \times b \times \sqrt{\rho} \quad (2.28)$$

kesme açıklığı boyunca ortalama aderans gerilmesi, $(T/a = \Delta T/s_c)$ 'dir.

Şekil 2.29'da s_c donatı yüzeyindeki çatlak aralığı iken h_k ankastre uçtaki çatlak aralığını temsil eder. h_c ise çatlak uzunluğudur. $h_k = 0.5s_c$ ve $s_c = 10\sqrt{\rho}h_c$ olduğu varsayılmış ve deneylerde saptanan değerlere aykırı olmadığı gösterilmiştir (Ersoy ve Özcebe).

Sonuç olarak kırılma anındaki moment M_u , aşağıdaki gibidir;

$$M_u = T \times (j) \times d = 4.2 \times f_{ctk} \times (a) \times b \times d \times (j) \times \sqrt{\rho} \quad (2.29)$$

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = 4.2 \times f_{ctk} \times \left(\frac{a}{d}\right) \times j \times \sqrt{\rho} \quad (2.30)$$

Bağıntı (2.30), kirişin kırılma anındaki momentini belirtmektedir ve kenetlenmenin tam olduğu varsayımı ile çıkarıldığından "kiriş davranışını" simgelemektedir. Bu bağlantıda önemli olan, kırılma anındaki momentin, a/d ile donatı oranına ve betonun çekme dayanımı ile orantılı olduğunun belirlenmesidir.

2.7 Eğik Çatlak Dayanımı

a/d oranının $3.0 < a/d < 7.0$ olduğu durumlarda kırılma yükü ile eğik çekme dayanımı birbirine eşittir, $V_{cr} = V_u$. Aynı oranın $a/d < 3.0$ olduğu durumlarda ise kırılma yükü, eğik çekme dayanımından yüksek olmaktadır, $V_u > V_{cr}$. Yapılan çalışmalar, eğik çatlama dayanımının belirlenmesi kesme dayanımından daha kolay belirlenebileceğini göstermiştir. Kiriş davranışını önemli ölçüde etkileyen ve gerilme uyumuna neden olan eğik çekme çatlağının oluştuğu andaki kesme kuvvetinin belirlenmesi gereklidir.

Prof. I. Viest, klasik mukavemet denklemleri aracılığıyla hesapladığı asal çekme gerilmelerini, betonun çekme dayanımına eşitleyerek eğik çekme dayanımını saptamaya çalışmıştır. Ürettiği bağıntılardaki sabitleri de deneysel verilerden yararlanarak belirleyen Veist, çekme dayanımı için aşağıdaki ilişkiyi elde etmiştir.

$$V_{cr} = \left\{ 0.16\sqrt{f_{ck}} + 17\rho \frac{Vd}{M} \right\} b_w d \leq 0.3\sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (2.31)$$

Kesme gerilmelerinin kesitteki dağılımı Mörsch'ce varsayılan dağılımdan çok farklıdır.

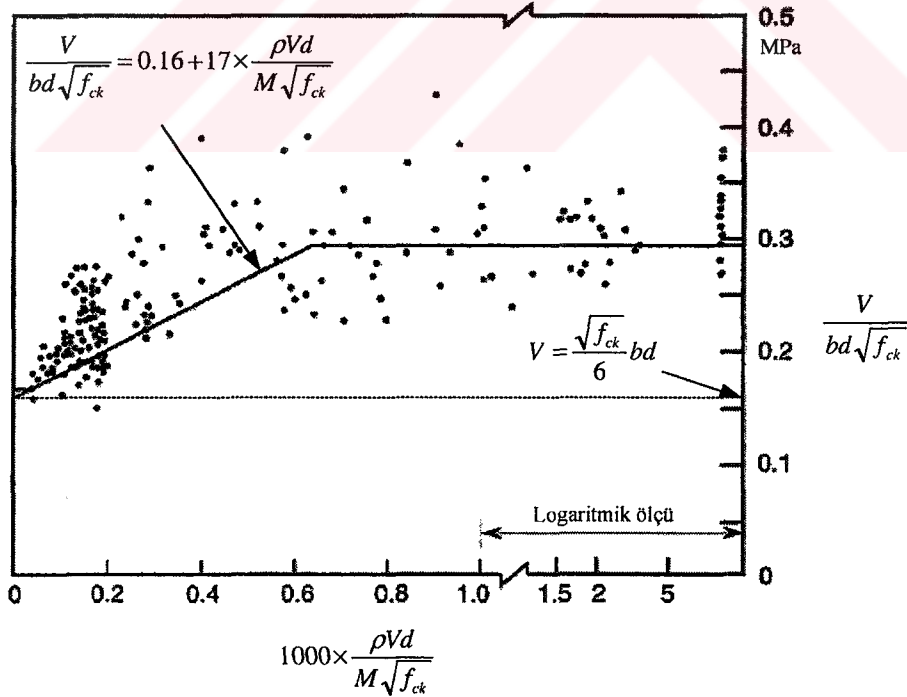
Gerçek gerilme dağılımı çok daha kompleks olup, pek çok değişkenden etkilenmektedir. Bütün bu nedenlerle gerilme hesabı, gerilme dağılımından bağımsız bir “ortalama gerilme” tanımı yapılması daha doğru olacaktır. Tüm çağdaş yönetmeliklerde ortalama kesme gerilmesi, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\tau = \frac{V}{b_w d} \quad (2.32)$$

Mörsch bağıntısı, bu bağıntıya çok yakın sonuçlar vermesine rağmen kesitteki gerilme dağılımının bilindiği yanılışına neden olacağından, artık pek kullanılmamaktadır (Ersoy ve Özcebe). Bağıntı (2.31) Bağıntı (2.32)’den yararlanarak, gerilmeler cinsinden yazılırsa.

$$\frac{\tau}{\sqrt{f_{ck}}} = \left\{ 0.16 + 17\rho \frac{Vd}{M} \frac{1}{\sqrt{f_{ck}}} \right\} \leq 0.3 \quad (2.33)$$

İlginç olan, Veist tarafından çıkarılan bu bağıntının, deneysel olarak önemi saptanan her üç değişkeni de ($M/(V \times d)$, $\sqrt{f_c}$ ve ρ) içermesidir. Şekil 2.30’da eğik çekme dayanımını belirleyen τ_{cr} gerilmesinin $\rho Vd/(M\sqrt{f_{ck}})$ ’ya göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.30 Kesme dayanımının $M/(V \times d)$, $\sqrt{f_c}$ ve ρ ’ya göre değişimi (ACI-318-02)

2.8 Yönetmeliklere Bakış

2.8.1 Avrupa Yönetmeliği (Eurocode-2-2000),

Eurocode 2'nin yeni taslağının son versiyonu daha öncekinden daha farklı bir kesme prosedürü sunmuştur. Ön gerilmesiz elemanlarda kesme dayanımı için dizayn değeri aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$V_{cr} = \left[0.18 \times k \times \left(100 \times \rho_l \times f_{ck} \right)^{1/3} + 0.15 \times \sigma \right] \times b_w \times d \quad (2.34)$$

Minimum değer olarak da

$$V_{cr} = \left[0.035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2} \right] \times b_w \times d \quad (2.35)$$

Burada f_{ck} birimi MPa olarak ve $f_{ck} \leq 100$ MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0, \quad d \text{ 'nin birimi ise mm'dir} \quad (2.36)$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \times d} \leq 0.02, \quad (2.37)$$

A_{sl} çekme donatısı alanı,

b_w mm cinsinden çekme alanında kesitin en küçük genişliği,

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \leq 0.2 \times f_{cd} \text{ (MPa)} \quad (2.38)$$

Newton cinsinden yüklemeden veya öngerilmeden dolayı kesitteki eksenel kuvvet (basınç için $N_{Ed} > 0$) N_E üzerindeki zorlanmış deformasyonun etkisi ihmal edilebilir. A_c ise mm^2 cinsinden beton kesit alanıdır.

2.8.2 Amerikan Yönetmeliği (ACI-318-02),

ACI kesme dayanımını, etkili kesit alanındaki, $b_w \times d$, ortalama kesme gerilmeleri üzerine kurmuştur. Kesme donatılı elemanlarda ise kesme dayanımı beton ve etriyeler tarafından karşılanır. Beton tarafından sağlanan V_c , önemli eğilme çatlağına neden olan kesme dayanımı değeri olarak alınır. ACI uygulama yönetmeliği kesme donatısız betonarme kirişler için kesme dayanımını hesaplamak maksadıyla iki ayrı prosedür sunmuştur. Basitleştirilmiş metot, sadece kesme ve eğilme etkisinde olan elemanlar için, Bağıntı 11-3, aşağıdaki gibidir:

$$V_{cr} = \left(\frac{\sqrt{f_{ck}}}{6} \right) \times b_w \times d \quad (2.39)$$

Şekil 2.30'dan görülebileceği gibi $0.16\sqrt{f_{ck}}$ güvenli bir alt sınır oluşturmaktadır. İkinci prosedür, Bağıntı 11-5, $a/d \geq 1$ olan elemanlar için uygulanır:

$$V_{cr} = \left(0.16 \times \sqrt{f_{ck}} + 17 \times \frac{\rho \times V \times d}{M} \right) \times b_w \times d \quad (2.40)$$

Burada $f'_c < 68,95$ MPa ve tüm değişkenler daha önce tanımlandığı gibidir.

Dikkat edileceği gibi birinci bağtıda kesme dayanımını tanımlayan bir değişken, beton çekme dayanımı, ikinci bağtıda ise kesme dayanımının iki tane daha değişkenden etkilendiği görülüyor. Aynı zamanda kimi araştırmacılar, 11-5 bağtıasının kesme dayanımını belirlemede etmede ρ_l ve $\frac{d}{a}$ değerlerinin etkisini az hesapladığını, f'_c etkisinin ise olduğundan fazla hesaplandığını göstermişlerdir. Eleman derinliğinin artması kesme dayanımının azalmasına neden olur (ACI komitesi 318-02).

2.8.3 Avrupa Örnek Yönetmeliği (CEB-FIB-1990)

CEB örnek yönetmeliğinde eğik çatlama dayanımını belirleyen bağtıya, boyut etkisi de dahil edilmiştir. Bilindiği gibi eleman boyutları küçüldükçe, çekme dayanımı artmaktadır. CEB bağlantısı aşağıda verilmiştir.

$$V_{cr} = \tau_{RD} \times K \times (1 + 50 \times \rho) \times b_w \times d \quad (2.41)$$

$$\tau_{RD} = 0.25 \times f_{ctd} \quad (2.42)$$

$$f_{ctd} = 1.0 \times \alpha \times f_{ck}^{2/3} \quad (\alpha, 0,21 \text{ ile } 0,225 \text{ arasında değişmektedir}) \quad (2.43)$$

$$K = (1.6 - d) \leq 1.0 \quad (\text{Burada } d, \text{ metre olarak faydalı yüksekliktir.}) \quad (2.44)$$

$$\rho = A_s / (b_w \times d) \quad (2.45)$$

CEB'de kesme gerilmesi K katsayısı ile çarpılarak, çatlama dayanımına giriş derinliğinin etkisi de dahil edilmiştir. Bu, çatlama dayanımı için daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Tabii ki burada söz konusu olan yalnız boyut etkisi değildir. Yapılan araştırmalar, derinliği faza

kirişlerde çekme donatısından uzaklaştıkça eğilme ve kesme çatlaklarının genişlediği gözlenmiştir. Çatlak genişledikçe agrega kenetlenmesinin etkisi de azalacaktır. (Ersoy ve Özcebe)

2.8.4 Türk Yönetmeliği (TS-500-2000)

Betonarme bir kesitin kesmede çatlama dayanımı, daha kesin hesaba gerek duyulmadığı durumlarda, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$V_{cr} = 0,65 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad (2.46)$$

TS-500-2000'de ACI-318-02'da izlenen yol benimsenmiştir. (Kuvvet= Newton, gerilme = MPa ve alanı mm²):

TS-500-2000'de ACI-318-02'daki alt sınır olan $0.85 \times 0.16 \sqrt{f_{ck}} \approx 0.14 \sqrt{f_{ck}}$ temel alınmıştır. TS-500-2000'de çatlama dayanımını gösteren bağıntı, yukarıda verilmiştir. Çekme dayanımı ise

$$f_{ctd} = (0,35 \times \sqrt{f_{ck}}) / 1.5 \text{ dir.} \quad (2.47)$$

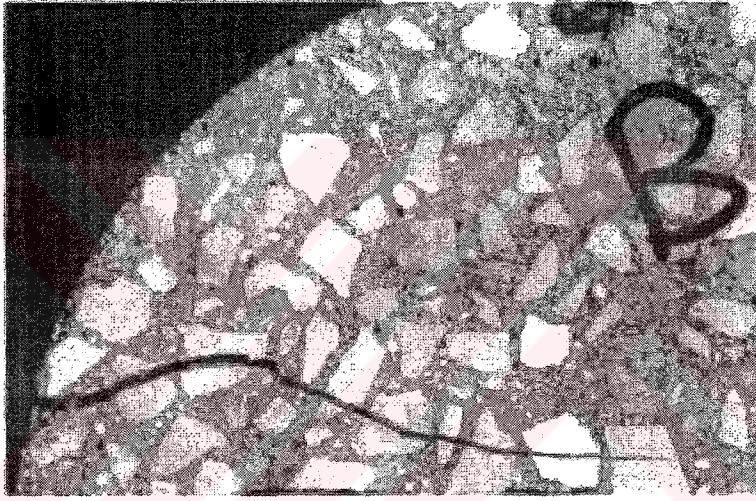
Kesme ve eğilmenin yanı sıra eksenel yükün de bulunduğu durumlarda, elemanın eksenine doğrultusunda normal gerilmeler oluşacak ve bunlar asal çekme gerilmelerini ve yönlerini etkileyecektir. Sonuçta, elemanın eğik çekme dayanımının değişmesi kaçınılmazdır. Normal kuvvetler, sisteme etkiyen yükler veya engellenen deformasyonlar sebebi (büzülme ve sıcaklık değişimi) ile de oluşabilirler. Asal çekme gerilmelerinin yönünü nasıl etkileyeceği, Şekil 2.6'da görülebilir. Eksenel çekme kuvveti nedeni ile oluşan normal gerilmelerin 0.5 MPa'dan küçük olduğu durumlarda, normal gerilmeler ihmal edilebilir (Ersoy ve Özcebe). Bu tezde normal kuvvetlerin oluşmadığı varsayılmış ve sadece ilgili bağıntılar belirtilmiştir.

2.9 Yüksek Dayanımlı Betonarme Kirişlerde Kesme Dayanımı

Yüksek dayanımlı betonarme kirişlerde kesme dayanımı dikkate alındığında başlıca dört hususu açıklamakta yarar vardır. (Duthinh vd., 1996)

- Şu an yürürlükte olan yönetmelikler dikkate alındığında, kesme dayanımı için kullanılan ampirik bağıntılar literatürdeki 40-50 MPa altındaki dayanımlı betonlar için üretilmiştir. Bu dikkate alındığında yeni dizayn kuralların hem daha uygun metotlara hem de dayanımı yüksek betonları da kapsayacak şekilde düzenlenmelidir.

- Yüksek dayanımlı beton elemanlarda kesme çatlağı yüzeyi normal dayanımlı betonlardan daha pürüzsüzdür, çatlak gelişimi danelerin etrafından dolaşıyorsa onları yarararak ilerler (Şekil 2.31). Çatlaklar arası kesme mekanizması, yüksek dayanımlı betonlar için tekrar ele alınmalıdır. Yüksek dayanımlı betonlardaki kesme sürtünmesi, normal dayanımlı betonlara oranla %35 oranında azalma göstermektedir (Walraven, 1995).
- Kesme kuvvetleri altında çatlamış kiriş gövdesinde, beton parçası ile çatlaklar arası, basınç kapasitesi düşük enine gerilmeye maruz kalmış basınç çubuğu gibi de davranır. Bu yumuşama davranış modeli testlere dayanmaktadır. Yumuşama beton dayanımıyla ilişkilidir. Yüksek dayanımlı betonların bu davranışını geliştirmeye ihtiyaç vardır. Buna rağmen, test sonuçları, YDB ile NDB arasında iki eksenli gerilme basınç davranışı ilişkisinde önemli bir fark göstermemektedir. (Cladera ve Mari)



Şekil 2.31 Yüksek dayanımlı betonda çatlak (Cladera ve Mari)

- Minimum kesme donatısı ilk eğik çatlağın oluşmasından dolayı oluşacak ani kesme kırılmasını engellemeli ve buna ek olarak servis yükleri altında eğik çatlak yeterince kontrol altında tutmalıdır. Çatlak açıklığını kontrol etmek için minimum kesme donatısı oranının yanı sıra, maksimum etriye aralığı sınırlandırılmalıdır. YDB'nin sahip olduğu yüksek çekme dayanımından ötürü, daha büyük bir kesme kırılması beklenir, bu yüzden daha fazla kesme donatısı konulması lazımdır (Yoon vd., 1996).

2.9.1 Kesme Donatısız Yüksek Dayanımlı Betonarme (YDB) Kirişlerde Kesme Dayanımı ile İlgili Çalışmalar

Son yıllarda kesme donatısız YDB kirişlerin dayanımıyla ilgili birçok araştırma yapılmıştır.

1984'de Mphonde ve Frantz nominal basınç dayanımı 21 ile 103 MPa arasında değişen üç

seri kiriş test etmişlerdir. Bu üç serinin her birinde (a/d) kesme açıklığının etkili derinliğe oranı ayrı ayrı 3.6; 2.5 veya 1.0 olarak alınmıştır. Test sonuçları göstermiştir ki; narin kirişlerde ACI kiriş kesme dayanım bağıntısının doğruluğu beton dayanımına göre değişmektedir. Özellikle, beton basınç dayanımının kesme kapasitesine etkisi, kısa kolonlarda daha da çarpıcıdır.

Ahmad, Khaloo ve Poveda'nın 1986'da yaptığı testlerde otuz altı kirişin basınç dayanımı 65 MPa'dır. Kirişlerin hiç birisinde kesme donatısı bulunmamaktadır ve kirişlerin yarısından fazlasında a/d oranı 2.5 oranından büyüktür. Yazarlar yürürlükteki ACI kodunun boyuna donatı oranı az, YDB kirişler için güvenli olmadığı sonucuna varmışlardır.

1986 da Elzanaty, Nilson ve State kesme dayanımını inceledikleri onsekiz kirişin beton basınç dayanımları 21 ile 83 MPa arası değişmektedir. Elde ettikleri sonuçlar Ahmad vd. buldukları sonuçlara çok benzemektedir.

Bundan birkaç yıl sonra, 1990-1995 yılları arası, Ahmad vd. kesme donatısız YDB ve NDB hafif betonarme kirişlerin için deneysel çalışmalar yaparak kesme dayanımını değerlendirmeye çalışmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki; ACI kodu maksimum kesme kapasitesini belirlemede, değişik tipte hafif agrega kullanılmış YDB ve NDB kirişler için yeterli derecede güvenli sonuçlar sağlamıştır.

1990'da Norveç'te Thorenfelt ve Drangsholt'un yapmış olduğu yirmisekiz kesme donatısız kiriş deneyinde $f'_c \geq 80$ MPa beton kullanılmış ve betonun çekme dayanımının artmasına rağmen eğik çatlak dayanımında küçük bir azalma göstermiş fakat genel itibari ile sabit kaldığı gözlenmiştir. Beton basınç dayanımının artmasına rağmen maksimum kesme dayanımın azalması çok şaşırtıcıdır, bunun muhtemel sebebi ise beton dayanımının çok yüksek olmasından kaynaklanan kirişin gevrek davranış göstermesidir (Duthinh vd., 1996)

1994'de ise Kim ve Park basınç dayanımları yaklaşık olarak 54 MPa olan 20 kiriş deneyi yapmışlardır. MC-90 bağıntısı kesme dayanımını iyi belirlemesine karşın ACI bağıntısı büyük kirişler için güvenli değildir. Yazarlar ayrıca YDB ve NDB için boyut etkisinin aynı olduğunu tespit etmişlerdir.

Buna rağmen, 1999'da Collins ve Kuchma boyut etkisinin kesme davranışına etkisini incelemek yaptıkları geniş deneysel çalışmaları yayınladılar. Kesme kırılmasında kesme gerilmesinin azalımı, elemanın derinliğinden ziyade boyuna donatılar arası mesafeyle ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Bununla beraber, YDB kirişler NDB kirişlere nazaran daha çarpıcı

boyut etkisi gösterirler. 2001 yılında Angelakos, Bentz ve Collins etriyesiz elemanlarda, eleman boyutu büyüdükçe ve boyuna donatı oranı azaldıkça göçmede kesme gerilmelerinin büyük ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir.

2002'de Fujita vd. kesme kapasitesi üzerinde boyut etkisinin betonun basınç dayanımı ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Yürüttükleri deneysel çalışma, NDB'lara göre YDB'da, çatlak oluşum yerinin bilinmezliği kesme çatlamasını karakterize ettiğini göstermiştir. Yazarlar, kırılma mekaniğini kullanarak, boyut etkisi ile beton basınç dayanımı arasında bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

2.10 Sonuç

Kirişlerde kesme dayanımını etkileyen faktörlere bu bölümde değinilmiştir. Asal çekme gerilmelerinden dolayı gevrek kırılan, kesme donatısız betonarme kirişlerde çatlama oluşuktan sonra dayanımı etkileyen parametrelerin tam olarak belirlenememesi ve gerçek davranışı açıklayabilecek, tüm faktörleri dikkate alan kapsamlı bir fiziksel modelin olmayışı ve deney sonuçları ile büyük oranda uyuşan bir ampirik bağıntının eksikliği kesme mekanizmasının karmaşıklığını ispatlamaktadır.

Günümüze değin üretilen tüm bağıntılar bu doğrusal olmayan davranışı belirlemede eksik kalmaktadırlar. Kesme dayanımını belirlemede etkin olan faktörlerin çokluğu ve belirsizliğine, yeni bir yaklaşım olan Yapay Sinir Ağları tekniği kullanılarak çözüm getirilmeye çalışılmıştır.

3. YAPAY SİNİR AĞLARI

Bu bölüm, kesme donatısız betonarme kirişlerin analizinde kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniğinin temel prensiplerini içermektedir. YSA kavramı sunulmuş ve YSA'nın temel özellikleri verilerek genel tanımı yapılmıştır. Sinir ağı topolojisi, işlem elemanın yapısı ve YSA'yı oluşturan elemanların özelliklerine değinilmiştir. YSA uygulamalarının oluşturma adımları olan; tasarım, öğrenme ve test aşamaları açıklanmıştır.

3.1 Giriş

YSA, Yapay Zeka Biliminin bir alt dalıdır ve insan beyninin varsayılan çalışma prensibini kendine model edinmiş yapay sistemlerdir. YSA öğrenme kabiliyeti, adaptasyonu, az bilgi ile çalışabilme özelliği, hızlı çalışması ve tanımlama kolaylığı ile modern bilimin en popüler konularının başında gelmektedir. YSA'lar, öğrenme yoluyla bilgi ve tecrübenin artırılması ve öğrenilenlerden faydalananarak sonuç üretilmesi prensibiyle işlemektedir.

YSA çalışmaları, başlangıçta temel tıp bilimlerinde, nöron modelleme çalışmaları ile başlamış bugün ise başta elektrik elektronik alanı olmak üzere, inşaat mühendisliğinin de içinde olduğu birçok alanda araştırma konusu haline gelmiştir. YSA son birkaç yıl içinde teorik gelişiminin yanı sıra, pratik uygulamalarda kullanılmaya başlanmış yeni bir hesap modelidir. YSA'nın yapı analizi ve tasarımında kullanılması çalışmaları büyük bir hızla devam etmektedir. İnsan beynindeki sinir hücrelerinin öğrenme kabiliyetinin modellenmesi çalışmaları ile ortaya çıkan YSA, optimizasyon tasarımları için de etkin bir metottur.

Yapay sinir ağı modelleri, algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yetenekleri ile bilinen modellerden farklıdır. Bu özellikleri sayesinde YSA, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan hesapları kolaylıkla ve hızlı bir şekilde yapabilir. Algoritmik olmayan ve çok yoğun paralel işlem yapabilen YSA, ayrıca öğrenebilme kabiliyeti ve paralel dağıtılmış hafıza ile de hesaplamada yeni bakış açılarına sebep olmuştur (Çağlar, 2001).

3.2 YSA'nın Temel Özellikleri

Örneklerden öğrenme: YSA'ya, öğrenilmesi beklenen girdi ve çıktı ilişkilerinin örnekleri verilir. YSA bu örnekleri kullanarak genellemeler yapar.

Biçim tanıma ve sınıflandırma: YSA'ya örnekler girdi olarak verilir. YSA, oluşturulan girdi/çıkı eşleşmeleri ile bilgiyi depoladığı yerdeki yayılı belgeleri kullanarak, karşılık gelen çıkıyı üretir.

Eksik bilgileri tamamlama: Ağa eksik bilgiye sahip bir örnek verildiğinde, örnekteki kayıp olan veriyi belleğinde bulunan örnekteki bilgilerle bağdaştırarak eksik örnekteki kayıp bilgiye karşılık gelen örnekteki bilgiyi bulabilir.

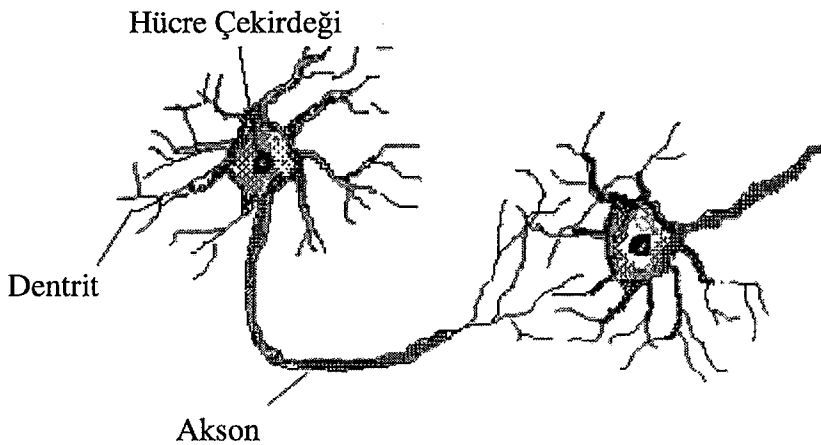
Kendi kendine adapte olma: Bazı YSA modelleri, kendi kendine öğrenme yeteneğine sahiptir. Ortamda değişiklikler olduğunda, bu tür ağlar yeni duruma kendilerini adapte edebilir.

Hatalara tolerans gösterme: Bazı işlem elemanlarının ağdan çıkarılması veya işlem elemanın olmaması durumunda yapay sinir ağının sonuç vermemesi gibi bir durum söz konusu değildir. Bilgiler, bütün ağ boyunca yayılı olduğundan birtakım bilgilerin kayıp oluşu ağın performansının kısmen başarısız olmasına sebep olacaktır. Bu özellik ile, hesaplamada ufak bir eksikliğin kötü sonuçlara yol açabileceği kritik problemlerde çok faydalıdır.

Eksik bilgilerle çalışabilme: Bulanık veya eksik bilgiler ağa sunulduğu zaman, yayılı bellek bilinen girdi için en uygun çıktıyı seçer. El yazısı tanıma, bu özelliğe güzel bir örnektir.

3.3 YSA'nın Genel Tanımı

YSA insan beyninin ve sinir sisteminin öğrenme, sonuç çıkarma gibi davranışlarının modellenmesi ve yapay zeka çalışmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkan bir bilgi işleme sistemidir. YSA, işlem elemanlarının (nöronların/yapay sinir hücrelerinin) birbirine farklı eşik seviyelerinde ilişkilendirilmesi ile oluşan bir model olarak düşünülebilir.

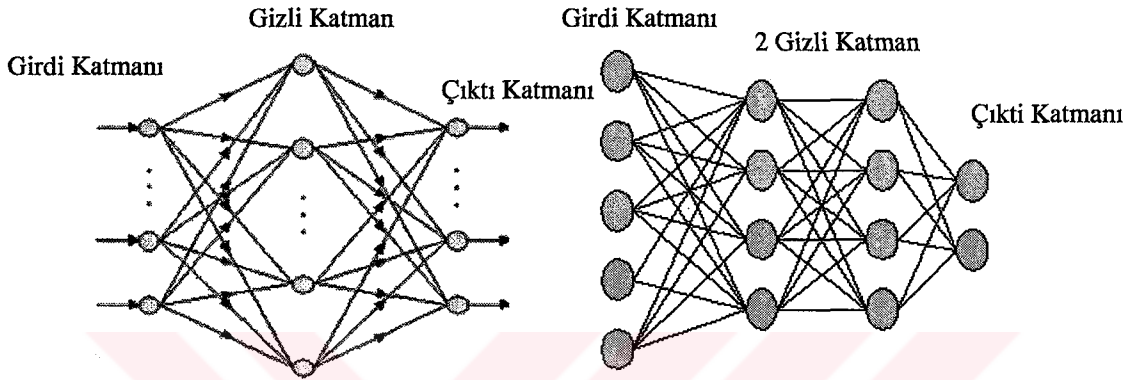


Şekil 3.1 Biyolojik nöronun/sinir hücresinin şematik yapısı (Cladera ve Mari)

İşlem elemanın (sinir hücresinin) yapısı ve diğer işlem elemanları ile nasıl bir ilişkide bulunduğunu anlama çalışmaları YSA'nın geliştirilmesine temel teşkil etmiştir (Şekil 3.1).

YSA, birbirlerine bağ ağırlıkları ile bağlı, katmanlar halinde düzenlenmiş ve çıkış değerini belirlemek maksadıyla “toplama (Σ)” ve “eşik fonksiyonu (F)” işlemlerini gerçekleştiren işlem elemanlarından meydana gelir.

Tek katmanlı ilk YSA modeli Frank Rosenblatt (1962) tarafından geliştirilmiştir. Bu ağ, verilerin ağa sunulduğu giriş katmanı ile çıkışların elde edildiği çıkış katmanından oluşmuştur. Daha sonraları geliştirilen, çok katmanlı bir ağda ise giriş ve çıkış katmanlarının arasında düzenlenmiş gizli katmanlar mevcuttur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Tek ve çok katmanlı YSA modelleri

YSA da girişler kendi bağ ağırlıkları ile çarpılarak tüm ağırlıklı girişler toplanır, daha sonra bir eşik fonksiyonundan geçirilerek çıkışlar elde edilir.

3.4 İşlem Elemanı

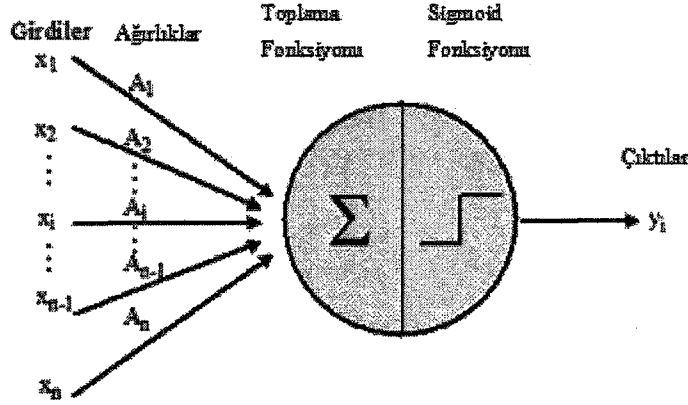
Şekil 3.1’de gösterilen sinir hücresinden esinlenerek oluşturulan yapay sinir hücresi, YSA’nın en temel elemanıdır ve işlem elemanı olarak adlandırılır. Genel bir sinir ağı modeli, işlem elemanları ile karakterize edilir. Bir işlem elemanı; girdiler, ağırlıklar, birleşme fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıktı olmak üzere, beş ana öğeden oluşur. İşlem elemanının birden fazla girdisi olabilirken, sadece bir tane çıktısı olabilir (Şekil 3.3).

Girdiler, ağ dışı veya diğer işlem elemanlarından gelen bilgilerdir. İşlem elemanı bazı durumlarda geri besleme ile kendi kendine girdi oluşturabilir.

Ağırlıklar, girdi değerlerinin işlem elemanı üzerindeki etkisini kontrol ederler. Yapay sinir ağının bilgisinin depolandığı birimlerdir. Değişken değerler alabil en ağırlıklar, öğrenme esnasında ağın, girdi ve çıktı arasındaki optimum ilişkiyi yakalayabilmek için sürekli olarak değişirler. Bir başka deyişle, ağırlıklar öğrenme esnasında optimize edilirler. Ağ dışından

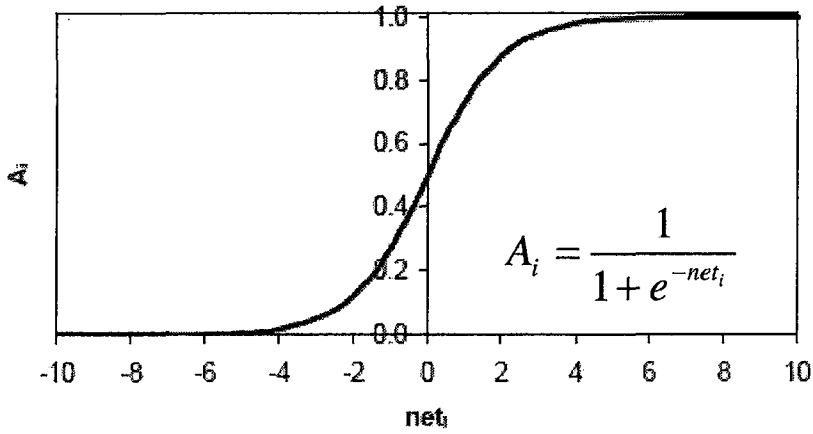
gelen bilgiler son ağırlık değerlerin göre işlenir ve son şeklini alırlar.

Birleşme (toplama) fonksiyonu, işlem elemanından gelen bilgileri birleştirir. En çok kullanılan birleşme fonksiyonları maksimum, minimum, çoğunluk, çarpım, toplam ve kümülatif toplam fonksiyonlarıdır. Bunlardan en yaygın olanı, ağırlıklı girdileri toplayan "toplam fonksiyonu"dur.



Şekil 3.3 Bir işlem elemanı

Transfer veya aktivasyon fonksiyonu, birleştirme fonksiyonun sonucunu değerlendirir. Birleştirme fonksiyonlarında olduğu gibi, bir çok transfer fonksiyonu vardır. En yaygın olarak kullanılanlar, sigmoid fonksiyonu (Şekil 3.4), doğrusal olan fonksiyon ve step fonksiyondur. Birleştirme ve transfer fonksiyonları problemin yapısına göre tercih edilir (Çağlar, 2001).



Şekil 3.4 Sigmoid transfer fonksiyonu

Çıktılar son olarak, transfer fonksiyonunun sonuçlarını bağlantılı olduğu işlem elemanına veya ağ dışı kaynaklara iletir.

3.5 Ağ Yapıları

Bir yapay sinir ağı, sahip olduğu birleştirme fonksiyonu, transfer fonksiyonu, topolojisi, kullanılan öğrenme kuralı ve öğrenme stratejisi ile tanımlanır. İşlem elemanlarından oluşan bir grup, katman olarak isimlendirilir. Bir ağın yapısı, ağın bağlantı şekli ve işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak tanımlanır. Katmanlardaki işlem elemanları, tam bağlı, kısmi bağlı veya ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Çoğu zaman, katmandaki işlem elemanları, aynı birleştirme ve transfer fonksiyonu ile aynı öğrenme kuralına sahiptir.

Yapay sinir ağ modelleri, yapısı ve öğrenme kuralları itibariyle birbirlerinden farklıdır. Tipik bir sinir ağı, birbirine bağlanan üç katmandan oluşur. Dışarıdan bilgiyi alan girdi katmanı, bilgiyi işleyen ve girdi ile çıktı ilişkisini kavramada asıl ağırlığı üzerinde bulunduran gizli katman ve sorgulanan problem üzerinde ağın kararını ağ dışına ileten çıktı katmanıdır. Bilgi, bu katmanlar arasındaki bağlantılarda yayılıdır.

Normal programlamada veriler veri tabanında saklanırken, yapay sinir ağında bilgiler, bağlantıların sahip oldukları ağırlıklara dağılır ve depolanır. Ağa dışarıdan verilen bir bilgi, girdisi girdi katmandaki elemanlarından ilgili bağlantılar aracılığıyla ağırlandırılarak, ara katmanlara, oradan yine ağırlandırılarak çıktı katmanı işlem elemanlarına iletilirler ve son olarak ağ dışına ağın bilgisi ile birleştirilerek ulaştırılır. Ağa verilen bilgi, ağdan çıktığında bambaşka bir hale dönüşmüş olacaktır.

3.6 YSA Uygulamalarının Geliştirilme Adımları

Bir YSA uygulamasının geliştirilmesi süreci, tasarım, öğrenme/egitime ve test/uygulama olarak üç safhada incelenebilir.

3.6.1 Tasarım

Tasarım, problemin veya geliştirilmekte olan uygulamanın, tamamen anlaşılmasının ve buna bağlı olarak planlamanın olduğu ilk safhadır. Burada, ele alınan problemin YSA ile çözülmeye uygun olup olmadığını araştırmak başka bir noktadır. Problemine uygun bir YSA mimarisi seçilir. Sonra, problemin giriş ve çıkış katmanlarındaki parametreler kesin olarak tanımlanır. Bu parametreler, kalitatif/nitelik bildiren veya kantitatif/miktar bildiren tiplerde olabilirler. Daha sonra, kullanılacak ağ mimarisi ile uyumlu olarak bu parametreler uygun değerlere dönüştürülür. Bu işlem, verilerin ikili (binary) veya sürekli (continuous) değerlere dönüştürülmesi ile gerçekleştirilebilir.

YSA yapısı hakkında bir karara varıldıktan sonra, gizli katman sayısı ve her bir katmandaki

işlem elemanı sayısı belirlenir. YSA'nın en iyi performans gösterdiği, ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan, optimum katman ve işlem elemanı sayılan deneme-yanılma ile belirlenir. Artık YSA tasarlanmıştır ve eğitime hazır (Çağlar, 2001).

3.6.2 YSA'da Öğrenme

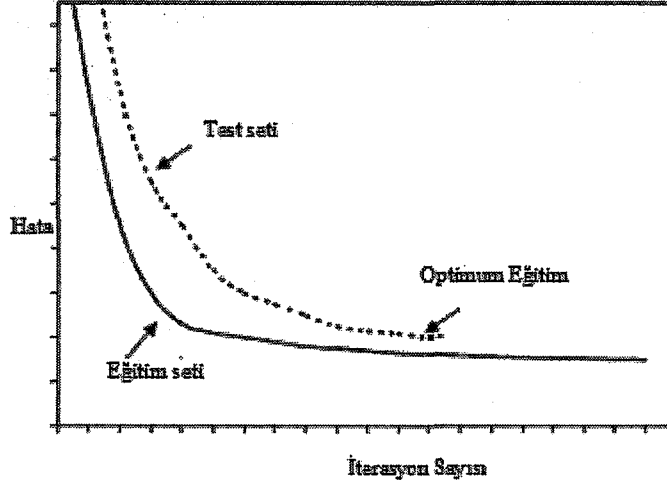
Yapay sinir ağının en önemli özelliği, öğrenme yeteneğidir. Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağın probleme ait doğru çıktıları üretmesi için optimum ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Bilgi, bağlantılarda ağırlıklar şeklinde dağıtıldığı için tek bir bağlantı herhangi anlamlı bir bilgi ifade etmez. Yani, anlamlı bir bilgi oluşturmak için işlem elemanlarından oluşan bir bağlantı grubu gerekmektedir. Problemin en iyi çözümü için ağın, bağlantılarına ait doğru ağırlık değerine sahip olması istenir. Öğrenme, ağırlık değerinin değişimini ifade eden bir öğrenme kuralına dayanır. Geliştirilen bir çok öğrenme kuralı vardır (Wasserman, 1989). Öğrenme kuralının temel ilkesi, öğrenme stratejisiyle tanımlanır ve literatürde üç tip öğrenme stratejisinden söz edilir.

Denetimli öğrenmede, ağı eğitmek için bir öğretici gerekir. Öğretici, çıktı katmanında ağ kararının ne olması gerektiğini belirler. Diğer yandan öğrenmede kullanılacak olan örneklerin seçimi de öğretici tarafından yapılır. Girdiler ve doğru çıktı örnekleri ağı verilir. Ağ, girdiyi işleyerek çıktıyı üretir ve üretilen çıktıyı dışarıdan belirlenen çıktı ile karşılaştırır. Her defasında bağlantılardaki ağırlıklar, daha iyi çıktıyı üretmek için yeniden ayarlanarak işlem, kabul edilebilir bir hata düzeyine erişinceye kadar devam eder.

Destekli öğrenmede de bir öğreticiye ihtiyaç vardır. Ancak, çıktının ne olması gerektiği ağı verilmez. Ağı bildirilen sadece çıktının doğru veya yanlış olduğudur.

Denetimsiz öğrenme diğerlerinin aksine bir öğreticiye gerek duymaz. Bu stratejide ağ, girdi/çıktı eşleştirmesini düzenlemek için kendi kararlarını geliştirir. Bu nedenle, denetimsiz öğrenme stratejisini kullanan ağlar, kendi kendine organize olan ağlar olarak tanımlanır.

YSA'da bilginin temsili çok önemlidir. Ağ yapısı ne kadar güzel olursa olsun ya da öğrenme ne kadar iyi gerçekleşirse gerçekleşsin, eğer ağı girilen bilgiler tutarlı değilse, üretilen sonuçlar da tutarlı ve isabetli olmayacaktır. Öğrenme seti, ağın problemin öğretilmesinde kullanılan girdi ve çıktılarından oluşan bir settir. Denetimli öğrenmede, çıktılar sette bulunurken destekli öğrenme ve denetimsiz öğrenmede bulunmazlar. Öğrenme işlemi için, çoğu zaman bir eğitme algoritması kullanılır ve ağırlıkların nasıl düzenleneceği bu algoritma tarafından belirlenir.



Şekil 3.5 Eğitim ve test seti üzerinde hatayı gösteren tipik bir eğitim eğrisi

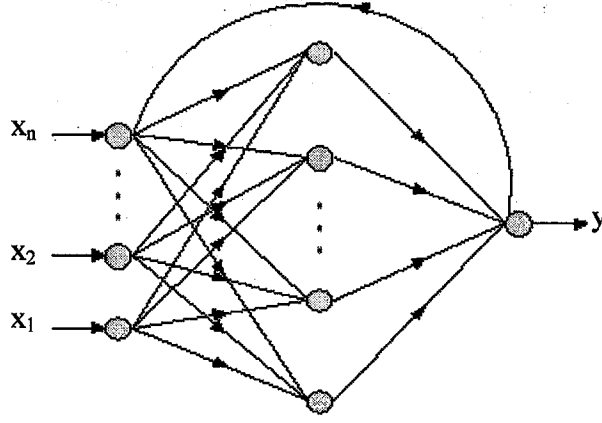
Tipik bir öğrenme işleminde, öğrenme sürecini sona erdirmek için önceden belirlenmiş bir hata kriterine ulaşıncaya kadar öğrenme örnekleri ağı defalarca gösterilir. Ağ tarafından öngörülen çıkış ile istenen çıkış arasındaki hata oranı, daha önce belirlenen bir sınıra erişmiş ise, ağın problemi yeterince kavradığı kabul edilir (Şekil 3.5).

Günümüzde kullanılan sinir ağ modelleri, girdi katmanı, çıktı katmanı ve bir veya birden fazla gizli katmanı olmak üzere en az üç veya daha fazla katmandan meydana gelir. Girdi katmanı her girdi örneğini sadece bir sonraki katmana aktarmaktan, son iki katman ise bilgiyi işlemekten sorumludur. İşlem elemanları, bir önceki ve bir sonraki katmandaki elemanlarla bağlantılıdır. Bir önceki katman elemanları bir sonraki katman elemanlarına sadece girdi gönderebilirler, tersinden bir işlem gerçekleşmez. Aynı katmandaki elemanların birbirleri arasında bağlantı yoktur.

Ağ dışından gelen bilgiler girdi katmanında bir işleme tabi tutulmadan hiyerarşik yapıya uygun olarak ara katmandaki elemanlara iletilir. Bilgi işleme sadece ara katmanlardaki elemanlar ve çıktı katmanındaki elemanlarla gerçekleşir ve ağ dışına sonuç işlenmiş bir şekilde verilir, buna ileri doğru işlem adı verilir.

3.6.3 Hatayı Geriye Yayma Ağı Öğrenme Prosedürü

Hatayı geriye yayma ağı prosedüründe iki safha vardır (Rumelhart ve diğerleri, 1986):



Şekil 3.6 Hatayı geri yayma prosedürü örnek şekli

- Ağın gerçekleşen çıktılarını ve aktivasyon seviyelerini hesaplamak,
- Ağın istenen ve gerçekleşen çıktıları arasındaki hatayı geriye doğru yaymak.

Hatayı geriye yayma ağı modelinde (Şekil 3.6) öğrenme adımları aşağıdaki gibidir. Dördüncü adıma kadar ileri, son üç adım ise geriye doğru işlem adımlarıdır;

- Ağ yapısı tanımlanır (girdi, çıktı, ara katman, ara katman eleman sayısı)
- Başlangıç ağ parametreleri belirlenir (ağırlıklar, biaslar). Ağ bağlantılarının başlangıç ağırlıkları rasgele atanır.
- Girdiler ve çıktılardan oluşan öğrenme setinden bir örnek ağı tanıtılır
- Her işlem elemanı için toplam girdi ve transfer değerleri hesaplanarak ağın son çıktısı bulunur.
- İstenen sonuç ile ağ çıktısı arasındaki hata belirlenir.
- Aradaki hata çıktı katmanından başlayarak geriye doğru bağlantı ağırlıklarına göre dağıtılır.
- Eğer hata kabul edilebilir seviyede ise işlem durdurulur, aksi halde 3. adıma geri dönülür.

Hatayı geriye yaymada kullanılan bir çok eğitime algoritması vardır. Bunlardan bazıları;

- En hızlı azalan gradyant yöntemi (geri yayınım, GY)
- Konjuge gradyant yöntemi (KGY)
- Ölçeklenmiş konjuge gradyant yöntemi (ÖKGY), dır

3.6.4 Test/Uygulama

YSA eğitime sırasında edindiği bilgileri, eğitime sırasında kullanılmamış (daha önce karşılaşmadığı) bilgiler için çözümler üreterek "genelleme" yapar. Test işlemi sonucunda, test

seti için elde edilen sonuçlar yeterli yaklaşıklıkta ise, YSA'nın güvenilirliği onaylanmış olur. YSA başarılı bir şekilde eğitildikten sonra kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Her şeye rağmen yeterli doğruluk elde edilemiyorsa, YSA'nın mimarisinde değişiklikler yapılır, eğitime ve test işlemleri tekrarlanır. En iyi sonuç, eldeki eğitim setinin problemin çözüm aralıklarını daha iyi temsil edecek şekilde seçilmesiyle ve eğitim setinin artırılmasıyla elde edilir.



4. ÖNERİLEN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ VE UYGULAMASI

Bu çalışmada kesme donatısız betonarme kirişlerin kesme dayanımının belirlenmesinde YSA yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla, a/d oranı 2.48'den büyük olan ve tamamı kesmeden dolayı göçmüş farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen 193 deney kirişi literatürden seçilerek YSA modelinin eğitim ve test setleri için kullanılmıştır.

Göçme dayanımı açısından laboratuvar sonuçları, TS 500-2000, ACI 318-02, Eurocode 2-2002, CEB-FIB-90 örnek yönetmelikleri ve önerilen YSA modeli sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada önerilen YSA modeli geriye yayılım (Back Propagation) ağı modelini kullanmaktadır. YSA modelinde toplama fonksiyonu ile sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bu çalışmada, kesme dayanımının belirlenmesi doğrusal olmayan bir problem olduğundan ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritmasının diğer algoritmalara göre daha hızla sonuç vermesinden dolayı hatayı geriye yayma algoritması olarak mevcut ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritması kullanılmıştır.

4.1 Deneyel Veritabanına Giriş

Deneyel veri tabanı aslen Bentz (2000) ve Kuchma ve Su (2000) tarafından toplanmış, Cladera ve Mari tarafından derlenmiştir. Bu veri tabanından donatı akma dayanımlarının çok düşük olmasından dolayı 1950 ve 1960 yılları arasında yapılmış deneyel çalışmalar çıkartılmış ve sonuç olarak bu çalışmada, 193 kiriş deneyi incelenmiştir. Kiriş özellikleri gruplandırılmış olarak Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Oluşturulan veri tabanın ne kadar homojen olması istense de bu mümkün olamamaktadır. Kirişlerin çoğu çok küçük etkili derinliğe veya çok yüksek donatı oranlarına sahiptir. Kirişlerin % 11'i 600 mm ve daha fazla etkili derinliğe sahipken, % 19'u ise 200 mm'den daha küçük etkili derinliğe sahiptir. Kirişlerin % 19'u %1 veya daha az donatı oranına sahipken, kirişlerin % 24'ü % 3'den fazla donatı oranı içermektedir. Fakat yönetmelik hükümlerinin tüm veriler üzerinde incelenmesinin yanı sıra, heterojenliği azaltmak için veri tabanındaki kirişlerin özel aralıklardaki çözümleri de yapılmıştır.

Tatmin edici bir genelleştirme yapabilmek amacıyla kiriş genişlikleri 38.1 mm ve etkili derinlikleri 40.6 mm ile 165.1 mm arasında değişen, Bazant vd. (1991)'ne ait örnekler deney setinden çıkartılmış ve önerilen YSA modelini eğitmek ve test etmek için toplam 193 kiriş örneğinden sadece 175 tanesi bu çalışma kapsamında dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.1 Veri tabanındaki kiriş özellikleri özeti

Kaynak	Adet	d (mm)	f_c (MPa)	ρ_l (%)	a/d
Morrow vd. (1957)	12	356 - 375	15 - 46	1.83 - 3.83	2.8 - 7.9
Elzanaty vd. (1986)	11	273	21 - 79	1.00 - 3.30	4.0 ve 6.0
Mphonde vd. (1984)	12	298	22 - 102	2.32 ve 3.36	2.5 ve 3.6
Islam vd. (1998)	10	203 - 207	27 - 83	2.02 - 3.22	2.9 - 3.9
Collins vd. (1999)	21	110 - 925	36 - 99	0.50 - 1 .03	2.5 - 3.1
Ahmad vd. (1986)	14	184 - 208	61 - 67	1 .77 - 6.64	2.7 - 4.0
Yoon vd. (1996)	3	655	36 - 87	2.8	3.23
Ahmad vd. (1994)	2	216	40 ve 89	1 .04 ve 2.07	3.0
Kim vd. (1994)	16	142 - 915	54	1.01 - 4.68	3.0 ve 4.5
Bazant vd. (1991)	18	41 - 165	46	1 .62 ve 1 .65	3.0
Thorenfeldt vd. (1990)	16	150 ve 300	54 - 98	1 .82 ve 3.23	3.0 ve 4.0
Kani vd. (1979)	32	137 - 1090	17 - 30	0.50 - 2.84	2.5 - 6.8
Cladera (2002)	4	359	50 - 87	2.24	3.0
Adebar vd. (1996)	6	178 ve 278	46 - 59	1.0 - 3.04	2.9 ve 4.5
Johnson vd. (1989)	1	610	56	2.49	3.1
Ahmad vd. (1995)	2	178	77 ve 79	1.39	3.7
Xie vd. (1994)	2	216	38 ve 99	2.07	3.0
Salandra vd. (1989)	4	171	52 - 69	1.45	2.6 ve 3.6
Kulkarni vd. (1998)	3	152	42 - 45	1.37	38475
Gonzalez (2002)	4	305 ve 306	40 - 47	2.9	2.3

Önerilen YSA modelinin girdi katmanında, kiriş genişliği (b), kiriş etkili derinliği (d), beton basınç dayanımı (f_c), boyuna donatı yüzdesi (ρ) ve kesme açıklığının etkili derinliğe oranı (a/d) olmak üzere 5 parametre kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de bu parametrelerin aralıkları özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 Veritabanındaki parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

Değişkenler	Minimum	Maksimum
d (mm)	110	1090
b (mm)	102	375
ρ (%)	0.5	6.4
f_c (MPa)	14.7	101.8
a/d	2.48	7.86
V (KN)	19.52	332.1

Bu çalışmada 175 kiriş deneyi eğitim ve test seti olmak üzere iki sete bölünmüştür. İlk olarak 146 eğitim seti ve 29 test seti oluşturulmuştur. Eğitilen YSA modeli bir ve iki gizli katmanlı olarak seçilmiştir. Bir gizli katmanlı modellerde 1 ila 20 işlem elemanı için, iki gizli katmanlı modellerde ise işlem elemanlarının farklı varyasyonlar (Ek 2.a) için modellerin performansları araştırılmıştır. Sonuç olarak iki gizli katmanlı modelin daha uygun olduğu görülmüştür.

Daha sonra test seti örneklerini artırarak daha gerçekçi bir model elde etmek amacıyla eğitim seti 125 ve test seti 50 kiriş deneyinden oluşturulmuştur. Bir önceki adımda olduğu gibi bir ve iki gizli katmanlı modellerin performansı araştırılmış ve en iyi sonucun iki gizli katmanlı (3

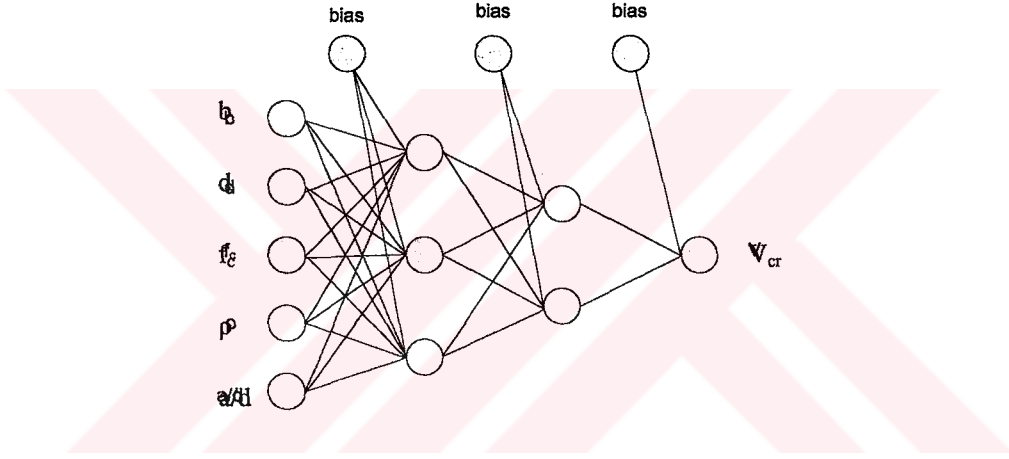
ve 2 işlem elemanlı) modelin verdiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmaların çizelge halinde özeti Ek 2a ve 2b’de gösterilmiştir.

4.1.1 Önerilen Model ve Programın Tanıtılması

Önerilen YSA modelinin mimarisi Şekil 4 1’de. girdi katmanı bilgileri ise Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Girdi Katmanı Bilgileri

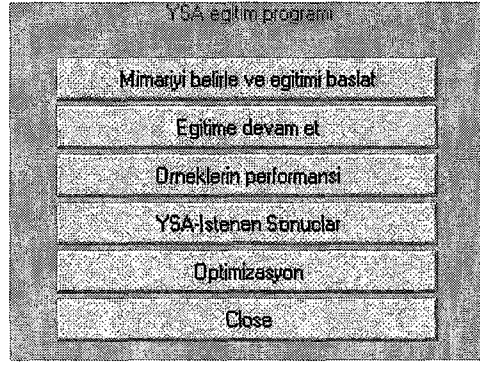
Simge	Açıklaması
b	Kiriş genişliği
d	Kiriş derinliği
f_c	Beton basınç dayanımı
ρ	Donatı oranı
a/d	Kiriş kesme açıklığı / kiriş derinliği



Şekil 4.1 YSA modelinin mimarisi.

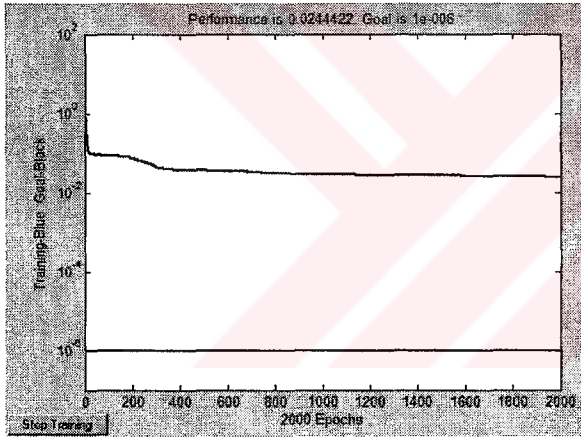
MATLAB tabanlı geliştirilen programın çalıştırılmasıyla Şekil 4.2’de gösterilen arayüz ekranda oluşturulur. Önce geliştirilecek YSA modelinin mimarisi belirlenir ve eğitim başlatılır.

Eğitim, ağırlık değerlerinin rasgele atanması ile başlatılır. Hedeflenen çıktı değerleri ile YSA modelinin sonuçları arasındaki sapmadan oluşan hatalar, ağırlık değerleri değiştirilerek azaltılır. Bu işlemin eğitim setinin tüm örneklerine uygulanması bir iterasyonu (epoch) oluşturur ve optimum ağırlık değerleri bulununcaya kadar iterasyon işlemine program içinde devam eder.

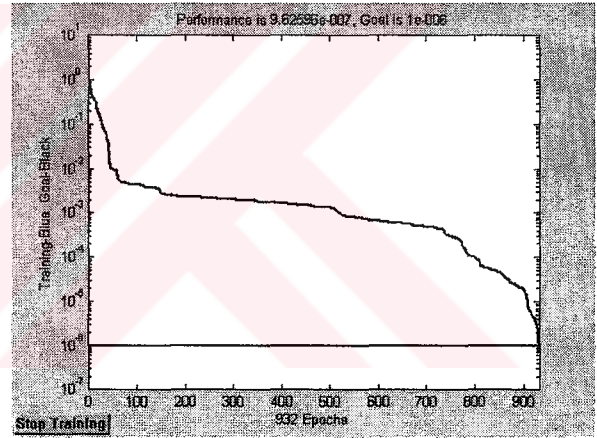


Şekil 4.2 Matlab tabanlı oluşturulan programın arayüzü

Hedeflenen çıktı ile bulunan çıktı arasındaki, hata, daha önce belirlenen hata oranına ulaştığında iterasyon durdurulur (Şekil 4.3). İlk belirlenen iterasyon sayısı sonucunda hedeflenen eşik değerine ulaşamaması halinde “eğitime devam et” tuşuna basılarak istenen hedef yakalanıncaya kadar eğitime devam edilir.

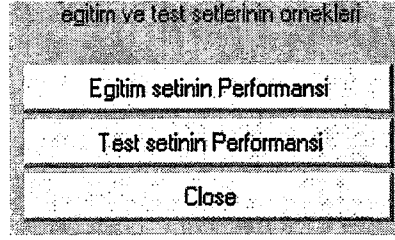


Şekil 4.3 Hata azalım performans grafiği



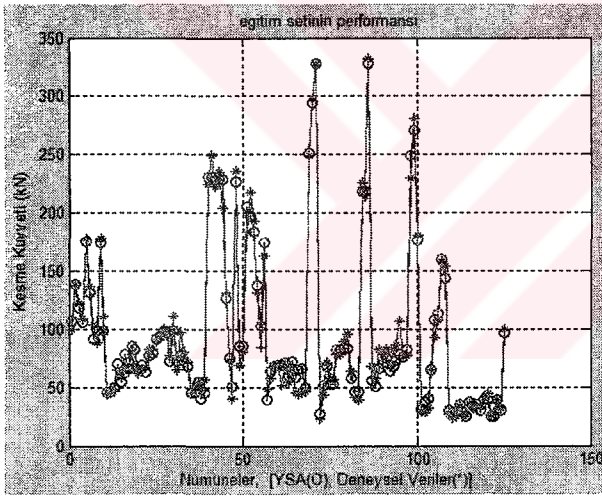
Şekil 4.4 İstenen hata hedefine ulaşılmış grafik

Yeterince eğitilen YSA artık test edilmeye hazırdır. “Örneklerin performansı” tuşuna basılarak Şekil 4.5’deki arayüz ekranda belirir. “Eğitim setinin performansı” tuşuna basıldığında eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçlar, bunlara ait ortalamalar, standart sapmalar ve varyasyon katsayıları eğitim seti için ekranda görüntülenir.

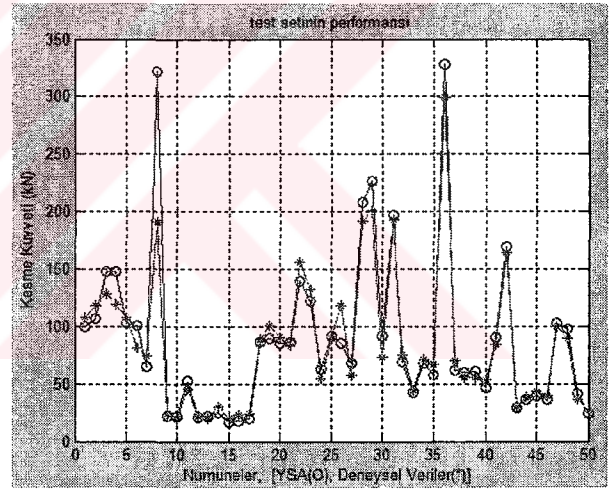


Şekil 4.5 Örneklerin performansı arayüzü

“Test setinin performansı” tuşuna basıldığında ise eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçlar, bunlara ait ortalamalar, standart sapmalar ve varyasyon katsayıları test seti için ekranda görüntülenir. Bu işlemler sonunda ayrıca eğitim seti için (Şekil 4.6) ve test seti için (Şekil 4.7) YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların grafiği her bir örnek için ayrı bir pencerede görüntülenir. Close düğmesine basılarak YSA eğitim programı arayüzüne geri dönülür



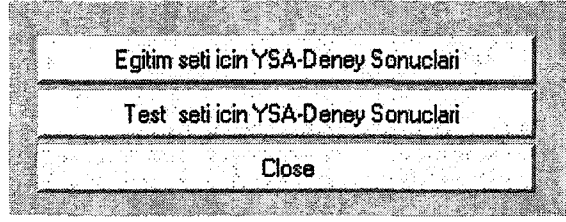
Şekil 4.6 YSA eğitim setinin performansı



Şekil 4.7 YSA test setinin performansı

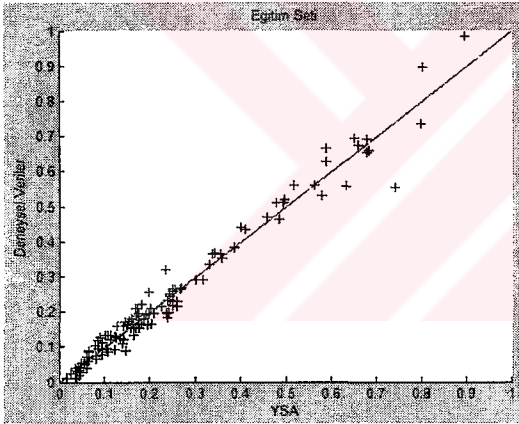
Grafiklerde dikey eksen kesme dayanımı değerlerini, yatay eksen ise örnek sayısını göstermektedir. Deney sonuçları yıldız işareti ile YSA modelinin sonuçları yuvarlak semboller ile gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi örnek sayısı eğitim setinde 125 adet (Şekil 4.6) ve test setinde ise 50 adet (Şekil 4.7) olarak seçilmiştir.

Arayüzdeki (Şekil 4.2) “YSA-İstenen Sonuçlar” düğmesine basılarak Şekil 4.8’deki arayüz ekrana gelir.

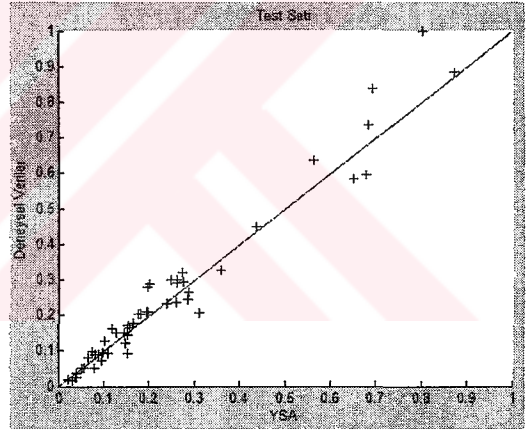


Şekil 4.8 YSA istenen sonuçlar arayüzü

“Eğitim seti için YSA-Deney sonuçları” düğmesine basıldığında eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların $x=y$ doğrusu üzerindeki dağılımları eğitim seti için (Şekil 4.9), “Test seti için YSA-Deney sonuçları” düğmesine basıldığında ise eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların $x=y$ doğrusu üzerindeki dağılımları test seti için (Şekil 4.10) grafikler halinde çizdirilir. YSA modelinin sonuçları ile deneysel bulgu değerlerinin $x=y$ doğrusundaki dağılımları YSA modelinin problemi öğrenme performansının hangi aralıkta olduğunu gösterir.



Şekil 4.9 YSA-istenen sonuçların eğitim seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi



Şekil 4.10 YSA-istenen sonuçların test seti için $x=y$ grafiği üzerinde gösterimi

Yukarıda anlatılan çalışmalar teker teker yapılmış, ayrıca daha homojen veriler elde etmek ve daha anlamlı sonuçlar çıkarmak için veri tabanı parçalara bölünmüştür. YSA modelinin sonuçları yönetmeliklerle karşılaştırmadan önce Çizelge 4.4’de YSA’nın eğitim ve test sonuçlarının istatistiksel değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 YSA'nın kesme dayanımı için eğitim ve test seti istatistiksel sonuçları

	YSA Eğitim Seti			YSA Test Seti		
	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon katsayısı	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon katsayısı
Tüm veriler	0.99	0.12	11.83	1.02	0.14	14.04
$d \geq 900$ (mm)	1.00	0.01	1.48	1.01	0.11	11.17
$d \leq 100$	1.00	0.02	2.44	1.00	0.09	9.30
$\rho \leq \% 1$	1.00	0.02	2.44	1.00	0.09	9.30
$f_c > 50$	1.00	0.14	13.78	1.02	0.17	16.69
$f_c \leq 50$	0.99	0.10	9.73	1.01	0.15	15.11
$\rho > \% 2$ ve $f_c > 50$	1.00	0.10	9.51	1.00	0.15	15.09
$\rho > \% 2$ ve $f_c \leq 50$	1.00	0.08	8.28	1.00	0.09	9.31
$\rho < \% 2$ ve $f_c \leq 50$	1.00	0.02	2.02	1.03	0.13	12.94
$1 \leq \% \rho$ ve $f_c \leq 68,95$	1.01	0.11	11.00	1.00	0.14	14.24

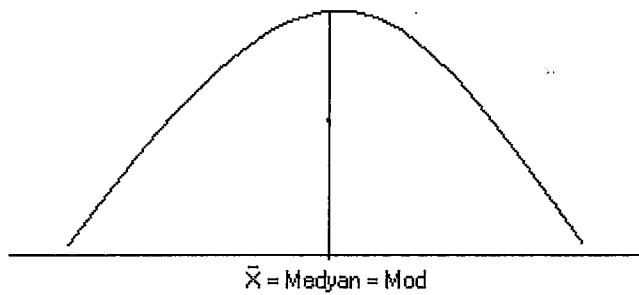
5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Kesme donatısız betonarme kirişler ile deney analiz sonuçlarını doğru yorumlayabilmek için istatistiksel bir çalışma yapmak gereklidir. Bu bölümde kullanılacak istatistiksel operatörlerin teorik tanımlaması yapılacaktır.

- Aritmetik Ortalama ($\bar{X}$) Serideki gözlem değerleri toplamının, toplam gözlem sayısına oranı şeklinde hesaplanır. Basit seride

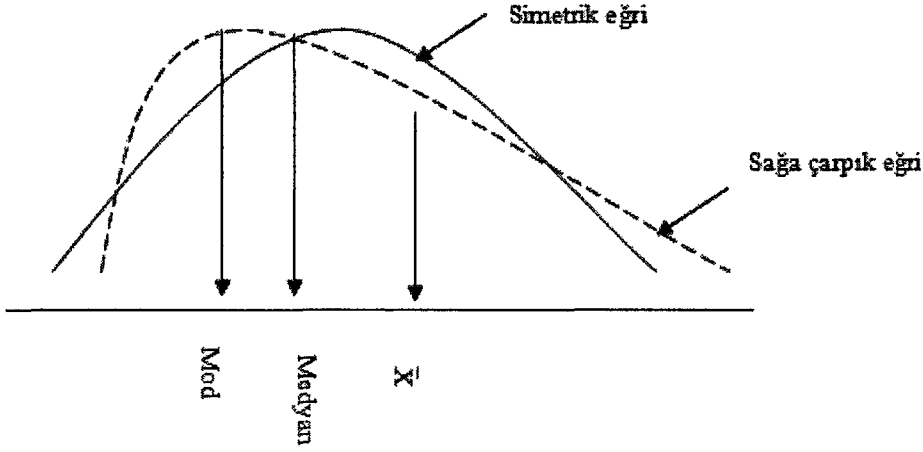
$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (5.1)$$

- Medyan (Ortanca), serideki değerler küçükten büyüğe sıralandığında tam ortaya düşen ve seriyi iki eşit parçaya bölen değere medyan adı verilir.
- Mod, bir seride en çok tekrarlanan değere mod adı verilir. Diğer bir deyişle mod sürekli bir rasgele değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunun maksimumdan geçtiği noktanın absisidir
- Mod, Medyan ve Aritmetik Ortalama Arasındaki İlişkiler; Simetrik bir dağılımda $\mu_x = M_x = \text{mod}_x$ olur. Pozitif çarpık dağılımlarda $\text{mod}_x < M_x < \mu_x$ negatif dağılımlarda ise $\mu_x < M_x < \text{mod}_x$ olur. Aşağıdaki Şekil 4.1, 4.2, 4.3’de grafiksel olarak gösterilmiştir.
- Simetrik ortalama her üç ortalama birbirine eşit olur. $\bar{X} = \text{Medyan} = \text{Mod}$



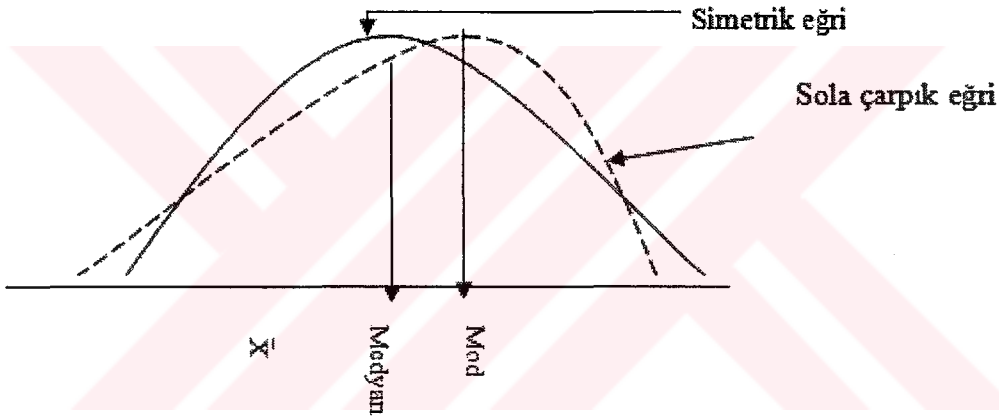
Şekil 5.1 Simetrik dağılım

- Sağa çarpık serilerde $\bar{X} > \text{Medyan} > \text{Mod}$ olur.



Şekil 5.2 Sağa çarpık dağılım

- Sola çarpık seride $\bar{X} < \text{Medyan} < \text{Mod}$ olur.



Şekil 5.3 Sola çarpık dağılım

- Standart Sapma: deney sonuçlarının ortalama çevresinde dağılımının büyüklüğünü gösterir. Yani, sapmalar serisinin (aritmetik ortalama dan sapmalar) kareli ortalamasıdır. Standart sapmanın karesine varyans adı verilir. Standart sapma için aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

$$Var(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.2)$$

$$s_x = \sqrt{Var(x)} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (5.3)$$

- Varyasyon katsayısı: iki farklı seride ortalamalar farklı ise sadece standart sapmaları karşılaştırmak anlamlı olmaz. Karşılaştırmada boyutsuz bir büyüklük kullanmak daha

uygun olur. Değişim (varyasyon) katsayısı, standart sapmanın ortalamaya oranı olarak tanımlanır:

$$C_{vx} = s_x / \bar{x} \quad (5.4)$$

- Çarpıklık katsayısı: Çarpıklık katsayısının 0 olması dağılımın simetrik, pozitif olması sağa, negatif olması sola doğru çarpık, yani bu yönlerle doğru uzanan bir kuyruğu olduğunu gösterir.

$$C_{sx} = \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 / N \right] / s_x^3 \quad (5.5)$$

- Kovaryans, X ve Y gibi iki rasgele değişkenin merkezsiz çarpım momentine denir.

$$Cov(X, Y) = E[(X - \mu_x) \times (Y - \mu_y)] \quad (5.6)$$

- Korelasyon katsayısı, Kovaryansın boyutu X ve Y değişkenlerinin boyutlarının çarpımı gibi olduğundan boyutsuz bir katsayı elde etmek için kovaryans X ve Y'nin standart sapmalarının çarpımına bölünmesiyle tanımlanır. Bu katsayının değeri -1 ile 1 arasında değişebilir. Mutlak değerinin 1 e yaklaşması, X ile Y arasındaki doğrusal bağımlılığın kuvvetlenmesini ifade eder. X ile Y'nin bağımsız olması halinde ise kovaryansın 0'a eşit olduğu kolayca gösterilebilir. Kovaryansın negatif değer alması da rasgele değişkenlerin bağımlı olduğunu gösterir, ancak bu durumda değişkenlerden biri artarken diğeri azalmaktadır. Korelasyon katsayısının mutlak değerinin 1 e eşit olması X ile Y arasında $y=a+bx$ şeklinde doğrusal fonksiyonel bir bağımlılık olduğunu gösterir. Bağımlılığın fonksiyonel (deterministik) olmakla birlikte doğrusal olmaması hâlinde ise korelasyon katsayısı 1 e eşit olmayabilir. Buna göre kovaryans (ya da korelasyon katsayısı) iki rasgele değişken arasındaki doğrusal bağımlılığın bir ölçüsüdür (Bayazıt ve Oğuz 1994).

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{N \times s_x \times s_y} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \times y_i - N \times \bar{x} \times \bar{y}}{N \times s_x \times s_y} \quad (5.7)$$

Eğer dışarıdan iki bağımsız değişken arasında, olması istenen bir bağıntı belirtilirse R^2 'nin alacağı değerde değişir. Örneğin X ve Y değişkenlerinin aralarında $x=y$ doğrusu üzerindeki ilişki irdelenmek isteniyorsa N veri sayısını göstermek üzere aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$r^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (5.8)$$

$$SSE = \sum (X - Y)^2 \quad (5.9)$$

$$SST = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N} \quad (5.10)$$

5.1 Regresyon Analizi

Mühendislik problemlerinin çoğunda iki ya da daha çok sayıda rasgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki bulunduğunu görürüz. İki değişken arasında bir ilişki bulunabileceği gibi, iki değişkenin başka bir değişkeni birlikte etkilemeleri de mümkündür. Burada olduğu gibi, kesme donatısız kirişlerin kesme dayanımını etkileyen parametrelere daha önce değinilmişti.

Ancak söz konusu ilişkiler deterministik (fonksiyonel) nitelikte değildir. Yine de değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bağıntının varlığının ortaya çıkarılması ve biçiminin belirlenmesi uygulamada büyük önem taşır. Bu bağıntıyı kullanarak bir değişkenin alacağı değeri diğer değişkenlerin bilinen değerlerine bağlı olarak belirlemek mümkün olur. Bu sonuç söz konusu değişkenin alacağı gerçek değeri tam ve kesin olarak vermemekle birlikte bu değere yakın istatistiksel en iyi tahmin olur. Tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden olan farklarının (hata) da belli bir olasılıkla hangi sınırlar içinde kalacağı söylenebilir. Bu tipten bir bağıntıyı gösteren matematik ifadeye regresyon denklemi denir. Regresyon analizinin amacı göz önüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır (Bayazıt ve Oğuz 1994).

Regresyon analizine başlarken aralarında bir ilişki aranacak olan iki (ya da daha fazla sayıda) değişkenin hangileri olduğuna karar vermek, sonra da bu değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren denklemin biçimi için bir kabul yapmak gerekir. Buna göre regresyon analizi şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Basit doğrusal regresyon analizi: En çok kullanılan bu en basit analizde iki değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.
- Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi: İkidenden daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.
- Doğrusal olmayan (nonlinear) regresyon analizi: Burada iki ya da daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal olmayan ve biçimi önceden seçilen bir denklemle ifade edilen

bir ilişkinin varlığı kabul edilir.

Basit doğrusal regresyon analizi; Y'nin X'e göre regresyon doğrusunun denklemi olan:

$$y = a + bx \quad (5.11)$$

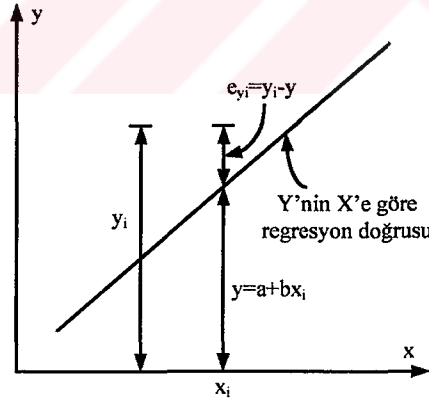
ifadesindeki a ve b regresyon katsayılarını hesaplamak için gözlenmiş (x_i, y_i) noktalarının regresyon doğrusuna düşey (y doğrultusundaki) uzaklıklarının (e_{yi}) karelerinin toplamı minimum yapılır (Şekil 5.4):

$$\min \sum_{i=1}^N e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i)^2 \quad (5.12)$$

e_{yi}^2 için (5.12) bağıntısındaki ifadeyi kullanarak a ve b katsayılarının diferansiyel denklemleri çözülürse regresyon katsayıları için şu ifadeler varılır:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \frac{s_Y}{s_X} \times r_{X,Y} \quad (5.13)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (5.14)$$



Şekil 5.4 Regresyon doğrusu gözlem noktalarının düşey uzaklıklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde geçirilmesi

Elde edilen doğru denkleminin katsayılarının (5.13) bağıntısı ile verilen ifadeler olduğu görülmektedir. Buna göre gözlenen noktaların regresyon doğrusuna düşey uzaklıklarının toplamını minimum yapacak şekilde geçirilen doğru aynı zamanda X in verilen bir değeri için Y nin beklenen değerini veren regresyon doğrusu olmaktadır. Bu uzaklıkların X'in her değerinde aynı olduğu kabul edilen varyansı için de şu ifade elde edilir.

$$s_{ey}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N e_{yi}^2}{N-2} = \frac{N-1}{N-2} \times (1 - r_{x,y}^2) \times s_y^2 \equiv (1 - r_{x,y}^2) \times s_y^2 \quad (5.15)$$

Bağıntı (5.15)'ten görüldüğü gibi Y bağımlı değişkeninin varyansı olan s_y^2 , regresyon doğrusu geçirildikten sonra gözlem noktalarının bu doğrunun çevresindeki dağılımında azalarak $(1 - r_{x,y}^2) s_y^2$ değerine inmektedir. Buna göre $r_{x,y}^2$ (determinasyon katsayısı), Y'nin varyansının regresyon doğrusu ile açıklanabilen yüzdesini gösterir. $r_{x,y}$ korelasyon katsayısı 1'e ne kadar yakınsa açıklanabilen varyans yüzdesi o kadar büyük olur ve Y için regresyon doğrusunu kullanarak yapılacak tahminlerdeki hata da o kadar azalmış olur. Bağıntı (5.15) ile hesaplanan s_{ey}^2 ise Y değişkeninde X in dışındaki diğer etkenlerden kaynaklanan değişime bağlı olan varyansı göstermektedir.

Verilen bir $X = x_0$ değeri için regresyon denklemiyle hesaplanan değerin Y'nin beklenen değeri olduğu gösterilmişti. Verilen bir x_0 değeri için regresyon denklemi ile tahmin edilen Y'nin varyansı:

$$Var(Y) = s_{ey}^2 \times \left[\frac{N+1}{N} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{N \times s_x^2} \right] \quad (5.16)$$

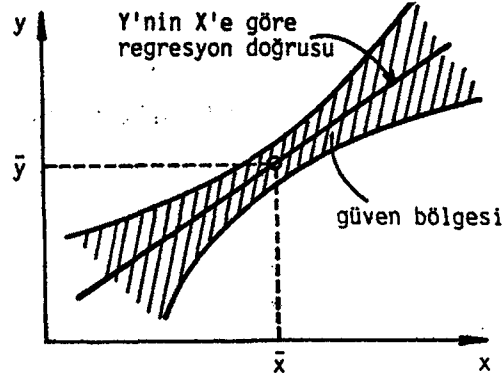
Varyansın kareköküne ise Y'nin tahminindeki standart hata denir. Standart hatanın s_{ey}^2 ile arttığı görülmektedir, buna göre korelasyon katsayısının azalması ile standart hata artar. Standart hata N ile ters orantılıdır.

Belli bir güven düzeyinde Y için yapılacak tahminlerin güven bölgesi Şekil 5.5'de şematik olarak gösterildiği üzere x değerinden uzaklaştıkça genişler. Bu nedenle regresyon denklemi ile bağımsız değişkenin ortalamadan çok uzak (çok büyük veya çok küçük) değerlerine karşı gelen bağımlı değişken değerlerini tahmin etmek güvenilir sonuç vermez. Regresyon denklemini ancak X in gözlenmiş değerlerinin değişim bölgesi içinde kullanmak uygun olur.

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi; bağımlı bir değişkene karşı iki veya daha fazla bağımsız değişken varsa ve bunlar arasındaki ilişki doğrusal ise;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i \quad (5.17)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu modele “çoklu doğrusal regresyon” adı verilir.



Şekil 5.5 Regresyon denklemiyle yapılan tahminler için belli bir güven düzeyindeki güven bölgesi (Bayazıt ve Oğuz 1994).

Ölçüm yapılan bağımsız değişkenle, bağımlı değişken arasındaki ilişki, değişken sayısı arttıkça daha iyi izah edilir duruma gelir. Ancak, değişken sayısının artırılması ek ölçümleri gerektirdiğinden zahmetli ve masraflı bir iştir. Bu nedenle toplam varyansı en az sayıda değişkenle açıklamak esas amaçtır. Modele eklenmesi ile, bağımlı değişkenin varyasyonunu açıklamada önemli artış sağlayan değişkenleri belirlemek veya seçmek için değişik yöntemler vardır. Değişken seçimi üç veya daha fazla bağımsız değişken olduğu durumlarda önem kazanmaktadır. Değişken seçiminde sıkça kullanılan yöntemler;

- Mümkün Olan Tüm Regresyonlar (All Possible Regressions)
- Değişken Ekleme İşlemi (Forward Selection)
- Değişken Eleme İşlemi (Backward Selection)
- Değişken Ekleme Ve Eleme İşlemi (Stepwise Selection)

5.1.1 Mümkün Olan Tüm Regresyonlar (All Possible Regressions)

Burada amaç, en iyi alt regresyon setini bulmaktır. Yani Y 'yi (bağımlı değişkeni) ifade edebilecek en az sayıda bağımsız X değişkeni belirlenecektir. Mümkün olan tüm regresyonlar yönteminde, ilk olarak değişkenlerin tekli, sonra ikili kombinasyonları, sonra üçlü kombinasyonları, ve n 'inci kombinasyonlarını içeren modeller (regresyon setleri) göz önüne alınır. Öncelikle bir ön eleme yapılarak, bunlar arasında, R^2 , determinasyon katsayısı en yüksek olan regresyon setleri seçilir. Daha sonra bu setlerdeki değişkenlerin her birinin sırası ile modelde olmaması durumunda (hata kareler toplamı kullanılarak), modele katkısının önemli olup olmadığı kontrol edilir. Modele katkısı önemli olmayan değişkenler modelden atılır ve en iyi regresyon seti bulunana kadar işleme devam edilir. Bu amaçla kullanılan test

istatistiği,

$$F_c = \frac{R_p^2 - R_{p-1}^2}{\frac{1 - R_p^2}{n - p - 1}} \approx F_{1, n-p-1, \alpha} \quad (5.18)$$

şeklindedir. Burada,

R_p^2 = Eşitlikte p tane terim olduğunda elde edilen (tüm modele ait) determinasyon katsayısını,

R_{p-1}^2 = Eşitlikten terim atıldıktan sonra elde edilen (indirgenmiş modelin) determinasyon katsayısını,

$F_{1, n-p-1, \alpha}$ = Tüm regresyonun F cetvel değerini

$n - p - 1$ = Tüm regresyonun hata serbestlik derecesini ifade eder.

R_p^2 değeri R_o^2 değerinden yüksek olan setler önemli setlerdir.

$$R_o^2 = 1 - (1 - R_t^2) \times \left(1 + \frac{t \times f_{t(n-p-1)}}{n - p - 1} \right) \quad (5.19)$$

F_c hesap değeri, F cetvel değerinden küçük ise değişkenin modelde kalmasının modele fazla bir katkı sağlamayacağına karar verilir ve model dışı bırakılır.

5.1.2 Değişken Ekleme İşlemi (Forward Selection)

En iyi tek değişkenli model ile başlanarak her seferinde en yüksek katkıyı sağlayacak değişken ilave edilerek uygulanan bir yöntemdir. Yani bir değişken ilavesi ile, regresyonun hata kareler toplamında meydana gelen küçülmenin önemli olup olmadığına bakılır. İşlem eklenen değişkenin katsayısının önemsiz olması durumunda sona erdirilir. Test istatistiği,

$$F_i = \text{Max}_i \times \left[\frac{HKT_p - HKT_{p-1}}{\sigma_{p-1}^2} \right] \quad (5.20)$$

HKT_p = Değişken eklenmesi durumunda oluşan regresyon setinin hata kareler toplamını,

HKT_{p-1} = Değişken ilave edilmeden önceki regresyon setine ait hata kareler toplamını,

σ_{p-1}^2 = Değişken ilave edilmeden önceki regresyon setine ait varyansı ifade eder.

5.1.3 Değişken Ekleme ve Eleme İşlemi (Stepwise Selection)

Başta model içine tüm değişkenler dahil edilir. Daha sonraki kademelerde her defasında bir tane olmak üzere en düşük kısmi F değerine sahip olan bağımsız değişken atılmak sureti ile işleme devam edilir. Atılan değişkenin katkısı her defasında test edilir. Atılan değişkenin katkısı istatistiki olarak önemli ise atma işlemi gerçekleştirilmez ve işlem durdurulur. Test istatistiği,

$$F_i = Min_i \times \left[\frac{HKT_{p-1} - HKT_p}{\sigma_p^2} \right] \quad (5.21)$$

5.1.4 Değişken Eleme İşlemi (Backward Selection)

Esas itibari ile değişken ekleme yöntemine benzemektedir. Ancak bir değişken modele alındıktan sonra eleme yöntemine benzer şekilde modeldeki tüm değişkenlerin durumu yeniden incelenir. Bu yönüyle eleme yöntemine benzemektedir. Bu yöntemde işlem, herhangi bir değişken ilave edilemez veya atılamaz hale geldiğinde durdurulur. Yöntemin iyi tarafı daha önce modele girmiş bir değişkenin daha sonra modele girecek değişkenlerle olan ilişkilerine bağlı olarak atılabilir hale gelebilmesidir.

6. SAYISAL UYGULAMA

Burada Bölüm 4.2.1.1’de anlatılan mümkün olan tüm regresyonlar analizi yapılmıştır. Çizelge 6.1’de tüm alt regresyonlara ait korelasyon, determinasyon, uydurulmuş korelasyon katsayıları ile beraber standart sapmaları da verilmiştir.

Çizelge 6.1 Tüm alt regresyonlara ait R , R^2 , $\bar{R}^2$, S_x

Modeldeki değişken	R	R^2	$\bar{R}^2$	S_x
b	0.808	0.652	0.650	40.215
d	0.814	0.663	0.661	39.567
f_c	0.198	0.039	0.034	66.824
ρ	0.076	0.006	0.001	67.977
a/d	0.078	0.006	0.001	67.968
b. d	0.901	0.812	0.810	29.671
b. f_c	0.825	0.681	0.678	38.582
b. ρ	0.825	0.680	0.677	38.663
b. a/d	0.816	0.665	0.662	39.536
d. f_c	0.835	0.697	0.694	37.610
d. ρ	0.846	0.715	0.712	36.474
d. a/d	0.816	0.666	0.663	39.487
f_c . ρ	0.200	0.040	0.030	66.980
f_c . a/d	0.202	0.041	0.031	66.944
ρ . a/d	0.118	0.014	0.003	67.882
b. d. f_c	0.917	0.842	0.839	27.272
b. d. ρ	0.929	0.863	0.861	25.333
b. d. a/d	0.905	0.819	0.816	29.140
b. f_c . ρ	0.835	0.697	0.692	37.727
ub. f_c . a/d	0.830	0.688	0.683	38.261
b. ρ . a/d	0.837	0.700	0.695	37.542
d. f_c . ρ	0.855	0.731	0.727	35.539
d. f_c . a/d	0.835	0.698	0.693	37.685
d. ρ . a/d	0.850	0.723	0.718	36.082
f_c . ρ . a/d	0.205	0.042	0.027	67.085
b. d. f_c . ρ	0.936	0.876	0.874	24.155
b. d. f_c . a/d	0.919	0.845	0.841	27.094
d. f_c . ρ . a/d	0.857	0.734	0.729	35.412
b. f_c . ρ . a/d	0.842	0.709	0.703	37.038
b. d. ρ . a/d	0.937	0.877	0.875	24.056
b. d. f_c . ρ . a/d	0.941	0.885	0.882	23.355

Çizelge 6.1’de giriş genişliği (b), etkili derinlik (d), beton basınç dayanımı (f_c), boyuna donatı oranı (ρ), ve a/d oranı için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmış, bu beş değişkenin beraber

oluşturabilecekleri her türlü varyasyon için de bu analiz gerçekleştirilmiştir. İlk beş satır incelendiğinde eğik çatlama dayanımı üzerinde beş değişkeninde tek başlarına etkin ve baskın bir etkisi oluşmamaktadır. Burada amaç en az bağımsız değişkenle en iyi alt regresyon setini bulmaktır.

İkili değişkenler incelendiğinde ise b ve d'nin oluşturduğu grubun diğer oluşturulan gruplara nazaran daha etkili bir bağ ile sonucu etkilemektedir. Üçlü değişkenler incelendiğinde bu gruba ρ 'da eklenmektedir. Bu problem için bağımsız değişken sayısı arttıkça eğik çatlama dayanımı ile olan bağın kuvvetlendiği görülür (Çizelge 6.1). Beş değişken dikkate alındığında $0.885 R^2$ ve 23.36 standart sapma ile en iyi sonucu vermektedir. Bundan sonra F testi yapılmıştır. Yani değişkenlerin birer birer atılması sonucu oluşan etkileşim incelenmiş, ve hiçbir değişkenin dışarı atılamayacağı görülmüştür

Çizelge 6.2 Tanımlayıcı istatistik

	Ortalama	Standart Sapma	Adet
V_{cr}	84.2739	67.99860	193
b	179.3161	82.75485	193
d	326.2306	229.63331	193
f_c	51.6672	22.18201	193
ρ	2.1493	1.15232	193
a/d	3.4483	0.84749	193

Ayrıca bir istatistik programı ile de problem çözülmüş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.3 Giren/Çıkan değişkenler

Model	Giren Değişkenler	Çıkartılan Değişkenler	Metot
1	a/d, d, f_c , ρ , b, (a)		Ekleme

a Giren bütün değişkenler. b Bağımsız değişken: V

Çizelge 6.2 tüm tanımlayıcı istatistik değerleri çizelge halinde gösterilmiştir. Çizelge 6.3 paket programın F testi sonucu gösterilmiştir. Hiçbir bağımsız değişken atılamamıştır. Buna bağlı olarak Çizelge 6.4'de gerekli istatistiksel değerler program tarafından verilmiştir.

Çizelge 6.4 Model özeti

Model	R	R ²	Uydurulmuş R	Hesaplamanın standart hatası
1	0.941(a)	0.885	0.882	23.35543

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi; bağımlı bir değişkene karşı iki veya daha fazla bağımsız değişken için Bağıntı (5.17) ile tanımlanmıştır. Çizelge 6.5’da buna bağlı olarak sabit katsayı ve bütün bağımsız değişkenler için en uygun katsayılar ve standart hataları gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 Katsayılar

Model	Standart olmayan katsayılar	
	B	Standart hata
(Sabit)	-56.883	9.512
b	0.409	0.026
d	0.160	0.009
f _c	0.289	0.082
ρ	12.850	1.582
a/d	-7.807	2.080

a Bağımsız değişken: V

Ayrıca Çizelge 6.6’da tüm alt regresyonlara ait sabit katsayılar elle hesaplanmıştır. Paket programı çıktısı ile yapılan analiz sonuçlarının aynı olduğu görülmektedir. Regresyon analizi 193 giriş verisi için yapılmış bulunan bu katsayılar ile elde edilen V değerleri Ek 3’de gösterilmiştir. Sonuçların anlamsız çıktığı giriş değerleri atılarak tekrar yapılan regresyon analizi ile ilki arasında dikkate alınmayacak düzeyde bir fark vardır.

Çizelge 6.6 Tüm modele ve alt regresyonlara ait katsayı tahminleri

Modeldeki değişkenler	β_0	b	d	f_c	ρ	a/d
b	-34.705	0.664				
d	5.605		0.241			
f_c	52.878			0.608		
ρ	74.592				4.505	
a/d	105.908					-6.274
b. d	-37.330	0.404	0.151			
b. f_c	-61.014	0.659		0.526		
b. ρ	-58.839	0.679			9.941	
b. a/d	-3.414	0.668				-9.304
d. f_c	-23.350		0.240	0.566		
d. ρ	-27.915		0.254		13.698	
d. a/d	21.223		0.241			-4.486
f_c . ρ	50.847			0.587	1.431	
f_c . a/d	65.371			0.583		-3.254
ρ . a/d	97.992				5.224	-7.234
b. d. f_c	-63.964	0.398	0.151	0.532		
b. d. ρ	-70.703	0.403	0.163		13.656	
b. d. a/d	-13.624	0.411	0.148			-7.037
b. f_c . ρ	-74.204	0.672		0.415	7.712	
b. f_c . a/d	-35.446	0.663		0.473		-6.828
b. ρ . a/d	-23.285	0.686			11.137	-11.435
d. f_c . ρ	-43.089		0.251	0.402	11.499	
d. f_c . a/d	-17.078		0.240	0.554		-1.622
d. ρ . a/d	-5.121		0.254		14.395	-7.038
f_c . ρ . a/d	64.586			0.551	2.000	-3.789
b. d. f_c . ρ	-84.109	0.400	0.162	0.365	11.658	
b. d. f_c . a/d	-47.410	0.403	0.150	0.498		-4.412
d. f_c . ρ . a/d	-25.716		0.251	0.355	12.232	-4.818
b. f_c . ρ . a/d	-41.618	0.679		0.322	9.190	-9.377
b. d. ρ . a/d	-40.556	0.413	0.161		14.611	-9.640
b. d. f_c . ρ . a/d	-56.883	0.409	0.160	0.289	12.850	-7.807

Çizelge 6.7 172 kirişinin V_{test}/V_{reg} sonuç istatistiği

Ortalama	0,95
Ortanca	0,93
Standart Sapma	0,18
Basıklık	1,02
Çarpıklık	0,58
En Büyük	1,63
En Küçük	0,49
Adet	172

Çizelge 6.7’de Bazant ve Kazami’nin yapmış olduğu 18 ve Kulkarni ve Shah’ın 3 kiriş seti çıkartıldığında toplam 172 test datası için V_{test}/V_{reg} değerlerinin istatistiksel sonuçları

gösterilmiştir. Regresyon sonucu bulunan değerler Çizelge 6.9’da tanımlanan az güvenli bölgesinde kalmaktadır. Fakat tüm datalar için sonuçlara bakıldığında 0.29 ortalama ve 0.8 standart sapma ile anlamsız bir sonuç vermektedir.

6.1 Kodların Karşılaştırılması

Bu bölümde kesme donatısız betonarme kirişlerin kesme kapasitelerinin tahmininde kullanılan yönetmeliklerin öngördüğü bağıntılar sonucu bulunan değerler ile laboratuvar ortamında gerçek test değerlerinin karşılaştırılması yapılacaktır. Literatürden toplanan 193 kiriş deneyinin verileri Ek 3’te sunulmuştur. Bu aşamada yönetmeliklerin öngördüğü değerleri ayrı ayrı yorumlamak ve birbirleri ile kıyaslamak gereklidir.

Çizelge 6.8 Tüm veriler için yönetmeliklerin karşılaştırılması

	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA (Test)
Ortalama	0.95	1.19	1.27	1.39	1.01	1.02
Standart Sapma	0.17	0.34	0.40	0.44	0.27	0.14
Varyasyon Katsayısı	17.60	28.13	31.45	31.45	27.09	14.04
Ortanca	0.93	1.19	1.25	1.38	0.99	1.02
Standart Hata	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
Basıklık	0.43	-0.11	0.05	0.05	-0.57	-0.08
Çarpıklık	0.44	0.14	0.37	0.37	0.39	0.02
En Küçük	0.57	0.37	0.36	0.40	0.53	0.70
En Büyük	1.48	2.07	2.42	2.66	1.81	1.34

Çizelge 6.8’den Eurocode-2 yönetmeliği, ortalaması 0.95 ve standart sapması 0.17 ile en az güvenli yönetmelik olarak görülmektedir. TS 500-2000 bağıntısı ACI 11-3 bağıntısından çıkartılmış ve çok daha güvenli bölgededir. Çizelgede aynı zamanda önerilen YSA modelinin test setine ait sonuçları da sunulmuştur.

Çizelge 6.9’da laboratuvar sonuçları bulunan ve yönetmelik bağıntılarının sonuçları ile YSA modelinin ürettiği sonucu bulunan eğik çatlama dayanımlarının birbirine bölünmesiyle elde edilen değerlerin güven aralığını belli edecek, yazar tarafından yapılan kabul aralıkları gösterilmiştir.

Yönetmelikler karşılaştırılırken ayrıca özel durumlar içinde bir inceleme yapılmıştır. Bu durumlar için yönetmeliklerin davranışını incelemek, yönetmeliklerin hangi sınırlar içinde güvenli veya güvensiz olduğunu gösterecektir. Seçilen aralıklar için istatistiksel değerler verilmiştir (Çizelge 6.10-6.18). Her durumun ayrıntılı istatistiksel verileri ayrıca Ek 1’de

sunulmuştur.

Çizelge 6.9 Güven sınırları çizelgesi

V_{test}/V_{tahm}	Sınıflandırma
< 0,50	çok tehlikeli
0,50 - 0,67	tehlikeli
0,67 - 0,85	güvensiz
0,85 - 1,00	az güvenli
1,00 - 1,30	emniyetli
1,30 - 1,50	çok emniyetli
1,50 - 2,00	çok fazla emniyetli
2,00 - 2,50	aşırı emniyetli

Çizelge 6.10 Faydalı yükseklik $d \geq 900$ (mm) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$d \geq 900$ (mm)	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.81	0.71	0.74	0.81	1.08	1.00	1.01
Ortanca	0.86	0.74	0.75	0.83	1.13	1.00	1.05
Standart Sapma	0.15	0.21	0.24	0.26	0.34	0.01	0.11
Varyasyon katsayısı	17.91	29.93	32.70	32.70	31.87	1.48	11.17
Basıklık	-1.02	-1.24	-1.12	-1.12	-1.18	5.23	-1.68
Çarpıklık	-0.54	-0.27	-0.08	-0.08	-0.28	1.37	-0.61
En Küçük	0.57	0.37	0.36	0.40	0.57	0.97	0.85
En Büyük	1.03	1.01	1.13	1.24	1.61	1.04	1.13
Adet	18	18	18	18	18	12	6

Bu çizelgelerde (Çizelge 6.10-6.18) açıkça görülüyor ki; YSA her şartta problemi çok iyi öğrenmiş ve test seti ile de bunu doğrulamıştır. Sadece eğitim setlerine bakıldığında ortalamanın tam olarak hedeflenen değerde olduğunu standart sapmalarının 1 ile 11 civarında değiştiği görülmektedir. Bu, YSA'nın çok iyi eğitildiğini gösterir. Eğitim setinin artırılması ile birlikte standart sapma ve varyasyon katsayısı azalacaktır. Test setleri incelendiğinde ortalamanın % 2 kadar güvende kalacak şekilde arttığını ve standart sapmanın 9 ile 17 aralığında değiştiği görülmektedir.

Bütün değerler ayrı ayrı incelendiğinde YSA'nın problemi çok iyi öğrendiği ve YSA modelinin ürettiği sonuçlar yönetmeliklerle karşılaştırıldığında YSA modelinin bu problem için en uygun aralıkta sonuçlar ürettiği söylenebilir.

Çizelge 6.11 Faydalı yükseklik $d \leq 100$ (mm) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$d \leq 100$	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS 500	CEB-FIB
Ortalama	1.18	1.52	1.58	1.74	1.36
Ortanca	1.17	1.51	1.57	1.72	1.34
Standart Sapma	0.12	0.16	0.17	0.19	0.14
Varyasyon katsayısı	10.59	10.63	10.65	10.65	10.47
Basıklık	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.05
Çarpıklık	-0.31	-0.31	-0.32	-0.32	-0.29
En Küçük	0.93	1.20	1.25	1.37	1.08
En Büyük	1.37	1.76	1.84	2.02	1.57
Adet	12	12	12	12	12

Faydalı yüksekliğin 100 mm'den küçük olduğu durumlarda (Çizelge 6.11), veri sayısının çok az olmasından dolayı YSA'nın problemi doğru bir şekilde tanımlayamayacaktır.

Çizelge 6.12 Donatı oranı $\rho \leq \%1$ için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$\rho \leq \%1$	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.89	0.88	0.89	0.97	1.15	1.00	1.00
Ortanca	0.90	0.88	0.90	0.99	1.20	1.00	0.99
Standart Sapma	0.16	0.24	0.25	0.27	0.31	0.02	0.09
Varyasyon katsayısı	17.40	27.16	28.13	28.13	27.11	2.44	9.30
Basıklık	-0.62	-0.54	-0.58	-0.58	-0.79	2.63	-1.10
Çarpıklık	-0.30	-0.42	-0.35	-0.35	-0.49	-0.89	0.11
En Küçük	0.57	0.37	0.36	0.40	0.57	0.93	0.85
En Büyük	1.18	1.25	1.28	1.41	1.67	1.04	1.14
Adet	37	37	37	37	37	25	12

Çizelge 6.13 Beton basınç dayanımı $f_c > 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$f_c > 50$ (MPa)	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS 500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.93	1.19	1.27	1.39	0.83	1.00	1.02
Ortanca	0.93	1.20	1.26	1.38	0.82	0.99	1.02
Standart Sapma	0.18	0.37	0.45	0.49	0.18	0.14	0.17
Varyasyon katsayısı	19.20	31.49	35.10	35.10	21.55	13.78	16.69
Basıklık	0.35	-0.16	-0.08	-0.08	-0.76	1.92	-0.12
Çarpıklık	0.43	0.13	0.35	0.35	0.39	0.41	-0.25
En Küçük	0.57	0.37	0.36	0.40	0.53	0.64	0.69
En Büyük	1.48	2.07	2.42	2.66	1.27	1.46	1.38
Adet	93	93	93	93	93	65	28

Çizelge 6.14 Beton basınç dayanımı $f_c \leq 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$f_c \leq 50$ (MPa)	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS 500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.97	1.20	1.27	1.39	1.18	0.99	1.01
Ortanca	0.95	1.19	1.24	1.37	1.18	0.99	1.03
Standart Sapma	0.15	0.30	0.35	0.39	0.24	0.10	0.15
Varyasyon katsayısı	15.91	24.81	27.79	27.79	20.11	9.73	15.11
Basıklık	0.57	-0.40	-0.10	-0.10	-0.66	1.05	0.72
Çarpıklık	0.61	0.20	0.39	0.39	0.13	-0.03	0.35
En Büyük	0.67	0.62	0.62	0.68	0.70	0.72	0.73
En Küçük	1.45	1.93	2.23	2.45	1.81	1.25	1.39
Adet	100	100	100	100	100	60	22

Çizelge 6.15 Donatı oranı $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa)	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.98	1.36	1.49	1.63	0.82	1.00	1.00
Ortanca	0.94	1.27	1.41	1.55	0.79	1.00	1.01
Standart Sapma	0.18	0.32	0.40	0.44	0.17	0.10	0.15
Varyasyon katsayısı	18.61	23.81	26.72	26.72	21.30	9.51	15.09
Basıklık	-0.07	-0.69	-0.59	-0.59	0.04	0.01	-0.50
Çarpıklık	0.62	0.27	0.41	0.41	0.76	0.05	0.24
En Küçük	0.70	0.77	0.83	0.91	0.53	0.81	0.77
En Büyük	1.48	2.07	2.42	2.66	1.27	1.21	1.31
Adet	55	55	55	55	55	39	16

Çizelge 6.16 Donatı oranı $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.99	1.37	1.52	1.67	1.13	1.00	1.00
Ortanca	0.94	1.35	1.47	1.61	1.08	1.00	1.00
Standart Sapma	0.14	0.25	0.31	0.34	0.26	0.08	0.09
Varyasyon katsayısı	14.62	18.54	20.68	20.68	23.09	8.28	9.31
Basıklık	2.72	-0.21	-0.08	-0.08	0.00	3.07	0.80
Çarpıklık	1.53	0.30	0.54	0.54	0.72	-0.02	-0.44
En Küçük	0.78	0.92	1.01	1.11	0.73	0.78	0.83
En Büyük	1.45	1.93	2.23	2.45	1.81	1.23	1.14
Adet	34	34	34	34	34	27	8

Çizelge 6.17 Donatı oranı $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.97	1.11	1.14	1.25	1.21	1.00	1.03
Ortanca	0.95	1.11	1.15	1.26	1.22	1.00	1.01
Standart Sapma	0.16	0.28	0.30	0.33	0.22	0.02	0.13
Varyasyon katsayısı	16.62	25.06	26.31	26.31	18.33	2.02	12.94
Basıklık	-0.16	-0.37	-0.46	-0.46	-0.68	5.08	-0.53
Çarpıklık	0.32	0.33	0.34	0.34	-0.18	-0.56	0.26
En Küçük	0.67	0.62	0.62	0.68	0.70	0.93	0.83
En Büyük	1.37	1.76	1.84	2.02	1.67	1.06	1.28
Adet	66	66	66	66	66	34	14

Çizelge 6.18 Donatı oranı $\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) için yönetmeliklerin karşılaştırılması

$\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa)	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA (E)	YSA (T)
Ortalama	0.95	1.23	1.33	1.46	1.01	1.01	1.00
Ortanca	0.93	1.20	1.27	1.40	0.99	1.00	0.97
Standart Sapma	0.14	0.31	0.39	0.43	0.24	0.11	0.14
Varyasyon katsayısı	14.93	25.08	29.16	29.16	23.44	11.00	14.24
Basıklık	1.36	-0.26	0.00	0.00	0.45	2.61	-0.15
Çarpıklık	0.84	0.43	0.66	0.66	0.61	0.88	0.35
En Küçük	0.67	0.62	0.63	0.69	0.56	0.77	0.74
En Büyük	1.45	1.96	2.42	2.66	1.81	1.44	1.31
Adet	112	112	112	112	112	80	32

Tüm yönetmelikler ile YSA modeli sonuçlarının, test sonuçlarını $x=y$ doğrusu üzerindeki dağılımlar çizilmiştir. Sonuçların bu doğruya yakınlıkları determinasyon katsayısı ile tanımlanabilir (Bağıntı 5.8). Bulunan sonuçlar Çizelge 6.19’da gösterilmiştir. En yakın sonuçları YSA, en kötü sonucu ise ACI 11-3 bağıntısı vermiştir.

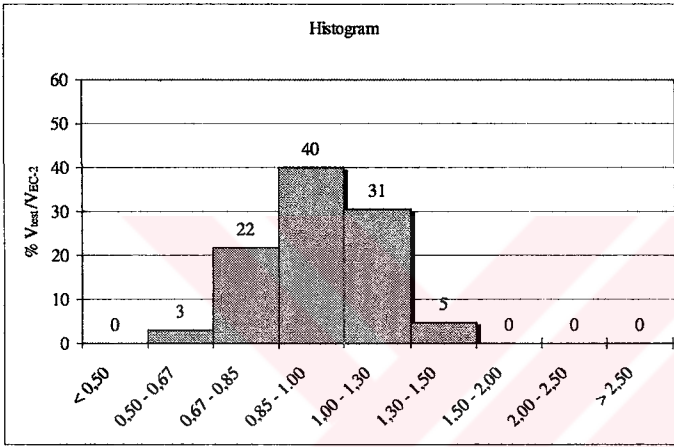
Çizelge 6.19 Determinasyon katsayıları

R^2	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi
Determinasyon katsayısı	0.89	0.75	0.73	0.74	0.78	0.94	0.84

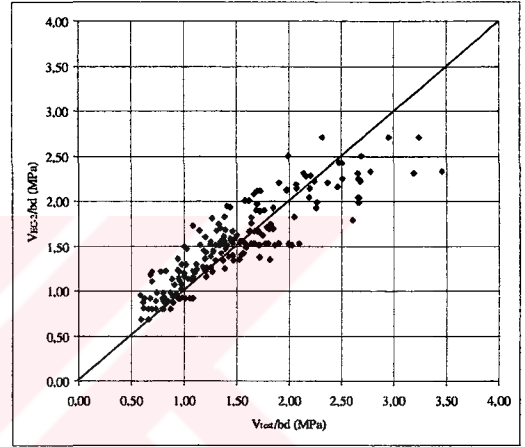
6.1.1 Eurocode 2 (Nisan 2002 son taslak) Yönetmeliği

Eurocode 2 (EC-2), 193 kiriş deneyinin sonuçlarına göre, % 71 az güvenli ve emniyetli bloğu içinde tahmin etmiştir. Genel itibari ile yönetmelikler içinde en az güvenli sonucu vermiştir. Eurocode-2 yönetmeliği beton basınç dayanımını 100 MPa ile sınırlamıştır. Bu sınırlama ile diğer yönetmeliklere göre en yüksek basınç dayanımına izin veren yönetmeliktir. Çizelge

6.13’de beton dayanımı 50 MPa üzeri olan kiriş adedi 93 olarak tespit edilmiştir. Yüksek mukavemetli beton kullanılan kirişlerin kesme dayanımı için hiçbir yönetmelik yeterli tahmine ulaşamamaktadır. V_{test} / V_{EC-2} değerlerinin ortalaması 0.93 ve 0.18 standart sapma ile az güvenli bölgede kalmaktadır. 50 MPa altında dayanıma sahip kirişler için yüksek mukavemetlilere göre daha iyi bir tahminde bulunmaktadır (Çizelge 6.14). Eurocode-2 bağıntısı hiçbir kiriş için aşırı tehlikeli bir tahmin de yapmamaktadır. Eurocode-2 bağıntısı, ebatları küçük (200 mm) elemanlar için bir katsayı ile boyut etkisini dikkate alır. Etkili derinliği büyük (900 mm) ve çok küçük (100mm) değerler için en iyi ve emniyetli tahminleri Eurocode-2 bağıntısı vermektedir.



Şekil 6.1 EC-2 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması



Şekil 6.2 EC-2 tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması

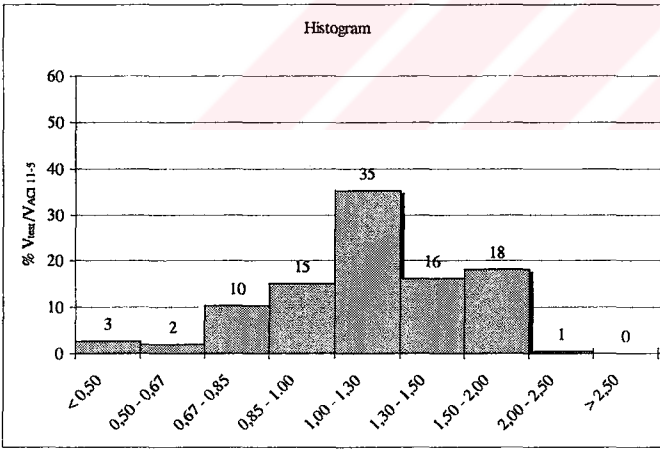
Şekil 6.1’de V_{test}/V_{EC-2} değerlerinin frekans dağılımı verilmiştir. Eurocode-2 bağıntısı sonuçlarının % 22’sinin güvensiz olduğu % 40’nın da az güvenli olduğu gözükmemektedir. Şekil 6.2’de test sonucu gerilme değerleri ile V_{EC-2} tahmini gerilmeleri kıyaslanmıştır. Gerilme değerleri genel itibari ile 1.50 MPa’dan küçük örnekler için güvensiz, 2.00 MPa’dan büyük değerler içinse emniyetli bölgede kalmaktadır. Yönetmelikler arasında verileri V_{test} / V_{EC-2} değerlerini 1 etrafında toplamayı başarabilmiş tek yönetmeliktir.

6.1.2 ACI-318-02 Yönetmeliği

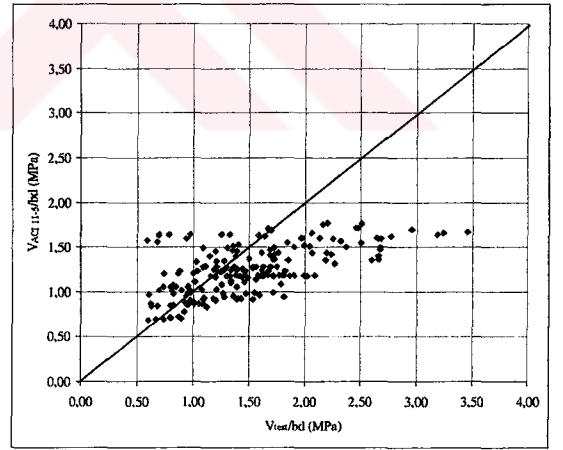
ACI Eğik çatlama dayanımı için iki bağıntı öngörmektedir. 11-5 ve 11-3 bağıntıları olarak geçen bu bağıntılardan daha çok 11-3 kullanılmaktadır. 1977’de ACI-ASCE komitesi 11-5 bağıntısının kullanılmamasını önermişti. Son yıllarda yapılan çalışmalar ise bu bağıntının boyuna donatı etkisini olduğundan az dikkate aldığını göstermektedir (MacGregor, 1997).

Bölüm 2.7.2’de anlatıldığı gibi, 11-5 bağıntısı donatı oranı, a/d oranı ve beton dayanımını dikkate alırken, 11-3 bağıntısı sadece beton basınç dayanımını dikkate almaktadır. Şekil 6.3 ve 6.5’de V_{test}/V_{ACI} oranının frekans dağılımı sırasıyla verilmiştir. Bu oranın 1’den küçük olduğu değerler, deney veri tabanının tümü dikkate alındığında 11-5 bağıntısı için %30 iken 11-3 bağıntısı için %21’dir

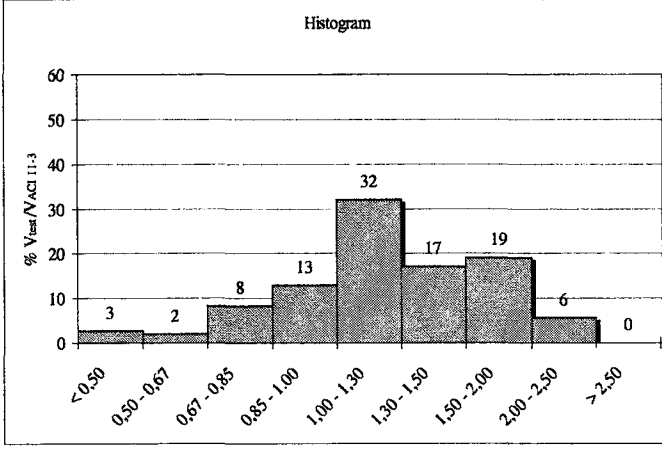
İki bağıntıda Çizelge 6.11’de görüleceği gibi boyutları küçük elemanlar için çok fazla emniyetli sonuçlar vermektedir. Genel itibarı ile her şartta emniyetli bölgede kalan iki bağıntı, donatı oranı %1’den küçük kirişler için az güvenli bir tahmin yapmaktadırlar (Çizelge 6.12). Çizelge 6.17’de gösterilen $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) aralığında 66 adet kiriş bulunmaktadır. Bu durumda emniyetli sonuçlar verse de standart sapmanın sırasıyla 0.28 ve 0.30 olduğu gözden kaçırılmamalıdır. ACI yönetmeliği beton basınç dayanımını 68.95 MPa ile sınırlamıştır ve önerdiği bağıntının donatı oranı %1’den küçük değerler için güvensiz sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Çizelge 6.18’de bu durum incelenmiş, $\rho \leq 1$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) aralığı için özellikle 11-3 bağıntısı çok emniyetli bir tahmin yapmaktadır.



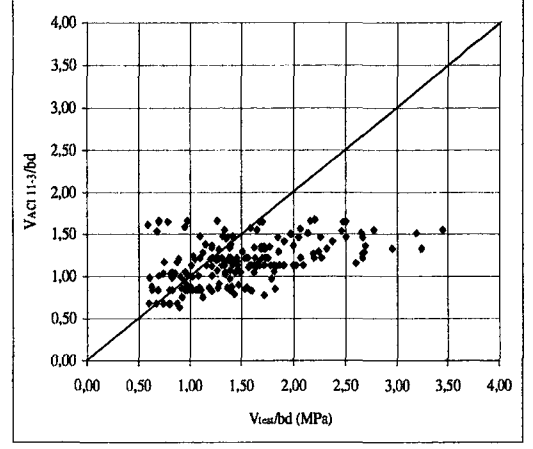
Şekil 6.3 ACI 11-5 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması



Şekil 6.4 ACI 11- tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması



Şekil 6.5 ACI 11-3 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması

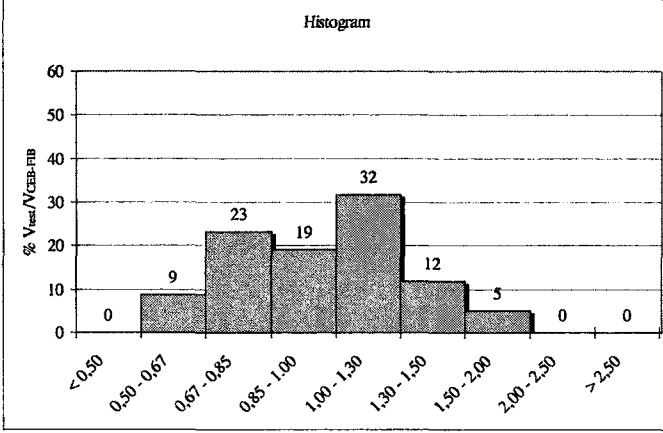


Şekil 6.6 ACI 11-3 tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması

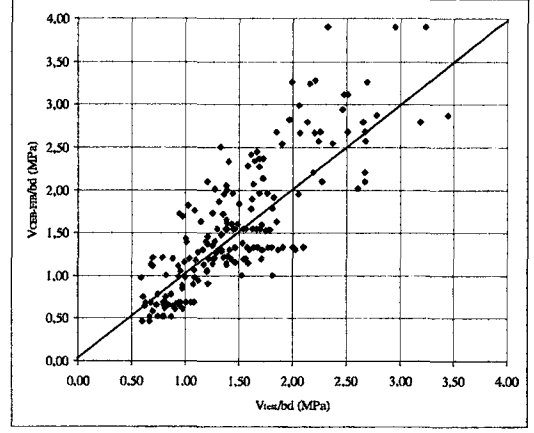
Yönetmelik ayrıca eğik çatlama dayanımı için kiriş etkili derinliği arttıkça dayanımın azalacağını vurgulamıştır. Şekil 6.10'da etkili derinliği 900 mm'den büyük olan kirişler için güvensiz tahminler elde edildiği görülmektedir. Şekil 6.4 ve 6.6'da yönetmeliklerin ampirik testlerle gerilme ilişkisi görülmektedir. Eurocode-2 bağıntısı ile kıyaslandığında ACI yönetmeliğinin önerdiği bağıntı çok daha emniyetli bölgede kaldığı gözükmemektedir.

6.1.3 CEB-FIB-90 Örnek Yönetmeliği

Bu örnek yönetmelik eğik çatlama dayanımı için boyut etkisini de dikkate almaktadır (Bölüm 2.8.3). Şekil 6.7'de $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ oranlarının frekans analizi gösterilmiştir. Tüm veriler dikkate alındığında 1.01 ortalama ile yönetmelikler içinde en iyi ortalamaya sahiptir (standart sapması 0.27). Etkili derinliği 900 mm'den büyük kirişler için ortalamalar dikkate alındığında emniyetli sonuçlar veren tek yönetmeliktir. Donatı oranı %1'in altındaki kirişleri için en emniyetli tahmini yine CEB-FIB-90 bağıntısı yapmıştır (Çizelge 6.12). Yüksek mukavemetli betonlar için güvenli tahminler yapmaktadır (Çizelge 6.3). Çizelge 6.17'de görüldüğü gibi, Türk Yönetmeliği sınırları içinde ($\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)) emniyetli ve en uygun tahmini yapmaktadır (ortalama 1.21, standart sapma 0.22). Son olarak, Şekil 6.8'de gerilme ile ilgili şekil verilmiştir. Burada, gerilmesi 2 MPa'dan büyük kirişler için CEB-FIB-90 için güvensiz sonuçlar verdiği görülmektedir.



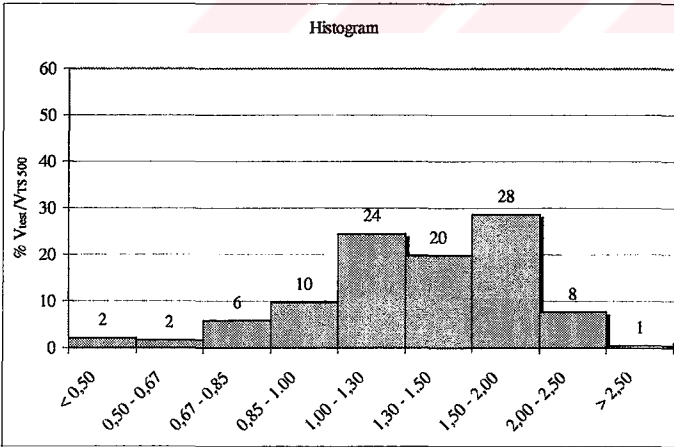
Şekil 6.7 CEB-FIB örnek yönetmeliği tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması



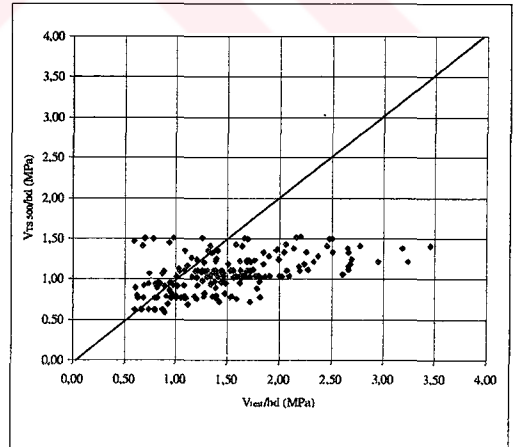
Şekil 6.8 CEB-FIB örnek yönetmeliği tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması

6.1.4 TS 500-2000 Yönetmeliği

Yönetmelik, ilgili bölümde değinildiği gibi ACI 11-3 bağıntısını temel almıştır. Yönetmelik bağıntılarının karşılaştırmalarının neredeyse hepsinde çok emniyetli bölgede kalmaktadır. Şekil 6.9'dan da görüleceği üzere %20'luk bir kesimi güvensiz bölgede kalmaktadır. Gerilme değeri 1.5 MPa'dan fazla değerlerde kırılmış kirişler için çok emniyetli tahminlerde bulunduğu, artan gerilme ile beraber emniyetinde arttığı Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.9 TS 500-2000 tarafından önerilen bağıntının ampirik testlerle karşılaştırılması



Şekil 6.10 TS 500-2000 tarafından önerilen bağıntı ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması

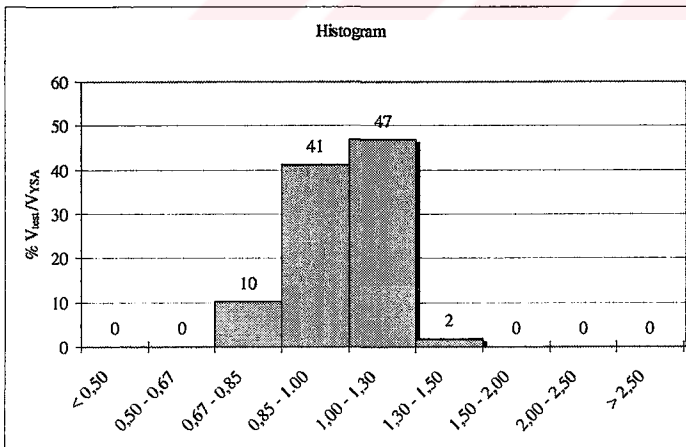
Çizelge 6.10'da etkili derinliği 900 mm'den fazla olan kirişler için neredeyse emniyetli bölgede kalan hiç bir tahmin yapmamıştır. Sadece, beton basınç dayanımı 50 MPa'dan küçük

değerler incelendiğinde, 100 deney verisinde 1.39 ortalama ve 0.39 standart sapmayla, en emniyetli tahmini yapmıştır (Çizelge 6.14). Donatı oranı %2'den büyük 89 kiriş için yönetmelikler içerisinde ortalaması 1.60'ın üzerinde ve standart sapması 0.35 ile en fazla emniyetli tahminleri yapmıştır (Çizelge 6.14 ve 6.15). Yönetmelik sınırlaması $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) için ortalaması 1.25 ve standart sapması 0.33 olarak gözükmektedir. Bu sınırlamalar altında CEB-FIB-90 örnek yönetmeliğinin önerdiği bağıntı, daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

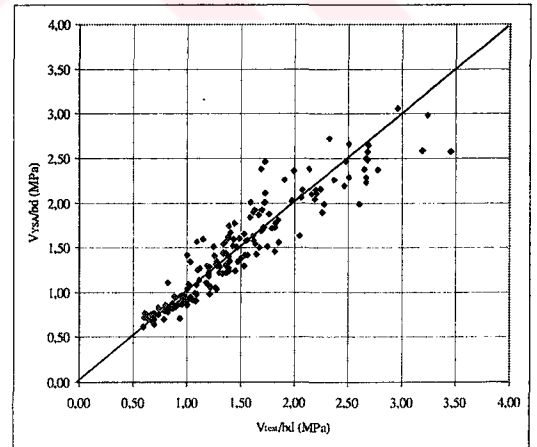
6.1.5 Yapay Sinir Ağları Sonuçları

Bu çalışmada Çizelge 6.9 - 6.19'da elde edilen sonuçlar dikkatle incelendiğinde, eğik çatlama dayanımının belirlenmesinde YSA'nın çok etkin bir araç olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada YSA modeli istenilen hedefe çok iyi yaklaştığı, diğer tüm bağıntılardan daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Bu aşamada hem eğitim hem de test seti sonuçları verilecektir.

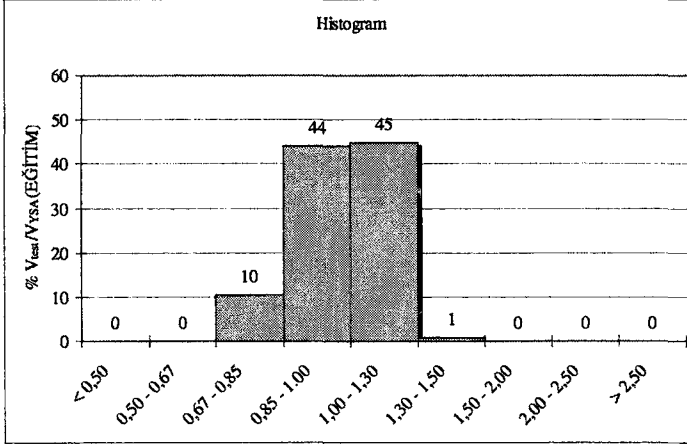
Aşağıda eğitim ve test seti sonuçları, sadece eğitim seti sonuçları ve sadece test seti sonuçları ayrı ayrı grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 6.11, 6.13 ve 6.15). YSA modelinin ürettiği sonuçların hiçbirinde aşırı uçlar aralığında kalan tehlikeli ve çok fazla emniyetli değer bulunmamaktadır. Tüm veriler için, YSA tarafından önerilen model ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması sonuçlarını, $x=y$ doğrusu üzerinde topladığı görülmektedir.



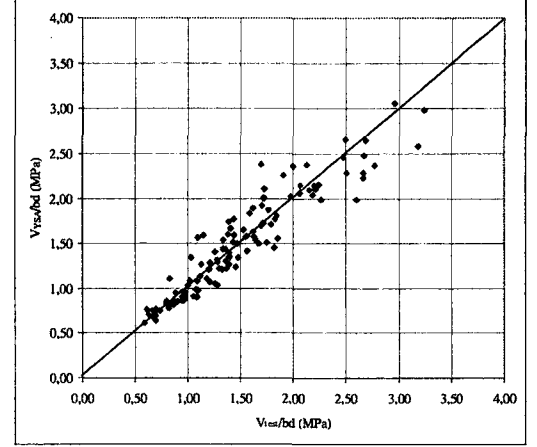
Şekil 6.11 YSA tarafından önerilen modelin ampirik testlerle karşılaştırılması



Şekil 6.12 YSA tarafından önerilen model ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması



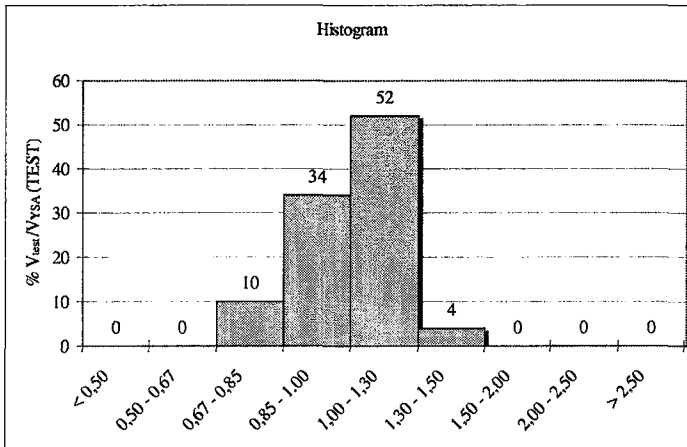
Şekil 6.13 YSA (eğitim seti) tarafından önerilen modelin ampirik testlerle karşılaştırılması



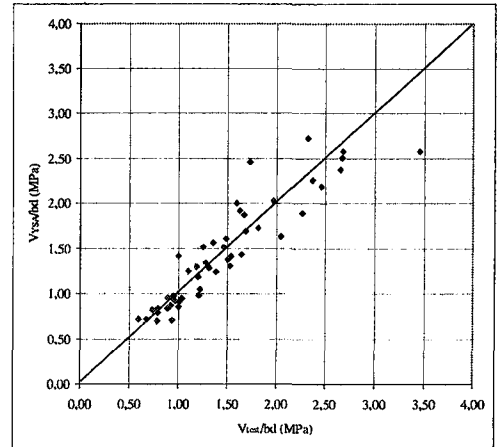
Şekil 6.14 YSA (eğitim seti) tarafından önerilen model ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması

Test seti sonuçları (Şekil 6.16) incelendiğinde gerilme değeri büyüdükçe YSA modelinin doğru sonucu bulması güçleşir. Test setinin ortalaması 1.02 ve standart sapması 0.14'dür.

Yukarıda irdelenen bütün özel durumlarda YSA modelinin test setinin ortalaması, standart sapması ve varyasyon katsayısı, diğer yönetmeliklerle karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar üretmektedir. Şekil 6.15'de görüldüğü gibi, V_{test} değerinin V_{ysa} değerine oranı 1'in altında kalması %44'dür. YSA sonuçları 1.10'a bölündüğünde bu oran % 24'e, 1.13'e bölündüğünde ise % 18'e düşmektedir. Dolayısıyla YSA sonuçları, belirlenecek olan bir güvenlik katsayısına bölünerek, emniyetli bölgede kalması sağlanabilir.



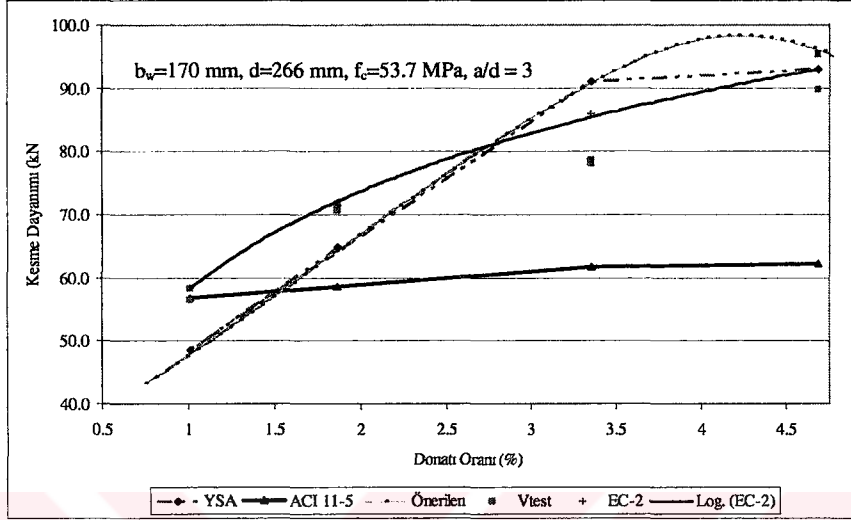
Şekil 6.15 YSA (test seti) tarafından önerilen modelin ampirik testlerle karşılaştırılması



Şekil 6.16 YSA (test seti) tarafından önerilen model ile ampirik testlerin gerilme karşılaştırılması

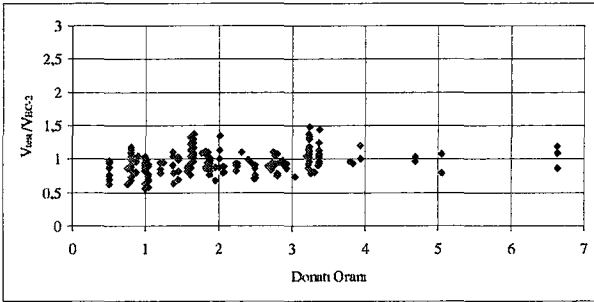
6.1.6 Boyuna Donatı Oranın Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması

Şekil 6.17’de kesme dayanımı üzerinde boyuna donatının etkisi gösterilmiştir. Burada diğer değişkenler sabit tutularak donatının değişimi ile dayanımın ilişkisi araştırılmıştır. Kim ve Park

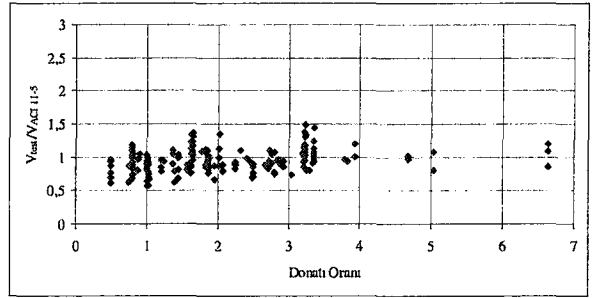


Şekil 6.17 Kesme dayanımının boyuna donatı oranı ile ilişkisi

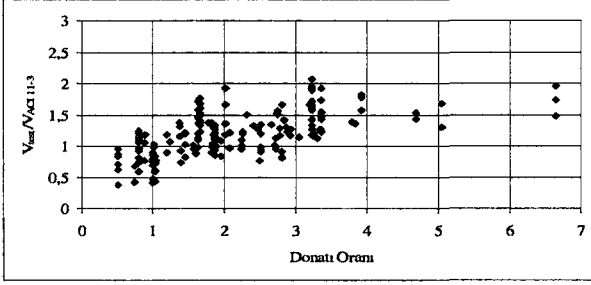
1994’de yapmış oldukları 8 adet kiriş testi kare noktalarla işaretlenmiştir. Bu testlerde $b_w=170$ mm, $d=266$ mm (255-272 arası değişmektedir, ortalaması alınmıştır.), $f_c=53.7$ MPa, ve a/d oranı 3 sabit tutulmuştur. Bu çalışmada YSA’nın kesme dayanımı sonuçlarını belirlemede diğer yönetmelik bağıntılarına kıyasla ne kadar önemli ve doğrulukta sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Burada YSA yardımıyla, dört değişken sabit tutularak elde olmayan test verisi üretilmiştir ve bu değerler “-” çizgilerle işaretlenmiştir.



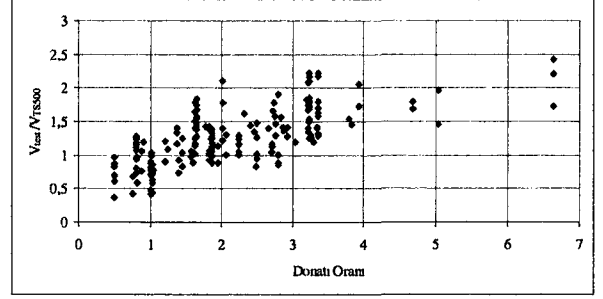
Şekil 6.18 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile boyuna donatı oranı değişimi



Şekil 6.19 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile boyuna donatı oranı değişimi



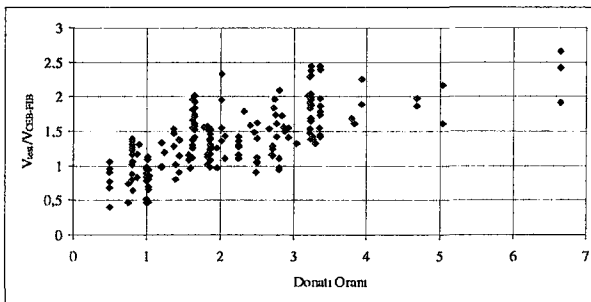
Şekil 6.20 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile boyuna donatı oranı değişimi



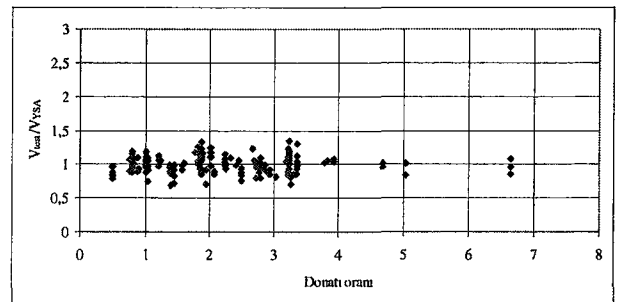
Şekil 6.21 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile boyuna donatı oranı değişimi

Donatı oranı 2.75'den küçük kirişler için yeterli uygun yaklaşıklıkta sonuç verdiği görülmektedir. Burada en iyi tahminlerden birini "+" işareti ile işaretlenmiş Eurocode-2'nin yaptığı görülmüyor. Eurocode-2 bağıntısının sonuçlarını logaritmik bir eğri ile çizildiğinde, en iyi tahmini yaptığı görülmektedir. ACI 11-5 üçgen simgelerle işaretlenmiş, ve donatı oranının değişimi için aşırı oranda güvenli bölgede kaldığı gözükmemektedir.

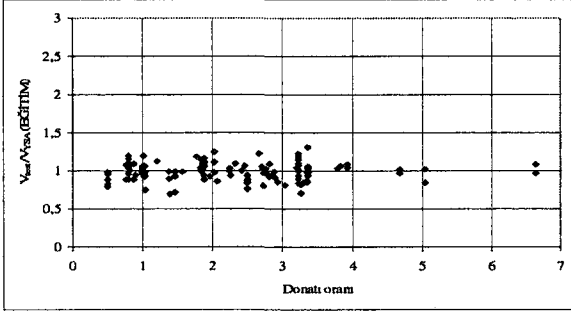
Şekil 6.18 ile Şekil 6.25 arası şekillerde V_{test} değerlerinin ilgili yönetmeliğin önerdiği değere bölünerek, elde edilmiş oranların, donatı oranı ile değişimini göstermektedir. Şekil 6.18'de Eurocode-2 bağıntısının sonuçları belirlenmesindeki performansı gayet iyidir. Şekil 6.20 ve 6.21' de ACI 11-3 ve TS-500 bağıntılarının aşırı güvenli sonuçlar verdiği gözlemlenebilir. CEB-FIB-90 bağıntısında benzer doğrultuda sonuçlar vermiştir (Şekil 6.22). Buna karşın YSA'nın ürettiği sonuçlar hem eğitim hem de test seti için uygundur.



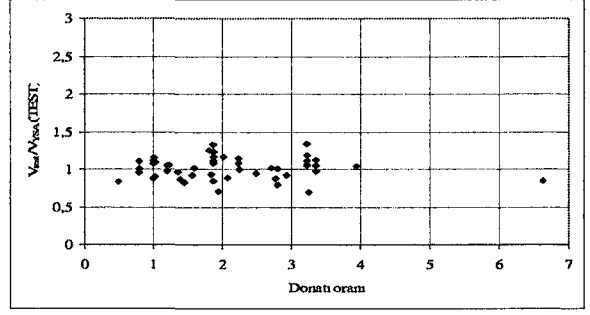
Şekil 6.22 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile boyuna donatı oranı değişimi



Şekil 6.23 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile boyuna donatı oranı değişimi



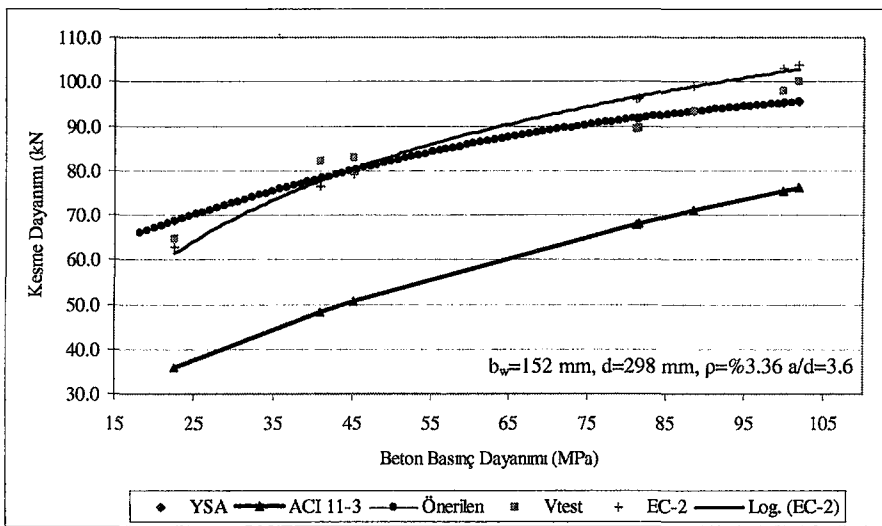
Şekil 6.24 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile boyuna donatı oranı değişimi



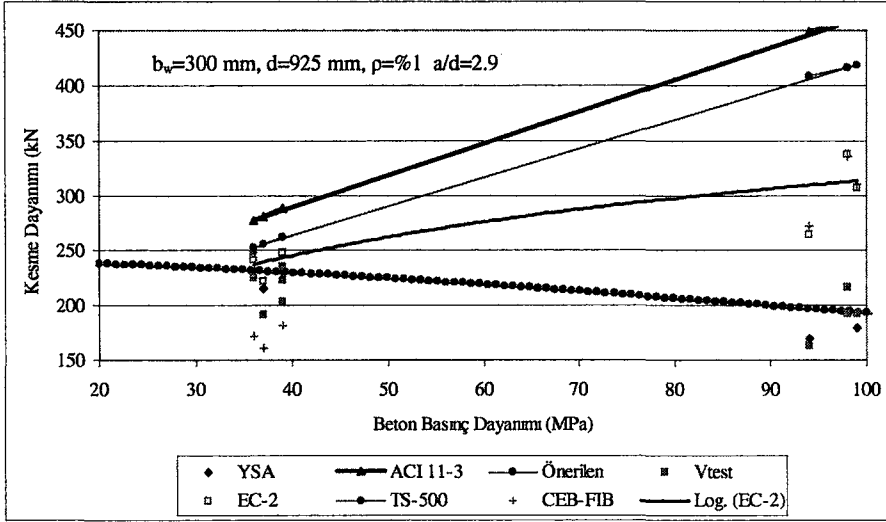
Şekil 6.25 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile boyuna donatı oranı değişimi

6.1.7 Beton Dayanımının Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması

Kesme dayanımı üzerinde beton basınç dayanımı incelendiğinde (Şekil 6.26), diğer dört değişken sabit tutularak beton dayanımı ile kesme dayanımının ilişkisi araştırılmıştır. Mphonde ve Frantz $b_w=152$, $d=298$, $\rho=\%3.36$ ve $a/d=3.6$ olan 8 kiriş deneyi yapmışlardır. Test değerleri kare ile işaretlenmiş yukarıdaki veriler sabit tutulduğunda beton dayanımının artmasıyla, kesme dayanımının arttığı görülmektedir. Şekil 6.26'ya bakıldığında ACI 11-3 bağıntısının yine çok çok emniyetli tahminler yaptığı gözükmemektedir. YSA tarafından önerilen ve türetilen kiriş verileri ise test sonuçları ile iyi bir uyum göstermektedir. Eurocode-2 bağıntısı yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar vermiş 50 MPa üzerindeki kirişler için sonuçların az güvenli tarafta olduğu görülmüştür.

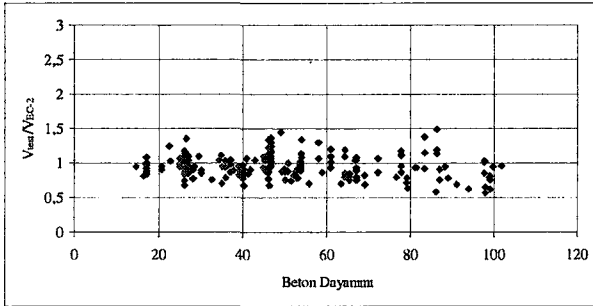


Şekil 6.26 Kesme dayanımının beton basınç dayanımı ile ilişkisi

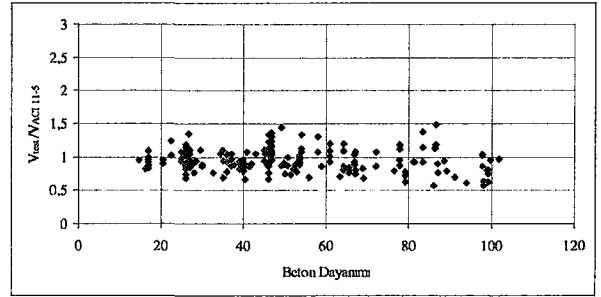


Şekil 6.27 Kesme dayanımının derin kirişlerde beton basınç dayanımı ile ilişkisi

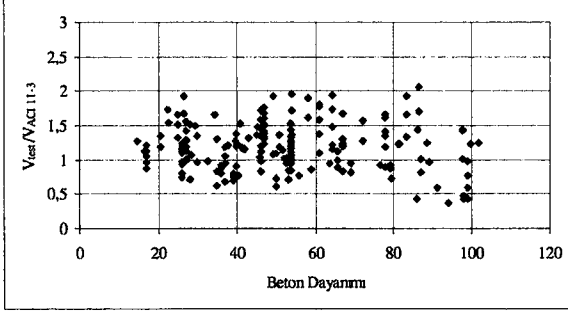
Şekil 6.27’de faydalı yüksekliği nispeten büyük (925 mm) ve $b_w=300$ mm, $\rho=\%1$ a/d oranı ise 2,9 olan kirişler incelenmiştir. Şekil 6.27’de 10 kiriş deneyinin sonuçları kare simgelerle işaretlenmiştir. Burada sonuçlar ile sadece YSA’nın uyum gösterdiğini diğer tüm prosedürlerin yanlış sonuçlara vardığı görülmektedir. Bunun temel sebebi YSA’nın temel prensibinin direkt olarak deney sonuçlarını kullanarak problemi öğrenmesi ve sonuçlar üretmesidir.



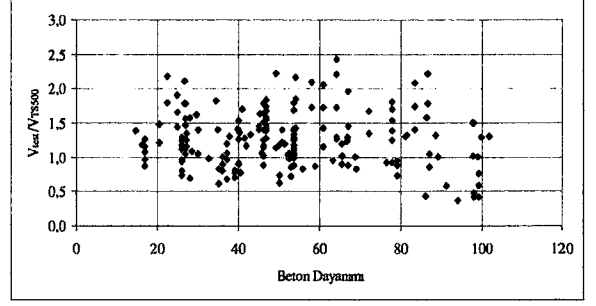
Şekil 6.28 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile beton dayanımı değişimi



Şekil 6.29 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile beton dayanımı değişimi

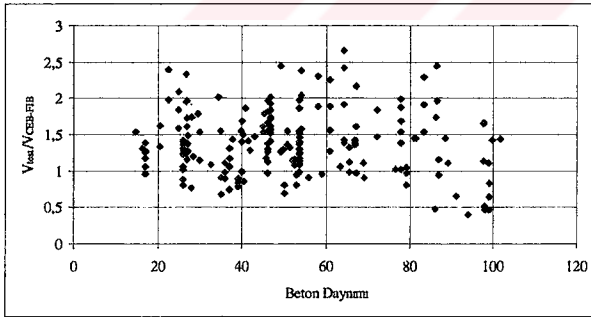


Şekil 6.30 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile beton dayanımı değişimi

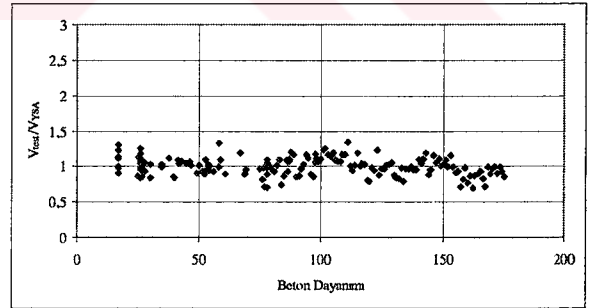


Şekil 6.31 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile beton dayanımı değişimi

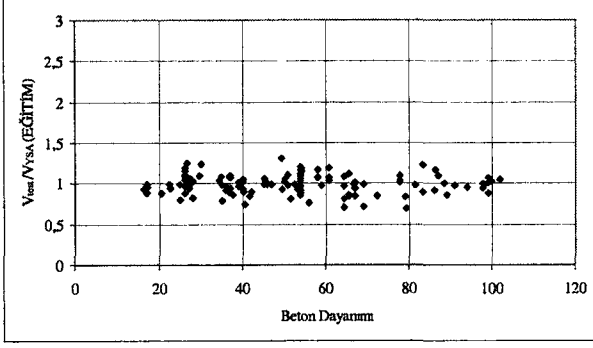
Şekil 6.28-6.35 arası şekiller, V_{test} değerlerinin ilgili yönetmeğin önerdiği değere bölünerek, elde edilmiş oranların, tüm 193 kiriş verisi dikkate alınarak, beton dayanımı ile değişimini göstermektedir. Şekil 6.28’de Eurocode-2’nin değerleri tahmin etmedeki performansı gayet iyidir fakat genel itibari ile ve özellikle 65 MPa üzeri beton dayanımları için az güvenli sonuçlar vermiştir. Şekil 6.30 ve 6.31’ de ACI 11-3 ve TS-500-2000 bağıntılarının genel itibari ile güvenli sonuçlar verdiği gösterilmiştir. ACI 11-5 bağıntısının burada, 11-3 bağıntısına göre daha orantılı bir tahmin yaptığı söylenebilir (Şekil 6.29 ve 6.30) CEB-FIB-90’de kesme dayanımını tahmin etmede iyi sonuçlar vermemiştir (Şekil 6.32). YSA’nın ürettiği sonuçlar en uygun sonucu vermiştir. (Şekil 6.33, 6.34 ve 6.35)



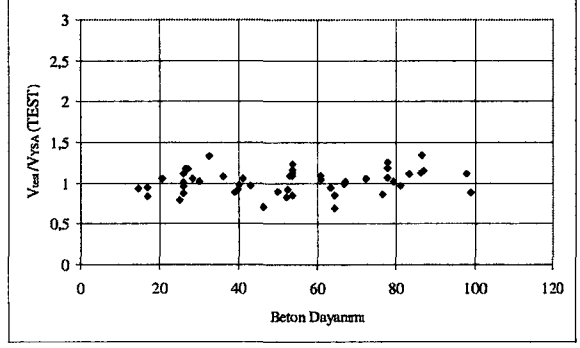
Şekil 6.32 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile beton dayanımı değişimi



Şekil 6.33 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile beton dayanımı değişimi



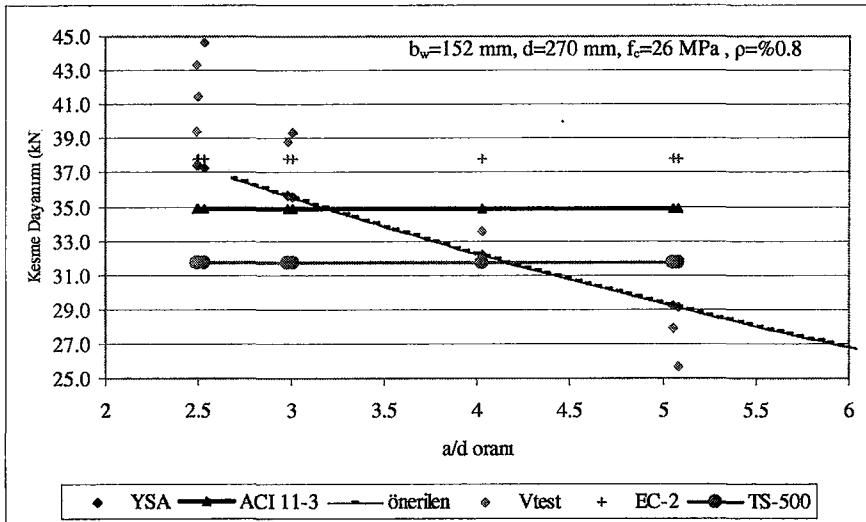
Şekil 6.34 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile beton dayanımı değişimi



Şekil 6.35 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile beton dayanımı değişimi

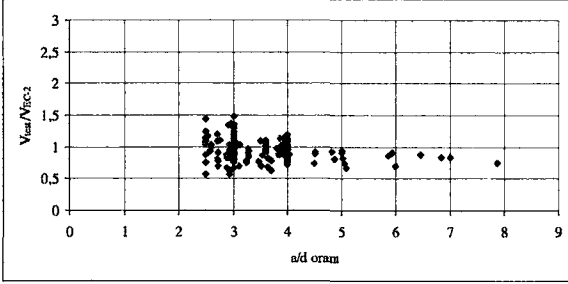
6.1.8 Boyut Etkisinin Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması

Burada 2. Bölüm’de anlatılan boyut etkisinin öneminin test sonuçları ile doğruluğu gösterilecektir. Kani, Huggins ve Wiltkop’un yapmış olduğu deneylerden 9 adeti seçilmiş ve bu kirişlerde $b_w=152$ mm, $d=270$ mm, $f_c=26$ MPa ve $\rho=\%0.8$ olarak alınmıştır. Sonuçlar 6.36’da gösterilmiş, Kani vd. bulmuş olduğu değerler “◇” ile işaretlenmiştir. TS 500-2000 ve ACI 11-3’ün önerdiği bağıntılarda boyut etkisini dikkate almadığını dolayısıyla Şekil.6.36’da iki bağıntının da beton dayanımına bağlı olarak düz bir çizgiyle temsil edildiği görülüyor. Eurocode-2’nin boyut etkisini dikkate almasına rağmen a/d oranı 3.5 üzerindeki değerlerde güvensiz sonuçlar vermiştir. YSA modelinin ürettiği sonuçlar istenen yaklaşıklıkta ve emniyettedir. YSA modeli kullanılarak çoğaltılan kiriş sonuçları da, Kani vd. yapmış olduğu sonuçlarla bir uyum içindedir.

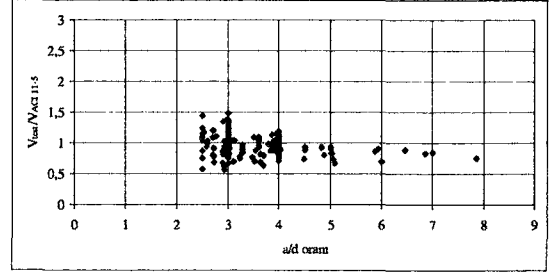


Şekil 6.36 Kesme dayanımının a/d oranı ile ilişkisi

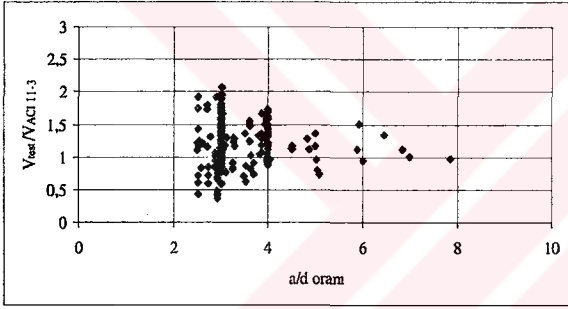
Yönetmeliklerin ve YSA modelinin, a/d oranı ile irdelenmesi ayrı ayrı Şekil 6.37 ile Şekil 6.44 arasında sunulmuştur. Önceki bölümlerdeki yorumların bir benzeri de burada yapılabilir. Özellikle CEB-FIB-90 bağıntısı (Şekil 6.39) kötü sonuçlar vermiştir. YSA modeli sonuçları ise iyi bir dağılım göstermektedir.



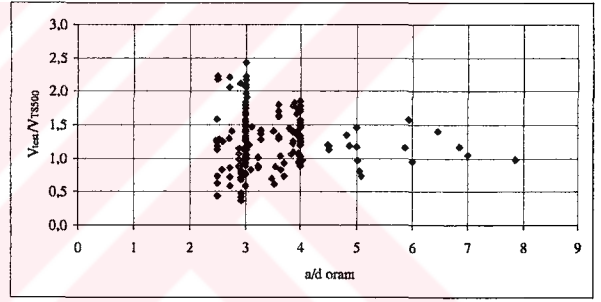
Şekil 6.37 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile a/d oranı değişimi



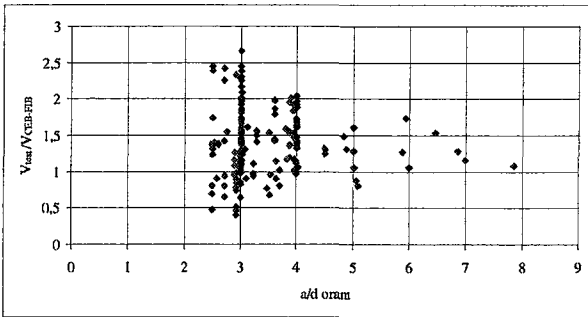
Şekil 6.38 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile a/d oranı değişimi



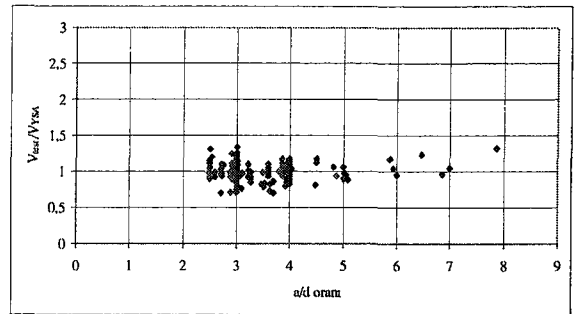
Şekil 6.39 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile a/d oranı değişimi



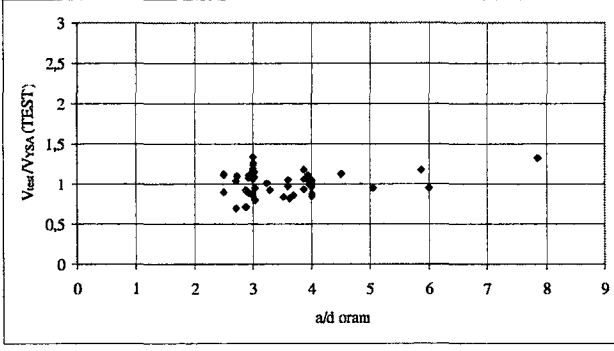
Şekil 6.40 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile a/d oranı değişimi



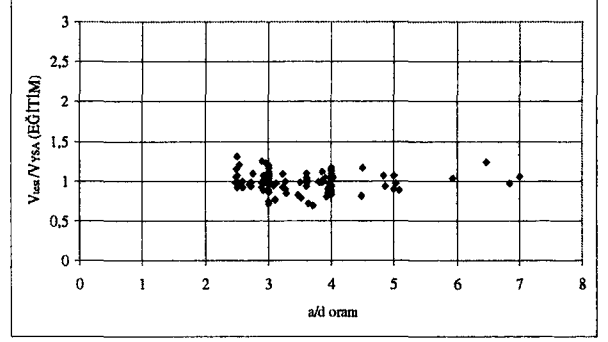
Şekil 6.41 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile a/d oranı değişimi



Şekil 6.42 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile a/d oranı değişimi



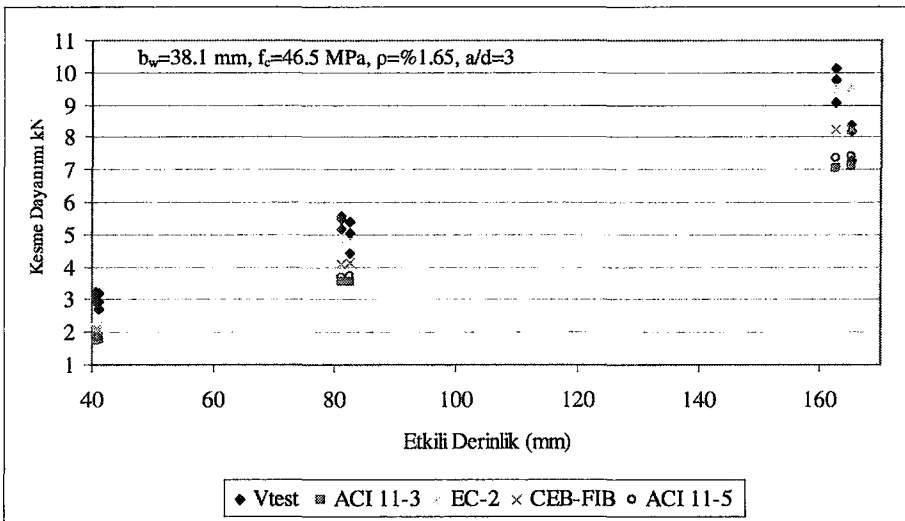
Şekil 6.43 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile a/d oranı değişimi



Şekil 6.44 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile a/d oranı değişimi

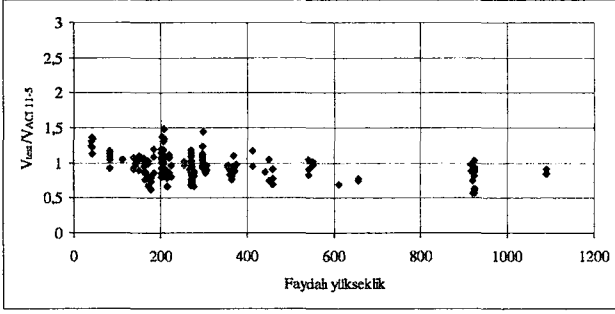
6.1.9 Faydalı Yüksekliğinin Yönetmelikler ve YSA ile Karşılaştırılması

Etkili derinliği incelemek için Bazant ve Kazami 18 kiriş deneyi yapmıştır. Fakat yapılan kiriş ebatları çok küçüktür ($b_w=38.1$ mm, $f_c=46.5$ MPa, $\rho=\%1.65$, $a/d=3$). Daha önce değinildiği gibi iyi bir genelleştirme yapabilmek için YSA bu kiriş setine uygulanmamıştır. Bu kirişler dikkate alındığında etkili derinliğin arttıkça dayanımında artacağı ortaya konmuştur. Şekil 6.45'de yönetmelikler ile deney sonuçlar iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. En emniyetli yaklaşımı sırasıyla ACI 11-3 ve 11-5, CEB-FIB-90 ve Eurocode-2 yönetmelik bağıntıları yapmıştır. Hedefe en yaklaşıklıkta sonucu ise Eurocode-2 bağıntısı vermiştir.

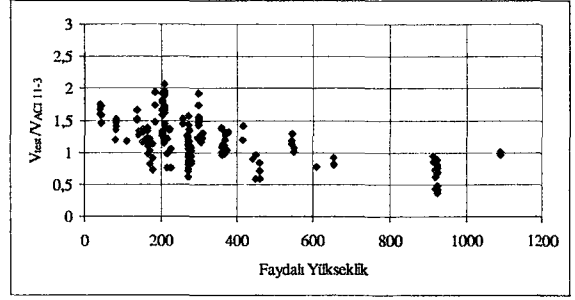


Şekil 6.45 Kesme dayanımının etkili derinlik ile olan ilişkisi

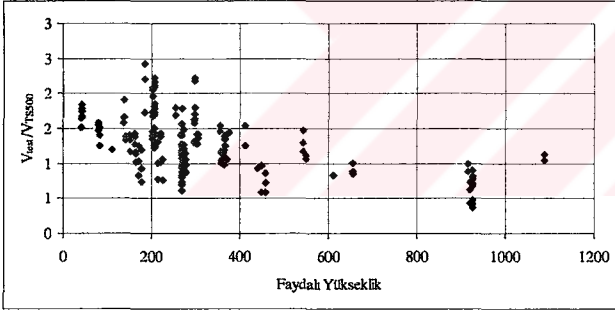
Yukarıda da değinildiği gibi, son zamanlarda yapılan çalışmalar ve ACI, kiriş derinliğinin artması ile dayanımın azalacağını söylemektedir. Buradaki aksi durumun yazar tarafından kiriş ebatlarının çok küçük olmasına bağlanabileceği öngörülmüştür. Şekil 6.46'dan Şekil 6.50'ye kadar olan kiriş dağılımları göstermektedir ki; genel itibari ile tüm yönetmelikler kiriş genişliğinin artması ile hedeflenen değerlerin üstünde tahminler üretmektedir. Sadece YSA örnekler üzerinden eğitildiği için daha anlamlı sonuçlar vermiştir (Şekil 6.51, 6.52 ve 6.53)



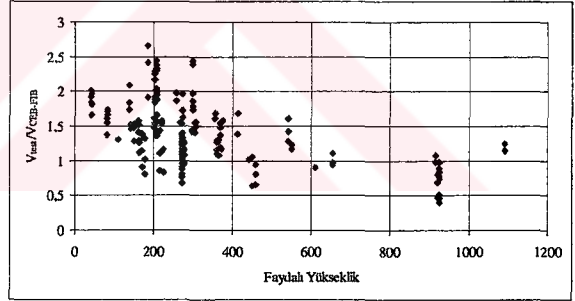
Şekil 6.46 ACI 11-5 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-5}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi



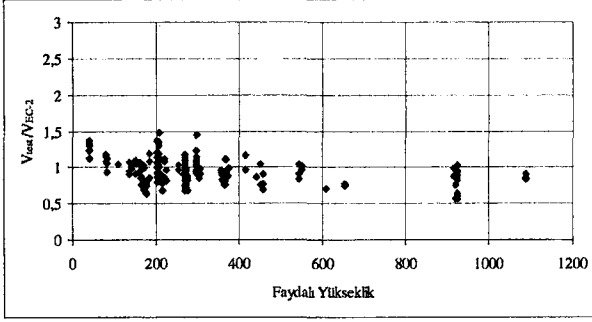
Şekil 6.47 ACI 11-3 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{ACI 11-3}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi



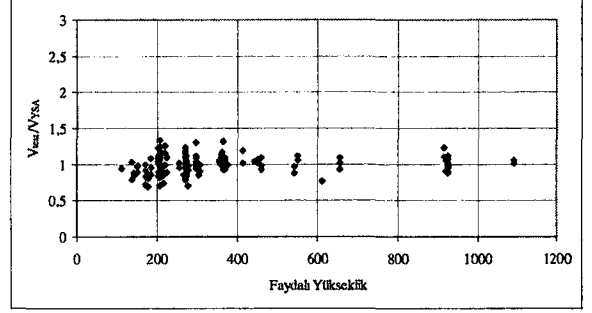
Şekil 6.48 TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{TS 500}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi



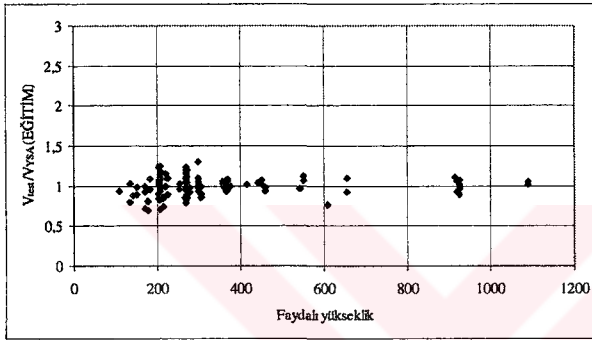
Şekil 6.49 CEB-FIB yönetmeliği bağıntısına göre $V_{test}/V_{CEB-FIB}$ ile faydalı yüksekliğin değişimi



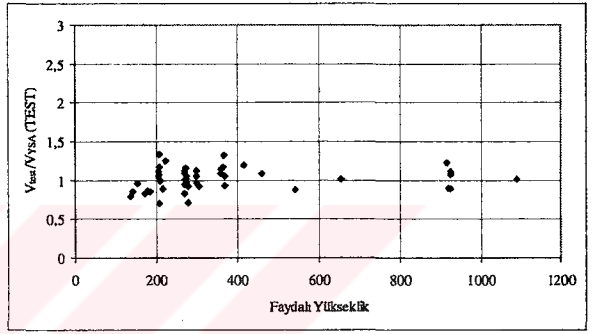
Şekil 6.50 EC-2 yönetmeliği bağıntısına göre V_{test}/V_{EC-2} ile faydalı yüksekliğin değişimi



Şekil 6.51 Önerilen YSA modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile faydalı yüksekliğin değişimi



Şekil 6.52 Önerilen YSA (eğitim seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile faydalı yüksekliğin değişimi



Şekil 6.53 Önerilen YSA (test seti) modeline göre V_{test}/V_{YSA} ile faydalı yüksekliğin değişimi

6.1.10 Örnek Sayısal Uygulama

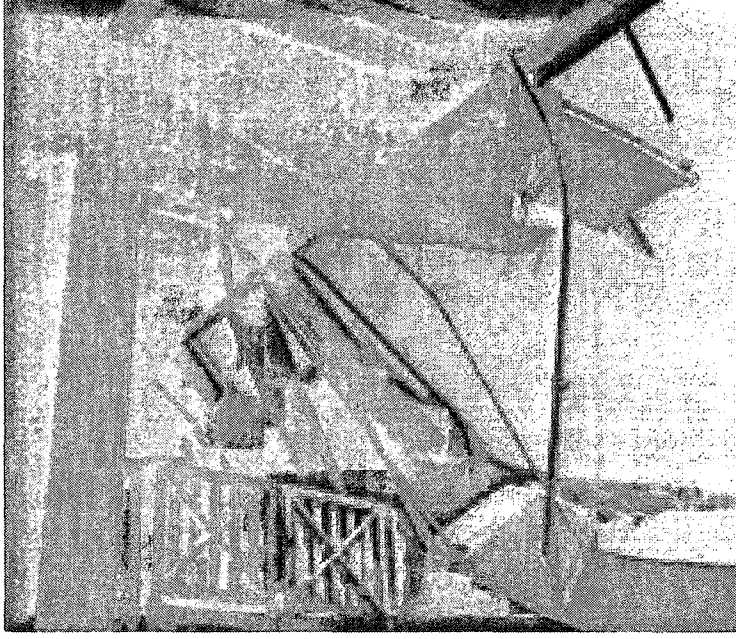
1955 Ağustos'unda ambar olarak kullanılan Wilkins Hava Kuvvetleri Deposu'nda kesme donatısız bir kiriş kesmeden dolayı göçmüştür.

Kesme dayanımından göçmüş kirişin etkili derinliği 914 mm ve % 0.448 boyuna donatı oranına sahiptir. Bu örnek tez veritabanında kullanılmamıştır ve kirişin ölü yükü 205 kN ve momenti 102 kN-m iken göçmüştür (Cladera ve Mari). Kirişin mekanik özellikleri $b_w=508$ mm, $d=850$ mm, $A_s=1935$ mm² ve beton dayanımı yaklaşık olarak $f_c \approx 25$ MPa'dır.

- ACI yönetmeliği 11-3 bağıntısı

$$\frac{\sqrt{25}}{6} \times 508 \times 850 = 359.8 \text{ kN} \quad (6.1)$$

$$V_{test}/V_{ACI 11-3} = 0.57 \quad (6.2)$$



Şekil 6.54 Wilkins hava kuvvetleri deposu, Shelby, Ohio

- Eurocode 2 yönetmeliği bağıntısı

$$\left(0.18 \times \left(1 + \sqrt{\frac{200}{850}} \right) \times (100 \times 0.00448 \times 25)^{1/3} \right) \times 508 \times 850 = 258.3 \text{ kN} \quad (6.3)$$

$$V_{\text{test}}/V_{\text{EC-2}}=0.79 \quad (6.4)$$

- CEB-FIB-90 örnek yönetmeliği bağıntısı

$$0.25 \times 0.225 \times 25^{2/3} (1.6 - 0.85) \times (1 + 50 \times 0.00448) \times 508 \times 850 = 190.6 \text{ kN} \quad (6.5)$$

$$V_{\text{test}}/V_{\text{CEB-FIB}}=1.08 \quad (6.6)$$

- TS 500-2000 yönetmeliği bağıntısı

$$0.65 \times \left(\frac{0.35 \times \sqrt{25}}{1.5} \right) \times 508 \times 850 = 327.4 \text{ kN} \quad (6.7)$$

$$V_{\text{test}}/V_{\text{TS 500}}=0.63 \quad (6.8)$$

- YSA

223kN

$$V_{\text{test}}/V_{\text{YSA}}=0.92 \quad (6.9)$$

Sonuçlar çizelge halinde Çizelge 6.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.20 Sayısal uygulama sonuç tablosu

Prosedür	Gerçek Değer	ACI 11-3	Eurocode 2	CEB-FIB	TS 500	YSA
Bulunan değer (kN)	205	359.8	258.3	190.6	327.4	223
Oran	1.00	0.57	0.79	1.08	0.63	0.92

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Asal çekme gerilmelerinden dolayı gevrek kırılan, kesme donatısız betonarme kirişlerde çatlama oluştuktan sonra dayanımı etkileyen parametrelerin tam olarak belirlenememesi ve gerçek davranışı açıklayabilecek, tüm faktörleri dikkate alan kapsamlı bir fiziksel modelin olmayışı ve deney sonuçları ile büyük oranda uyuşan bir ampirik bağıntının eksikliği kesme mekanizmasının karmaşıklığını göstermektedir. Bu çalışmada kesme donatısız betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenmesinde Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniğine dayalı yeni bir metot kullanılmış ve sonuçlar çeşitli yönetmeliklerde önerilen bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Kesme dayanımı belirlemede en uygun katmanlı ve işlem elemanlı YSA modeli bulunmaya çalışılmıştır. Kesme dayanımını etkileyen parametreler deney veri ve sonuçları yetersiz olduğu durumlarda, YSA tarafından kiriş örnekleri çoğaltılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Tüm bu analizlerin sonucunda YSA'nın kesme dayanımını belirlemede çok güçlü ve etkin bir araç olduğu gösterilmiştir.

Kiriş kesme dayanımını etkileyen 5 bağımsız değişken kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Kesme dayanımını belirlemek için Türk (TS-500-2000), Avrupa (Eurocode-2-2000), Avrupa Örnek (CEB-FIB-90), Amerikan Yönetmelikleri (ACI-318-02) incelenmiş aralarındaki farklar ve benzerlikler gösterilmiştir. Kesme dayanımını belirlemede yapay sinir ağları algoritması kullanılarak MATLAB tabanlı bir program geliştirilmiş, kesme dayanımını belirlemede YSA'nın etkin olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

İstatistiksel çalışma ve sonuçları dikkate alındığında bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır:

- Tüm yönetmelikler ile YSA modeli sonuçlarının, deney sonuçlarına $x=y$ doğrusu üzerindeki dağılımları çizildiğinde, determinasyon katsayısı en yakın sonucu YSA, en kötü sonucu ise ACI 11-3 bağıntısı vermiştir.
- Çoklu regresyon analizi kesme dayanımını etkileyen parametrelerin (b_w , d , f_c , ρ ve a/d) tümünün kesme dayanımı üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Kesme dayanımını daha gerçekçi bir şekilde belirlemede kullanılacak bir bağıntının bütün bu etkenleri birlikte dikkate alması gerekmektedir.
- Eurocode 2-2002 kesme donatısız kirişler için dayanımı belirlemede az güvenli sonuçlar vermiştir. Fakat sonuçları belirli bir aralıkta tutmayı başarmıştır.
- Eurocode 2-2002 etkili derinliği çok az $d < 100\text{mm}$ ve çok yüksek kirişler için en iyi sonuçları vermiştir.

- TS-500-2000 yönetmeliği tarafından belirlenen donatı ve beton dayanımı sınırları ($\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)) için CEB-FIB-90 örnek yönetmeliğinin daha uygun sonuçlar ürettiği saptanmıştır. TS-500-2000, yüksek mukavemetli betonlarda normal mukavemetli betonlara göre daha az emniyetlidir. En emniyetli sonuçları TS-500-2000 bağıntısı vermektedir.
- Amerikan yönetmeliği genel itibari ile her şartta emniyetli bölgede kalmıştır, fakat donatı oranı %1'den küçük kirişler için az güvenli bir sonuç vermiştir.
- Yüksek mukavemetli betonlar için hiçbir yönetmelik uygun sonuçlar vermemektedir. CEB-FIB-90 ve Eurocode 2-2002 bağıntıları ise az güvenli sonuçlar vermektedir.

Yapay Sinir Ağları sonuçları dikkate alındığında ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- YSA'nın kesme dayanımını belirlemede etkin bir metot olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Eğitim ve Test setinin ortalamaları 0.99 ile 1.02 ve standart sapmaları 0.12 ile 0.14'tür.
- Boyut etkisi beton basınç dayanımı ile ilişkilidir. Derin kirişlerde ($d > 900$ mm) beton dayanımının artması, dayanımı azaltmaktadır. Kesme mukavemeti azalışını sadece YSA modeli saptamış diğer tüm bağıntılar aksi yönde kesme dayanımı için artış öngörmektedirler. Bunun sebebi YSA'nın temel prensibinin deney sonuçlarını kullanarak problemi öğrenmesi ve sonuçlar üretmesidir.
- Donatı oranının kesme dayanımı üzerindeki etkisi sanıldığından daha fazladır. TS-500-2000 yönetmeliğindeki donatı oranı %2 sınırlaması, basınç dayanımına bağlı olarak %2-4 arası bir değerle değiştirilmesi daha uygun olacaktır.
- Kesme donatısız kirişlerin kesme dayanımı, genellikle beton dayanımının artmasıyla artmıştır.

Gelecek çalışmalara öneriler:

- Bu çalışma ışığında mevcut yönetmeliklere alternatif, yüksek mukavemetli betonlar içinde uygun sonuçlar üretilebilen bir bağıntı bulunabilir.
- Bundan sonra ki bir çalışma da kesme donatılı kirişlerin kesme dayanımının YSA metodu kullanarak belirlenmesi olabilir.
- Bağıntılara kesme dayanımını etkileyen bir parametre olarak, yönetmelik bağıntılarında dikkate alınmayan kiriş genişliği (b_w) değerini de içine alacak yeni bir bağıntı kullanılması daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdalla, K.M., ve Stavroulakis, G.E., (1995), "A Backpropagation Neural Network Model for Semi-Rigid Steel Connections", *Microcomputers in Civil Engineering*, V. 10, No. 2, 77-97
- ACI, (2002). "Building Code Requirements for Reinforced Concrete Structures, ACI-318-02", American Concrete Institute (ACI), Detroit
- Adebar, P., Collins, M.P., (1996), "Shear Strength of Members Without Transverse Reinforcement", *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 23, 1996, 30-41
- Adeli, H., ve Park, H.S., (1995), "A Neural Dynamics Model for Structural Optimization - Theory", *Journal of Computers and Structures*, Vol. 57, No 3, 383-390
- Ahmad, S.H., Khaloo, A. R., ve Poveda, A. (1986), "Shear Capacity of Reinforced High-Strength Concrete Beams", *ACI Journal, Proceeding*, Vol. 83, No. 2, March-April 1986, 297-305
- Ahmad, S.H., Xie, Y., ve Yu, T., (1994), "Shear Strength of Reinforced Lightweight Concrete Beams of Normal and High Strength Concrete", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 46, no.166
- AİGM, (1998), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Deprem Yönetmeliği)", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Md., Ankara.
- Arslan, A., Calayır, Y., ve Baylar, A., (1997) "Beton Ağırlık Barajlarda Tasarıma Esas Gerilme Yığılmalarının Yerleri ve Mertebesinin Yapay Sinir Ağı ile Tespiti", *Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi*, 22-25 Ekim 1997
- ASCE-ACI Committee 445 (1998), "Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, no. 12, December 1998, 1375-1417
- Bayazıt, M., ve Oğuz, B., (1994), *Mühendisler İçin İstatistik*, Birsen Yayınevi, Cağaloğlu, İstanbul.
- Bazant, Z.P., ve Gambarova, P., (1980), "Rough Cracks in Reinforced Concrete" *Journal of Structural Division*, Vol. 106, No. 4, 819-842
- Bazant, Z.P., ve Kazemi, M.T., (1991), "Size Effect on Diagonal Shear of Beams Without Stirrups", *ACI Journal*, Vol. 88, No. 3, May-June 1991, 268-276
- Bazant, Z.P., ve Kim, J.K., (1984), "Size Effect in Shear Failure of Longitudinally Reinforced Beams", *ACI Journal*, Vol. 81, no.5, Sep-Oct. 1984, 456-468
- Bazant, Z.P., ve Oh, B.H., (1983), "Crack Band Theory for Fracture of Concrete", *RİLEM*, 16(93), 155-177
- Bazant, Z.P., ve Tsubaki, T., (1979), "Optimum Slip-Free Limit Design of Concrete Reinforcing nets", *Journal of the Structural Division, Proc. ASCE*, Vol. 105, ST 2, 327-346
- Berktaş, İ., (2003), *Betonarme I-Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları*, Maya Basın Yayın, İstanbul
- Bildik, A., T., (1998), *Normal Basınç Dayanımlı Beton Karışımlarının Yapay Sinir Ağları İle Hesaplanması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bimal B., Adhikary, Mutsuyoshi, H., (2004) "Artificial Neural Networks for The Prediction

of Shear Capacity of Steel Plate Strengthened RC Beams” Construction and Building Materials 18 409–417

CEB, (1990), "CEB-FIP Model Code for Concrete Structures", Comite Euro-International du Beton, Paris

Chuang, P.H., Goh, A.T.C., ve Wu, X., (1998), “Modelling the Capacity of Pin-Ended Slender Reinforced Columns Using Neural Networks”, Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No. 7, 830-838

Cladera, A., (2002), Shear Design of Reinforced High-Strength Concrete Beams, Doctoral Thesis, Bacerlona, Spain.

Cladera, A., Mari, A.R., (2004) “Shear Design Procedure For Reinforced Normal and High-Strength Concrete Beams Using Artificial Neural Networks. Part I: Beams Without Stirrups”, Engineering Structures 26, 917–926

Cladera, A., Mari, A.R., (2004) “Shear Design Procedure for Reinforced Normal and High-Strength Concrete Beams Using Artificial Neural Networks. Part II: Beams With Stirrups “Engineering Structures 26 927–936

Civalek, Ö., (1998), Plak ve Kabukların Nöro-Fuzzy Tekniği ile Lineer ve Non-lineer Statik - Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Collins, M.P., Kuchma, D., (1999), “How Safe Are Our Large, Lighly Reinforced Concrete Beams, Slabs and Footings?”, ACI Structural Journal, Vol. 96, No. 4, July-August 1999, 482,490

Collins, M.P., Mitchell, D., Adebar, P.E., ve Vecchio, F.J. (1996), “A General Shear Design Method”, ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 1, January-February 1996. 36-45

Çağlar, N., (2001), “Yapay Sinir Ağları ile Binaların Dinamik Analizi”, Doktora Tezi, Sakarya

Doğangün, A., (2002), Betonarme Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, Çağaloğlu, İstanbul.

Duthinh, D., Carino, N.J., (1996), “Shear Design of High-Strength Concrete Beams: a Review of the State-of-the-Art”, NISTIR 5870, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

Efe E., Bek Y., Şahin M., (2000), SPSS’te Çözümleri ile İstatistik Yöntemler II, Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Rektörlüğü Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi (BAUM) Yayın No: 10, Kahramanmaraş.

Elzanaty, A.H., Nilson, A.H., ve Slate, F.O., (1986), “Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Concrete”, ACI Journal, Proceedings, Vol. 83, No. 2, March-April 1986, 290-296

Ersoy, U., (1956) “Shear Strength of RC Beams Without Web Reinforcement” Ms Thesis, University of Texas, Civil Eng. Dept., Austin

Ersoy, U., ve Özcebe, G., (2002) Betonarme-Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap, Evrim Yayınevi, Kadıköy, İstanbul,

Eurocode-2, (1991), "Eurocode No. 2, Design of Concrete Structures, Part I", T. Telford, London

Fenwick. R.C., ve Paulay, T. (1968), “Mechanisms of Shear Resistance of Concrete Beams”,

Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 94, no. 10, 2325-2350

Flood, I., ve Kartam, N., (1994), "Neural Network in Civil Engineering II: Systems and Application", Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 8, No. 2, 149-162

Gambarova, P.G., ve Karakoç, C., (1983), "A New Approach to the Analysis of the Confinement Role in Regularly Cracked Concrete Elements", Transactions 7th SMIRT Conference, Vol. H, Paper H5/7, Chicago, 251-261

Goh, A.T.C., "Prediction of Ultimate Shear Strength of Deep Beams Using Neural Networks", ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 1, 28-32

Gunaratnam, D.J., ve Gero, J.S., (1994), "Effects of Representation on the Performance of Neural Networks in Structural Engineering Applications", Microcomputers in Civil Engineering, Vol. 9, No. 2, 97-108

Hajela, P., ve Berke, L., (1991), "Neurobiological Computational Models in Structural Analysis and Design", Computers and Structures, Vol. 41, No. 4, 657-667

Hamadi, Y.D., ve Regan, P.E., (1980), "Behavior in Shear of Beams With Flexural Cracks", Magazine of Concrete Research, Vol. 32, no. 1, 67-77

Hillerborg, A., Modeer M., ve Petersson, P.E., (1976), "Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by Means of Fracture Mechanics and Finite Elements", Cement and Concrete Res., Vol. 6, 773-782

Islam, M.S., Pam, H.J., Kwan, A.K.H., (1998), "Shear Capacity of High-Strength Concrete Beams With Their Point of Inflection Within the Shear Span", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings, Vol. 128, No. 1, 91-99

Kaltakçı, M.Y., ve Dere, Y., (1997), "Yapay Sinir Ağı Kullanımı ile Yüksek Kirişlerde Kesme Mukavemetinin Belirlenmesi", İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, 397-405, 15-16 Eylül 1997

Kani, G.N.J., (1964) "The Riddle of Shear Failure and Its Solutions", Journal of ACI, V.61, No.4, April.

Kani, G.N.J., (1966) "Basic Facts Concerning Shear Failure", Journal of ACI, V.63.

Kani, M., Huggins, M.W., and Wittkopp, R.R., (1979) "Kani on Shear in Reinforced Concrete", Publication of Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto.

Kim, J.K., ve Park, Y.D., (1994), "Shear Strength of Reinforced High Strength Concrete Beams without Web Reinforcement", Magazine of Concrete Research, Vol. 46, March 1994

Kong, Y.L.P., (1996), "Shear Strength of High Performance Concrete Beams", PhD Thesis, Curtin University of Technology

Köksal, H.O. ve Arslan, G., (2004) "Damage Analysis of RC Beams Without Web Reinforcement" Magazine of Concrete Research, 56, No. 00, Month, 1-11

Kulkarni, S.M., ve Shah, S.P., (1998), "Response of Reinforced Concrete Beams at High Strain Rates", ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 6, Nov.-Dec. 1998, 705-715

Leonhardt, F., and Walter, R., (1962) "Test on Single Span RC Beams With and Without Web Reinforcement (in German), Beton und Stahlbetonbau, Berlin,

- MacGregor, J.G., (2000) "Reinforced Concrete Mechanics and Design", Prentice Hall Inst., London, Edition.
- Marti, P., (1980), "Zur Plastischen Berechnung von Stahlbeton (On plastic analysis of reinforced concrete)", Rep. No. 104, Institute of Structural Engineering, ETH, Zurich
- Mansour, M.Y., Dicleli, M., Lee, J.Y., Zhang, J., (2004) "Predicting the Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Using Artificial Neural Networks", Engineering Structures, 26 781-799
- Morrow, J., ve Viest, I.M., (1957), "Shear Strength of Reinforced Concrete Frame Members Without Web Reinforcement", ACI Journal, Vol. 28, No. 9, Mar. 1959, 833-869
- Mörch, E., (1909) "Concrete-Steel Construction", McGraw Hill Book Company, New York, 368 pp (Bu kitap E.P. Goodrich tarafından tercüme edilmiştir. Orjinal referans "Der Eisenbetonbau"
- Mphonde, A.G., ve Frantz, G.C., (1984), "Shear Tests of High- and Low-Strength Concrete Beams Without Stirrups", ACI Journal, Vol. 81, No. 4, 1984, 350-357
- Mukherje, A., ve Deshpande, J.M., (1995), "Modeling Initial Design Process Using Artificial Neural Networks", Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 54, No. 3, 367-375
- Oreta, A.W.C., (2004) "Simulating Size Effect on Shear Strength of RC Beams Without Wtirrups Using Neural Networks", Engineering Structures 26 681-691
- Park, R., ve Paulay, T., (1975), Reinforced Concrete Structures, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand
- Piyamahant, S., (2002) "Shear Behavior Of Reinforced Concrete Beams With a Small Amount Of Web Reinforcement" A dissertation The Degree of Master of Engineering, Kochi Japan
- Reineck, K.-H., (1991), "Ultimate Shear Force of Structural Concrete Members Without Transverse Reinforcement Derived From a Mechanical Model", ACI Structural Journal, Vol. 88, No. 5, Set.-Oct., 1991, 592-602
- Rittter, W., (1899) "Die Bauweise Hennebique" (Construction Techniques of Hennebique), Schweizerischer Bauzeitung, Zurich, February,
- Salandra, M.A., ve Ahmad, S.H., (1989), "Shear Capacity of Reinforced Lightweight High-Strength Concrete Beams", ACI Journal, Vol. 86, No. 6, Nov.-Dec. 1989, 697-704
- Sanad, A., ve Saka, M.P., (2001), " Prediction of Ultimate Shear Stregth of Reinforced-Concrete Deep Beams Using Neural Networks", Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No. 7, July 2001, 818-828
- Shioya, T., Iguro, M., Nojiri, Y., Akiayma, H., ve Okada, T., (1989), "Shear Strength of Large Reinforcement Concrete Beams, Fractures Mechanics, Application to concrete", SP-118, ACI, Detroit, 259-279
- Taylor, H.P.J., (1974), "The Fundamental Behavior of Reinforced Concrete Beams in Bending and Shear", ACI SP-42, Detroit, 43-77
- Thorenfeldt, E., ve Drangsholt, G., (1990), "Shear Capacity of Reinforcement High Strength Concrete Beams", ACI 2nd International Symposium on HSC, ACI SP 121.8, 129-154

- TSE, (2000), "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS-500-2000", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turan, A., (2002) Betonarme Döşemelerin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Serbest Titreşim Analizi, Yüksek Lisans Tezi, KATÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ulucan, Z.Ç., Güneş, N., ve Erdoğan, A.S., (1995), "Yapay Sinir Ağlarıyla Tablalı Kiriş Kesitlerinin Betonarme Hesabı"
- Vanluchene, R.D., Sun, R., (1990), "Neural Networks in Structural Engineering", Microcomputers in Civil Engineering, Vol. 5. 207-215
- Vecchio, F.J., ve Collins, M.P., (1986), "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear", ACI Structural Journal, Vol. 83, No. 2, Mar.-Apr. 1986, 219-231
- Wu, X., ve Ghaboussi, J., (1993), "Modelling Unloading Mechanism and Cyclic Behaviour of Concrete with Adaptive Neural Networks", 2nd Asian-Pacific Conference on Computational Mechanics, Sydney, Australia, August 1993
- Yoon, Y.-S., Cook, W.D., ve Mitchell, D., (1996), "Minimum Shear Reinforcement In Normal, Medium and High-Strength Concrete Beams", ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 5, September-October 1996, 576-584

EKLER

Ek 1a	Tüm Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 1b	$d \geq 900$ Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 1c	$f_c > 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 1d	$f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 1e	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 1f	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 1g	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 1h	$\%1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları
Ek 2a	Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performansları Çizelgesi
Ek 2b	İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performansları Çizelgesi
Ek 3	Veritabanı



Ek 1a Tüm Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.1 Tüm verilerin EC-2 için istatistiksel sonuçları

EC-2	TümVeriler
Ortalama	0.95
Standart Hata	0.01
Ortanca	0.93
Standart Sapma	0.17
Örnek Varyans	0.03
Basıklık	0.43
Çarpıklık	0.44
Aralık	0.91
En Küçük	0.57
En Büyük	1.48
Toplam	183.96
Say	193
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.02

Çizelge 7.2 Tüm verilerin ACI 11-5 için istatistiksel sonuçları

ACI 11-5	TümVeriler
Ortalama	1.19
Standart Hata	0.02
Ortanca	1.19
Standart Sapma	0.34
Örnek Varyans	0.11
Basıklık	-0.11
Çarpıklık	0.14
Aralık	1.70
En Küçük	0.37
En Büyük	2.07
Toplam	230.30
Say	193
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.04

Çizelge 7.3 Tüm verilerin ACI 11-3 için istatistiksel sonuçları

ACI 11-3	TümVeriler
Ortalama	1.27
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.25
Standart Sapma	0.40
Örnek Varyans	0.16
Basıklık	0.05
Çarpıklık	0.37
Aralık	2.06
En Küçük	0.36
En Büyük	2.42
Toplam	244.66
Say	193
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.05

Çizelge 7.4 Tüm verilerin TS-500 için istatistiksel sonuçları

TS-500	TümVeriler
Ortalama	1.39
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.38
Standart Sapma	0.44
Örnek Varyans	0.19
Basıklık	0.05
Çarpıklık	0.37
Aralık	2.26
En Küçük	0.40
En Büyük	2.66
Toplam	268.85
Say	193
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.05

Çizelge 7.5 Tüm verilerin CEB-FIB için istatistiksel sonuçları

Çizelge 7.6 Tüm verilerin YSA (Test Seti) için istatistiksel sonuçları

CEB-FIB	Tüm Veriler
Ortalama	1.01
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.99
Standart Sapma	0.27
Örnek Varyans	0.08
Basıklık	-0.57
Çarpıklık	0.39
Aralık	1.27
En Küçük	0.53
En Büyük	1.81
Toplam	195.61
Say	193
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

YSA Test Seti	
Ortalama	1.02
Standart Hata	0.02
Ortanca	1.02
Standart Sapma	0.14
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	-0.08
Çarpıklık	0.02
Aralık	0.64
En Küçük	0.70
En Büyük	1.34
Toplam	50.90
Say	50
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Ek 1b $d \geq 900$ Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.7 $d \geq 900$ verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar

EC-2	$d \geq 900$
Ortalama	0.81
Standart Hata	0.03
Ortanca	0.86
Standart Sapma	0.15
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	-1.02
Çarpıklık	-0.54
Aralık	0.46
En Küçük	0.57
En Büyük	1.03
Toplam	14.66
Say	18
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Çizelge 7.8 $d \geq 900$ verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-5	$d \geq 900$
Ortalama	0.71
Standart Hata	0.05
Ortanca	0.74
Standart Sapma	0.21
Örnek Varyans	0.05
Basıklık	-1.24
Çarpıklık	-0.27
Aralık	0.64
En Küçük	0.37
En Büyük	1.01
Toplam	12.85
Say	18
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.09

Çizelge 7.9 $d \geq 900$ verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-3	$d \geq 900$
Ortalama	0.74
Standart Hata	0.06
Ortanca	0.75
Standart Sapma	0.24
Örnek Varyans	0.06
Basıklık	-1.12
Çarpıklık	-0.08
Aralık	0.77
En Küçük	0.36
En Büyük	1.13
Toplam	13.27
Say	18
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.10

Çizelge 7.10 $d \geq 900$ verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar

TS-500	$d \geq 900$
Ortalama	0.81
Standart Hata	0.06
Ortanca	0.83
Standart Sapma	0.26
Örnek Varyans	0.07
Basıklık	-1.12
Çarpıklık	-0.08
Aralık	0.84
En Küçük	0.40
En Büyük	1.24
Toplam	14.59
Say	18
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.11

Çizelge 7.11 $d \geq 900$ verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar

CEB-FIB	$d \geq 900$
Ortalama	1.08
Standart Hata	0.08
Ortanca	1.13
Standart Sapma	0.34
Örnek Varyans	0.12
Basıklık	-1.18
Çarpıklık	-0.28
Aralık	1.04
En Küçük	0.57
En Büyük	1.61
Toplam	19.41
Say	18
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.14

Çizelge 7.12 $d \geq 900$ verileri YSA (Eğitim Seti) için istatistiksel sonuçlar

YSA Eğitim Seti	$d \geq 900$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.00
Ortanca	1.00
Standart Sapma	0.01
Örnek Varyans	0.00
Basıklık	5.23
Çarpıklık	1.37
Aralık	0.06
En Küçük	0.97
En Büyük	1.04
Toplam	12.00
Say	12
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.01

Çizelge 7.13 $d \geq 900$ verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel sonuçlar

YSA Test Seti	$p \leq \%1$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.03
Ortanca	0.99
Standart Sapma	0.09
Örnek Varyans	0.01
Basıklık	-1.10
Çarpıklık	0.11
Aralık	0.29
En Küçük	0.85
En Büyük	1.14
Toplam	12.00
Say	12
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.05

Ek 1c $f_c > 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.14 $f_c > 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar

EC-2	$f_c > 50$
Ortalama	0.93
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.93
Standart Sapma	0.18
Örnek Varyans	0.03
Basıklık	0.35
Çarpıklık	0.43
Aralık	0.91
En Küçük	0.57
En Büyük	1.48
Toplam	86.58
Say	93
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Çizelge 7.15 $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-5	$f_c > 50$
Ortalama	1.19
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.20
Standart Sapma	0.37
Örnek Varyans	0.14
Basıklık	-0.16
Çarpıklık	0.13
Aralık	1.70
En Küçük	0.37
En Büyük	2.07
Toplam	110.46
Say	93
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Çizelge 7.16 $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-3	$f_c > 50$
Ortalama	1.27
Standart Hata	0.05
Ortanca	1.26
Standart Sapma	0.45
Örnek Varyans	0.20
Basıklık	-0.08
Çarpıklık	0.35
Aralık	2.06
En Küçük	0.36
En Büyük	2.42
Toplam	118.00
Say	93
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.08

Çizelge 7.17 $f_c > 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar

TS-500	$f_c > 50$
Ortalama	1.39
Standart Hata	0.05
Ortanca	1.38
Standart Sapma	0.49
Örnek Varyans	0.24
Basıklık	-0.08
Çarpıklık	0.35
Aralık	2.26
En Küçük	0.40
En Büyük	2.66
Toplam	129.67
Say	93
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.08

Çizelge 7.18 $f_c > 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatistiksel sonuçlar

CEB-FIB	$f_c > 50$
Ortalama	0.83
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.82
Standart Sapma	0.18
Örnek Varyans	0.03
Basıklık	-0.76
Çarpıklık	0.39
Aralık	0.73
En Küçük	0.53
En Büyük	1.27
Toplam	77.38
Say	93
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Çizelge 7.19 $f_c > 50$ (MPa) verileri YSA (Eğitim Seti) için istatistiksel sonuçlar

YSA Eğitim Seti	$f_c > 50$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.99
Standart Sapma	0.14
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	1.92
Çarpıklık	0.41
Aralık	0.83
En Küçük	0.64
En Büyük	1.46
Toplam	64.99
Say	65
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Çizelge 7.20 $f_c > 50$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel sonuçları

YSA Test Seti	$f_c > 50$
Ortalama	1.02
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.02
Standart Sapma	0.17
Örnek Varyans	0.03
Basıklık	-0.12
Çarpıklık	-0.25
Aralık	0.68
En Küçük	0.69
En Büyük	1.38
Toplam	28.67
Say	28
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Ek 1d $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.21 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar

EC-2	$f_c \leq 50$
Ortalama	0.97
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.95
Standart Sapma	0.15
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	0.57
Çarpıklık	0.61
Aralık	0.78
En Küçük	0.67
En Büyük	1.45
Toplam	97.38
Say	100
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Çizelge 7.22 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-5	$f_c \leq 50$
Ortalama	1.20
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.19
Standart Sapma	0.30
Örnek Varyans	0.09
Basıklık	-0.40
Çarpıklık	0.20
Aralık	1.31
En Küçük	0.62
En Büyük	1.93
Toplam	119.83
Say	100
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.05

Çizelge 7.23 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-3	$f_c \leq 50$
Ortalama	1.27
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.24
Standart Sapma	0.35
Örnek Varyans	0.12
Basıklık	-0.10
Çarpıklık	0.39
Aralık	1.61
En Küçük	0.62
En Büyük	2.23
Toplam	126.66
Say	100
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Çizelge 7.24 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar

TS-500	$f_c \leq 50$
Ortalama	1.39
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.37
Standart Sapma	0.39
Örnek Varyans	0.15
Basıklık	-0.10
Çarpıklık	0.39
Aralık	1.77
En Küçük	0.68
En Büyük	2.45
Toplam	139.19
Say	100
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Çizelge 7.25 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar

CEB-FIB	$f_c \leq 50$
Ortalama	1.18
Standart Hata	0.02
Ortanca	1.18
Standart Sapma	0.24
Örnek Varyans	0.06
Basıklık	-0.66
Çarpıklık	0.13
Aralık	1.10
En Küçük	0.70
En Büyük	1.81
Toplam	118.23
Say	100
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.04

Çizelge 7.26 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (Eğitim Seti) için istatistiksel sonuçlar

YSA Eğitim Seti	$f_c \leq 50$
Ortalama	0.99
Standart Hata	0.01
Ortanca	0.99
Standart Sapma	0.10
Örnek Varyans	0.01
Basıklık	1.05
Çarpıklık	-0.03
Aralık	0.52
En Küçük	0.72
En Büyük	1.25
Toplam	59.66
Say	60
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.02

Çizelge 7.27 $f_c \leq 50$ (MPa) verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel sonuçlar

YSA Test Seti	$f_c \leq 50$
Ortalama	1.01
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.03
Standart Sapma	0.15
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	0.72
Çarpıklık	0.35
Aralık	0.66
En Küçük	0.73
En Büyük	1.39
Toplam	22.19
Say	22
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Ek 1e $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.28 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar

EC-2	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$
Ortalama	0.98
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.94
Standart Sapma	0.18
Örnek Varyans	0.03
Basıklık	-0.07
Çarpıklık	0.62
Aralık	0.78
En Küçük	0.70
En Büyük	1.48
Toplam	53.79
Say	55
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.04

Çizelge 7.29 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-5	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$
Ortalama	1.36
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.27
Standart Sapma	0.32
Örnek Varyans	0.11
Basıklık	-0.69
Çarpıklık	0.27
Aralık	1.29
En Küçük	0.77
En Büyük	2.07
Toplam	75.05
Say	55
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.07

Çizelge 7.30 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-3	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$
Ortalama	1.49
Standart Hata	0.05
Ortanca	1.41
Standart Sapma	0.40
Örnek Varyans	0.16
Basıklık	-0.59
Çarpıklık	0.41
Aralık	1.60
En Küçük	0.83
En Büyük	2.42
Toplam	81.73
Say	55
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.09

Çizelge 7.31 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar

TS-500	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$
Ortalama	1.63
Standart Hata	0.06
Ortanca	1.55
Standart Sapma	0.44
Örnek Varyans	0.19
Basıklık	-0.59
Çarpıklık	0.41
Aralık	1.75
En Küçük	0.91
En Büyük	2.66
Toplam	89.81
Say	55
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.10

Çizelge 7.32 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa)
verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar

CEB-FIB	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$
Ortalama	0.82
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.79
Standart Sapma	0.17
Örnek Varyans	0.03
Basıklık	0.04
Çarpıklık	0.76
Aralık	0.73
En Küçük	0.53
En Büyük	1.27
Toplam	44.83
Say	55
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.04

Çizelge 7.33 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa)
verileri YSA (Eğt. Seti) için istatistiksel
sonuçlar

YSA Eğitim Seti	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.02
Ortanca	1.00
Standart Sapma	0.10
Örnek Varyans	0.01
Basıklık	0.01
Çarpıklık	0.05
Aralık	0.40
En Küçük	0.81
En Büyük	1.21
Toplam	38.98
Say	39
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Çizelge 7.34 $\rho > \%2$ ve $f_c > 50$ (MPa)
verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel
sonuçlar

YSA Test Seti	$\rho > \%2$ ve $f_c > 50$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.01
Standart Sapma	0.15
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	-0.50
Çarpıklık	0.24
Aralık	0.54
En Küçük	0.77
En Büyük	1.31
Toplam	16.06
Say	16
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.07

Ek 1f $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.35 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatistiksel sonuçlar

EC-2	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	0.99
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.94
Standart Sapma	0.14
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	2.72
Çarpıklık	1.53
Aralık	0.67
En Küçük	0.78
En Büyük	1.45
Toplam	33.58
Say	34
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.04

Çizelge 7.36 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatistiksel sonuçlar

ACI 11-5	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.37
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.35
Standart Sapma	0.25
Örnek Varyans	0.06
Basıklık	-0.21
Çarpıklık	0.30
Aralık	1.01
En Küçük	0.92
En Büyük	1.93
Toplam	46.74
Say	34
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.07

Çizelge 7.37 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatistiksel sonuçlar

ACI 11-3	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.52
Standart Hata	0.05
Ortanca	1.47
Standart Sapma	0.31
Örnek Varyans	0.10
Basıklık	-0.08
Çarpıklık	0.54
Aralık	1.22
En Küçük	1.01
En Büyük	2.23
Toplam	51.52
Say	34
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.09

Çizelge 7.38 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatistiksel sonuçlar

TS-500	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.67
Standart Hata	0.06
Ortanca	1.61
Standart Sapma	0.34
Örnek Varyans	0.12
Basıklık	-0.08
Çarpıklık	0.54
Aralık	1.34
En Küçük	1.11
En Büyük	2.45
Toplam	56.62
Say	34
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.10

Çizelge 7.39 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)
verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar

CEB-FIB	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.13
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.08
Standart Sapma	0.26
Örnek Varyans	0.07
Basıklık	0.00
Çarpıklık	0.72
Aralık	1.08
En Küçük	0.73
En Büyük	1.81
Toplam	38.27
Say	34
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.08

Çizelge 7.40 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)
verileri YSA (ES) için istatistiksel
sonuçlar

YSA Eğitim Seti	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.02
Ortanca	1.00
Standart Sapma	0.08
Örnek Varyans	0.01
Basıklık	3.07
Çarpıklık	-0.02
Aralık	0.45
En Küçük	0.78
En Büyük	1.23
Toplam	26.91
Say	27
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Çizelge 7.41 $\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)
verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel
sonuçlar

YSA Test Seti	$\rho > \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.00
Standart Sapma	0.09
Örnek Varyans	0.01
Basıklık	0.80
Çarpıklık	-0.44
Aralık	0.31
En Küçük	0.83
En Büyük	1.14
Toplam	7.97
Say	8
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Ek 1g $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.42 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar

EC-2	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	0.97
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.95
Standart Sapma	0.16
Örnek Varyans	0.03
Basıklık	-0.16
Çarpıklık	0.32
Aralık	0.69
En Küçük	0.67
En Büyük	1.37
Toplam	63.80
Say	66
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.03

Çizelge 7.43 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-5	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.11
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.11
Standart Sapma	0.28
Örnek Varyans	0.08
Basıklık	-0.37
Çarpıklık	0.33
Aralık	1.15
En Küçük	0.62
En Büyük	1.76
Toplam	73.10
Say	66
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Çizelge 7.44 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-3	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.14
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.15
Standart Sapma	0.30
Örnek Varyans	0.09
Basıklık	-0.46
Çarpıklık	0.34
Aralık	1.22
En Küçük	0.62
En Büyük	1.84
Toplam	75.14
Say	66
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Çizelge 7.45 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar

TS-500	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.25
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.26
Standart Sapma	0.33
Örnek Varyans	0.11
Basıklık	-0.46
Çarpıklık	0.34
Aralık	1.34
En Küçük	0.68
En Büyük	2.02
Toplam	82.57
Say	66
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.07

Çizelge 7.46 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)
verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar

CEB-FIB	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.21
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.22
Standart Sapma	0.22
Örnek Varyans	0.05
Basıklık	-0.68
Çarpıklık	-0.18
Aralık	0.96
En Küçük	0.70
En Büyük	1.67
Toplam	79.96
Say	66
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.05

Çizelge 7.47 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)
verileri YSA (Eğitim Seti) için
istatistiksel sonuçlar

YSA Eğitim Seti	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.00
Ortanca	1.00
Standart Sapma	0.02
Örnek Varyans	0.00
Basıklık	5.08
Çarpıklık	-0.56
Aralık	0.13
En Küçük	0.93
En Büyük	1.06
Toplam	34.00
Say	34
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.01

Çizelge 7.48 $\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$ (MPa)
verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel
sonuçlar

YSA Test Seti	$\rho < \%2$ ve $f_c \leq 50$
Ortalama	1.03
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.01
Standart Sapma	0.13
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	-0.53
Çarpıklık	0.26
Aralık	0.45
En Küçük	0.83
En Büyük	1.28
Toplam	14.45
Say	14
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Ek 1h $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) Verilerin İstatiksel Sonuçları

Çizelge 7.49 $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri EC-2 için istatiksel sonuçlar

EC-2	$1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ MPa
Ortalama	0.95
Standart Hata	0.01
Ortanca	0.93
Standart Sapma	0.14
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	1.36
Çarpıklık	0.84
Aralık	0.78
En Küçük	0.67
En Büyük	1.45
Toplam	106.16
Say	112
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.02

Çizelge 7.50 $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri ACI 11-5 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-5	$1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ MPa
Ortalama	1.23
Standart Hata	0.03
Ortanca	1.20
Standart Sapma	0.31
Örnek Varyans	0.10
Basıklık	-0.26
Çarpıklık	0.43
Aralık	1.34
En Küçük	0.62
En Büyük	1.96
Toplam	137.80
Say	112
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.05

Çizelge 7.51 $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri ACI 11-3 için istatiksel sonuçlar

ACI 11-3	$1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ MPa
Ortalama	1.33
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.27
Standart Sapma	0.39
Örnek Varyans	0.15
Basıklık	0.00
Çarpıklık	0.66
Aralık	1.79
En Küçük	0.63
En Büyük	2.42
Toplam	148.78
Say	112
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.06

Çizelge 7.52 $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa) verileri TS-500 için istatiksel sonuçlar

TS-500	$1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ MPa
Ortalama	1.46
Standart Hata	0.04
Ortanca	1.40
Standart Sapma	0.43
Örnek Varyans	0.18
Basıklık	0.00
Çarpıklık	0.66
Aralık	1.97
En Küçük	0.69
En Büyük	2.66
Toplam	163.49
Say	112
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.07

Çizelge 7.53 $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa)
verileri CEB-FIB için istatistiksel sonuçlar

CEB-FIB	$1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ MPa
Ortalama	1.01
Standart Hata	0.02
Ortanca	0.99
Standart Sapma	0.24
Örnek Varyans	0.06
Basıklık	0.45
Çarpıklık	0.61
Aralık	1.24
En Küçük	0.56
En Büyük	1.81
Toplam	112.72
Say	112
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.04

Çizelge 7.54 $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa)
verileri YSA (Eğt. Seti) için istatistiksel
sonuçlar

YSA Eğitim Seti	$1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ MPa
Ortalama	1.01
Standart Hata	0.01
Ortanca	1.00
Standart Sapma	0.11
Örnek Varyans	0.01
Basıklık	2.61
Çarpıklık	0.88
Aralık	0.67
En Küçük	0.77
En Büyük	1.44
Toplam	80.41
Say	80
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.02

Çizelge 7.55 $1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ (MPa)
verileri YSA (Test Seti) için istatistiksel
sonuçlar

YSA Test Seti	$1 \leq \rho$ ve $f_c \leq 68.95$ MPa
Ortalama	1.00
Standart Hata	0.03
Ortanca	0.97
Standart Sapma	0.14
Örnek Varyans	0.02
Basıklık	-0.15
Çarpıklık	0.35
Aralık	0.57
En Küçük	0.74
En Büyük	1.31
Toplam	31.84
Say	32
Güvenirlilik Düzeyi(90.0%)	0.04

Ek 2a Bir Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performansları Çizelgesi

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama no	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
1	Eğitim Seti	1	0.98	0.20	20.54
		2	0.98	0.20	20.54
		3	0.98	0.20	20.59
		4	0.98	0.20	20.57
		5	0.98	0.20	20.58
	Test Seti	1	1.02	0.24	23.46
		2	1.02	0.24	23.45
		3	1.02	0.24	23.52
		4	1.02	0.24	23.49
		5	1.02	0.24	23.50
2	Eğitim Seti	1	0.98	0.20	20.56
		2	0.99	0.15	15.32
		3	0.99	0.15	15.14
		4	0.99	0.15	15.33
		5	0.98	0.16	16.51
	Test Seti	1	1.02	0.24	23.48
		2	1.01	0.17	17.29
		3	1.01	0.17	17.28
		4	1.01	0.17	17.26
		5	1.00	0.19	19.40
3	Eğitim Seti	1	0.98	0.20	20.59
		2	0.99	0.14	14.33
		3	0.99	0.14	14.39
		4	0.99	0.13	13.59
		5	0.99	0.14	13.67
	Test Seti	1	1.02	0.24	23.52
		2	1.03	0.18	17.85
		3	1.03	0.19	18.03
		4	1.01	0.16	15.62
		5	1.02	0.17	16.25
4	Eğitim Seti	1	0.99	0.14	13.85
		2	0.98	0.20	20.57
		3	1.00	0.13	12.67
		4	0.99	0.13	13.43
		5	0.99	0.15	15.60
	Test Seti	1	1.03	0.18	17.26
		2	1.02	0.24	23.49
		3	1.04	0.18	17.45
		4	1.00	0.15	15.31
		5	1.02	0.32	31.51

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama no	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
5	Eğitim Seti	1	0.99	0.13	12.66
		2	1.00	0.14	13.88
		3	1.00	0.10	10.44
		4	0.99	0.13	13.32
		5	0.99	0.14	14.02
	Test Seti	1	1.01	0.18	17.58
		2	1.03	0.18	17.17
		3	1.03	0.19	18.13
		4	1.02	0.16	15.34
		5	1.00	0.17	16.69
6	Eğitim Seti	1	0.99	0.13	12.77
		2	1.00	0.11	10.79
		3	0.99	0.12	12.13
		4	1.00	0.11	11.21
		5	1.00	0.10	10.42
	Test Seti	1	1.01	0.17	16.86
		2	1.02	0.17	16.48
		3	1.11	0.68	61.69
		4	1.03	0.17	16.47
		5	1.03	0.22	21.23
7	Eğitim Seti	1	0.99	0.12	11.62
		2	1.00	0.10	9.78
		3	1.00	0.12	11.94
		4	0.99	0.12	12.01
		5	1.00	0.11	10.92
	Test Seti	1	1.02	0.18	17.34
		2	1.03	0.30	29.29
		3	1.06	0.20	18.58
		4	1.01	0.21	20.83
		5	1.02	0.16	15.67
8	Eğitim Seti	1	1.00	0.10	9.60
		2	0.99	0.11	10.72
		3	1.00	0.11	10.74
		4	1.00	0.10	9.76
		5	1.00	0.10	10.20
	Test Seti	1	1.07	0.42	39.27
		2	1.02	0.16	15.79
		3	1.01	0.27	26.98
		4	1.03	0.30	28.69
		5	1.00	0.19	19.36

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama no	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
9	Eğitim Seti	1	1.00	0.11	10.88
		2	1.00	0.09	8.86
		3	1.01	0.10	10.28
		4	0.99	0.12	11.63
		5	1.00	0.09	8.98
	Test Seti	1	1.01	0.18	17.65
		2	1.03	0.19	17.93
		3	1.02	0.26	25.14
		4	1.03	0.19	18.71
		5	1.02	0.18	17.94
10	Eğitim Seti	1	1.00	0.10	9.80
		2	1.00	0.09	8.80
		3	1.00	0.09	8.74
		4	1.00	0.09	9.30
		5	1.00	0.10	9.70
	Test Seti	1	1.03	0.17	16.79
		2	1.01	0.16	16.06
		3	1.03	0.15	14.87
		4	1.02	0.18	17.15
		5	1.03	0.22	21.67
11	Eğitim Seti	1	1.00	0.09	9.16
		2	1.00	0.09	8.88
		3	1.00	0.09	9.12
		4	1.00	0.08	8.06
		5	1.01	0.11	10.54
	Test Seti	1	1.01	0.17	16.67
		2	1.01	0.26	26.01
		3	1.06	0.29	27.35
		4	1.00	0.16	15.97
		5	1.04	0.21	20.22
12	Eğitim Seti	1	1.00	0.09	8.62
		2	1.00	0.09	9.39
		3	1.00	0.08	7.64
		4	1.00	0.08	8.00
		5	1.00	0.09	8.61
	Test Seti	1	0.99	0.16	15.68
		2	1.02	0.21	20.59
		3	1.12	0.53	46.97
		4	0.98	0.16	16.67
		5	1.03	0.22	21.21

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama no	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
13	Eğitim Seti	1	1.00	0.07	7.14
		2	1.00	0.08	7.99
		3	1.00	0.08	7.68
		4	1.00	0.08	8.32
		5	1.00	0.08	8.27
	Test Seti	1	1.02	0.18	17.42
		2	1.02	0.19	19.06
		3	1.04	0.17	16.36
		4	1.07	0.29	26.72
		5	1.02	0.17	16.80
14	Eğitim Seti	1	1.00	0.09	9.22
		2	1.00	0.08	8.43
		3	1.00	0.08	7.63
		4	1.00	0.07	7.44
		5	1.00	0.08	8.48
	Test Seti	1	0.99	0.15	15.09
		2	1.07	0.24	22.74
		3	0.98	0.20	20.86
		4	1.02	0.17	16.54
		5	1.02	0.24	24.05
15	Eğitim Seti	1	1.00	0.08	8.34
		2	0.99	0.09	8.79
		3	1.00	0.07	7.45
		4	1.00	0.08	8.34
		5	1.00	0.07	6.61
	Test Seti	1	1.04	0.15	14.34
		2	1.03	0.19	18.97
		3	1.04	0.17	16.54
		4	1.12	0.45	39.90
		5	1.01	0.16	16.05
16	Eğitim Seti	1	1.00	0.07	7.25
		2	1.00	0.08	8.29
		3	1.00	0.07	6.86
		4	1.00	0.08	7.56
		5	1.01	0.08	7.76
	Test Seti	1	1.02	0.20	19.35
		2	0.99	0.18	18.09
		3	1.06	0.34	31.61
		4	1.07	0.32	29.74
		5	1.05	0.16	15.60

İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama no	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
17	Eğitim Seti	1	1.00	0.08	8.14
		2	1.00	0.07	7.08
		3	1.00	0.08	8.31
		4	1.00	0.07	6.65
		5	1.00	0.07	7.23
	Test Seti	1	1.14	0.67	58.84
		2	1.02	0.26	25.16
		3	1.03	0.15	14.28
		4	0.99	0.16	15.77
		5	1.08	0.40	37.10
18	Eğitim Seti	1	1.00	0.08	7.69
		2	1.00	0.06	5.81
		3	1.00	0.06	6.15
		4	1.00	0.07	6.94
		5	1.00	0.06	5.83
	Test Seti	1	1.02	0.16	15.75
		2	1.07	0.44	41.42
		3	1.03	0.30	29.09
		4	1.01	0.18	17.76
		5	1.00	0.16	15.58
19	Eğitim Seti	1	1.00	0.08	7.65
		2	1.00	0.07	7.15
		3	1.00	0.05	5.41
		4	1.00	0.07	6.61
		5	1.00	0.06	6.09
	Test Seti	1	1.13	0.61	53.75
		2	0.99	0.24	24.25
		3	1.01	0.18	17.39
		4	1.07	0.22	20.81
		5	1.09	0.45	41.63
20	Eğitim Seti	1	1.00	0.06	6.23
		2	1.00	0.07	6.84
		3	1.00	0.07	6.71
		4	1.00	0.06	6.32
		5	1.00	0.07	7.37
	Test Seti	1	1.09	0.46	42.30
		2	1.05	0.32	30.82
		3	1.01	0.21	20.44
		4	1.01	0.27	26.89
		5	1.05	0.16	15.14

Ek 2b İki Gizli Katmanlı, İşlem Elemanı Sayılarına Bağlı Olarak Eğitim ve Test Performansları Çizelgesi

Birinci Katman İşlem Elemanı Sayısı	İkinci Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama no	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
5	5	Eğitim Seti	1	1.00	0.11	10.56
			2	0.99	0.11	11.22
			3	1.00	0.09	9.45
			4	1.00	0.11	10.55
			5	0.99	0.12	12.35
		Test Seti	1	1.03	0.14	13.27
			2	1.03	0.16	15.23
			3	1.07	0.33	31.15
			4	1.01	0.15	14.79
			5	1.03	0.15	14.80
5	4	Eğitim Seti	1	0.99	0.10	10.04
			2	1.00	0.11	11.09
			3	1.00	0.10	10.14
			4	1.00	0.11	10.71
			5	1.00	0.09	9.35
		Test Seti	1	1.02	0.16	15.87
			2	1.04	0.15	14.05
			3	1.03	0.20	19.81
			4	1.04	0.17	16.30
			5	0.98	0.19	18.90
4	4	Eğitim Seti	1	1.00	0.11	10.87
			2	1.00	0.12	11.62
			3	1.00	0.11	11.15
			4	1.00	0.11	10.82
			5	0.99	0.13	12.88
		Test Seti	1	1.02	0.16	15.22
			2	1.02	0.16	15.80
			3	1.07	0.18	17.19
			4	1.03	0.14	13.48
			5	1.04	0.19	18.26
4	3	Eğitim Seti	1	0.99	0.15	14.65
			2	1.00	0.13	13.27
			3	0.99	0.12	11.91
			4	1.00	0.11	11.48
			5	1.00	0.13	13.21
		Test Seti	1	1.00	0.17	16.49
			2	1.02	0.18	17.33
			3	1.01	0.19	18.43
			4	1.02	0.19	18.81
			5	1.08	0.48	44.66

Birinci Katman İşlem Elemanı Sayısı	İkinci Katman İşlem Elemanı Sayısı	Test Seti	Uygulama no	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
4	2	Eğitim Seti	1	0.99	0.14	14.34
			2	0.99	0.14	13.60
			3	0.99	0.13	13.10
			4	0.99	0.13	13.32
			5	1.00	0.11	10.83
		Test Seti	1	1.03	0.20	18.96
			2	1.04	0.19	18.30
			3	1.01	0.16	16.32
			4	1.02	0.16	15.74
			5	1.02	0.15	14.70
3	3	Eğitim Seti	1	1.00	0.12	12.09
			2	0.99	0.15	15.18
			3	1.00	0.13	12.97
			4	0.99	0.15	14.77
			5	0.99	0.15	14.80
		Test Seti	1	1.03	0.16	15.30
			2	1.01	0.19	19.02
			3	1.03	0.15	14.96
			4	1.00	0.17	16.93
			5	1.02	0.18	17.57
3	2	Eğitim Seti	1	0.99	0.12	11.83
			2	1.00	0.17	16.98
			3	1.00	0.16	15.88
			4	0.99	0.12	12.53
			5	0.99	0.15	15.09
		Test Seti	1	1.02	0.14	14.04
			2	1.03	0.18	17.64
			3	1.03	0.18	17.81
			4	1.00	0.15	14.96
			5	1.01	0.17	16.74

Ek 3 Veritabanı

Kesme donatısız kirişler											Vtahmin (kN)						Vtest/Vtahmin							
Uygulayıcı	Genel No	Uygulama No	Adı	YSA	b (mm)	d (mm)	fc (Mpa)	p (%)	a/d	Vtest kN	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi
Morrow Viest 1957	1	1	b40b4	E	305	368	34.8	1.85	2.8	155.7	140.7	118.7	110.4	100.4	129.5	142.6	139.0	1.11	1.31	1.41	1.55	1.20	1.09	1.12
	2	2	b56b2	T	305	368	14.7	1.85	3.9	100.1	105.5	78.0	71.7	65.3	72.9	106.8	124.6	0.95	1.28	1.40	1.53	1.37	0.94	0.80
	3	3	b56a4	E	305	375	25.0	2.41	3.8	137.9	139.7	103.8	95.3	86.7	121.3	138.3	136.4	0.99	1.33	1.45	1.59	1.14	1.00	1.01
	4	4	b56b4	E	305	368	27.2	1.85	3.9	122.3	129.6	102.8	97.6	88.8	109.9	121.0	128.2	0.94	1.19	1.25	1.38	1.11	1.01	0.95
	5	5	b56a4	T	305	368	28.4	1.24	3.9	109.0	115.0	101.8	99.7	90.7	95.2	103.0	120.7	0.95	1.07	1.09	1.20	1.14	1.06	0.90
	6	6	b56a6	E	308	356	39.9	3.79	4.0	177.9	184.0	128.5	115.4	105.0	208.5	172.4	155.1	0.97	1.38	1.54	1.69	0.85	1.03	1.15
	7	7	b56b6	E	305	372	45.7	1.83	3.8	136.8	154.8	131.9	127.8	116.3	156.2	138.4	134.2	0.88	1.04	1.07	1.18	0.88	0.99	1.02
	8	8	b113b4	T	305	365	32.6	1.87	7.9	104.3	137.2	106.2	105.9	96.4	123.7	78.4	98.3	0.76	0.98	0.98	1.08	0.84	1.33	1.06
	9	9	b70b2	E	305	365	16.3	1.87	4.9	89.0	108.9	79.2	74.9	68.2	77.9	95.2	117.0	0.82	1.12	1.19	1.31	1.14	0.93	0.76
	10	10	b70a4	E	305	368	27.2	2.46	4.8	132.3	142.5	103.4	97.6	88.8	127.3	124.5	128.5	0.93	1.28	1.36	1.49	1.04	1.06	1.03
	11	11	b70a6	E	305	356	45.0	3.83	5.0	177.9	190.3	130.7	121.4	110.5	225.2	167.4	148.0	0.93	1.36	1.47	1.61	0.79	1.06	1.20
	12	12	b84b4	T	305	363	27.2	1.88	5.9	111.2	128.9	98.4	96.2	87.6	109.3	94.7	112.1	0.86	1.13	1.16	1.27	1.02	1.17	0.99
Elzanaty Nilson Slate (1986)	13	1	F11	T	178	273	20.6	1.20	4.0	44.8	47.2	37.7	36.7	33.4	32.8	42.5	49.7	0.95	1.19	1.22	1.34	1.36	1.05	0.90
	14	2	F12	E	178	273	20.6	2.50	4.0	54.5	60.3	40.4	36.7	33.4	46.2	61.3	66.4	0.90	1.35	1.48	1.63	1.18	0.89	0.82
	15	3	F8	E	178	273	39.9	1.00	4.0	46.0	55.4	51.1	51.1	46.5	47.8	43.8	52.7	0.83	0.90	0.90	0.99	0.96	1.05	0.87
	16	4	F13	T	178	273	39.9	1.20	4.0	46.4	58.9	51.5	51.1	46.5	51.0	47.1	55.2	0.79	0.90	0.91	1.00	0.91	0.98	0.84
	17	5	F14	E	178	273	39.9	2.50	4.0	64.9	75.2	54.2	51.1	46.5	71.7	69.5	71.9	0.86	1.20	1.27	1.40	0.91	0.93	0.90
	18	6	F1	E	178	273	65.5	1.20	4.0	58.7	69.5	65.3	65.5	59.6	71.0	52.2	62.6	0.84	0.90	0.90	0.99	0.83	1.13	0.94
	19	7	F2	E	178	273	65.5	2.50	4.0	67.2	88.7	68.0	65.5	59.6	99.8	77.8	79.3	0.76	0.99	1.03	1.13	0.67	0.86	0.85
	20	8	F9	T	178	273	79.2	1.60	4.0	63.7	81.4	72.4	72.0	65.5	90.6	62.5	71.7	0.78	0.88	0.88	0.97	0.70	1.02	0.89
	21	9	F10	E	178	273	65.5	3.30	4.0	78.5	97.3	69.7	65.5	59.6	117.6	92.1	89.6	0.81	1.13	1.20	1.32	0.67	0.85	0.88
	22	10	F15	E	178	273	79.2	2.50	4.0	68.3	94.5	74.3	72.0	65.5	113.3	81.1	83.3	0.72	0.92	0.95	1.04	0.60	0.84	0.82
	23	11	F6	T	178	273	63.4	2.50	6.0	61.9	87.8	65.3	64.4	58.6	97.7	65.1	63.1	0.71	0.95	0.96	1.06	0.63	0.95	0.98

Kesme donatısız kirişler										Vtahmin (kN)					Vtest/Vtahmin									
Uygulayıcı	Genel No	Uygulama No	Adı	YSA	b (mm)	d (mm)	fc (Mpa)	p (%)	a/d	Vtest kN	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi
Mphonde Frantz (1984)	24	1	A0-3-3b	E	152	298	22.6	3.36	3.6	64.6	62.8	41.6	35.9	32.7	54.6	68.7	74.6	1.03	1.55	1.80	1.98	1.18	0.94	0.87
	25	2	A0-3-3c	E	152	298	29.5	2.32	3.6	66.8	60.7	44.3	41.0	37.3	52.5	60.9	63.2	1.10	1.51	1.63	1.79	1.27	1.10	1.06
	26	3	A0-7-3a	T	152	298	40.9	3.36	3.6	82.2	76.5	53.5	48.3	43.9	81.1	78.2	79.9	1.07	1.53	1.70	1.87	1.01	1.05	1.03
	27	4	A0-7-3b	E	152	298	45.2	3.36	3.6	82.8	79.1	55.9	50.8	46.2	86.6	80.1	81.1	1.05	1.48	1.63	1.79	0.96	1.03	1.02
	28	5	A0-11-3a	E	152	298	81.4	3.36	3.6	89.7	96.3	72.6	68.1	62.0	128.3	91.8	91.6	0.93	1.24	1.32	1.45	0.70	0.98	0.98
	29	6	A0-11-3b	T	152	298	81.1	3.36	3.6	89.4	96.2	72.5	68.0	61.9	127.9	91.7	91.5	0.93	1.23	1.31	1.44	0.70	0.97	0.98
	30	7	A0-15-3a	E	152	298	88.4	3.36	3.6	93.5	99.0	75.3	71.0	64.6	135.5	93.2	93.6	0.94	1.24	1.32	1.45	0.69	1.00	1.00
	31	8	A0-15-3b	E	152	298	101.8	3.36	3.6	100.0	103.7	80.3	76.2	69.3	148.9	95.4	97.5	0.96	1.25	1.31	1.44	0.67	1.05	1.03
	32	9	A0-15-3c	E	152	298	99.8	3.36	3.6	97.8	103.0	79.6	75.4	68.6	146.9	95.1	96.9	0.95	1.23	1.30	1.43	0.67	1.03	1.01
	33	10	A0-3-2	E	152	298	22.4	3.36	2.5	77.8	62.6	44.6	35.7	32.5	54.3	78.3	83.1	1.24	1.74	2.18	2.39	1.43	0.99	0.94
	34	11	A0-7-2	E	152	298	49.1	3.36	2.5	117.9	81.4	61.1	52.9	48.1	91.6	90.1	90.8	1.45	1.93	2.23	2.45	1.29	1.31	1.30
	35	12	A0-11-2	T	152	298	86.2	3.36	2.5	111.3	98.1	77.6	70.1	63.8	133.2	99.0	101.5	1.13	1.43	1.59	1.74	0.84	1.12	1.10
Islam Pam Kwan 1998	36	1	M100-S0	E	150	203	83.3	3.22	3.9	65.0	70.4	48.7	46.3	42.2	85.3	72.3	71.6	0.92	1.33	1.40	1.54	0.76	0.90	0.91
	37	2	M100-S3	E	150	203	83.3	3.22	3.0	96.9	70.4	50.1	46.3	42.2	85.3	78.7	79.3	1.38	1.93	2.09	2.30	1.14	1.23	1.22
	38	3	M100-S4	T	150	203	83.3	3.22	3.9	80.7	70.4	48.7	46.3	42.2	85.3	72.3	71.6	1.15	1.66	1.74	1.91	0.95	1.12	1.13
	39	4	M80-S0	E	150	203	72.2	3.22	3.9	58.0	67.2	45.6	43.1	39.2	77.5	68.7	68.4	0.86	1.27	1.35	1.48	0.75	0.84	0.85
	40	5	M80-S4	T	150	203	72.2	3.22	3.9	72.1	67.2	45.6	43.1	39.2	77.5	68.7	68.4	1.07	1.58	1.67	1.84	0.93	1.05	1.05
	41	6	M60-S0	E	150	207	50.8	2.02	3.9	45.5	51.9	38.2	36.9	33.6	48.2	46.5	48.1	0.88	1.19	1.23	1.36	0.94	0.98	0.95
	42	7	M60-S4	E	150	207	50.8	2.02	3.9	51.9	51.9	38.2	36.9	33.6	48.2	46.5	48.1	1.00	1.36	1.41	1.55	1.08	1.12	1.08
	43	8	M40-S0	E	150	205	34.4	3.19	3.9	55.0	52.7	33.1	30.1	27.4	47.5	52.7	57.8	1.04	1.66	1.83	2.01	1.16	1.04	0.95
	44	9	M25-S0	T	150	207	26.6	2.02	3.9	47.5	41.8	28.4	26.7	24.3	31.3	40.3	41.1	1.14	1.67	1.78	1.96	1.52	1.18	1.16
	45	10	M25-S3	E	150	207	26.6	2.02	2.9	56.5	41.8	29.3	26.7	24.3	31.3	45.1	48.6	1.35	1.93	2.12	2.33	1.81	1.25	1.16
	46	1	B100	E	300	925	36.0	1.00	2.9	225.0	241.6	282.6	277.5	252.5	172.3	231.7	214.3	0.93	0.80	0.81	0.89	1.31	0.97	1.05
	47	2	B100-R	T	300	925	36.0	1.00	2.9	249.0	241.6	282.6	277.5	252.5	172.3	231.7	214.3	1.03	0.88	0.90	0.99	1.45	1.07	1.16
	48	3	B100L	E	300	925	39.0	1.00	2.9	223.0	248.2	293.4	288.8	262.8	181.8	230.3	215.1	0.90	0.76	0.77	0.85	1.23	0.97	1.04
	49	4	B100L-R	E	300	925	39.0	1.00	2.9	235.0	248.2	293.4	288.8	262.8	181.8	230.3	215.1	0.95	0.80	0.81	0.89	1.29	1.02	1.09

Kesme donatısız kırışlar										Vtahmin (kN)					Vtest/Vtahmin									
Uygulayıcı	Genel No	Uygulama No	Adı	YSA	b (mm)	d (mm)	fc (Mpa)	p (%)	a/d	Vtest kN	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi
Collins Kuchma (1999)	50	5	B100B	T	300	925	39.0	1.00	2.9	204.0	248.2	293.4	288.8	262.8	181.8	230.3	215.1	0.82	0.70	0.71	0.78	1.12	0.89	0.95
	51	6	BN100	E	300	925	37.0	0.75	2.9	192.0	221.5	282.2	281.3	256.0	160.9	215.9	211.4	0.87	0.68	0.68	0.75	1.19	0.89	0.91
	52	7	BN50	E	300	450	37.0	0.81	3.0	131.7	125.8	137.6	136.9	124.5	118.5	122.6	135.5	1.05	0.96	0.96	1.06	1.11	1.07	0.97
	53	8	BN25	E	300	225	37.0	0.88	3.0	72.9	75.4	69.1	68.4	62.3	60.7	66.5	100.4	0.97	1.06	1.07	1.17	1.20	1.10	0.73
	54	9	BN12	E	300	110	37.0	0.90	3.1	40.0	38.2	33.8	33.5	30.4	29.9	42.4	81.7	1.05	1.18	1.20	1.31	1.34	0.94	0.49
	55	10	SE100A-45	T	295	920	50.0	1.03	2.5	200.8	266.5	326.1	319.8	291.1	213.5	221.7	219.1	0.75	0.62	0.63	0.69	0.94	0.91	0.92
	56	11	SE100A-45-R	E	295	920	50.0	1.03	2.5	235.7	266.5	326.1	319.8	291.1	213.5	221.7	219.1	0.88	0.72	0.74	0.81	1.10	1.06	1.08
	57	12	SE50A-45	E	169	459	53.0	1.03	2.7	68.6	87.9	95.3	94.1	85.7	93.3	73.5	93.0	0.78	0.72	0.73	0.80	0.74	0.93	0.74
	58	13	SE50A-45-R	T	169	459	53.0	1.03	2.7	80.5	87.9	95.3	94.1	85.7	93.3	73.5	93.0	0.92	0.84	0.86	0.94	0.86	1.10	0.87
	59	14	SE100A-83	E	295	920	86.0	1.03	2.5	184.0	319.3	421.7	419.5	381.7	306.4	199.1	229.5	0.58	0.44	0.44	0.48	0.60	0.92	0.80
	60	15	SE50A-83	E	169	459	91.0	1.03	2.7	73.1	105.3	123.4	123.3	112.2	133.7	74.7	104.0	0.69	0.59	0.59	0.65	0.55	0.98	0.70
	61	16	B100H	E	300	925	98.0	1.00	2.9	193.0	337.4	455.7	457.9	416.6	335.9	194.4	232.2	0.57	0.42	0.42	0.46	0.57	0.99	0.83
	62	17	B100HE	T	300	925	98.0	1.00	2.9	217.0	337.4	455.7	457.9	416.6	335.9	194.4	232.2	0.64	0.48	0.47	0.52	0.65	1.12	0.93
	63	18	BH100	E	300	925	99.0	0.75	2.9	193.0	307.6	453.9	460.2	418.8	310.0	179.6	229.3	0.63	0.43	0.42	0.46	0.62	1.07	0.84
	64	19	BH50	E	300	450	99.0	0.81	3.0	131.7	174.6	221.1	223.9	203.7	228.3	129.0	153.4	0.75	0.60	0.59	0.65	0.58	1.02	0.86
	65	20	BH25	E	300	225	99.0	0.88	3.0	84.8	104.6	110.8	111.9	101.9	117.0	95.2	118.3	0.81	0.77	0.76	0.83	0.72	0.89	0.72
	66	21	BRL100	E	300	925	94.0	0.50	2.9	163.0	264.1	438.6	448.4	408.1	272.3	169.8	224.6	0.62	0.37	0.36	0.40	0.60	0.96	0.73
Ahmad Khaloo Poveda (1986)	67	1	A8	E	127	208	60.8	1.77	3.0	48.9	44.8	35.6	34.3	31.2	43.3	41.2	45.2	1.09	1.37	1.43	1.57	1.13	1.19	1.08
	68	2	A1	E	127	203	60.8	3.93	4.0	57.8	57.4	36.5	33.5	30.5	66.5	55.6	64.4	1.01	1.59	1.73	1.90	0.87	1.04	0.90
	69	3	A2	E	127	203	60.8	3.93	3.0	69.0	57.4	37.9	33.5	30.5	66.5	63.9	72.2	1.20	1.82	2.06	2.26	1.04	1.08	0.96
	70	4	A3	T	127	203	60.8	3.93	2.7	69.0	57.4	38.5	33.5	30.5	66.5	66.4	74.5	1.20	1.79	2.06	2.26	1.04	1.04	0.93
	71	5	B1	E	127	202	67.0	5.04	4.0	51.2	64.2	39.1	35.0	31.8	83.8	60.5	80.3	0.80	1.31	1.46	1.61	0.61	0.85	0.64
	72	6	B2	E	127	202	67.0	5.04	3.0	68.9	64.2	40.9	35.0	31.8	83.8	67.8	88.1	1.07	1.68	1.97	2.16	0.82	1.02	0.78
	73	7	C1	T	127	184	64.3	6.64	4.0	54.3	63.3	36.6	31.2	28.4	91.1	63.6	97.2	0.86	1.48	1.74	1.91	0.60	0.85	0.56
	74	8	C2	E	127	184	64.3	6.64	3.0	75.6	63.3	38.8	31.2	28.4	91.1	69.6	105.0	1.19	1.95	2.42	2.66	0.83	1.09	0.72
	75	9	C3	E	127	184	64.3	6.64	2.7	69.0	63.3	39.8	31.2	28.4	91.1	71.5	107.3	1.09	1.73	2.21	2.43	0.76	0.96	0.64

Kesme donatısız kirişler										Vtahmin (kN)						Vtest/Vtahmin								
Uygulayıcı	Genel No	Uygulama No	Adı	YSA	b (mm)	d (mm)	fc (Mpa)	p (%)	a/d	Vtest kN	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analiz	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analiz
	76	10	C7	E	127	207	64.3	3.26	4.0	45.4	55.7	37.4	35.1	32.0	62.4	55.3	57.4	0.81	1.21	1.29	1.42	0.73	0.82	0.79
	77	11	C8	E	127	207	64.3	3.26	3.0	44.5	55.7	38.6	35.1	32.0	62.4	62.5	65.2	0.80	1.15	1.27	1.39	0.71	0.71	0.68
	78	12	C9	T	127	207	64.3	3.26	2.7	45.4	55.7	39.1	35.1	32.0	62.4	64.7	67.6	0.81	1.16	1.29	1.42	0.73	0.70	0.67
	79	13	B7	T	127	208	66.9	2.25	4.0	44.6	50.1	37.1	36.0	32.8	52.0	44.7	45.4	0.89	1.20	1.24	1.36	0.86	1.00	0.98
Yoon Cook Mitchell 1996	80	14	B8	E	127	208	66.9	2.25	3.0	46.7	50.1	37.9	36.0	32.8	52.0	49.6	53.2	0.93	1.23	1.30	1.43	0.90	0.94	0.88
	81	1	N1-S	E	375	655	36.0	2.80	3.2	249.0	319.5	272.0	245.6	223.5	341.6	268.6	222.5	0.78	0.92	1.01	1.11	0.73	0.93	1.12
	82	2	M1-S	T	375	655	67.0	2.80	3.2	296.0	393.0	357.9	335.1	304.9	516.9	291.5	231.4	0.75	0.83	0.88	0.97	0.57	1.02	1.28
	83	3	H1-S	E	375	655	87.0	2.80	3.2	327.0	428.7	402.8	381.8	347.5	615.2	298.8	237.2	0.76	0.81	0.86	0.94	0.53	1.09	1.38
Ahmad et al (1995)	84	1	LNN-3	E	127	216	40.3	1.04	3.0	22.6	33.6	29.5	29.0	26.4	27.6	30.4	31.2	0.67	0.77	0.78	0.86	0.82	0.74	0.73
	85	2	LHN-3	E	127	216	89.1	2.07	3.0	43.4	55.1	44.6	43.1	39.3	62.6	50.4	58.5	0.79	0.97	1.01	1.11	0.69	0.86	0.74
Kim Park (1994)	86	1	CTL-1	T	170	270	53.7	1.87	3.0	70.7	71.5	58.7	56.1	51.0	71.1	64.9	72.0	0.99	1.20	1.26	1.39	0.99	1.09	0.98
	87	2	CTL-2	E	170	270	53.7	1.87	3.0	71.6	71.5	58.7	56.1	51.0	71.1	64.9	72.0	1.00	1.22	1.28	1.40	1.01	1.10	0.99
	88	3	P1.0-1	E	170	272	53.7	1.01	3.0	58.3	58.5	56.9	56.5	51.4	55.7	48.5	61.2	1.00	1.02	1.03	1.13	1.05	1.20	0.95
	89	4	P1.0-2	T	170	272	53.7	1.01	3.0	56.4	58.5	56.9	56.5	51.4	55.7	48.5	61.2	0.96	0.99	1.00	1.10	1.01	1.16	0.92
	90	5	P3.4-1	E	170	267	53.7	3.35	3.0	78.1	86.0	61.8	55.4	50.4	97.2	91.1	90.5	0.91	1.26	1.41	1.55	0.80	0.86	0.86
	91	6	P3.4-2	E	170	267	53.7	3.35	3.0	78.5	86.0	61.8	55.4	50.4	97.2	91.1	90.5	0.91	1.27	1.42	1.56	0.81	0.86	0.87
	92	7	P4.6-1	E	170	255	53.7	4.68	3.0	89.7	92.9	62.3	52.9	48.2	115.9	93.1	105.7	0.97	1.44	1.69	1.86	0.77	0.96	0.85
	93	8	P4.6-2	E	170	255	53.7	4.68	3.0	95.4	92.9	62.3	52.9	48.2	115.9	93.1	105.7	1.03	1.53	1.80	1.98	0.82	1.02	0.90
	94	9	A4.5-1	E	170	270	53.7	1.87	4.5	66.6	71.5	57.1	56.1	51.0	71.1	56.8	60.3	0.93	1.17	1.19	1.30	0.94	1.17	1.10
	95	10	A4.5-2	T	170	270	53.7	1.87	4.5	63.8	71.5	57.1	56.1	51.0	71.1	56.8	60.3	0.89	1.12	1.14	1.25	0.90	1.12	1.06
	96	11	D142-1	E	170	142	53.7	1.87	3.0	41.0	40.4	30.9	29.5	26.8	37.4	46.3	51.5	1.02	1.33	1.39	1.53	1.10	0.89	0.80
	97	12	D142-2	T	170	142	53.7	1.87	3.0	39.3	40.4	30.9	29.5	26.8	37.4	46.3	51.5	0.97	1.27	1.33	1.47	1.05	0.85	0.76
	98	13	D550-1	E	300	550	53.7	1.87	3.0	226.1	221.3	210.9	201.5	183.4	255.6	202.0	169.9	1.02	1.07	1.12	1.23	0.88	1.12	1.33
	99	14	D550-2	E	300	550	53.7	1.87	3.0	214.5	221.3	210.9	201.5	183.4	255.6	202.0	169.9	0.97	1.02	1.06	1.17	0.84	1.06	1.26
	100	15	D915-1	E	300	915	53.7	1.87	3.0	299.2	337.0	350.9	335.3	305.1	291.3	269.7	228.3	0.89	0.85	0.89	0.98	1.03	1.11	1.31
	101	16	D915-2	T	300	915	53.7	1.87	3.0	332.1	337.0	350.9	335.3	305.1	291.3	269.7	228.3	0.99	0.95	0.99	1.09	1.14	1.23	1.45
	102	1	I-4		38	41	46.8	1.65	3.0	3.2	2.4	1.8	1.8	1.6	2.1	2.1	-23.5	1.37	1.76	1.84	2.02	1.57		-0.14

Kesme donatısız kirişler										Vtahmin (kN)						Vtest/Vtahmin								
Uygulayıcı	Genel No	Uygulama No	Adı	YSA	b (mm)	d (mm)	fc (Mpa)	p (%)	a/d	Vtest kN	EC-2	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi	EC-2	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi		
Bazant Kazamı -1991	103	2	I-5		38	41	46.8	1.65	3.0	3.0	2.4	1.8	1.8	1.6	2.1	-23.5	1.24	1.61	1.67	1.84	1.43	-0.13		
	104	3	I-6		38	41	46.8	1.65	3.0	3.1	2.4	1.8	1.8	1.6	2.1	-23.5	1.30	1.68	1.75	1.93	1.50	-0.13		
	105	4	I-7		38	81	46.8	1.65	3.0	5.5	4.7	3.7	3.5	3.2	4.1	-17.0	1.16	1.49	1.56	1.71	1.33	-0.32		
	106	5	I-8		38	81	46.8	1.65	3.0	5.6	4.7	3.7	3.5	3.2	4.1	-17.0	1.18	1.52	1.58	1.74	1.35	-0.33		
	107	6	I-9		38	81	46.8	1.65	3.0	5.2	4.7	3.7	3.5	3.2	4.1	-17.0	1.09	1.41	1.47	1.61	1.26	-0.30		
	108	7	I-10		38	163	46.8	1.65	3.0	9.1	9.5	7.4	7.1	6.4	8.3	-4.0	0.96	1.23	1.28	1.41	1.10	-2.27		
	109	8	I-11		38	163	46.8	1.65	3.0	9.8	9.5	7.4	7.1	6.4	8.3	-4.0	1.03	1.33	1.39	1.52	1.18	-2.45		
	110	9	I-12		38	163	46.8	1.65	3.0	10.1	9.5	7.4	7.1	6.4	8.3	-4.0	1.07	1.38	1.44	1.58	1.23	-2.54		
	111	10	II-4		38	41	46.1	1.62	3.0	2.9	2.4	1.8	1.8	1.6	2.1	-24.0	1.23	1.58	1.65	1.81	1.43	-0.12		
	112	11	II-5		38	41	46.1	1.62	3.0	2.7	2.4	1.8	1.8	1.6	2.1	-24.0	1.13	1.45	1.51	1.66	1.31	-0.11		
	113	12	II-6		38	41	46.1	1.62	3.0	3.2	2.4	1.8	1.8	1.6	2.1	-24.0	1.34	1.72	1.79	1.97	1.55	-0.13		
	114	13	II-7		38	83	46.1	1.62	3.0	5.4	4.8	3.7	3.6	3.2	4.1	-17.4	1.13	1.46	1.52	1.67	1.31	-0.31		
	115	14	II-8		38	83	46.1	1.62	3.0	5.0	4.8	3.7	3.6	3.2	4.1	-17.4	1.05	1.36	1.41	1.55	1.22	-0.29		
	116	15	II-9		38	83	46.1	1.62	3.0	4.4	4.8	3.7	3.6	3.2	4.1	-17.4	0.93	1.20	1.25	1.37	1.08	-0.26		
	117	16	II-10		38	165	46.1	1.62	3.0	7.3	9.5	7.4	7.1	6.5	8.2	-4.2	0.76	0.98	1.02	1.13	0.89	-1.75		
	118	17	II-11		38	165	46.1	1.62	3.0	8.4	9.5	7.4	7.1	6.5	8.2	-4.2	0.88	1.13	1.18	1.29	1.02	-2.01		
	119	18	II-12		38	165	46.1	1.62	3.0	8.2	9.5	7.4	7.1	6.5	8.2	-4.2	0.86	1.11	1.15	1.27	1.00	-1.97		
		120	1	B21	T	150	221	77.8	1.82	3.0	67.9	60.7	50.2	48.7	44.3	64.9	54.0	62.3	1.12	1.35	1.39	1.53	1.05	1.26
121		2	B11	E	150	221	54.0	1.82	3.0	58.1	53.7	42.4	40.6	36.9	50.9	50.0	55.4	1.08	1.37	1.43	1.57	1.14	1.16	1.05
122		3	B13	E	150	207	54.0	3.23	4.0	70.5	61.9	40.8	38.0	34.6	65.3	61.8	63.5	1.14	1.73	1.85	2.04	1.08	1.14	1.11
123		4	B14	E	150	207	54.0	3.23	3.0	82.6	61.9	42.2	38.0	34.6	65.3	69.3	71.3	1.33	1.96	2.17	2.39	1.27	1.19	1.16
124		5	B23	E	150	207	77.8	3.23	4.0	77.8	69.9	48.1	45.6	41.5	83.2	70.9	70.3	1.11	1.62	1.70	1.87	0.93	1.10	1.11
125		6	B24	T	150	207	77.8	3.23	3.0	82.6	69.9	49.5	45.6	41.5	83.2	77.7	78.2	1.18	1.67	1.81	1.99	0.99	1.06	1.06

Kesme donatısız kirişler										Vtahmin (kN)					Vtest/Vtahmin										
Uygulayıcı	Genel No	Uygulama No	Adı	YSA	b (mm)	d (mm)	fc (Mpa)	p (%)	a/d	Vtest kN	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi	
Thorenfeldt Drangsholt 1990	126	7	B33	E	150	207	58.0	3.23	4.0	68.0	63.4	42.1	39.4	35.9	68.4	63.5	64.6	1.07	1.62	1.73	1.90	0.99	1.07	1.05	
	127	8	B34	E	150	207	58.0	3.23	3.0	82.6	63.4	43.5	39.4	35.9	68.4	70.9	72.4	1.30	1.90	2.10	2.30	1.21	1.17	1.14	
	128	9	B43	E	150	207	86.4	3.23	4.0	86.2	72.4	50.4	48.1	43.8	89.3	73.6	72.8	1.19	1.71	1.79	1.97	0.97	1.17	1.18	
	129	10	B44	T	150	207	86.4	3.23	3.0	107.2	72.4	51.9	48.1	43.8	89.3	80.0	80.6	1.48	2.07	2.23	2.45	1.20	1.34	1.33	
	130	11	B53	E	150	207	97.7	3.23	4.0	76.8	75.5	53.4	51.2	46.5	96.9	76.5	76.1	1.02	1.44	1.50	1.65	0.79	1.00	1.01	
	131	12	B54	E	150	207	97.7	3.23	3.0	77.7	75.5	54.8	51.2	46.5	96.9	82.5	83.9	1.03	1.42	1.52	1.67	0.80	0.94	0.93	
	132	13	B63	E	300	414	77.8	3.23	4.0	229.4	239.1	192.3	182.6	166.2	332.9	225.0	164.8	0.96	1.19	1.26	1.38	0.69	1.02	1.39	
	133	14	B64	T	300	414	77.8	3.23	3.0	280.7	239.1	198.0	182.6	166.2	332.9	235.2	172.6	1.17	1.42	1.54	1.69	0.84	1.19	1.63	
	134	15	B51	E	150	221	97.7	1.82	3.0	56.2	65.5	55.8	54.6	49.7	75.6	56.2	68.0	0.86	1.01	1.03	1.13	0.74	1.00	0.83	
	135	16	B61	E	300	442	77.8	1.82	3.0	180.3	208.1	200.8	194.9	177.4	259.6	173.0	159.0	0.87	0.90	0.92	1.02	0.69	1.04	1.13	
	Kani Huggins Wilkopp 1979	136	1	1	E	150	137	28.0	2.75	5.9	28.7	31.5	19.0	18.1	16.5	25.3	27.8	23.5	0.91	1.51	1.58	1.74	1.13	1.03	1.22
		137	2	2	E	150	137	25.0	2.73	3.9	28.6	30.2	18.9	17.1	15.6	23.4	35.8	38.0	0.95	1.52	1.67	1.84	1.22	0.80	0.75
		138	3	3	T	150	137	25.0	2.80	3.0	32.7	30.5	19.7	17.1	15.6	23.7	41.2	46.0	1.07	1.66	1.91	2.10	1.38	0.79	0.71
		139	4	4	E	156	270	27.0	2.74	3.0	65.1	59.2	41.6	36.5	33.2	50.5	66.5	69.7	1.10	1.57	1.78	1.96	1.29	0.98	0.93
		140	5	5	E	151	270	27.0	2.84	4.0	55.4	58.0	38.8	35.3	32.1	49.9	58.6	61.1	0.95	1.43	1.57	1.72	1.11	0.95	0.91
		141	6	6	E	155	270	30.0	2.66	6.5	53.6	60.3	39.6	38.2	34.8	53.0	43.4	42.1	0.89	1.35	1.40	1.54	1.01	1.23	1.27
142		7	7	T	156	543	26.0	2.77	4.0	93.1	101.9	79.1	72.0	65.5	99.7	106.0	105.7	0.91	1.18	1.29	1.42	0.93	0.88	0.88	
143		8	8	E	156	543	27.0	2.77	3.1	107.8	103.2	83.2	73.4	66.8	102.3	111.2	112.8	1.04	1.30	1.47	1.61	1.05	0.97	0.96	
144		9	9	E	156	543	26.0	2.72	6.8	84.6	101.3	74.8	72.0	65.5	98.7	87.5	82.9	0.83	1.13	1.18	1.29	0.86	0.97	1.02	
145		10	10	E	154	1090	27.0	2.71	3.0	164.4	180.5	165.3	145.4	132.3	102.1	160.9	199.7	0.91	0.99	1.13	1.24	1.61	1.02	0.82	
146		11	11	T	152	1090	30.0	2.72	4.0	158.0	184.8	164.4	151.2	137.6	108.3	154.3	192.2	0.86	0.96	1.04	1.15	1.46	1.02	0.82	
147		12	12	E	155	1090	27.0	2.70	7.0	153.6	181.5	151.5	146.3	133.1	102.5	145.5	168.8	0.85	1.01	1.05	1.15	1.50	1.06	0.91	
148		13	15	E	152	270	17.0	0.50	3.0	27.2	28.1	28.2	28.2	25.7	19.1	30.9	36.6	0.97	0.96	0.96	1.06	1.43	0.88	0.74	

Kesme donatısız kirişler										Vtahmin (kN)					Vtest/Vtahmin									
Uygulayıcı	Genel No	Uygulama No	Adı	YSA	b (mm)	d (mm)	fc (Mpa)	p (%)	a/d	Vtest kN	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi	EC-2	ACI 11-5	ACI 11-3	TS-500	CEB-FIB	YSA	Reg. Analizi
Kani Huggins Wilkopp 1979	149	14	16	T	152	270	17.0	0.50	3.5	24.5	28.1	28.1	28.2	25.7	19.1	29.3	32.3	0.87	0.87	0.87	0.95	1.28	0.84	0.76
	150	15	17	E	152	270	28.0	0.50	3.5	25.4	33.1	35.8	36.2	32.9	26.6	30.9	35.9	0.77	0.71	0.70	0.77	0.95	0.82	0.71
	151	16	20	E	152	270	35.0	0.50	2.6	33.6	35.7	40.2	40.5	36.8	30.9	34.4	45.0	0.94	0.84	0.83	0.91	1.09	0.98	0.75
	152	17	21	E	152	270	35.0	0.50	3.5	24.9	35.7	39.8	40.5	36.8	30.9	31.5	37.5	0.70	0.63	0.62	0.68	0.81	0.79	0.66
	153	18	23	E	152	270	17.0	0.80	4.0	30.2	32.8	28.5	28.2	25.7	21.4	31.1	32.8	0.92	1.06	1.07	1.18	1.41	0.97	0.92
	154	19	24	E	152	270	17.0	0.80	5.0	27.3	32.8	28.2	28.2	25.7	21.4	28.1	24.5	0.83	0.97	0.97	1.06	1.28	0.97	1.11
	155	20	28	E	152	270	17.0	0.80	2.5	35.6	32.8	29.3	28.2	25.7	21.4	36.0	44.3	1.09	1.21	1.26	1.39	1.67	0.99	0.80
	156	21	29	T	152	270	17.0	0.80	3.0	32.5	32.8	28.9	28.2	25.7	21.4	34.1	40.1	0.99	1.12	1.15	1.27	1.52	0.95	0.81
	157	22	30	E	152	270	17.0	0.80	3.0	32.8	32.8	28.9	28.2	25.7	21.4	34.2	40.3	1.00	1.13	1.16	1.28	1.54	0.96	0.81
	158	23	32	E	152	270	26.0	0.80	3.0	38.8	37.8	35.4	34.9	31.7	28.4	35.7	43.0	1.03	1.10	1.11	1.22	1.37	1.09	0.90
	159	24	33	E	152	270	26.0	0.80	4.0	33.6	37.8	34.9	34.9	31.7	28.4	32.2	34.8	0.89	0.96	0.96	1.06	1.18	1.04	0.97
	160	25	34	T	152	270	26.0	0.80	2.5	41.5	37.8	35.7	34.9	31.7	28.4	37.4	46.8	1.10	1.16	1.19	1.31	1.46	1.11	0.89
	161	26	35	E	152	270	26.0	0.80	2.5	44.6	37.8	35.7	34.9	31.7	28.4	37.3	46.5	1.18	1.25	1.28	1.41	1.57	1.20	0.96
	162	27	36	E	152	270	26.0	0.80	5.1	25.7	37.8	34.6	34.9	31.7	28.4	29.2	26.6	0.68	0.74	0.74	0.81	0.91	0.88	0.97
	163	28	37	T	152	270	26.0	0.80	5.1	27.9	37.8	34.6	34.9	31.7	28.4	29.2	26.9	0.74	0.81	0.80	0.88	0.98	0.95	1.04
	164	29	38	E	152	270	26.0	0.80	2.5	43.3	37.8	35.7	34.9	31.7	28.4	37.4	46.8	1.15	1.21	1.24	1.36	1.53	1.16	0.92
	165	30	39	E	152	270	26.0	0.80	2.5	39.4	37.8	35.7	34.9	31.7	28.4	37.4	46.8	1.04	1.10	1.13	1.24	1.39	1.05	0.84
	166	31	42	E	152	270	26.0	0.80	3.0	39.3	37.8	35.3	34.9	31.7	28.4	35.6	42.8	1.04	1.11	1.13	1.24	1.39	1.11	0.92
	167	32	43	T	152	270	26.0	0.80	4.0	32.6	37.8	34.9	34.9	31.7	28.4	32.4	35.4	0.86	0.93	0.93	1.03	1.15	1.01	0.92
Cladera (2002)	168	1	H50/1	E	200	359	49.9	2.24	3.0	99.7	108.7	90.2	84.5	76.9	116.1	96.8	102.1	0.92	1.10	1.18	1.30	0.86	1.03	0.98
	169	2	H60/1	T	200	359	60.8	2.24	3.0	108.1	116.1	98.7	93.3	84.9	132.4	99.0	105.2	0.93	1.10	1.16	1.27	0.82	1.09	1.03
	170	3	H75/1	E	200	359	68.9	2.24	3.0	99.9	121.1	104.4	99.3	90.4	143.9	100.4	107.6	0.83	0.96	1.01	1.11	0.69	1.00	0.93
	171	4	H100/1	T	200	359	87.0	2.24	3.0	117.9	130.9	116.2	111.6	101.6	168.1	102.6	112.8	0.90	1.01	1.06	1.16	0.70	1.15	1.05

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 07.04.1979

Doğum yeri Balıkesir

Lise 1989-1997 Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2002 Ege Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2004 Arkon İnşaat San Tic A.Ş.

