İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LP SARGILI BETON İÇİN ÖNERİLMİŞ OLAN DAYANIM VE ŞEKİLDEĞİŞTİRME MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Onur GEDİK

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LP SARGILI BETON İÇİN ÖNERİLMİŞ OLAN DAYANIM VE ŞEKİLDEĞİŞTİRME MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Onur GEDİK
(501061098)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008

Tez Danışmanı :	**Doç.Dr. Alper İLKİ**
Diğer Jüri Üyeleri	**Doç.Dr. Kutlu DARILMAZ (İ.T.Ü.)**
	Yrd.Doç.Dr. Hilmi LUŞ (B.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde, lisans eğitimimde olduğu gibi bilgisini ve deneyimlerini benimle paylaşan, çalışma boyunca zaman ayırıp her türlü desteği gösteren sayın hocam Doç. Dr. Alper İLKİ'ye teşekkür ederim.

Çalışma içerisinde hazırlanan yazılımın geliştirilmesinde her saniye bilgisini benimle paylaşmış olan abim Yük. Müh. Adil Deniz DURU'ya ve veritabanının oluşturulmasındaki yüksek katkılarından dolayı Yük. Müh. Cem DEMİR'e teşekkür ederim.

Son olarak, bu çalışmada da, hayatım boyunca her alanda olduğu gibi beni destekleyen, annem Ekonomist Ayşe Sevgi GEDİK ve babam Yük. Müh. Gökay GEDİK'e ve tüm aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2008 Onur GEDİK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **xiv**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xvii**

1. GİRİŞ **1**

2. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR **4**

3. SARGILI BETON DAVRANIŞININ ANALİZİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ İÇİN HAZIRLANAN BİLGİSAYAR YAZILIMININ TEMEL ÖZELLİKLERİ **8**
3.1. Matematik Model Modülü 9
3.2. Grafik Modülü 12
3.3. İstatistik Veri Modülü 15
3.4. Veri Tabanı Modülü 17
3.5. Rapor Modülü 18

4. VERİ TABANI **19**
4.1. Numune Verileri 20
4.2. Hesaplanan Veriler 23
4.3. Veri Tabanın Genel Özellikleri 23

5. LP İLE SARGILANMIŞ BETON İÇİN DAYANIM VE KARŞI GELEN ŞEKİLDEĞİŞTİRME MODELLERİ **26**
5.1. Lam ve Teng Modeli 26
5.2. Samaan Modeli 29
5.3. İlki 2007 Modeli 31
5.4. İlki 2002b Modeli 36
5.5. DBYBHY 2007'de Önerilen Model 37

6. MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI **40**
6.1. Dayanımın Karşılaştırılması 40
6.1.1. Beton Dayanımının Etkisi 40
6.1.1.1. $f'_{co} < 20$ MPa 40
6.1.1.2. 20 MPa $< f'_{co} <$ 40 MPa 43
6.1.1.3. $f'_{co} > 40$ MPa 46
6.1.2. Kesit Şeklinin Etkisi 48
6.1.2.1. Daire Kesitli Numuneler 49
6.1.2.2. Dikdörtgen (Kare ve Dikdörtgen) Kesitli Numuneler 51

6.1.2.3. Kare Kesitli Numuneler 54
6.1.3. Kesit Boyutlarının Etkisi 57
6.1.3.1. $(h \sim d) \leq 150$ mm 57
6.1.3.2. 150 mm $< (h \sim d) < 250$ mm 60
6.1.3.3. $(h \sim d) \geq 250$ mm 63
6.1.4. LP Tipinin Etkisi 65
6.1.4.1. CFRP 66
6.1.4.2. GFRP 68
6.1.4.3. AFRP 71
6.1.5. Kesit En-Boy Oranının Etkisi 73
6.1.5.1. $1 \leq h/b \leq 1.5$ 74
6.1.5.2. $1.5 < h/b \leq 2$ 76
6.1.5.3. $h/b > 2$ 79
6.1.6. Sargı Miktarının Etkisi 81
6.1.6.1. $f_l / f'_{co} < 0.25$ 81
6.1.6.2. $0.25 \leq (f_l / f_{co}) \leq 0.5$ 84
6.1.6.3. $f_l / f'_{co} > 0.5$ 87
6.1.7. Köşe Yarıçapının Etkisi 89
6.1.7.1. $r < 10$ mm 89
6.1.7.2. 10 mm $\leq r \leq 30$ mm 92
6.1.7.3. $r > 30$ mm 95
6.1.8. Genel Durum 97
6.2. Dayanıma Karşı Gelen Şekildeğiştirmelerin Karşılaştırılması 100
6.2.1. Beton Dayanımının Etkisi 100
6.2.1.1. $f'_{co} < 20$ MPa 100
6.2.1.2. 20 MPa $< f'_{co} < 40$ MPa 103
6.2.1.3. $f'_{co} > 40$ MPa 105
6.2.2. Kesit Şeklinin Etkisi 108
6.2.2.1. Daire Kesitli Numuneler 108
6.2.2.2. Dikdörtgen (Kare ve Dikdörtgen) Kesitli Numuneler 110
6.2.2.3. Kare Kesitli Numuneler 113
6.2.3. Kesit Boyutlarının Etkisi 116
6.2.3.1. $(h \sim d) \leq 150$ mm 116
6.2.3.2. 150 mm $< (h \sim d) < 250$ mm 118
6.2.3.3. $(h \sim d) \geq 250$ mm 121
6.2.4. LP Tipinin Etkisi 123
6.2.4.1. CFRP 123
6.2.4.2. GFRP 126

6.2.4.3. AFRP 128
6.2.5. En-Boy Oranının Etkisi 131
6.2.5.1. $1 \leq h/b \leq 1.5$ 131
6.2.5.2. $1.5 < h/b \leq 2$ 133
6.2.5.3. $h/b > 2$ 136
6.2.6. Sargı Miktarının Etkisi 138
6.2.6.1. $f_l / f'_{co} < 0.25$ 138
6.2.6.2. $0.25 \leq (f_l / f_{co}) \leq 0.5$ 141
6.2.6.3. $f_l / f'_{co} > 0.5$ 143
6.2.7. Köşe Yarıçapının Etkisi 146
6.2.7.1. $r < 10$ mm 146
6.2.7.2. $10 \text{ mm} \leq r \leq 30$ mm 148
6.2.7.3. $r > 30$ mm 151
6.2.8. Genel Durum 153

7. SONUÇLAR **156**

KAYNAKLAR **158**

ÖZGEÇMİŞ **160**

KISALTMALAR

LP	: Lifli Polimer
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
VB	: Visual Basic
SQL	: Structural Quarry Language
EOF	: End of File
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polymer
GFRP	: Glass Fiber Reinforced Polymer
AFRP	: Aramid Fiber Reinforced Polymer
LTF	: Loading Type Factor
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ACI	: American Concrete Institute
MCR	: Modified Confinement Ratio
ITR	: Internal Transverse Reinforcement

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 4.1	Veri Tabanının Yapısı……..	20
Tablo 6.1	Modellerin Düşük İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri……..	41
Tablo 6.2	Modellerin Orta İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri	43
Tablo 6.3	Modellerin Yüksek İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri……..	46
Tablo 6.4	Modellerin Daire Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri…..…	49
Tablo 6.5	Modellerin Dikdörtgen Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri	51
Tablo 6.6	Modellerin Kare Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri……..	54
Tablo 6.7	Modellerin $(h \sim d) \le 150mm$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri……	59
Tablo 6.8	Modellerin $150 < (h \sim d) < 250$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri …….	60
Tablo 6.9	Modellerin $250mm \le (h \sim d)$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri …….	65
Tablo 6.10	Modellerin CFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri……	66
Tablo 6.11	Modellerin GFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri……	68
Tablo 6.12	Modellerin AFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri……	71
Tablo 6.13	Modellerin $(h/b) \le 1.5$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri	74
Tablo 6.14	Modellerin $1.5 < (h/b) \le 2$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri …….	76
Tablo 6.15	Modellerin $2 < (h/b)$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri…..	79
Tablo 6.16	Modellerin $(f_l / f_{co}) < 0.25$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri …….	82
Tablo 6.17	Modellerin $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri …….	84
Tablo 6.18	Modellerin $0.5 < (f_l / f_{co})$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri …….	87
Tablo 6.19	Modellerin $r < 10$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri……..	90
Tablo 6.20	Modellerin $10 \le r \le 30$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ...	92
Tablo 6.21	Modellerin $30 < r$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri……..	95
Tablo 6.22	Modellerin Genel Duruma Göre İstatistik Verileri……..	97
Tablo 6.23	Modellerin Düşük İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri……..	100

Tablo 6.24 Modellerin Orta İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri 103
Tablo 6.25 Modellerin Yüksek İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri…….. 105
Tablo 6.26 Modellerin Daire Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri…..… 108
Tablo 6.27 Modellerin Dikdörtgen Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri 110
Tablo 6.28 Modellerin Kare Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri…….. 113
Tablo 6.29 Modellerin $(h \sim d) \leq 150mm$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri…… 116
Tablo 6.30 Modellerin $150 < (h \sim d) < 250$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ……. 118
Tablo 6.31 Modellerin $250mm \leq (h \sim d)$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ……. 121
Tablo 6.32 Modellerin CFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri…… 123
Tablo 6.33 Modellerin GFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri…… 126
Tablo 6.34 Modellerin AFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri…… 128
Tablo 6.35 Modellerin $(h/b) \leq 1.5$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri 131
Tablo 6.36 Modellerin $1.5 < (h/b) \leq 2$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ……. 133
Tablo 6.37 Modellerin $2 < (h/b)$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri….. 136
Tablo 6.38 Modellerin $(f_l/f_{co}) < 0.25$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ……. 138
Tablo 6.39 Modellerin $0.25 \leq (f_l/f_{co}) \leq 0.5$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ……. 141
Tablo 6.40 Modellerin $0.5 < (f_l/f_{co})$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ……. 143
Tablo 6.41 Modellerin $r < 10$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri…….. 146
Tablo 6.42 Modellerin $10 \leq r \leq 30$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri ... 148
Tablo 6.43 Modellerin $30 < r$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri…….. 151
Tablo 6.44 Modellerin Genel Duruma Göre İstatistik Verileri…….. 153

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	: Betonarme Kolonlarda Ezilme Hasarı	1
Şekil 3.1	: Yazılımın Genel Görünümü	8
Şekil 3.2	: Yazılımın Genel Akış Diyagramı	9
Şekil 3.3	: Matematik Modülünün Görünümü	10
Şekil 3.4	: Matematik Modülünün Akış Diyagramı	11
Şekil 3.5	: Grafik Kıstasları Seçim Penceresi	12
Şekil 3.6	: Grafik Seçenekleri Penceresi	13
Şekil 3.7	: Düzenlenmiş Bir Grafik Görünüşü	13
Şekil 3.8	: Grafik Modülünün Akış Diyagramı	14
Şekil 3.9	: İstatistik Veri Modülünün Görünümü	15
Şekil 3.10	: İstatistik Veri Modülünün Akış Diyagramı.....	16
Şekil 3.11	: Veri Tablosu Modülü Akış Diyagramı.....	17
Şekil 3.12	: Veri Tablosu Görünşü	18
Şekil 3.13	: Rapor Sayfası Görünüşü	18
Şekil 4.1	: Veri Tabanı Görünümü	19
Şekil 4.2	: Numune Tipleri	20
Şekil 4.3	: Kesit Tiplerine Göre Numunelerin Dağılımı	23
Şekil 4.4	: Sargı Malzemesinin Tipine Göre Numunelerin Dağılımı	24
Şekil 4.5	: Numunelerin Donatılı yada Donatısız Olmalarına Göre Dağılımı	24
Şekil 4.6	: Yükleme Tipin Göre Numunelerin Dağılımı	25
Şekil 4.7	: İlk Dayanımlarına Göre Numunelerin Dağılımı	25
Şekil 5.1	: Dikdörtgen Kesitin Eşdeğer Çapının Blunması ve Kesitin Etkili Alanı	28
Şekil 5.2	: İki Eğimli Güçlendirme Modeli ve Parametreleri	30
Şekil 5.3	: Şekil Faktörünü Oluşturan A_1 ve A_2 Katsayıları	33
Şekil 5.4	: Donatılı Elemanların Parametreleri	35
Şekil 6.1	: Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları	41
Şekil 6.2	: Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli Sonuçları	42
Şekil 6.3	: Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları ...	42
Şekil 6.4	: Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları .	43
Şekil 6.5	: Orta İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları	44
Şekil 6.6	: Orta İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli Sonuçları	44
Şekil 6.7	: Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları	45
Şekil 6.8	: Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları	45
Şekil 6.9	: Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları	46
Şekil 6.10	: Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli Sonuçları ...	47
Şekil 6.11	: Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları .	47
Şekil 6.12	: Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları	48

Şekil 6.13 : Daire Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 49
Şekil 6.14 : Daire Kesitli Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 50
Şekil 6.15 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 50
Şekil 6.16 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 51
Şekil 6.17 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 52
Şekil 6.18 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 52
Şekil 6.19 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 53
Şekil 6.20 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 54
Şekil 6.21 : Kare Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 55
Şekil 6.22 : Kare Kesitli Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 55
Şekil 6.23 : Kare Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 56
Şekil 6.24 : Kare Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 57
Şekil 6.25 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 58
Şekil 6.26 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 58
Şekil 6.27 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 59
Şekil 6.28 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları ... 60
Şekil 6.29 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 61
Şekil 6.30 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 61
Şekil 6.31 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları ... 62
Şekil 6.32 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları . 62
Şekil 6.33 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 63
Şekil 6.34 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 64
Şekil 6.35 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 64
Şekil 6.36 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları ... 65
Şekil 6.37 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 66
Şekil 6.38 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 67
Şekil 6.39 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları .. 67
Şekil 6.40 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 68
Şekil 6.41 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 69
Şekil 6.42 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 69
Şekil 6.43 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları .. 70
Şekil 6.44 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 70
Şekil 6.45 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 71
Şekil 6.46 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 72
Şekil 6.47 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları .. 72
Şekil 6.48 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 73
Şekil 6.49 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 74
Şekil 6.50 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 75
Şekil 6.51 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 75
Şekil 6.52 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 76
Şekil 6.53 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 77
Şekil 6.54 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 77
Şekil 6.55 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 78
Şekil 6.56 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 78

Şekil 6.57 : 2<(h/b) Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 79
Şekil 6.58 : 2<(h/b) Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 80
Şekil 6.59 : 2<(h/b) Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 80
Şekil 6.60 : 2<(h/b) Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 81
Şekil 6.61 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları . 82
Şekil 6.62 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 83
Şekil 6.63 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 83
Şekil 6.64 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 84
Şekil 6.65 : $0.25\leq(f_l/f_{co})\leq0.5$ Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 85
Şekil 6.66 : $0.25\leq(f_l/f_{co})\leq0.5$ Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları ... 85
Şekil 6.67 : $0.25\leq(f_l/f_{co})\leq0.5$ Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları . 86
Şekil 6.68 : $0.25\leq(f_l/f_{co})\leq0.5$ Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 86
Şekil 6.69 : $0.5<(f_l/f_{co})$ Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları ... 87
Şekil 6.70 : $0.5<(f_l/f_{co})$ Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 88
Şekil 6.71 : $0.5<(f_l/f_{co})$ Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 88
Şekil 6.72 : $0.5<(f_l/f_{co})$ Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 89
Şekil 6.73 : r<10 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 90
Şekil 6.74 : r<10 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 91
Şekil 6.75 : r<10 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 91
Şekil 6.76 : r<10 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 92
Şekil 6.77 : $10\leq r\leq30$ Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 93
Şekil 6.78 : $10\leq r\leq30$ Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 93
Şekil 6.79 : $10\leq r\leq30$ Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 94
Şekil 6.80 : $10\leq r\leq30$ Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 94
Şekil 6.81 : 30<r Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 95
Şekil 6.82 : 30<r Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 96
Şekil 6.83 : 30<r Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 96
Şekil 6.84 : 30<r Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 97
Şekil 6.85 : Genel Durumda Lam ve Teng Modeli Sonuçları 98
Şekil 6.86 : Genel Durumda Samaan Modeli Sonuçları 98
Şekil 6.87 : Genel Durumda İlki 2007 Modeli Sonuçları 99
Şekil 6.88 : Genel Durumda İlki 2002b Modeli Sonuçları 99
Şekil 6.89 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 101
Şekil 6.90 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 101
Şekil 6.91 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları ... 102
Şekil 6.92 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları . 102
Şekil 6.93 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 103
Şekil 6.94 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 104
Şekil 6.95 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 104
Şekil 6.96 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 105
Şekil 6.97 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 106
Şekil 6.98 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli Sonuçları ... 106
Şekil 6.99 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları . 107
Şekil 6.100 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 107
Şekil 6.101 : Daire Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 108
Şekil 6.102 : Daire Kesitli Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 109
Şekil 6.103 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 109

Şekil 6.104 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 110
Şekil 6.105 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 111
Şekil 6.106 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 111
Şekil 6.107 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 112
Şekil 6.108 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 112
Şekil 6.109 : Kare Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 114
Şekil 6.110 : Kare Kesitli Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 114
Şekil 6.111 : Kare Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 115
Şekil 6.112 : Kare Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 115
Şekil 6.113 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 116
Şekil 6.114 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 117
Şekil 6.115 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 117
Şekil 6.116 : (h~d)≤150mm Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları ... 118
Şekil 6.117 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 119
Şekil 6.118 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 119
Şekil 6.119 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları ... 120
Şekil 6.120 : 150<(h~d)<250 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları . 120
Şekil 6.121 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 121
Şekil 6.122 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 122
Şekil 6.123 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 122
Şekil 6.124 : 250mm≤(h~d) Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları ... 123
Şekil 6.125 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 124
Şekil 6.126 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 124
Şekil 6.127 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları .. 125
Şekil 6.128 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 125
Şekil 6.129 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 126
Şekil 6.130 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 127
Şekil 6.131 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları .. 127
Şekil 6.132 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 128
Şekil 6.133 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 129
Şekil 6.134 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 129
Şekil 6.135 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları .. 130
Şekil 6.136 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 130
Şekil 6.137 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 131
Şekil 6.138 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 132
Şekil 6.139 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 132
Şekil 6.140 : (h/b) ≤1.5 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 133
Şekil 6.141 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 134
Şekil 6.142 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 134
Şekil 6.143 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 135
Şekil 6.144 : 1.5<(h/b) ≤2 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 135
Şekil 6.145 : 2<(h/b) Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 136
Şekil 6.146 : 2<(h/b) Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 137
Şekil 6.147 : 2<(h/b) Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 137

Şekil 6.148 : 2<(h/b) Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 138
Şekil 6.149 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları . 139
Şekil 6.150 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 139
Şekil 6.151 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 140
Şekil 6.152 : (f_l/f_{co})<0.25 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 140
Şekil 6.153 : 0.25≤(f_l/f_{co})≤0.5 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 141
Şekil 6.154 : 0.25≤(f_l/f_{co})≤0.5 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları ... 142
Şekil 6.155 : 0.25≤(f_l/f_{co})≤0.5 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları . 142
Şekil 6.156 : 0.25≤(f_l/f_{co})≤0.5 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 143
Şekil 6.157 : 0.5<(f_l/f_{co}) Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları ... 144
Şekil 6.158 : 0.5<(f_l/f_{co}) Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 144
Şekil 6.159 : 0.5<(f_l/f_{co}) Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 145
Şekil 6.160 : 0.5<(f_l/f_{co}) Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 145
Şekil 6.161 : r<10 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 146
Şekil 6.162 : r<10 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 147
Şekil 6.163 : r<10 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 147
Şekil 6.164 : r<10 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 148
Şekil 6.165 : 10≤r≤30 Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 149
Şekil 6.166 : 10≤r≤30 Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 149
Şekil 6.167 : 10≤r≤30 Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 150
Şekil 6.168 : 10≤r≤30 Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 150
Şekil 6.169 : 30<r Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli Sonuçları 151
Şekil 6.170 : 30<r Olan Elemanların Samaan Modeli Sonuçları 152
Şekil 6.171 : 30<r Olan Elemanların İlki 2007 Modeli Sonuçları 152
Şekil 6.172 : 30<r Olan Elemanların İlki 2002b Modeli Sonuçları 153
Şekil 6.173 : Genel Durumda Lam ve Teng Modeli Sonuçları 154
Şekil 6.174 : Genel Durumda Samaan Modeli Sonuçları 154
Şekil 6.175 : Genel Durumda İlki 2007 Modeli Sonuçları 155
Şekil 6.176 : Genel Durumda İlki 2002b Modeli Sonuçları 155

SEMBOL LİSTESİ

A_1, A_2 : İlki modellerinde şekil faktörü değişkenleri
A_c : Net beton alanı
A_e : Etkili beton alanı
A_g : Köşe çapları çıkartılmış beton alanı
A_s : Boyuna donatı alanı
A_{shx}, A_{shy} : x ve y doğrultularındaki etriye kesit alanları
b : Dikdörtgen kesitli numunelerde kısa kenar
b_c : Dikdörtgen kesitli numunelerde etkin kısa kenar
c_v : Varyasyon katsayısı
D : Daire kesitli numunelerin çapı, dairesel olmayanların eşdeğer çapı
E_1 : Samaan modelinde düşey yönde birinci eğim
E_2 : Samaan modelinde düşey yönde ikinci eğim
E_{frp} : LP malzemenin elastisite modülü
f'_{cc} : Güçlendirilmiş betonun basınç dayanımı
$f_{cc,analitik}$: Güçlendirilmiş betonun analitik yöntemlerle bulunmuş basınç dayanımı
$f_{cc,deney}$: Güçlendirilmiş betonun deney sonucu ölçülen basınç dayanımı
f_{cm} : Mevcut beton dayanımı
f'_{co} : Güçlendirilmemiş betonun deney günündeki basınç dayanımı
f_l : Yanal sargılama basıncı
f'_l : Etkin yanal sargılama basıncı, etriyenin sağladığı yanal basınç
f_{lx}, f_{ly} : x ve y doğrultularında etriyenin sağladığı yanal basınçlar
f'_{lx}, f'_{ly} : x ve y doğrultularında etriyenin sağladığı etkin yanal basınçlar
f_o : Samaan modelinde düşey kesişim gerilmesi
f_{yh} : Boyuna donatının akma dayanımı
h : Dikdörtgen kesitli numunelerde uzun kenar
h_c : Dikdörtgen kesitli numunelerde etkin uzun kenar
k_1 : Etkinlik katsayısı
k_s : Samaan modeline ait şekil faktörü
k_{s1}, k_{s2} : Lam ve Teng modeline ait şekil faktörleri
N : Dikkate alınan numune sayısı
n_f : Numuneye sarılan LP malzemenin katman sayısı
r : Kare ve dikdörtgen kesitlerde köşelere verilen yuvarlaklığın yarıçapı
s : Etriye aralığı
s' : Etriyeler arasındaki temiz açıklık
t : Sargı malzemesinin toplam kalınlığı
t_f : Bir kat sargı malzemesinin kalınlığı
w'_i : Boyuna donatılar arasındaki temiz açıklık
α : İlki 2002 modellerinde şekil faktörü
α, β : Lam ve Teng modeli şekil faktörü sabitleri
ε_{cc} : Güçlendirilmiş betonun şekildeğiştirmesi

$\varepsilon_{cc,analitik}$: Güçlendirilmiş betonun analitik yöntemlerle bulunmuş şekildeğiştirmesi

$\varepsilon_{cc,deney}$: Güçlendirilmiş betonun deney sonucu ölçülen şekildeğiştirmesi

ε_{co} : Güçlendirilmemiş betonun basınç dayanımına bağlı şekildeğiştirmesi

ε^*_{fu} : LP malzemenin kopmada uzama değeri

$\varepsilon_{h,rup}$: Beton elemana sargılanmış LP malzemenin kopmada uzama değeri

κ_a : İlki modellerine ait şekil faktörü

κ_e : Etriyenin etkinlik katsayısı

μ : Ortalama

ρ : Numunedeki boyuna donatı oranı

ρ_{cc} : Demir alanının net beton alanına oranı

ρ_f : Sargı malzemesinin kesite oranı

ρ_x, ρ_y : x ve y doğrultusunda etriye pursantajı

LP SARGILI BETON İÇİN ÖNERİLMİŞ OLAN DAYANIM VE ŞEKİLDEĞİŞTİRME MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Güncel deprem yönetmeliklerinden önce inşa edilmiş yapıların önemli bölümü, günümüzde geçerli olan yönetmelik ve standart koşullarını sağlayamamaktadır. Beton kalitesinin düşük olması ve enine donatının yetersiz olması en yaygın eksikliklerdendir. Bu eksikliklerin giderilmesinde LP kullanılması, geleneksel güçlendirme yöntemlerinden hem uygulama açısından daha kolay ve hızlıdır hem de yapıya ek yükler getirmez. Bu sebeplerden dolayı LP, güçlendirme uygulamalarında yakın dönemde sıkça kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. LP malzemeleri güçlendirmede en etkin olduğu konuların başında basınç dayanımı ve süneklikte sağlanan iyileşme gelmektedir. Bu güçlendirmelerle ilgili uygulama yöntemleri ve hesaplama şekilleri yönetmeliklerde de yer almış durumdadır. Bu nedenle gerçekçi sonuçlar veren modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Modellerin tanımlayacağı davranış genel olarak sargılı beton basınç dayanımı ve buna karşı gelen şekildeğiştirme değerlerinin belirlenmesiyle ortaya konulabilir.

LP ile sargılanmış betonun davranışını tanımlayan ve farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş çok sayıda model bulunmaktadır. Mevcut modellerin hemen hemen tümü sınırlı sayıda ve sınırlı özelliklere sahip deney numunelerinden elde edilen sonuçlara dayanmaktadır. Bu çalışmada; farklı araştırmacıların farklı özelliklerde deney numuneleri üzerinde elde ettiği sonuçların dikkate alındığı büyük bir deneysel veri tabanı oluşturularak literatürde kabul görmüş bazı modellerin performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, mevcut modellerin belirli kıstaslar altında güçlü ve zayıf yönleri ortaya çıkarılarak daha iyi sonuçlar verebilecek modellerin hazırlanması için bilgi toplanmıştır.

COMPARISON OF PROPOSED MODELS OF STRENGTH AND STRAIN FOR FRP WRAPPED CONCRETE

SUMMARY

Most of the buildings, which constructed before actual earthquake codes, have design code and standard requirement deficiencies. The low quality of concrete and inadequate lateral reinforcement are the most general deficiencies. Confinement by FRP is more easier and rapid in application and also not adding extra loadings to the building according to conventional retrofitting techniques in rehabilitation of these deficiencies. Because of these reasons FRP became a commen used material in retrofitting applications in recent days. The cases, which FRP materials are most effective in retrofitting, are the increases in ductility and axial load capacity. Application techniques and calculation ways take their places in building codes. For this reason, models, which outputs more reliable results, are needed. The behaviour, which will be expressed by the models can be represented by the compressive strength of the wrapped concrete and the strain according to this strength values in general forms.

There are various models, which defines the behaviour of externally confined concrete by FRP, proposed by various researchers. Most of the existing models depends on results depending on a limited number of experiment specimens, which have limited properties. In this study; various searchers results depending on experiment specimens, which have different properties, are used to create a wide database and the performance of some reliable models are investigated comparatively. As a conclusion of this study, information will be collected, which will show the deficiencies and reliable sides of the models in some criteria, to create more reliable models.

1.GİRİŞ

Dünyanın birçok yerinde, yapı stoğunun bir bölümü, sürekli gelişmekte olan yapı yönetmeliklerinin ve standartların gereklerini karşılayamamaktadır. Bunun yanısıra meydana gelen depremler sonucu mevcut yapılar çeşitli seviyelerde hasarlara maruz kalmaktadır. Geleneksel yöntemlerle elde hazırlanan beton dayanımlarının genellikle hedeflenen değerlerin çok altında kalması, kolon ve kirişlerin potansiyel plastik mafsal bölgelerinde, sünekliği büyük ölçüde geliştiren, enine donatı sıklaştırmasının bulunmaması gibi durumlar sıkça karşılaşılan ve binanın performansını büyük oranda etkileyen eksikliklerdir (Şekil 1.1). Bu durum Türkiye gibi yüksek deprem riskine maruz bulunan ülkelerde, mevcut yapılarda güçlendirmeyi gerekli kılabilmektedir. Yapılan güçlendirmelerde genel olarak hedeflenen yapıların sünekliklerinin ve/veya dayanımlarının arttırılmasıdır.



Şekil 1.1 : Betonarme Kolonlarda Ezilme Hasarı

Güçlendirme konusunda, geleneksel yöntemlere alternatif olarak LP ile güçlendirme de günümüzde sık kullanılır hale gelmiştir. LP'nin geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede, daha kolay uygulanabilmesi ve yapıya ek yük getirmemesi tercih edilmesindeki önemli etkenlerdir. LP ile sargılama sonucunda, özellikle etriye

sıklaştırmasının bulunmaması nedeniyle sünek davranış sergileyemeyen elemanlarda sünekliğin sağlanması, eksenel dayanımı yetersiz olan kolonların dayanımlarının arttırılması, kesme dayanımlarının arttırılması ve yetersiz bindirme boyu probleminin giderilmesi sağlanabilmektedir. Buna karşılık LP malzemelerin günümüzdeki yüksek maliyetleri de geleneksel yöntemlere göre dezavantajlarındandır.

LP malzeme beton elemana sargılandığı zaman çok eksenli yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlara uyumlu hareket etmektedir. Yanal gerilmelerin arttırılması sonucu elemanların dayanımı ve sünekliği artmakta, yani enerji yutma kapasitesi artmakta ve büyük şekildeğiştirmeler yapabilmektedir. Bunun sonucunda plastik şekildeğiştirmeler sonucu tüketilen şekildeğiştirme enerjisi ve dayanım artmaktadır. Bunun sebebi oluşturulan yanal basıncın boyuna çatlakları geciktirmesidir. Bu yanal çatlaklar elemanın dayanımını kaybetmesine yol açmaktadır. Sargılama malzemesinin çalışması, elemana uygulanan eksenel yüklemeyle bağlantılıdır. Yükleme yokken yada düşükken yanal şekildeğiştirmeler etkin olmadığı için sistem bir eksenli çalışır. Yüklemenin artması ve yanal şekildeğiştirmelerin artmasıyla sargı malzemesi bu şekildeğiştirmelere karşı koyar ve ortaya bir yanal basınç çıkar. Sistem bu sayede çok eksenli hale gelir ve sonuç olarak dayanım ve sünekliği artar.

Çeşitli etkilere karşı LP ile güçlendirme konularında farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasının konusu olan eksenel basınç dayanımı ve bu dayanıma karşı gelen şekildeğiştirmelerin belirlenmesi üzerine deneysel ve analitik olarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. Genellikle belirli özelliklere sahip numuneler üzerinde yapılan eksenel basınç deneylerine dayanan çalışmaların sonucunda bir çok davranış modeli önerilmiştir. Bu modeller davranışı genel olarak f'_{cc} ve ε_{cc} değerleri ile tanımlamaktadır. Bu modellerin genel formu,

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_l \qquad \textbf{(1.1)}$$

şeklindedir. Buradaki k_1 terimi etkinlik katsayısı, f_l ise yanal sargılama basıncıdır.

Aynı zamanda modellerin çoğu benzer değişkenleri gözönüne alarak davranışı açıklamaya çalışmıştır. Bunlar LP katman sayısı, katman kalınlığı, LP'nin kopmada uzama değeri, elastisite modülü, kesitin geometrik özellikleri ve sargılama yapılan betonun mevcut dayanımıdır.

Bu çalışmanın öncelikli amacı hesaplarda kullanılmak üzere, farklı durumlarda davranışı en gerçekçi açıklayan modelleri belirlemektir. Bu doğrultuda, daha önce yapılmış olan deneysel çalışmaların sonuçları tek bir veri tabanında toplanarak, bu veri tabanına bağlı olarak ortaya konan ampirik davranış modellerinin performansları incelenmiştir. Bu incelemeye bağlı olarak modellerin iyi ve kötü yanlarının ortaya konmasıyla birlikte daha efektif modellerin ortaya konması için veri oluşturulmuştur. Bu sebeple öncelikle geniş bir literatür taraması yapılmış ve gerekli doneler toplanmıştır. Veri tabanına katılan numune sayısı yaklaşık olarak 500 adettir. Karşılaştırılacak modeller olarak Lam ve Teng modeli [1], Samaan modeli [2], İlki 2002b modeli [3] ve İlki 2007 modelleri [4] seçilmiştir.

Modellerin belirlenmesi ve veri tabanının oluşturulmasının ardından bu verileri işleyecek bir yazılıma ihtiyaç duyulmuştur. Hazırlanan yazılım, çalışmanın amacı doğrultusunda, veri tabanındaki bilgileri işleyerek her model için gerekli değerleri hesaplayacak, bunların istatistiksel sonuçlarını hesaplayacak, kullanılan veri takımını gösterebilecek, belirli değişkenlere göre grafik çizebilecek ve incelenen durum için sonuç çıktısı oluşturabilecek kapasitededir. Yazılım aracılığıyla modeller; kesit tipleri, kullanılan LP tipi, geometrik özellikler, sargılanan betonun ilk dayanımı, güçlendirme miktarı ve köşe yarıçapı gibi değişkenlere bağlı olarak karşılaştırmalı şekilde değerlendirilmiştir. Böylece hangi modelin genel anlamda davranışı en iyi ifade ettiği, oluşturulan farklı kıstaslar için hangi modellerin en iyi sonuçları verdiği, hangi modellerin zaafiyetleri olduğu ortaya konmuş ve olası yeni model önerileri için önemli bir veri birikimi sağlanmıştır.

2. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

LP malzemeler ile sargılama sonucu betoun basınç dayanımın da ve buna karşı gelen şekildeğiştirmeler de sağlanan artışın belirlenmesi üzerine günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu tek bir veya birkaç değişkeni gözönüne alarak yapılan deneysel çalışmalardır.

İlki ve Kumbasar [3], 2002 ve 2003 yıllarında yaptıkları deneysel çalışmada hasarsız ve hasar görmüş numunelerin, onarımdan sonra, LP ile güçlendirilmesi sonucu monotonik ve tekrarlı eksenel basınç yükleri altındaki performanslarını incelemişlerdir. Bu çalışmada daire (2002), kare ve dikdörtgen (2003) kesitli numuneler kullanılmış ve önceden hasar görmüş ve onarılmış numunelerin veya tekrarlı yüklemelerin lifli polimer ile sargılama ile sağlanan dayanım artışına bir dezavantaj vermedikleri görülmüştür. Aynı zamanda araştırmacılar bu çalışma sonucunda LP ile sargılanmış betonun davranışını tanımlayan bir model de önermiştir. Bu model eksenel basınç dayanımını tanımlayan birbirine alternatif iki tane ifade ve bunlara bağlı şekildeğiştirmeyi tanımlayan bir ifade ortaya koymuştur.

İlki ve diğ. [5], 2004'te yaptıkları diğer bir çalışmada da düşük dayanımlı betonlarda LP uygulamasının dayanıma ve şekildeğiştirme yeteneğine katkısını incelemiştir. Bu çalışmadaki numuneler enkesitlerinde farklı derinlik/genişlik oranlarına sahiptir. Çalışma sonucunda derinlik/genişlik oranı arttıkça LP malzemenin etkinliğinin azaldığı görülmüş ve dikdörtgen kesitli elemanlarda köşe yarıçapının önemi gözlemlenmiştir. Yazarlar bu deneysel çalışma sonucunda da LP ile sargılanmış betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi için bir model önermiştir.

Samaan ve diğ. [2], 1998'de silindir numunelere farklı sayıda katmanlardan oluşan cam LP uygulayarak deneyler yapmışlardır. Bu çalışmada yazarlar enine çelik donatı ile sargılanmış olan beton için önerilmiş modellerin LP için geçerli olmadığını göstermiş ve davranışı tanımlayan, iki doğrudan oluşan basit bir model önermişlerdir.

2006'da Rousakis ve diğ. [6], kare numunelere karbon ve cam LP malzeme ile sargılama yapıp deneye tabi tutmuşlardır. Dört farklı beton grubundan hazırlanan 101

numune üzerinde yaptıkları, monotonik ve tekrarlı yüklemelerden oluşan deneysel çalışmanın sonucunda eksenel basınç altında yüklenen elemanlarda LP ile sargılamanın, özellikle düşük dayanımlı numunelerde, dayanımı ve sünekliği etkin şekilde arttırdığı, karbon esaslı LP'nin cam esaslıdan daha etkin olduğu, tekrarlı yüklerin malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, dayanımın, sünekliğin ve enerji yutma kapasitesinin aynı kaldığı görülmüştür.

Lam ve Teng [1], 2003 yılında 27 numune üzerinde LP malzemenin kopmada uzama değerlerini belirlemek için bir dizi deney yapmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar esnasında standart silindir numuneler etrafına sarılan LP malzemelerin kopmada uzamaları, kupon haline getirilmiş LP malzemelerde yapılan çekme deneyleri ile elde edilen değerlerin altında kalmaktadır. Bu durumun açığa çıkarılması için yapılan çalışmada malzemenin kopmada uzamasını belirlemek için üç farklı yöntem denenmiş ve sonuçları karşılaştırmıştır. Bu çalışma sonucunda LP malzemenin eğrilik derecesinin önemi ve betonda oluşan çatlakların düzensiz bir şekilde dağılmasının LP ile sargılamadaki etkisi gözlemlenmiştir.

Campione ve Miraglia [7], yaptıkları deneysel çalışmada daire ve kare kesitli numuneler üzerinde eksenel basınç uygulamış ve sonuçları, ortaya koydukları analitik modelin çıktılarıyla karşılaştırmışlardır. 2001 yılında yapılan bu çalışmada karbon, cam ve aramid LP malzemeler kullanılmıştır.

1998 yılında Rochette ve Labossiere [8], LP ile sargılanmış dikdörtgen ve daire kesitli kısa beton kolon modelleri üzerinde eksenel basınç deneyleri yapmış ve sargılama malzemesi olarak da karbon ve aramid LP kullanmışlardır. Bu araştırma sonucunda, belirli bir sargılama oranı için güçlendirmenin etkisinin doğrudan doğruya kesitin geometrisine bağlı olduğu, dairesel numunelerin LP ile daha etkin şekilde güçlendirilebileceği ve dikdörtgen kesitlerde erken göçmelerin engellenmesi amacıyla köşelere mutlaka eğrilik verilmesi gerektiği görülmüştür.

Shahawy ve diğ. [9], 2000 yılında, normal ve yüksek dayanımlı betonlardan oluşan ve LP ile sargılanmış 45 numune üzerinde eksenel basınç testleri yapmışlardır. Bu çalışmada birden beşe kadar farklı LP katmanları kullanılmış ve esas olarak beton doldurulmuş cam LP tüpler için geliştirlmiş bir güçlendirme modeliyle sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda beton ile sargı malzemesi arasındaki yapışmanın güçlendirme davranışını önemli bir şekilde etkilemediği ve

buna bağlı olarak da modellerin hem betonla doldurulmuş LP tüpler için hem de LP ile sargılanmış beton elemanlar için kullanılabileceği gösterilmiştir. Aynı zamanda modellerin hem karbon hem de cam LP malzemeler için kullanılabileceği gösterilmiştir. Gerçek kopmada uzama değerlerinin, kupon testlerinden elde edilen değerlerin genelde altında kaldığı bu çalışmada da gösterilmiştir.

2004'de yaptıkları çalışmada Silva ve Rodrigues [10], 150 mm çaplı ve değişken yüksekliklere sahip dairesel numuneler aynı kalınlıkta cam LP malzemelerle sargılanarak güçlendirilmiş ve eksenel basınç uygulanarak basınç dayanımı ve düşey şekildeğiştirme değerleri gözlemlenmiştir. Araştırmada numune yüksekliklerinin eksenel basınç dayanımı ve şekildeğiştirme açısından kayda değer bir etken olmadığı, farklı yüksekliklerde elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, numune çapı büyütüldüğü takdirde basınç dayanımında düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Bu şekilde, LP malzemeyle sargılanmış elemanları çeşitli kıstaslar altında analiz eden çalışmaların yanısıra, daha önceden yapmış oldukları deney ve araştırmalara dayanarak oluşturdukları davranış modellerini daha fazla numune üzerinde test eden çalışmalar da mevcuttur.

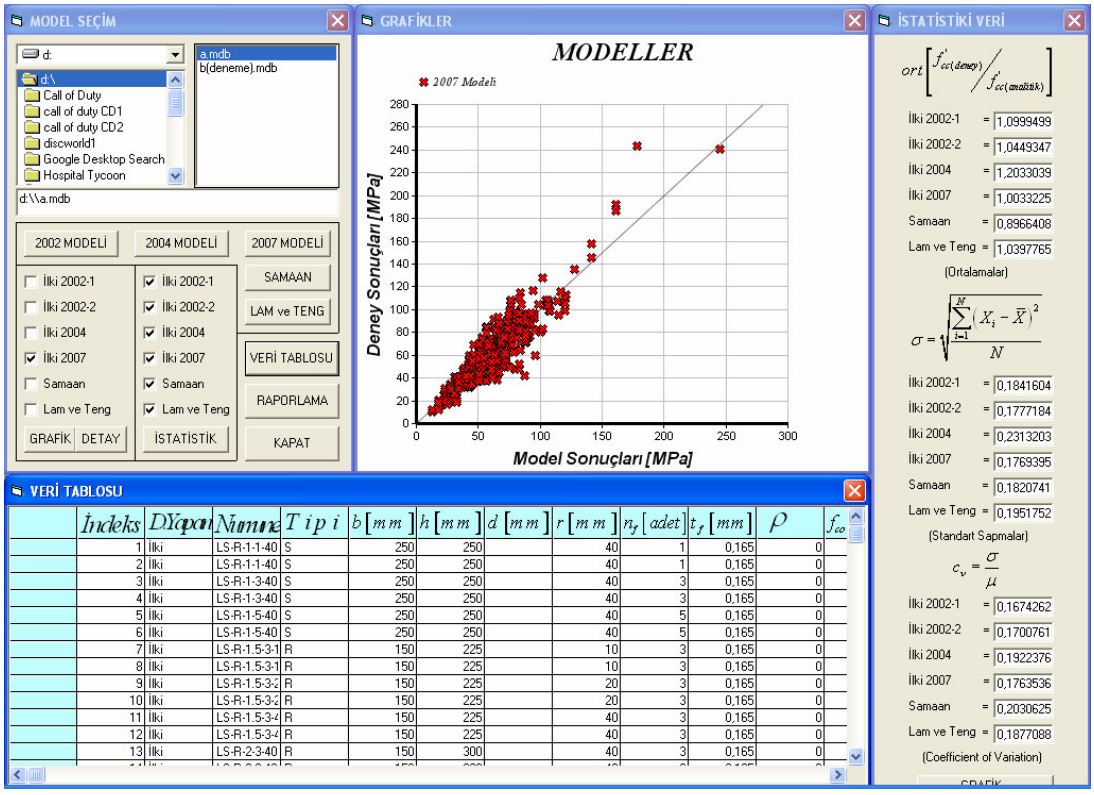
İlki ve diğ. [4], 2007'de yaptıkları çalışmada, diğer çalışmaların genelinden farklı olarak donatılı numuneler üzerinde deneyler yaparak mevcut donatının ve kullanılan LP malzemenin dayanıma katkılarını ayrı ayrı ele alarak farklı bir davranış modeli ortaya çıkarmıştır. Deneylerde kullanılan karbon LP malzeme ile sargılanmış 68 adet numune düşük ve orta düzeyde beton basınç dayanımlarına sahip, daire, dikdörtgen ve kare kesitlerde elemanlardır. Bunların dışında araştırmacılar ortaya koydukları denklemleri bazı kabul görmüş davranış modelleriyle karşılaştırmalı olarak, diğer çalışmalardan derledikleri 448 adet farklı kesit, dayanım, sargı malzemesi gibi değişkenler açısından farklılık gösteren numune üzerinde de test etmişlerdir. Bu çalışma sonucuna göre düşük dayanımlı numunelerin dayanımlarındaki artış orta dayanımlılarınkine göre daha belirgindir. Aynı zamanda LP sargılamalar boyuna donatıların burkulmasına da engel olmuştur. Numunelere ön hasar verilmesinin ve ek dayanım için uygulanan çiroz türü ankrajların, dayanıma dikkate değer bir etkileri olmamıştır. Ayrıca tekrarlı yüklemelerin de basınç dayanımına bir katkısı olmadığı gözlemlenmiştir.

Lam ve Teng [1], 2003'de, ortaya koydukları modelin kontrolü için yaptıkları çalışmada farklı araştırmalardan derledikleri 58 numuneye ek olarak 14 numune üzerinde de deneyler yapmışlardır. Çalışmada başka araştırmacıların ortaya attığı, mevcut bazı modeller açıklanmış ve elde edilen sonuçlar bu modellerle de incelenerek sonuçlar grafikler üzerinde sunulmuştur. Çalışmanın sonuç kısmında yazarlar, bahsi geçen modellerin hiçbirinin özellikle dikdörtgen elemanlar için üretilmediğini, benzer dairesel kolonlara dönüştürülerek hesap yapıldığını ve hiçbirinin uygulamada kullanılmaya müsait olmadığını bildirilmiştir.

Lam ve Teng [11], daha önce, 2000'de, daha büyük bir veri tabanı üzerinde benzer bir çalışmayı yürütmüşlerdir. Farklı araştırmalardan derlenmiş 190'a yakın numune üzerinde 10'a yakın model denenmiş ve dayanımdaki artışı gösteren istatistiki veriler ortaya konmuştur. Farklı özelliklere sahip, bu denli büyük bir veri tabanı üzerinde yapılan çalışma sonucunda az miktarda test verisine dayalı modellerin çok güvenilir olmadığı ortaya konmuştur.

3. SARGILI BETON DAVRANIŞININ ANALİZİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZİ İÇİN HAZIRLANAN BİLGİSAYAR YAZILIMININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

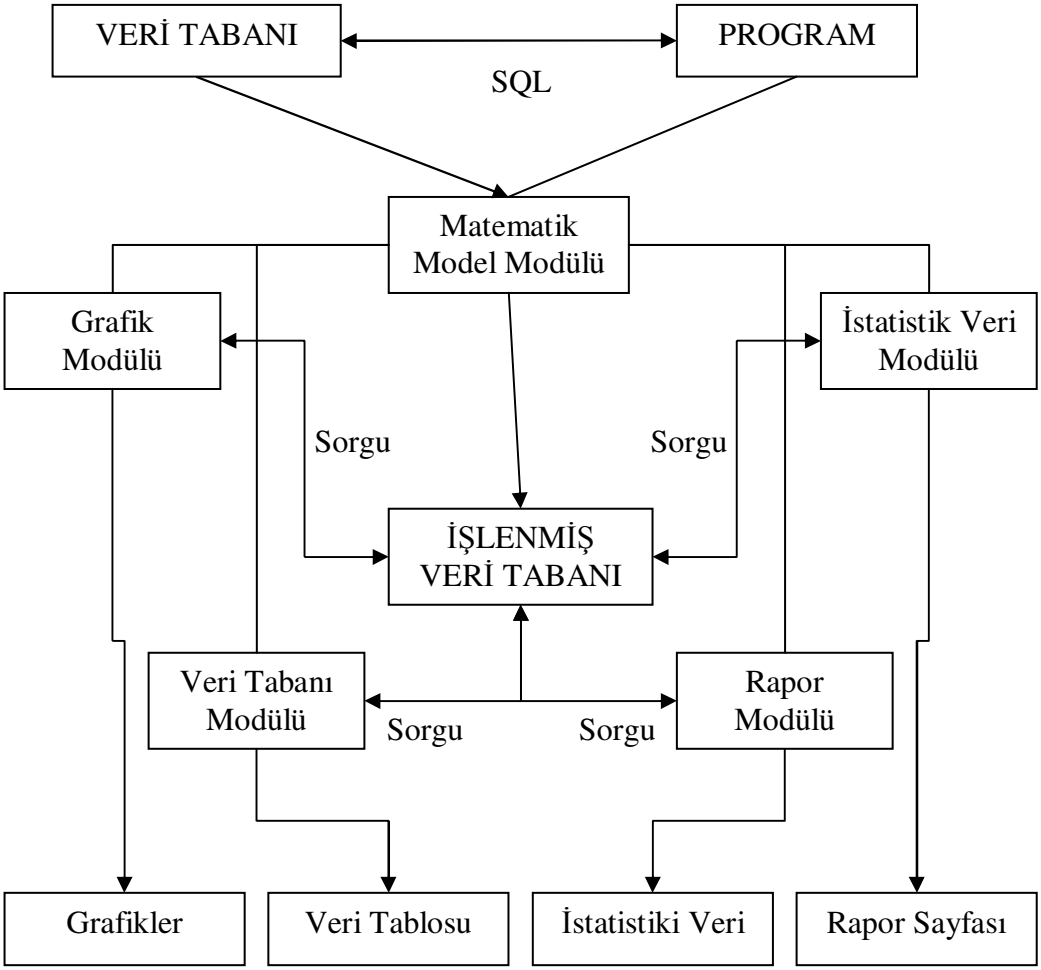
Derlenen veri tabanı üzerinde yapılacak olan matematiksel işlemlerin hızlandırılması, daha doğru sonuçlar elde edilmesi, istatistiki verilerin ve grafiklerin otomatik olarak elde edilebilmesi için bir yazılım hazırlanmıştır. Yazılım VB 6.0 programı kullanılarak Windows XP işletim sisteminde çalışmak üzere tasarlanmıştır. Hazırlanan yazılım, Access programı üzerinde, belli bir veri şablonuna göre hazırlanmış her türlü veri tabanını okumakta ve işlemektedir. Şekil 3.1'de hazırlanmış olan yazılımın genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.1 : Yazılımın Genel Görünümü

Yazılım esas olarak üç ana işlem yapmaktadır. Bunlardan birincisi, uygun olarak oluşturulan veri tabanlarını okumak ve incelenen altı modele göre gerekli hesaplamaları yapıp sonuçları tekrar aynı veri tabanına yazmaktır. İkinci olarak, oluşturulan bu yeni veri tabanından (işlenmiş veri tabanı) kullanıcının istediği değişkenleri ve kıstasları kullanarak grafikler çizmek. Son olarak ise, yine işlenmiş veri tabanına bağlı olarak istatistiki verilerin oluşturulmasıdır. Bunlara ek olarak yazılım çalışma esnasında kullanıcının belirli kıstaslar altında veri tabanının

görüntülemesine ve yaptığı işlemle ilgili detaylı bir çıktı almasına da izin vermektedir.



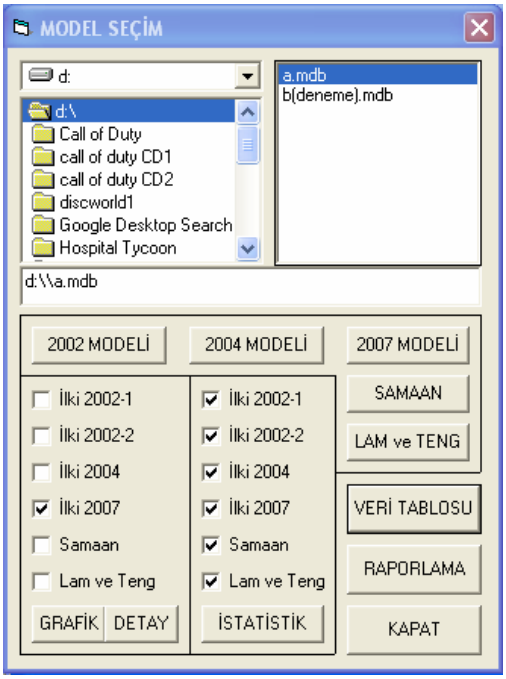
Şekil 3.2 : Yazılımın Genel Akış Diyagramı

Yazılım 5 ana modülden oluşmaktadır. Bunlar matematik model modülü (ana modül), grafik modülü, istatistik veri modülü, veri tabanı modülü ve rapor modülüdür. Yazılım bu modüller ve Access veri tabanı arasındaki bağlantıyı SQL (Structural Quarry Language) ile sağlamaktadır. Modüller arasındaki ilişki Şekil 3.2'deki genel akış diyagramında verilmiştir.

3.1. Matematik Model Modülü

Yazılımın ana modülünü teşkil eden matematik modül içerisinde LP ile sargılanmış elemanlar için üretilmiş eksenel basınç dayanımı ve buna karşı gelen şekildeğiştirme modelleri bulunmaktadır. Bu modül aracılığıyla kullanıcı, istediği veri tabanını, bu veri tabanı üzerinde uygulanmasını istediği matematik modelleri ve hangi modellerin

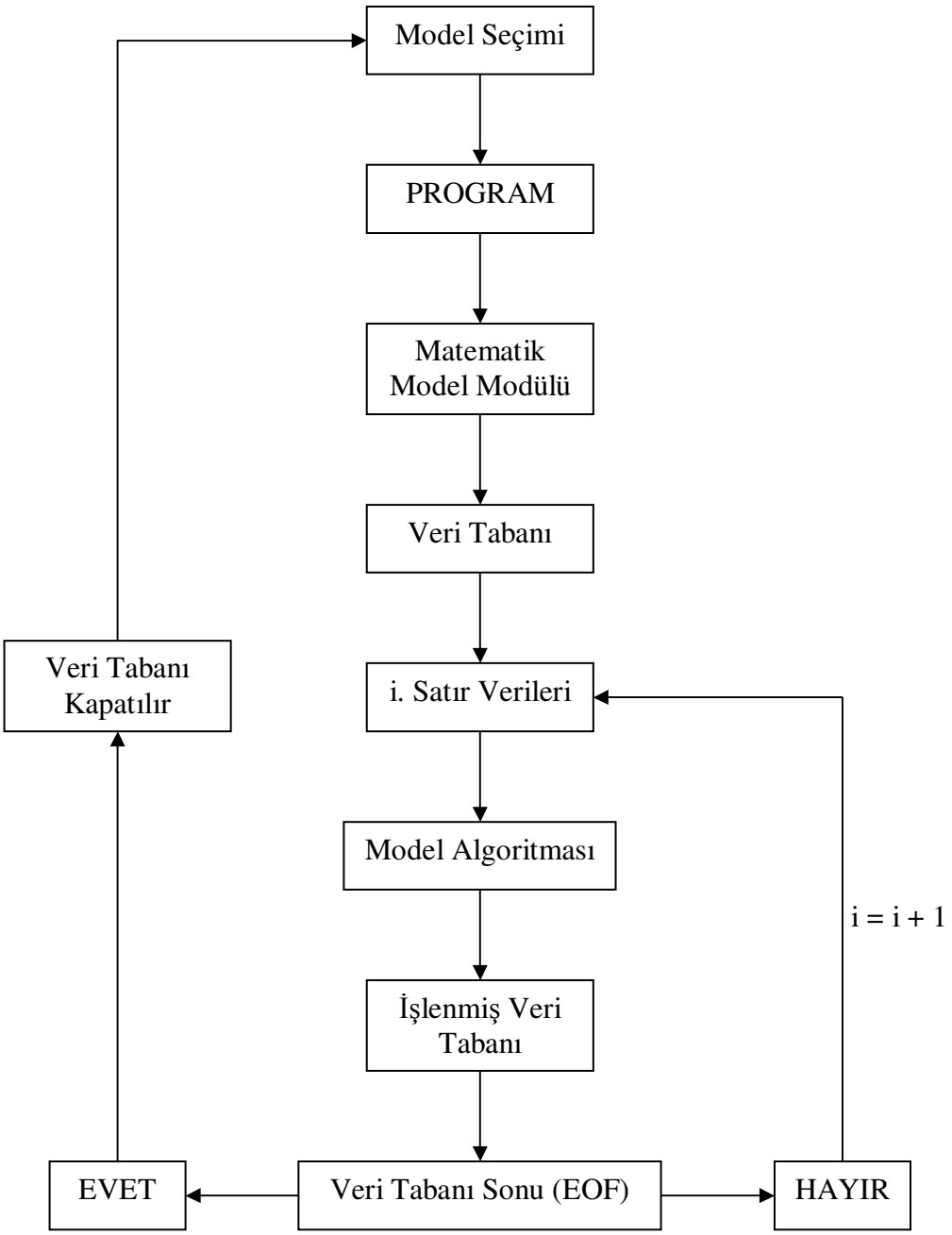
istatistiki verilerinin çıkmasını istediğini seçebilir. Modülün görünümü Şekil 3.3'teki gibidir.



Şekil 3.3 : Matematik Modülünün Görünümü

Modül içerisindeki modeller, ilgili makalelerde açıklanmış olan denklemlerin algoritmik olarak yazılmasından ibarettir. Herhangi bir iteratif ya da yaklaşık yöntem kullanılmamışır. Çalıştırılması istenen modelin butonuna basılmasıyla modül dosya kısmında seçilmiş olan veri tabanını açar ve satır bazında işlemlere başlar. Bu hesaplamalarda öncelikle f_{cc} değerleri ve bunların deney sonucu bulunmuş olan değerlerine oranları, ardından da ε_{cc} değerleri ve bunların deney sonucu bulunmuş olan değerlerine olan oranları bulunur. Fakat veri tabanında derlenen tüm numunelerin deney sonucu ε_{cc} değerleri bulunmamaktadır (kaynak olarak kullanılan makalelerde yer almadıkları ya da hiç ölçülmediklerinden dolayı). Bu numunelerin bulunduğu satırlarda yazılım ε_{cc} değerlerini hesaplamakta fakat buna bağlı oranları hesaplamayı otomatik olarak atlamaktadır. Hesap yapılan satırdaki işlem bittikten sonra bulunan değerler, yine aynı satırdaki yerlerine yazılır ve bir sonraki satıra geçilir. Bu işlem dosya sonuna ulaşılana kadar devam ettirilir (EOF). Dosya sonuna ulaşılmasıyla birlikte modül veri tabanını kapatır ve işlem tamamlanmış olur. Şekil 3.4'te bu işlem, bir akış diyagramıyla gösterilmiştir.

Matematik modül, programın yönetici parçası olduğu için, programın açılması, kapatılması, diğer modüllerin çağrılması, bu modüllerde hagi modellerin kullanılacağı ve raporun hazırlanması gibi işlemleri de içinde barındırır.



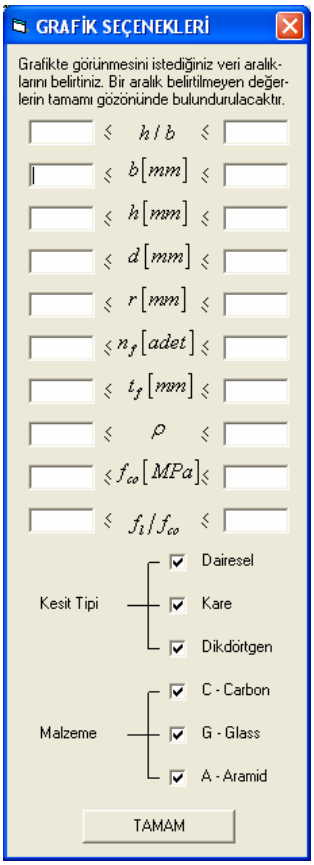
Şekil 3.4 : Matematik Modülünün Akış Diyagramı

Modül her çalıştırıldığında tüm satır işlemlerini tekrar yapmaktadır. Bunun sebebi önceden girilmiş olan verilerin kullanıcı tarafından değiştirilmesi sonucu doğabilecek problemlerin giderilmesidir. Veri tabanına son şekil verildikten sonra modeller

sırayla çalıştırılır ve işlenmiş veri tabanı elde edilir. İşlenmiş veri tabanı bu aşamadan sonra hesaplarda ve grafiklerde kullanılacak tüm veriyi barındırır hale gelir.

3.2. Grafik Modülü

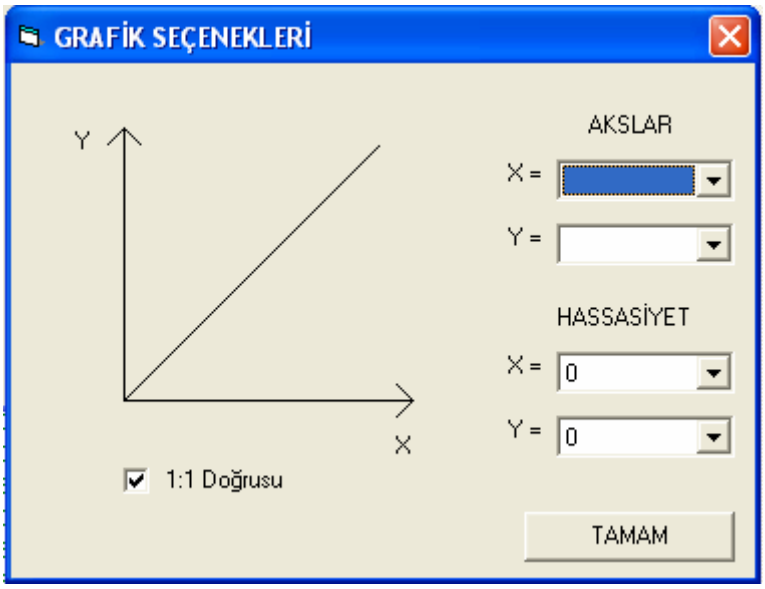
Grafik modülü, VB 6.0 içindeki grafik aygıtının yetersizliği nedeniyle ChartDirector 4.1 isimli bir grafik eklentisi yardımıyla programlanmıştır. Modül, ana modülde istenen grafiklerin seçilmesi (Birden fazla model seçilebilmektedir. Bu sayede modeller grafik üzerinde de karşılaştırılabilmektedir.) ve grafik butonuna basılmasıyla çalışır. Modülün çağrılmasıyla birlikte gelen ekran aracılığıyla, öncelikle veri tabanından seçilecek olan elemanların özellikleri belirlenir. Bunlar elemanların kesit şekilleri, boyutları, en boy oranı, kare ve dikdörtgen kesitler için köşe yarıçapları, ilk dayanımları, sargılama miktarları, sargı malzemesinin cinsi, numunenin mevcut donatı oranı gibi değişkenlerdir (Şekil 3.5).



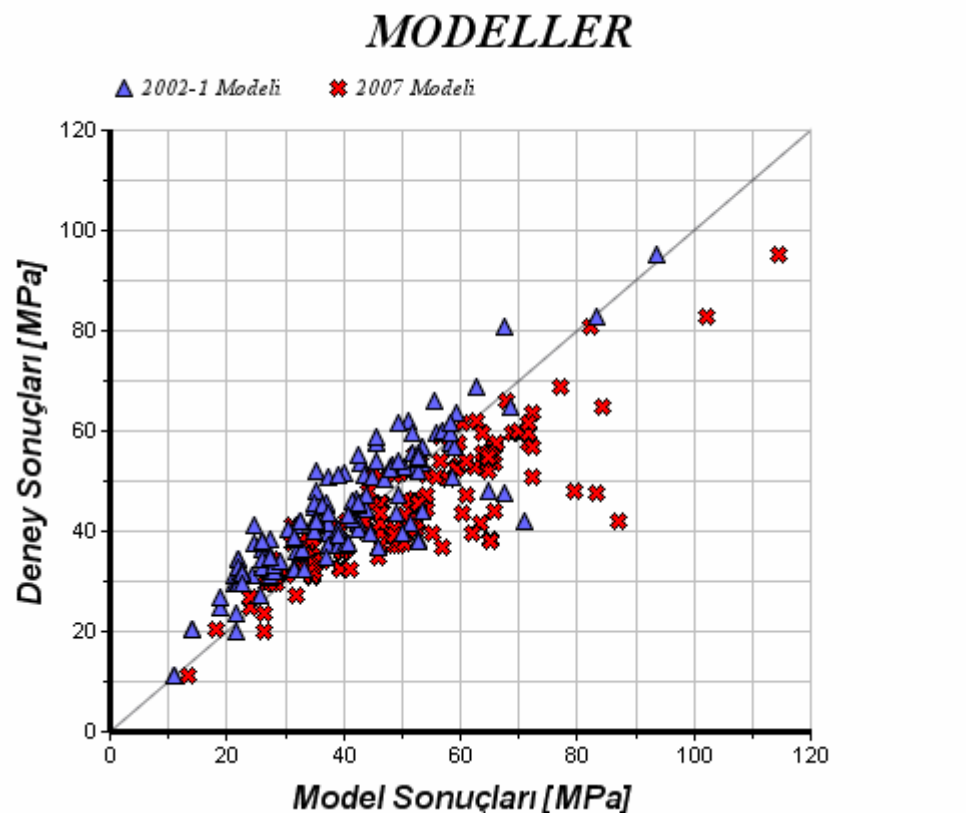
Şekil 3.5 : Grafik Kıstasları Seçim Penceresi

Veri tabanından çağrılacak ve grafikte gösterilecek veriler bu kıstaslara göre belirlenir. Hiçbir aralık tanımlanmaması halinde tüm veriler hesaba katılacaktır.

Kıstasların belirlenmesinin ardından grafiğin taşıyacağı genel özellikler sorgulanır. Apsis ve ordinat değişkenleri, değerlerin hassasiyeti ve 1:1 doğrusunun çizilip çizilmeyeceği kullanıcı tarafından belirlenir (Şekil 3.6).

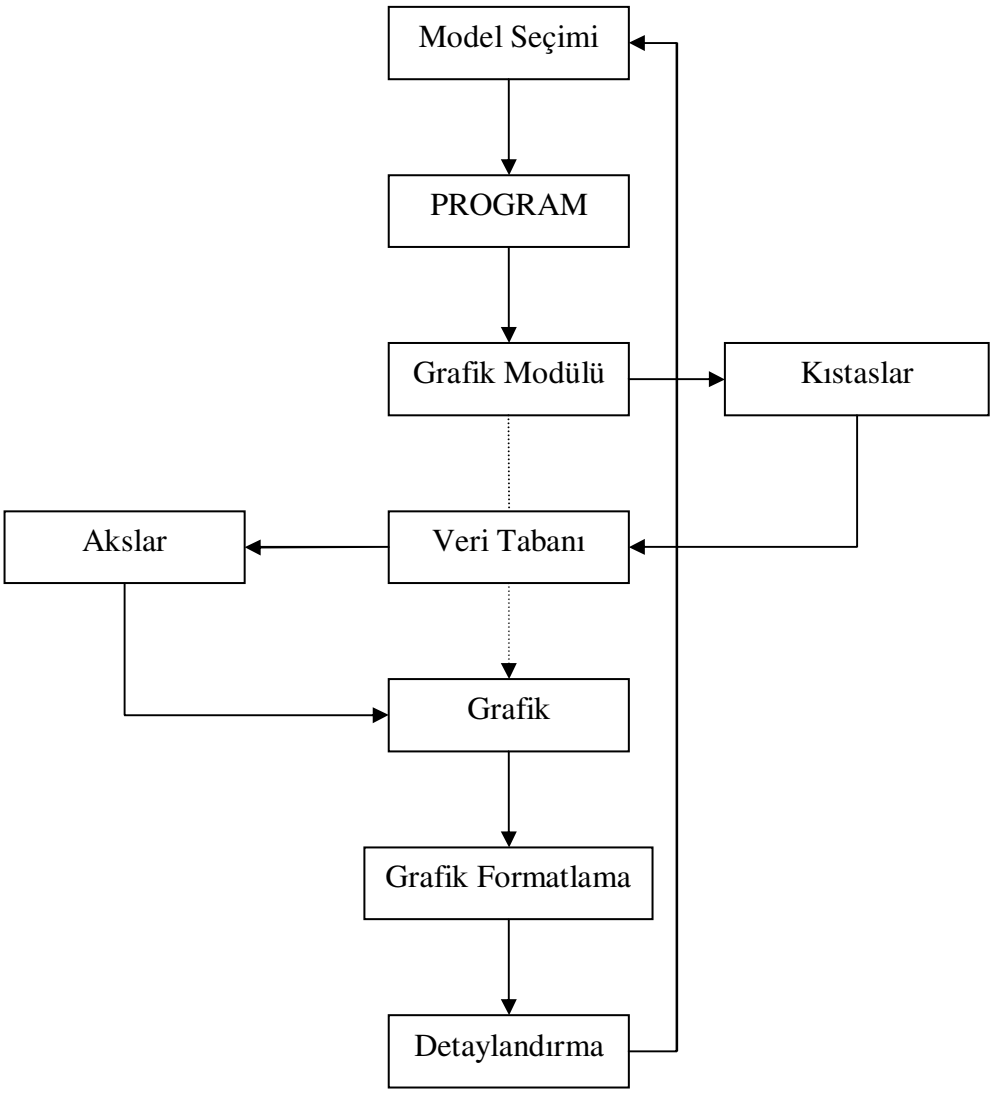


Şekil 3.6 : Grafik Seçenekleri Penceresi



Şekil 3.7 : Düzenlenmiş Bir Grafik Görünüşü

Grafik değişkenlerinin belirlenmesinden sonra istenilen özeliklerdeki grafik program tarafından çizilir (Şekil 3.7). Gösterilen grafik üzerinde çeşitli değişiklikler yapılabileceği gibi, grafik detaylandırması da yapılabilir. Değişiklikler grafiğin üzerine çift tıklanmasıyla gelen pencere aracılığıyla yapılırken, detaylı grafik işlemleri yine ana modül üzerindeki buton yardımıyla yapılır. Detaylandırma esnasında ilk grafikte seçilen kıstaslar kullanıcıya gösterilmekte ve bunun dışına çıkması engellenmektedir. Bu işlemler Şekil 3.8'deki akış diyagramında gösterilmiştir.



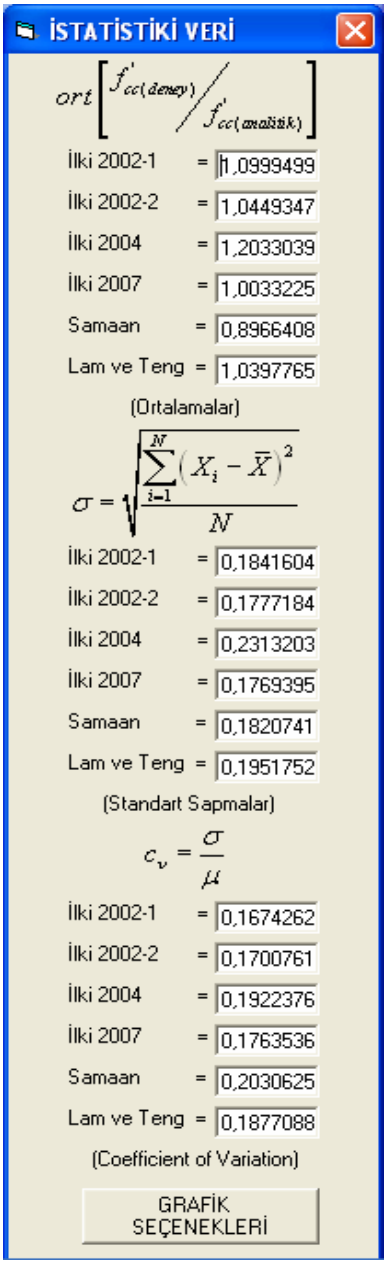
Şekil 3.8 : Grafik Modülünün Akış Diyagramı

Grafiklerdeki formatlama seçeneği sayesinde aksların maksimum ve minimum değerleri, basamak değeri, ikincil çizgiler, başlık fontları ve değişken renkleri gibi birçok durum düzenlenebilmektedir. Böylece programın otomatik olarak

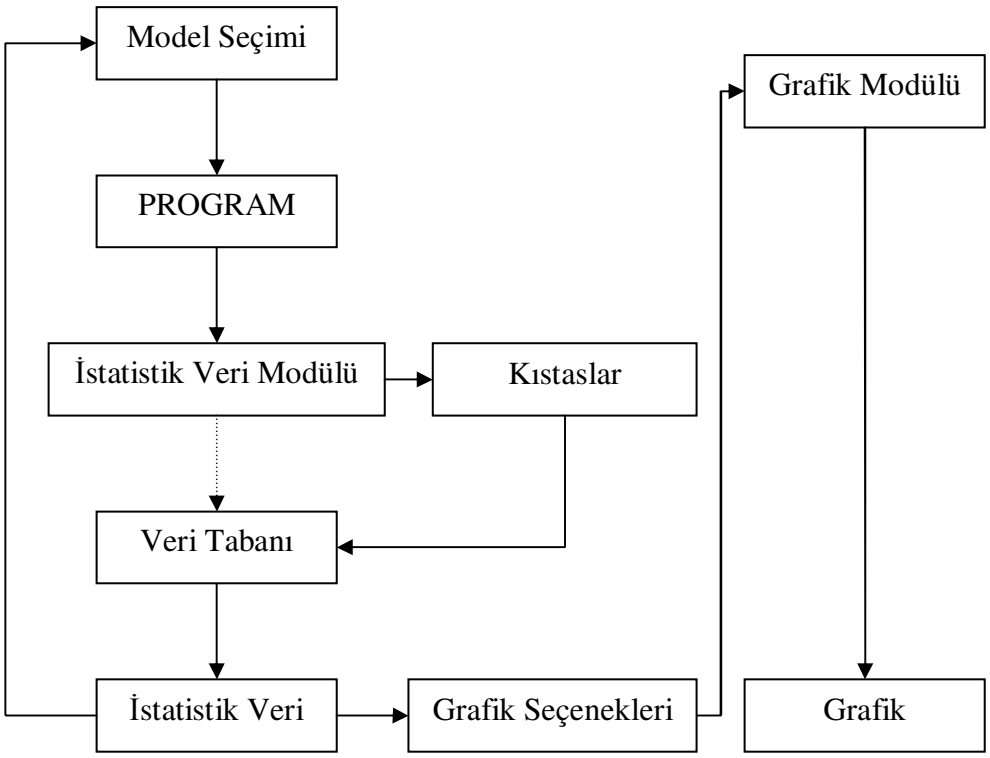
formatladıkları yerine, görsel olarak daha rahat yorumlanabilir grafikler elde edilebilmektedir.

3.3. İstatistik Veri Modülü

Bu modül, ana modül üzerinden hesaplanması istenen modellerin seçilmesi ve istatistik butonuna basılmasıyla çağrılır (Şekil 3.9). Modülün çağrılmasıyla birlikte grafik modülündekine benzer kıstas penceresi açılır ve gerekli sınırlamalar kullanıcı tarafından girilir. Modül buna bağlı olarak veri tabanından uygun elemanları çağırır ve istatistiki verileri satır bazında işlemler yaparak hesaplar (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 : İstatistik Veri Modülünün Görünümü



Şekil 3.10 : İstatistik Veri Modülünün Akış Diyagramı

Modül tarafından hesaplanan veriler sırasıyla deneysel sonuçların analitik sonuçlara oranının aritmetik ortalaması;

$$\mu = ort\left(f_{cc,deney} \Big/ f_{cc,analitik} \right) \tag{3.1a}$$

$$\mu = ort\left(\varepsilon_{cc,deney} \Big/ \varepsilon_{cc,analitik} \right) \tag{3.1b}$$

hesaplanan aritmetik ortalamaların standart sapması;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(X_i - \bar{X} \right)^2}{N}} \tag{3.2}$$

ve bu iki değerin oranı olan varyasyon katsayısıdır;

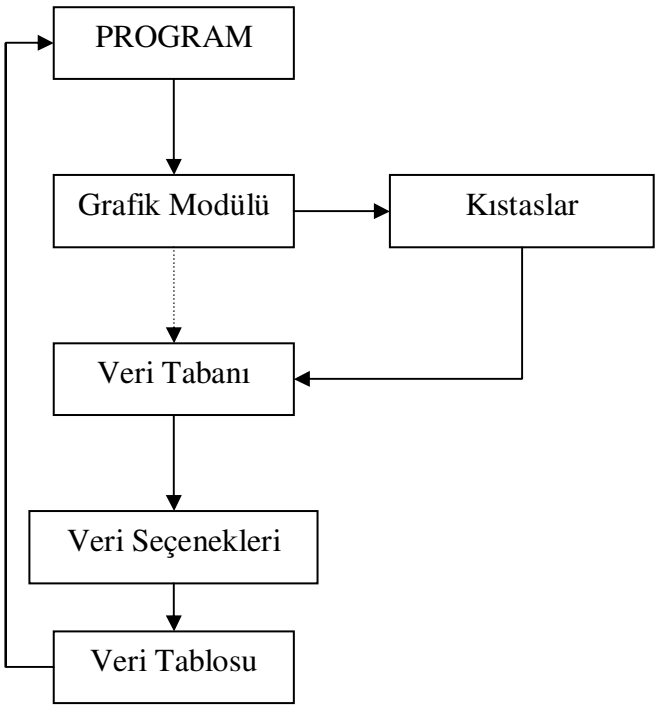
$$c_v = \frac{\sigma}{\mu} \tag{3.3}$$

Bu oranlar hem f_{cc} hemde ε_{cc} değerleri için hesaplanmaktadır. Aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri modellerin etkinliklerini değerlendirmedeki en önemli verilerdir. Varyasyon katsayısı ise bu verilerin yanında ek bir değer olarak hesaplanmaktadır. Bu değer tek başına yanıltıcı olabilmektedir. Çünkü aritmetik ortalama ve standart sapmadaki hatalar birbirini götürebilmektedir.

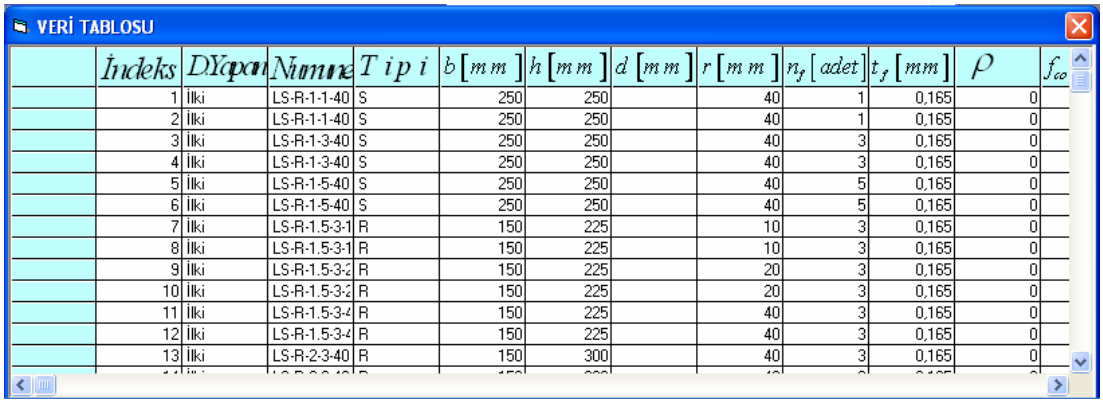
Bunun dışında bu modül aracılığıyla grafik üzerinde, modellere ait eğilim doğruları da çizdirilebilmektedir. Bu grafiklerin daha rahat yorumlanabilmesini sağlanabilmektedir.

3.4. Veri Tabanı Modülü

Veri tabanı modülü kullanıcının grafiklerde ve istatistiki verilerde görüntülediği sonuçların hangi verilere dayandığını görüntülemesine yarayan modüldür. Doğrudan doğruya veri tabanıyla bağlantı sağlar ve aynı grafik ve istatistik veri modüllerindeki gibi kıstasların belirlenmesinden sonra gerekli veriyi çeker. Çekilen verilerden kullanıcının istediği değişkenler açılan bir pencere aracılığıyla öğrenilir ve bir tabloda gösterilir. Bu tablo üzerinde hiçbir değişiklik yapılamaz, sadece görüntüleme amaçlıdır. Şekil 3.11'de modülün akış diyagramı, Şekil 3.12'de ise veri tablosu görülmektedir.



Şekil 3.11 : Veri Tablosu Modülü Akış Diyagramı

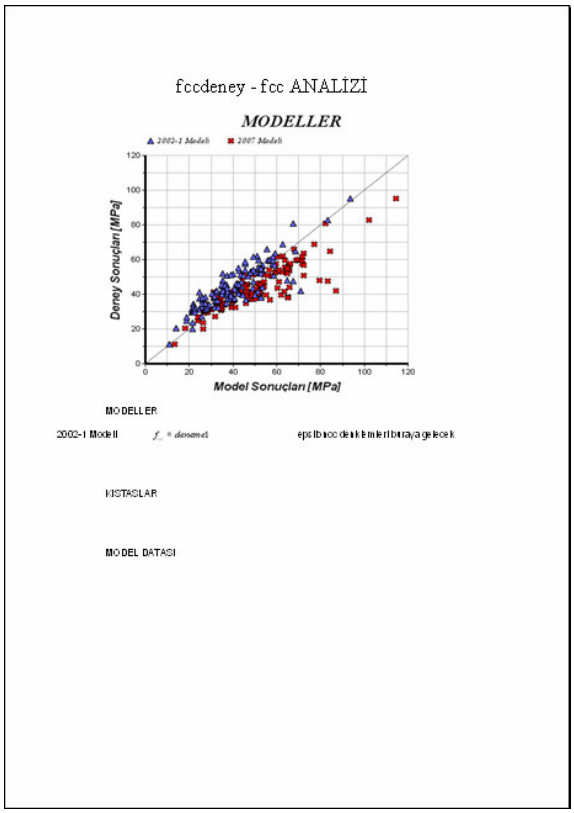


	İndeks	DYapan	Numune	Tipi	b [mm]	h [mm]	d [mm]	r [mm]	n_f [adet]	t_f [mm]	ρ	f_{co}
	1	İlki	LS-R-1-1-40	S	250	250		40	1	0,165	0	
	2	İlki	LS-R-1-1-40	S	250	250		40	1	0,165	0	
	3	İlki	LS-R-1-3-40	S	250	250		40	3	0,165	0	
	4	İlki	LS-R-1-3-40	S	250	250		40	3	0,165	0	
	5	İlki	LS-R-1-5-40	S	250	250		40	5	0,165	0	
	6	İlki	LS-R-1-5-40	S	250	250		40	5	0,165	0	
	7	İlki	LS-R-1.5-3-1	R	150	225		10	3	0,165	0	
	8	İlki	LS-R-1.5-3-1	R	150	225		10	3	0,165	0	
	9	İlki	LS-R-1.5-3-2	R	150	225		20	3	0,165	0	
	10	İlki	LS-R-1.5-3-2	R	150	225		20	3	0,165	0	
	11	İlki	LS-R-1.5-3-4	R	150	225		40	3	0,165	0	
	12	İlki	LS-R-1.5-3-4	R	150	225		40	3	0,165	0	
	13	İlki	LS-R-2-3-40	R	150	300		40	3	0,165	0	

Şekil 3.12 : Veri Tablosu Görünüşü

3.5. Rapor Modülü

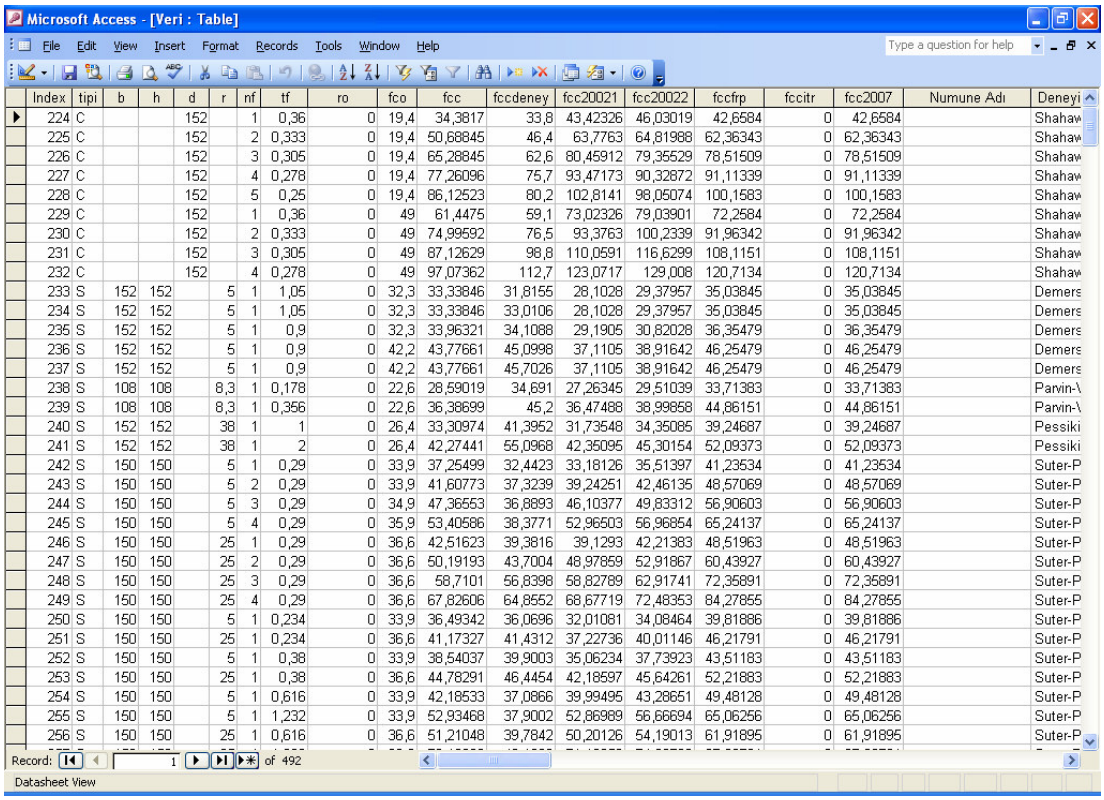
Ana modül üzerinden çalışan rapor modülü aracılığıyla kullanıcı, değerlendirme yaptığı durumla ilgili özet bir rapor hazırlayabilmektedir. Bu rapor Microsoft Office Excel programı aracılığıyla hazırlanmaktadır. Modülün çağrılmasıyla birlikte, hazırlanacak dosyanın kaydedileceği yer program tarafından sorulur ve dosya hazırlanır. Çıktılar, incelenen durumun grafik gösterimini, istatistiki verilerini ve veri tablolarını içerecek şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : Rapor Sayfası Görünüşü

4. VERİ TABANI

Veri tabanı, hazırlanan yazılımın kullanımına uygun şekilde Microsoft Office Access programında oluşturulmuştur. Bu çalışma için derlenmiş olan yaklaşık beş yüz numune belirli bir düzen doğrultusunda veri tabanına işlenmiş ve program çalıştırılarak sonuçlar yine aynı veri tabanına yazdırılmıştır. Veritabanının yapısı Şekil 4.1'de görülebilmektedir.



Index	tipi	b	h	d	r	nf	tf	ro	fco	fcc	fccdeney	fcc20021	fcc20022	fccfrp	fccitr	fcc2007	Numune Adı	Deneyi
224	C			152		1	0,36	0	19,4	34,3817	33,8	43,42326	46,03019	42,6584	0	42,6584		Shahaw
225	C			152		2	0,333	0	19,4	50,68845	46,4	63,7763	64,81988	62,36343	0	62,36343		Shahaw
226	C			152		3	0,305	0	19,4	65,28845	62,6	80,45912	79,35529	78,51509	0	78,51509		Shahaw
227	C			152		4	0,278	0	19,4	77,26096	75,7	93,47173	90,32872	91,11339	0	91,11339		Shahaw
228	C			152		5	0,25	0	19,4	86,12523	80,2	102,8141	98,05074	100,1583	0	100,1583		Shahaw
229	C			152		1	0,36	0	49	61,4475	59,1	73,02326	79,03901	72,2584	0	72,2584		Shahaw
230	C			152		2	0,333	0	49	74,99592	76,5	93,3763	100,2339	91,96342	0	91,96342		Shahaw
231	C			152		3	0,305	0	49	87,12629	98,8	110,0591	116,6299	108,1151	0	108,1151		Shahaw
232	C			152		4	0,278	0	49	97,07362	112,7	123,0717	129,008	120,7134	0	120,7134		Shahaw
233	S	152	152		5	1	1,05	0	32,3	33,33846	31,8155	28,1028	29,37957	35,03845	0	35,03845		Demers
234	S	152	152		5	1	1,05	0	32,3	33,33846	33,0106	28,1028	29,37957	35,03845	0	35,03845		Demers
235	S	152	152		5	1	0,9	0	32,3	33,96321	34,1088	29,1905	30,82028	36,35479	0	36,35479		Demers
236	S	152	152		5	1	0,9	0	42,2	43,77661	45,0998	37,1105	38,91642	46,25479	0	46,25479		Demers
237	S	152	152		5	1	0,9	0	42,2	43,77661	45,7026	37,1105	38,91642	46,25479	0	46,25479		Demers
238	S	108	108		8,3	1	0,178	0	22,6	28,59019	34,691	27,26345	29,51039	33,71383	0	33,71383		Parvin-\
239	S	108	108		8,3	1	0,356	0	22,6	36,38699	45,2	36,47488	38,99858	44,86151	0	44,86151		Parvin-\
240	S	152	152		38	1	1	0	26,4	33,30974	41,3952	31,73548	34,35085	39,24687	0	39,24687		Pessiki
241	S	152	152		38	1	2	0	26,4	42,27441	55,0968	42,35095	45,30154	52,09373	0	52,09373		Pessiki
242	S	150	150		5	1	0,29	0	33,9	37,25499	32,4423	33,18126	35,51397	41,23534	0	41,23534		Suter-P
243	S	150	150		5	2	0,29	0	33,9	41,60773	37,3239	39,24251	42,46135	48,57069	0	48,57069		Suter-P
244	S	150	150		5	3	0,29	0	34,9	47,36553	36,8893	46,10377	49,83312	56,90603	0	56,90603		Suter-P
245	S	150	150		5	4	0,29	0	35,9	53,40586	38,3771	52,96503	56,96854	65,24137	0	65,24137		Suter-P
246	S	150	150		25	1	0,29	0	36,6	42,51623	39,3816	39,1293	42,21383	48,51963	0	48,51963		Suter-P
247	S	150	150		25	2	0,29	0	36,6	50,19193	43,7004	48,97859	52,91867	60,43927	0	60,43927		Suter-P
248	S	150	150		25	3	0,29	0	36,6	58,7101	56,8398	58,82789	62,91741	72,35891	0	72,35891		Suter-P
249	S	150	150		25	4	0,29	0	36,6	67,82606	64,8552	68,67719	72,48353	84,27855	0	84,27855		Suter-P
250	S	150	150		5	1	0,234	0	33,9	36,49342	36,0696	32,01081	34,08464	39,81886	0	39,81886		Suter-P
251	S	150	150		25	1	0,234	0	36,6	41,17327	41,4312	37,22736	40,01146	46,21791	0	46,21791		Suter-P
252	S	150	150		5	1	0,38	0	33,9	38,54037	39,9003	35,06234	37,73923	43,51183	0	43,51183		Suter-P
253	S	150	150		25	1	0,38	0	36,6	44,78291	46,4454	42,18597	45,64261	52,21883	0	52,21883		Suter-P
254	S	150	150		5	1	0,616	0	33,9	42,18533	37,0866	39,99495	43,28651	49,48128	0	49,48128		Suter-P
255	S	150	150		5	1	1,232	0	33,9	52,93468	37,9002	52,86989	56,66694	65,06256	0	65,06256		Suter-P
256	S	150	150		25	1	0,616	0	36,6	51,21048	39,7842	50,20126	54,19013	61,91895	0	61,91895		Suter-P

Şekil 4.1 : Veri Tabanı Görünümü

Veri tabanı 82 kolondan oluşmaktadır. Bunların bir kısmı kullanıcı tarafından girilecek olan numune bilgilerini, geri kalan kısmı ise yazılımın yapacağı hesaplamalarda kullanacağı değişkenleri ve sonuç verilerini içerir. Veri tabanının genel yapısı Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablodaki birinci satır veri tabanındaki veri grubunun adını, ikinci satır, bu gruba ait kaç tane kolon olduğunu ve son satır da bu verinin kullanıcı tarafından mı girildiği (K), yazılım tarafından mı hesaplandığı (Y) ya da otomatik olarak atandığını (O) belirtmektedir.

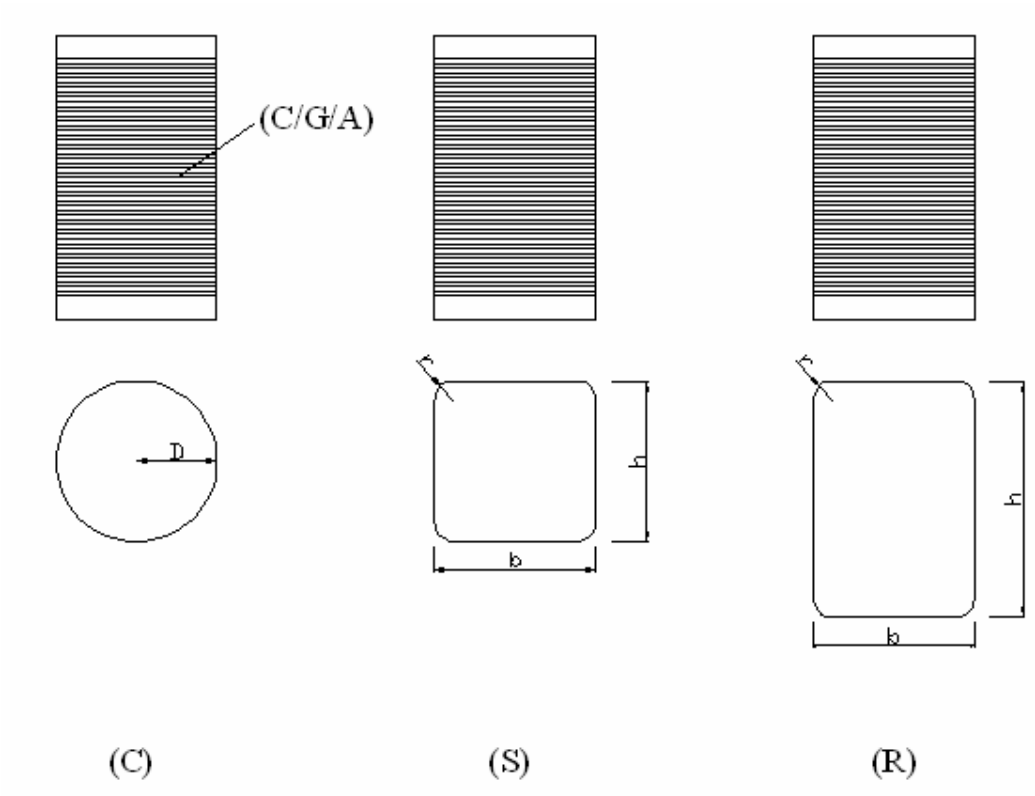
Tablo 4.1 : Veri Tabanının Yapısı

İndeks	Numune Özellikleri	2004 Modeli	2002 Modelleri	2007 Modeli	Samaan Modeli	Donatı Özellikleri	LP Özellikleri	Lam Modeli	Yanal Sargılama
1	16	4	6	8	4	28	3	4	6
O	K	Y	Y	Y	Y	K	K	Y	Y

Tablo 4.1'de gösterilen sıralama veri tablosundaki yaklaşık sıralamadır. Tabloda yer almayan iki kolon ise yazılım tarafından hesaplanan numune özellikleridir.

4.1. Numune Verileri

Veri tabanına işlenmiş bulunan her numune için, İlki 2007 [4] modeli için istenen mevcut çelik donatı bilgisi dışında, 19 adet veri girilmektedir.



Şekil 4.2 : Numune Tipleri

Bu veri grubunun ilk kısmı, numunelerin geometrisini belirleyen değişkenlerdir. Bu değişkenlerden ilki numune tipidir. Veri tabanında "tipi" olarak isimlendirilen bu değişkene, numunenin daire (C), kare (S) ya da dikdörtgen (R) olduğunu belirten harfler girilir (Şekil 4.2). Bu değişken yapılan hesaplamaları ve analizler esnasında yapılan karşılaştırmaları kolaylaştırmak, işlem hacmini azaltmak için oluşturulmuştur. Bu değişkenin ardından, veritabanında "b" ve "h" olarak tanımlanmış olan, kare ve dikdörtgen numuneler için boyut değerleri (b,h) gelir. b değişkeni numunelerin kısa kenarını, h değişkeni ise uzun kenarı temsil eder. Kare numunelerde b ve h değerleri eşit girilmektedir. Veri tabanında bu değişken için mm birimi kullanılmıştır. b değeri 94 mm'den 250 mm'ye ve h değeri de 108 mm'den 450 mm'ye kadar değişmektedir. Daire numunelerde ise bu boyut değeri D değişkeni ile belirlenmektedir. Daire kesitlerin çapını belirten bu değişken veri tabanında "d" olarak tanımlanmıştır. Veri tabanındaki birimi mm olan bu değişken 51 mm'den 300 mm'ye kadar değerler almaktadır. Kare ve dikdörtgen kesitlerin köşe yarıçaplarını r değişkeni göstermektedir ve veri tabanında "r" olarak tanımlanmıştır. Bu yarıçap, daire olmayan kesitlerde LP sargılama malzemesinin etkili çalışması için çok önemlidir ve r değeri büyüdükçe sargılama işlemi daha başarılı hale gelmektedir. Veri tabanında bu değişken için kullanılan birim mm'dir ve 5 mm'den 40 mm'ye kadar değerler almıştır. Bunların dışında, yine numune geometrisini belirlemede önemli değerlerden biri olan h/b oranı, yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Bu değişken veri tabanında "hbolub" olarak isimlendirilmiştir. Birimsiz olan bu değişken, sırasıyla 1, 1.33, 1.5, 2 ve 3 değerlerini almaktadır.

Veri grubunun ikinci kısmı ise sargılama öncesi ve sargılama sonrası numunelerin dayanım değerleri ve şekildeğiştirmeleridir. Sargılama öncesi dayanım (ilk dayanım), f_{co}, numunelerin deney anındaki güçlendirilmemiş beton basınç dayanımlarıdır. Veri tabanında "fco" şeklinde isimlendirilmiştir. Birimi MPa'dır ve 6.2 MPa'dan 64.2 MPa'a kadar geniş bir aralıkta değerler almaktadır. Veri tabanında "epsilonco2002" ve "epsilonco2004" olarak adlandırılan değişkenlerde, ε_{co}, betonun güçlendirme öncesi yapacağı dayanıma karşı gelen şekildeğiştirmelerdir. Bu değerler, kullanılan modelin kabullerine ve numunelerin kesit tiplerine göre değişmektedir. Birimi mm/mm'dir ve sırasıyla 0.002, 0.0024, 0.0028 ve 0.003 değerlerini alabilmektedir.

Güçlendirme sonrası basınç dayanımını temsil eden $f'_{cc,deney}$ değeri ise veri tabanında "fccdeney" olarak isimlendirilmiştir. Veri tabanındaki birimi MPa'dır. Değişken 10.2 MPa'dan 243.9 MPa'a kadar değerler almaktadır. Güçlendirme sonrası dayanıma karşı gelen şekildeğiştirmeleri $\varepsilon'_{cc,deney}$ değişkeni ile tanımlanmış ve veri tabanında "ecc2002deney" şeklinde isimlendirilmiştir. Birimi mm/mm'dir ve 0.00286'dan 0.099 değerine kadar değişmektedir. Güçlendirme sonrası deneylerden elde edilen bu veriler, mevcut modellerin etkinliklerini ve yaklaşıklıklarını değerlendirmede kullanılacak olan istatistiki veriler için büyük önem taşımaktadır.

Üçüncü kısımda sargılama malzemesiyle ilgili değişkenler bulunmaktadır. Bunların ilki veri tabanında "malzemetipi" olarak adlandırılan veridir. Bu kolonda karbon lifli polimer (CFRP) malzeme için "C" harfi, cam lifli polimer (GFRP) malzeme için "G" harfi ve aramid lifli polimer (AFRP) malzeme için "A" harfi kullanılmıştır. Bu hem bazı modellerde kullanılan çeşitli katsayıların düzenlenmesi için gereklidir hem de çalışma sonunda yapılacak olan analizlerin malzeme tipine göre de yapılabilmesini sağlamaktadır. Sargılamada kullanılan malzemenin elastisite modülünü belirten E_{frp} değişkeni veri tabanında "Efrp" olarak tanımlanmıştır. Bu değişken genel olarak, değerlendirilen numunenin alındığı kaynakta, sargılamada kullanılan malzemenin üreticisinin verdiği değerler olarak alınmıştır. Üreticinin malzeme için verdiği değerlerin bulunmaması halinde, deneyi yapan araştırmacının malzeme için verdiği elastisite modülü değerleri dikkate alınmıştır. Birimi MPa olan bu değişken LP'nin yapılmış olduğu malzemeye bağlı olarak 10500 MPa'dan (GFRP) 629600 MPa'a (CFRP) kadar değişik değerler alabilmektedir. Malzemenin kopmada uzamasını belirten ε^*_{fu} değeri de, E_{frp}'nin belirlenmesinde kullanılan aynı yöntemle belirlenmiştir. Bu değer veri tabanında "epsilonfrp" olarak tanımlanmıştır. Birimi mm/mm'dir ve elastisite modülündeki gibi geniş bir aralıkta değerler alabilmektedir. Bu değişkenlerin dışında kullanılan sargı malzemesinin kat sayısını ve bir katının kalınlığını belirten, sırasıyla n_f ve t_f değişkenleri, veri tabanında "nf" ve "tf" olarak isimlendirilmiştir.

Bunların dışında, numunenin kimin çalışmasından alındığını belirten "Deneyi Yapan", deney esnasında numuneye verilen isim "Numune Adı", numunenin donatılı mı donatısız mı olduğunu belirleyen ve aynı zamanda geometrik boyuna donatı oranını veren "ro" ve numuneye deney esnasında uygulanan yükleme tipini belirten

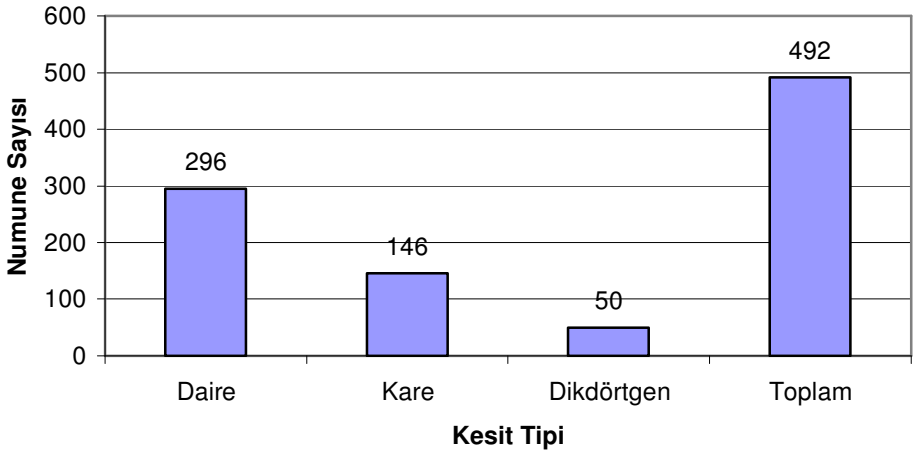
"LTF" değişkenleri de bulunmaktadır. Bunlardan "Deneyi Yapan" değişkeni kısmına numunenin alındığı çalışmanın ilk yazarı girilmiştir. "Numune Adı" kısmına ise, numunenin alındığı çalışmada bir isim verildiyse o girilmiştir. "LTF" değişkeni ise monotik yüklemeler için "1" olarak, tekrarlı yükler için "2" olarak girilmiştir. Bu değişken aynı zamanda İlki 2007 [4] modelinin kullanılabilmesi için de gereklidir.

4.2. Hesaplanan Veriler

Veri tabanında kullanıcının girdiği numune verileri dışındaki tüm değerler yazılım tarafından hesaplanan ya da otomatik olarak atanan değerlerdir. Veri tabanında "Index" olarak isimlendirilmiş olan değer, her yeni numune girişi yapılmasıyla birlikte yazılım tarafından otomatik olarak üretilir. Bir kez verilen numara bir daha kullanılmaz. Böylece satır bazında yapılan işlemlerde karışıklıkların önüne geçilmiş olunur. Bu değer dışında yazılım tarafından hesaplanan değerler, modellerin çalışması için gerekli olan değişkenler ve istatistik verinin oluşturulması için kullanılan oranlardır.

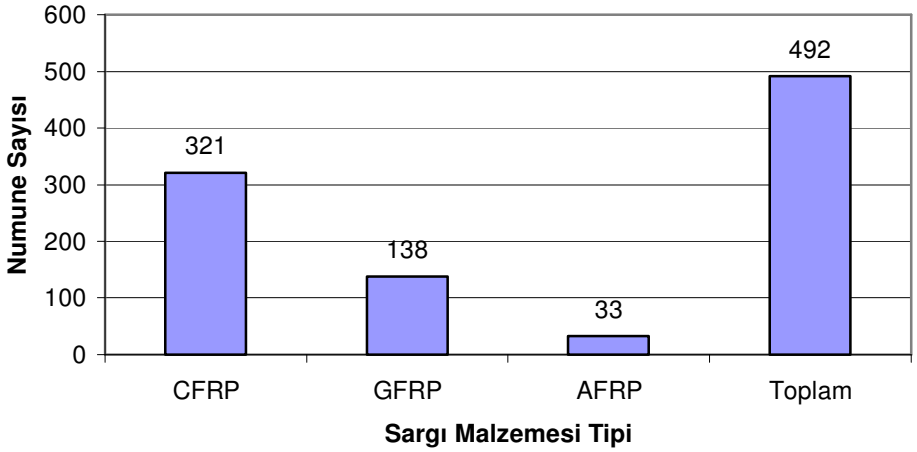
4.3. Veri Tabanının Genel Özellikleri

Veri tabanı, toplamda 492 numuneden oluşmaktadır. Bu numunelerin 296 tanesi daire kesitli, 146 tanesi kare kesitli ve 50 tanesi de dikdörtgen kesitlidir (Şekil 4.3).



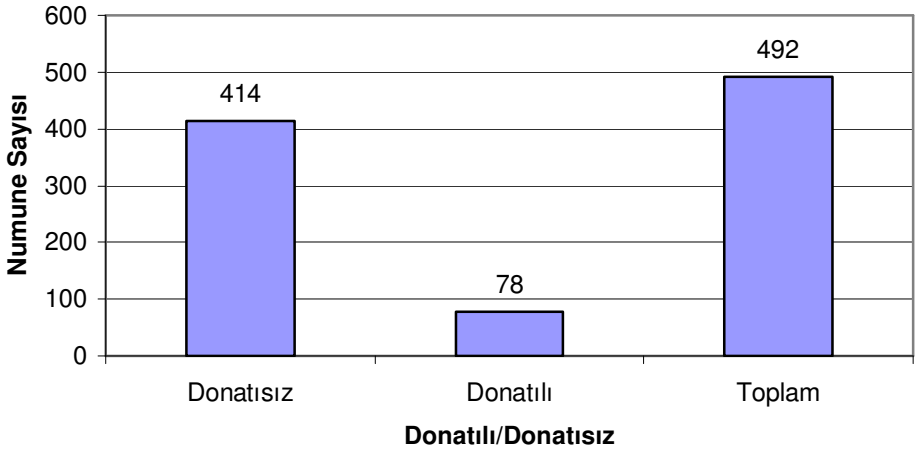
Şekil 4.3 : Kesit Tiplerine Göre Numunelerin Dağılımı

Numunelerin 321 tanesi CFRP malzeme ile sargılanmıştır. Geri kalan numunelerin 138 tanesi GFRP, 33 tanesi ise AFRP ile sargılanarak güçledirilmiştir (Şekil 4.4).



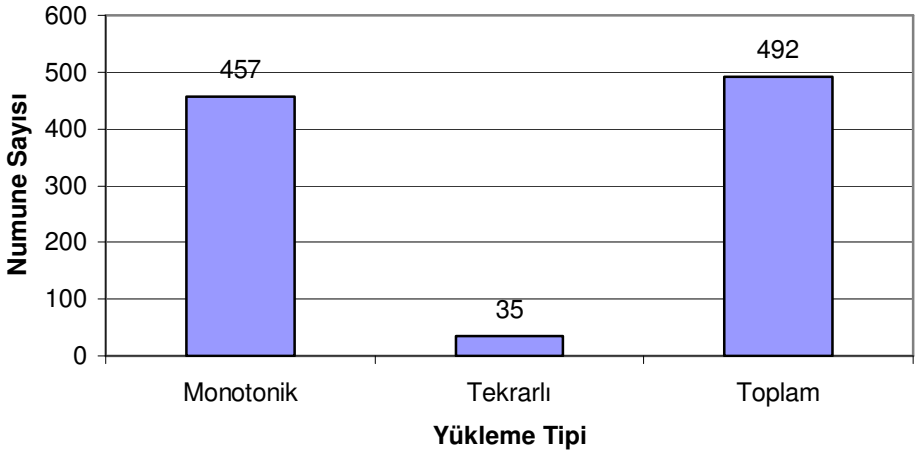
Şekil 4.4 : Sargı Malzemesinin Tipine Göre Numunelerin Dağılımı

Göz önüne alınan modellerden sadece İlki 2007, numunelerin içindeki mevcut çelik donatıyı da hesaba katarak bir sonuç dayanımı vermektedir. Veri tabanındaki numunelerin büyük çoğunluğu donatısız betondandır. Sadece 78 numunede çelik donatı vardır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Numunelerin Donatılı ya da Donatısız Olmalarına Göre Dağılımı

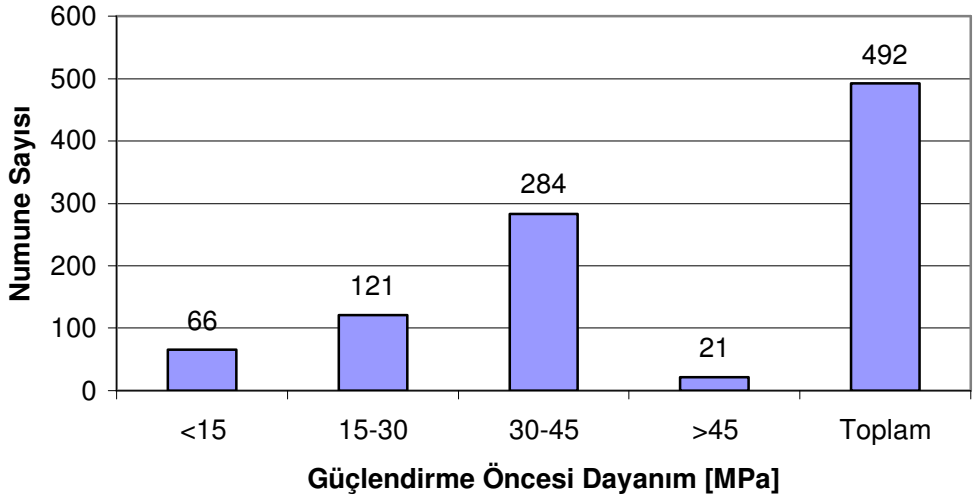
Daha önce yapılan çalışmalarda da genel olarak belirtildiği gibi yükleme tipinin monotonik yada tekrarlı olması elde edilecek olan dayanımı etkilememektedir. Veri tabanını oluşturan numunelerin 35 tanesi tekrarlı yükler altında deneye tabi tutulmuşken 457 tanesi monotonik yükler altında test edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Yükleme Tipine Göre Numunelerin Dağılımı

Bunların dışında, LP sargı malzemesinin etkinliğindeki diğer bir önemli değişken numunelerin ilk dayanımlarıdır. İlk dayanımı 15 MPa'ın altında 66, 15 MPa ile 30 MPa arasında 121, 30 MPa ve 45 MPa arasında 284 ve 45 MPa'ın üzerinde 21 adet numune bulunmaktadır (Şekil 4.7).

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi, veri tabanı çok sayıda deney numunesinden elde edilen sonuçlara dayanmakta olup numune geometrisi açısından, kullanılan LP sargılama malzemesi bakımından, güçlendirme öncesi dayanımlar bakımından, yükleme tipleri bakımından ve donatılı ya da donatısız olması bakımından çeşitlilik göstermektedir.



Şekil 4.7 : İlk Dayanımlarına Göre Numunelerin Dağılımı

5. LP İLE SARGILANMIŞ BETON İÇİN DAYANIM VE KARŞI GELEN ŞEKİLDEĞİŞTİRME MODELLERİ

Bu çalışma çerçevesinde dört ayrı model incelenmiştir. Bunlar Lam ve Teng modeli [1], Samaan modeli [2], İlki 2007 modeli [3] ve İlki 2002b [4] modelidir. Bu modellerin tamamı yapılan deneysel çalışmalar üzerine kurulmuş ampirik bağıntılardan oluşmaktadır. Teorik modeller, hem uygulama açısından daha zor hem de çoğu kez sonuca ulaşmakta daha yetersiz oldukları için bu çalışmada göz önüne alınmamışlardır. Tüm bu modellerin dışında DBYBHY 2007'ye [12] göre kabul edilen davranış modelinden de bahsedilecektir.

5.1. Lam ve Teng Modeli

Bu çalışmada sözü geçen Lam ve Teng modeli [1], yazarların 2003 yılında yayınlanan makalelerinde ortaya koydukları modeldir. Model esas olarak, diğer modellerde de olduğu gibi, daire kesitli numuneler için oluşturulmuş ve sonradan dikdörtgen kesitli numuneler için bir şekil faktörü tanımlanarak model geliştirilmiştir.

Daha öncede bahsi geçtiği gibi Lam ve Teng modeli [1] de

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_l$$

genel formuna uymaktadır. Buradaki f_l, LP sargının sağladığı yanal basınç miktarı

$$f_l = \frac{2E_{frp}\varepsilon_{h,rup}t}{D} \qquad \textbf{(5.1)}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu denklemde sırasıyla E_{frp}, LP sargı malzemesinin elastisite modülü, $\varepsilon_{h,rup}$, LP malzemenin kopmada uzama değeri, t, toplam sargı malzemesi kalınlığı ve D numune çapıdır. Bu denklemdeki $\varepsilon_{h,rup}$ ve t değerleri

$$\varepsilon_{h,rup} = \begin{Bmatrix} 0.59\varepsilon_{fu}^{*} & CFRP \\ 0.64\varepsilon_{fu}^{*} & GFRP \\ 0.85\varepsilon_{fu}^{*} & AFRP \end{Bmatrix} \quad \textbf{(5.2)}$$

$$t = t_f n_f \quad \textbf{(5.3)}$$

şeklinde hesaplanır. Buradan da anlaşılabileceği gibi Lam ve Teng modeli [1], kullanılan LP malzemesinin türüne bağlı olarak kopma değerlerini farklı katsayılarla küçülterek kullanmaktadır. Bu durum, incelenen modeller arasında sadece Lam ve Teng modelinde vardır. Lam ve Teng'in çalışmasına göre dayanım hesabındaki k_1 katsayısı 3.3 olarak kabul edilmektedir. Böylece dayanım denklemi

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1 + 3.3\frac{f_l}{f'_{co}} \quad \textbf{(5.4)}$$

halini almaktadır. Bu denkleme bağlı olarak Lam ve Teng [1] yine daire kesitli elemanlar için aşağıdaki şekildeğiştirme modelini önermişlerdir.

$$\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}} = 1.75 + 12\frac{f_l}{f'_{co}}\left(\frac{\varepsilon_{h,rup}}{\varepsilon_{co}}\right)^{0.45} \quad \textbf{(5.5)}$$

Bu denklemdeki ε_{co}, sargılanmış betonda dayanıma karşı gelen eksenel şekildeğiştirmedir ve yazarlar tarafından, bu denklem için 0.002 olarak kabul edilmiştir. Modelde kullanılan tüm birimler MPa ve mm'dir.

Belirtildiği gibi, (5.4) ve (5.5) ifadeleri sadece daire kesitli elemanlar için geçerlidir. Bu denklemler, yazarlar tarafından k_{s1} ve k_{s2} olarak tanımlanan iki şekil faktörü aracılığıyla genişletilerek, dikdörtgen kesitlere uygun hale getirilir (5.6 ve 5.7).

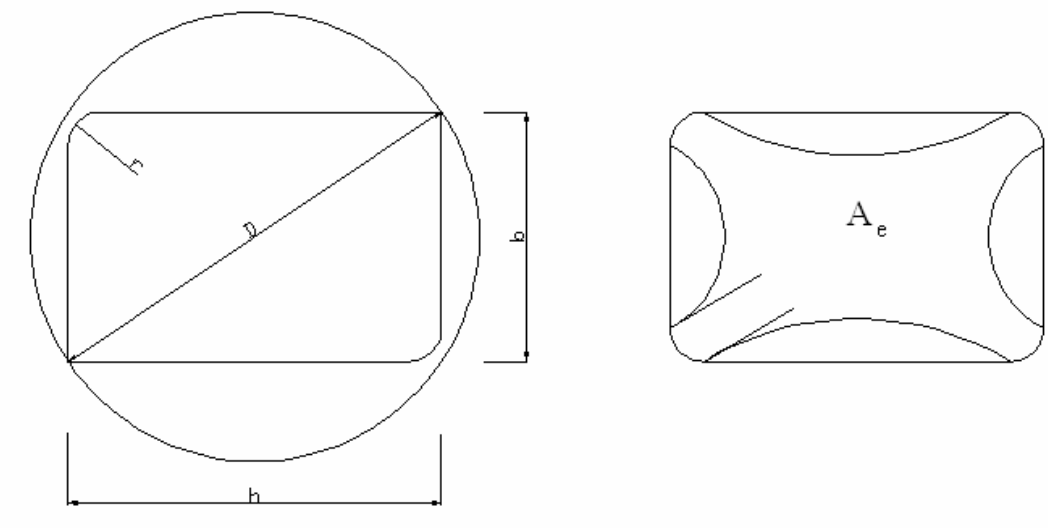
$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1 + 3.3k_{s1}\frac{f_l}{f'_{co}} \quad \textbf{(5.6)}$$

$$\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}} = 1.75 + 12k_{s2}\frac{f_l}{f'_{co}}\left(\frac{\varepsilon_{h,rup}}{\varepsilon_{co}}\right)^{0.45} \quad \textbf{(5.7)}$$

Şekil faktörlerinden önce f_l teriminin hesaplanabilmesi için eşdeğer bir daire çapı kabulü yapmak gerekmektedir. Lam ve Teng'e [1] göre bu çap, dikdörtgen kesitin

köşegen uzunluğu olarak kabul edilmiştir (5.8). $\varepsilon_{h,rup}$ değerinin hesabında ise bir değişiklik yapılmamaktadır.

$$D = \sqrt{h^2 + b^2} \tag{5.8}$$



Şekil 5.1 : Dikdörgen Kesitin Eşdeğer Çapının Bulunması ve Kesitin Etkili Alanı

Şekil fakörlerinin bileşenlerinden biri kesit etkili alanının, net beton alanına olan oranıdır. Bu oranın hesaplanmasında gerekli olan kesit etkili alanının hesabında Şekil 5.1'de görülebilecek olan kabul yapılır. Kesitin çap verilmiş köşelerinin bittiği noktalarından, kesit köşegenine paralel doğrular çizilir ve bu doğruları başlangıç eğimi kabul eden paraboller çizilir. Sonuç olarak oran

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left(\left((b/h)(h-2r)^2 + (h/b)(b-2r)^2 \right) \Big/ \left(3A_g \right) \right) - \rho}{1-\rho} \tag{5.9}$$

şeklinde hesaplanır. Bu ifadedeki ρ, elemandaki boyuna donatı oranıdır. A_c net beton alanı, A_g ise köşelerine çap verilmiş olan kesitin brüt alanıdır ve

$$A_g = bh - (4-\pi) r^2 \tag{5.10}$$

şeklinde hesaplanır. Bu değerlere bağlı olarak iki şekil faktörü Lam ve Teng tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$k_{s1} = \left(\frac{b}{h}\right)^{\alpha} \frac{A_e}{A_c} \tag{5.11}$$

$$k_{s2} = \left(\frac{h}{b}\right)^{\beta} \frac{A_e}{A_c} \tag{5.12}$$

5.11 ve 5.12 ifadelerindeki α ve β değerleri yazarların yaptığı deneylere dayanılarak sırasıyla 2 ve 0.5 olarak kabul edilmiştir.

Bu katsayıların yerine konulmasıyla denklemler dikdörtgen kesitler içinde kullanılabilir hale gelmiş olur.

5.2. Samaan Modeli [2]

Samaan modeli [2], Samaan ve diğ.nin 1998'de yayınlanan makalelerinden alınmıştır. Bu davranış modeli Lam ve Teng modelinde [1] olduğu gibi genel formu korumaktadır. Genel formdaki k_1 katsayısı için

$$k_1 = 6 f_l^{-0.3} \tag{5.13}$$

ifadesi verilmiştir. Bu katsayının genel formda yerine konulmasıyla aşağıdaki ifade elde edilir (5.14).

$$f'_{cc} = f'_{co} + 6 f_l^{0.7} \tag{5.14}$$

İfadede geçen f_l terimi Lam ve Teng modelindeki gibi

$$f_l = \frac{2 E_{frp} \varepsilon_{h,rup} t}{D}$$

şeklinde hesaplanır. Lam ve Teng modelinden [1] farklı olarak $\varepsilon_{h,rup}$ değerini ε_{frp}'nin bir katsayıyla küçültülmüş haline değil doğrudan kendisine eşit kabul edilir (5.15).

$$\varepsilon_{h,rup} = \varepsilon^*_{fu} \tag{5.15}$$

Bu modelin önerdiği ε_{cc} ifadesi ise

$$\varepsilon_{cc} = \frac{f'_{cc} - f_o}{E_2} \tag{5.16}$$

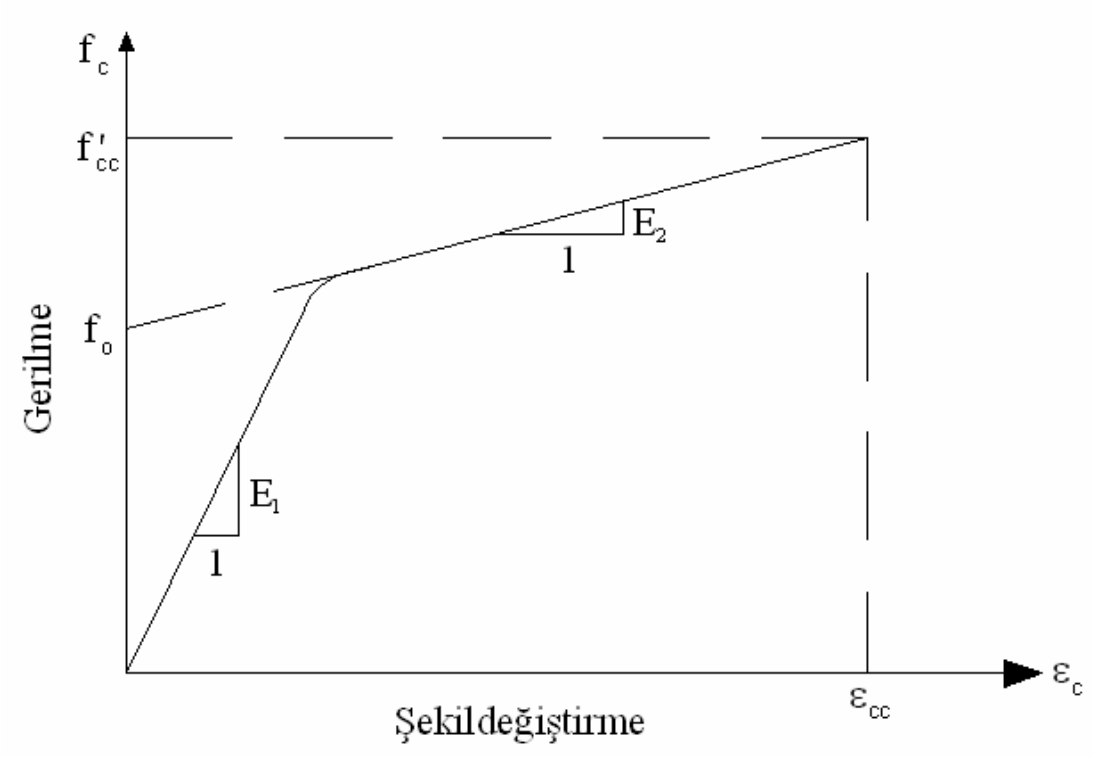
şeklindedir. Bu ifadedeki f_o terimi kesişim gerilmesi olarak adlandırılmış ve güçlendirilmemiş beton dayanımı ile LP sargının sağladığı yanal basınca bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır (5.17). tüm birimler MPa'dır.

$$f_o = 0.872 f'_{cc} + 0.371 f_l + 6.258 \tag{5.17}$$

E_2 terimi ise önerilen iki eğimli güçlendirme modelinin ikinci eğimidir. Bu eğim

$$E_2 = 245.61 f'^{0.2}_{cc} + 1.3456 \frac{E_{frp} t}{D} \tag{5.18}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu değerlerin elde edildiği iki eğimli güçlendirme modeli Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 : İki Eğimli Güçlendirme Modeli ve Parametreleri

Şekil 5.2'de görülen E_1 eğimi ise betonun güçlendirme aktif hale gelmeden önceki elastisite modülüdür. Samaan ve diğ. çalışmalarında bu değeri, ACI 318'de [13]

önerilen ifade yerine Ahmed ve Shah'ın [14] önerdiği (5.19) ifadesi kullanılmıştır. ACI 318'deki ifadenin kullanılmamasının nedeni elastisite modülünü olduğundan fazla hesaplaması olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir.

$$E_1 = 3950\sqrt{f'_{co}} \tag{5.19}$$

Bu ifadelerde kullanılan tüm birimler MPa ve mm'dir.

Bu model de Lam ve Teng modelinde [1] olduğu gibi daire kesitli numuneler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konmuştur. Bu sebeple, modelin dikdörtgen kesitlerde de kullanılabilmesi için bir şekil faktörüyle düzeltilmesi gerekmektedir. Bu şekil faktörü Lam ve Teng modelinine [1] göre çok daha basittir ve Mirmiran tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$k_s = \frac{2r}{h} \tag{5.20}$$

$$f'_l = k_s f_l \tag{5.21}$$

Bu katsayı f_l terimiyle çarpılarak f'_l elde edilir. f'_l, denklemde f_l yerine yazılırsa ifade

$$f'_{cc} = f'_{co} + 6f'^{0.7}_l \tag{5.22}$$

şeklini alır. Fakat bu denklemin kullanılabilmesi için Mirmiran MCR olarak tanımladığı modifiye edilmiş güçlendirme oranının, f'_l/f'_{co}, 0.15'ten büyük olması gerektiğini belirtmiştir. Fakat bu çalışma kapsamında 0.15'ten küçük MCR değerlerine sahip olan dikdörtgen kesitler de bu ifadeyle hesaplanmıştır.

5.3. İlki 2007 Modeli [4]

İlki 2007 [4] modelinin diğer modellerden en büyük farkı, donatılı numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucu ortaya konması ve modelin mevcut çelik enine donatı ile sağlanan sargılamayı da göz önünde bulunduruyor olmasıdır. Modelin üzerine kurulduğu deney numuneleri hem dairesel kesitlilerden hem de dikdörtgen kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Bunun yanısıra oluşturulan model büyük bir veri tabanında f'_{cc} ve ε_{cc} ler açısından kontrol edilmiştir. Modelin diğer

bir özelliği de tekrarlı yükleme durumunda dayanıma karşı gelen şekildeğiştirmede gözlenen artışıda dikkate alıyor olmasıdır.

Denklemler yukarıda da bahsedildiği gibi mevcut sargılamayıda, yani etriyeleride, içerdiği için iki kısımdan oluşmaktadır.

$$\left[\frac{f'_{cc}-f'_{co}}{f'_{co}}\right]_{TOPLAM}=\left[\frac{f'_{cc}}{f'_{co}}-1\right]_{FRP}+\left[\frac{f'_{cc}}{f'_{co}}-1\right]_{ITR} \quad \textbf{(5.23)}$$

5.23 ifadesinden de anlaşılabileceği gibi dayanımdaki toplam artışın, ilk dayanıma olan oranı iki terimin toplanmasıyla elde ediliyor. İlk terim, FRP alt indisiyle gösterilmiş olan, LP malzemenin sisteme katkısını, ITR alt indisiyle gösterilen ikinci terim ise etriyenin sisteme olan katkısını göstermektedir.

İlk terim, deneysel sonuçlara dayanarak k_1 sabitinin 2.54 alınmasıyla

$$\left[\frac{f'_{cc}}{f'_{co}}\right]_{FRP}=\left[1+2.54\frac{f'_{l}}{f'_{co}}\right] \quad \textbf{(5.24)}$$

şekilinde verilmiştir. Bu ifadede ki f'_l terimi önceki modeller gibi sadece LP sargının sağladığı yanal basınç miktarı değildir. İfade içinde şekil faktörünüde barındırmaktadır.

$$f'_l=\frac{\kappa_a\rho_f\varepsilon_{h,rup}E_{frp}}{2} \quad \textbf{(5.25)}$$

5.25 ifadesindeki κ_a, şekil faktörü, ρ_f ise sargılama malzemesinin geometrik oranıdır.

Daire kesitli elemanlar için 5.26a ve dikdörtgen kesitli elemanlar içinda 5.26b'nin kullanılmasıyla ρ_f terimi hesaplanmış olur.

$$\rho_f=\frac{4n_f t_f}{D} \quad \textbf{(5.26a)}$$

$$\rho_f=\frac{2n_f t_f\left(b+h\right)}{bh} \quad \textbf{(5.26b)}$$

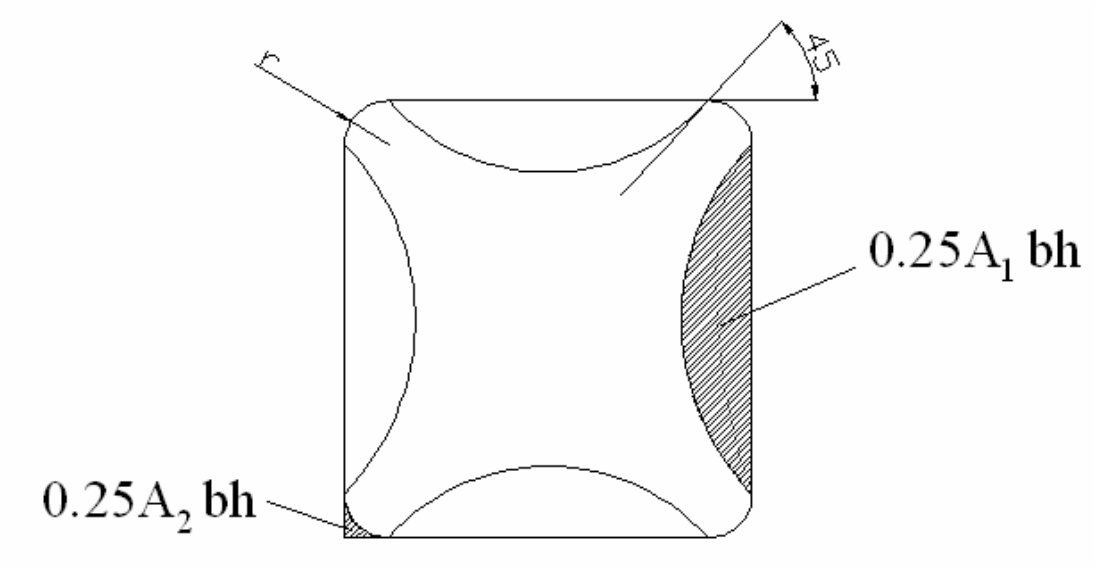
κ_a terimi ise daire kesitli elemanlar için 1 olarak kabul edilirken dikdörtgen kesitler için 5.27 ifadesiyle hesaplanması gerekmektedir.

$$\kappa_a = 1 - A_1 - A_2 - \rho \tag{5.27}$$

Wang ve Restrepo'nun [15] önerdiği bu şekil faktörü ifadesinde geçmekte olan A_1 ve A_2 terimleri sargılama sonrası etkili alan dışında kalan kısımların oranlarını temsil etmektedir (Şekil 5.3).

$$A_1 = \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{3bh} \tan\theta \tag{5.28}$$

$$A_2 = \frac{4r^2 - \pi r^2}{bh} \tag{5.29}$$



Şekil 5.3 : Şekil Faktörünü Oluşturan A_1 ve A_2 Katsayıları

İlki 2007 modeline [4] göre $\varepsilon_{h,rup}$ terimi

$$\varepsilon_{h,rup} = 0.85\varepsilon^*_{fu} \tag{5.30}$$

şeklinde tanımlanmıştır. A_1 teriminde geçen $\tan\theta$ değerindeki θ açısı Wang ve Restrepo'nun çalışmalarına göre 42 ile 47 derece arasında değişmektedir. İlki ve diğ. [3] yaptıkları deneysel çalışmalara bağlı olarak bu değeri 45 derece kabul etmektedir.

Denklemin etriye katkısını ifade eden ikinci kısmı ise

$$\left[\frac{f'_{cc}}{f'_{co}}\right]_{ITR} = \left[1 + 4.54\frac{f'_l}{f'_{co}}\right] \quad \textbf{(5.31)}$$

şeklinde verilmiştir. Bu ifadede geçen f'_l etriyenin sağladığı yanal basınç miktarıdır ve LP sargı malzemesinin sağladığıyla karıştırılmamalıdır. İfadede geçen f'_l terimi dikdörtgen kesit durumunda etriyenin x ve y doğrultularında kesite sağladığı yanal basınç miktarlarının aritmetik ortalamasıdır. 5.32 ifadesinden 5.41 ifadesine kadar hesap yöntemi gösterilmiştir.

$$f'_l = \frac{f'_{lx} + f'_{ly}}{2} \quad \textbf{(5.32)}$$

$$f'_{lx} = \kappa_e f_{lx} \quad \textbf{(5.33a)}$$

$$f'_{ly} = \kappa_e f_{ly} \quad \textbf{(5.33b)}$$

$$f_{lx} = \rho_x f_{yh} \quad \textbf{(5.34a)}$$

$$f_{ly} = \rho_y f_{yh} \quad \textbf{(5.34b)}$$

$$\rho_x = \frac{A_{shx}}{sh_c} \quad \textbf{(5.35a)}$$

$$\rho_y = \frac{A_{shy}}{sb_c} \quad \textbf{(5.35b)}$$

$$\kappa_e = \frac{\left(1 - \sum_i^n \frac{\left(w_i'\right)^2}{6b_c h_c}\right)\left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right)\left(1 - \frac{s'}{2h_c}\right)}{1 - \rho_{cc}} \quad \textbf{(5.36)}$$

$$b_c = b - 2d' - \phi_{etriye} \quad \textbf{(5.37)}$$

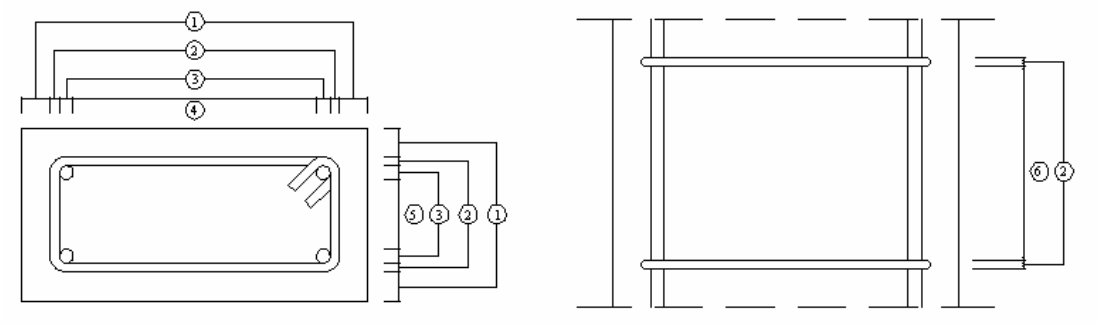
$$h_c = h - 2d' - \phi_{etriye} \quad \textbf{(5.38)}$$

$$s' = s - \phi_{etriye} \quad \textbf{(5.39)}$$

$$\rho_{cc} = \frac{A_s}{A_{cc}} \quad \textbf{(5.40)}$$

$$A_{cc} = bh\left(1 - \frac{A_s}{bh}\right) \quad \textbf{(5.41)}$$

Bu ifadelerde geçen çeşitli terimler Şekil 5.4'de gösterilmektedir. Bu şekilde (1) numara ile gösterilen değer d', etriye dışından paspayını; (2) numara ile gösterilen ϕ_{etriye}, etriyenin çapını; (3) numara ile gösterilen ϕ, boyuna donatı çapını; (4) ve (5) numaralarla gösterilen w_i' değerleri, boyuna boyuna donatılar arasındaki temiz açıklıkları ve (6) numara ile gösterilen s' ise etriyeler arasındaki temiz açıklığı göstermektedir.



Şekil 5.4 : Donatılı Elemanların Parametreleri

Etriyenin sisteme olan katkısının da hesaplanmasından sonra 5.23 ifadesi aracılığıyla güçlendirilmiş elemanın dayanımı hesaplanabilir.

Şekildeğiştirmey ile ilgili olarak İlki 2007 [4] yine iki parçadan oluşan bir ifade önermektedir. Dayanım denkleminde olduğu gibi burada da LP sargının ve mevcut donatının etkileri ayrı ayrı ele alınmış ve 5.42 ifadesinde görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

$$\left[\frac{\varepsilon_{cc}-\varepsilon_{co}}{\varepsilon_{co}}\right]_{TOTAL}=\left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}}-1\right]_{FRP}+\left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}}-1\right]_{ITR} \qquad \textbf{(5.42)}$$

Bu ifadede geçen, LP sargının katkısı ve mevcut donatının katkısı sırasıyla 5.43 ve 5.44 ifadelerinde verilmiştir. Bu ifadelerin hesabında dayanımda olduğu gibi f_l' terimleri birbiriyle karıştırılmamalı, FRP indisli terimde LP sargının sağladığı yanal basınç, ITR indisli terimde ise etriyenin sağladığı yanal basınç göz önüne alınmalıdır. 5.44 terimi Mander ve diğ.'nin 1988'de yaptıkları çalışmadan alınmıştır.

$$\left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}}\right]_{CFRP} = \left[1+\frac{h}{b}(LTF)(19.27)\left(\frac{f_l^{'}}{f_{co}^{'}}\right)^{0.53}\right] \quad \textbf{(5.43)}$$

$$\left[\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}}\right]_{ITR} = \left[1+5\left(\frac{f_{cc}^{'}}{f_{co}^{'}}-1\right)\right] \quad \textbf{(5.44)}$$

5.43 ifadesinde geçmekte olan LTF değişkeni, yükleme tipine bağlı bir değerdir. Daha öncede bahsi geçtiği gibi, yüklemenin monotonik olması halinde "1" değerini, tekrarlı olması halinde "2" değerini almaktadır. Tüm model boyunca kullanılan birimler MPa ve mm'dir.

5.4. İlki 2002b Modeli [3]

Çalışma kapsamında incelenen son analitik model İlki 2002b [3] davranış modelidir. Bu model, İlki ve Kumbasarın 2002'de [3] yaptıkları çalışmada dayanımın hesaplanması için verilen ikinci ifadedir. Dayanım için verilen iki ifade yanında şekildeğiştirme için de bir ifade verilmiştir. Çalışma dairesel ve dairesel olmayan kesitlere sahip numuneler üzerinde yapılmış, çeşitli en-boy oranlarına sahip elemanlar test edilmiştir.

Bu modelin diğerlerinden farkı, kesitin etkili alanını belirleyen bir şekil faktörü kullanmasının yanı sıra, en-boy oranını da dayanım hesabında bir katsayı olarak hesaba katmasıdır.

Çalışmada önerilen iki denklem aşağıdaki 5.45 ve 5.46 ifadelerinde verilmiştir. 5.45 ve 5.46'dan da anlaşılabileceği gibi, ifadeler, önlerine gelen bir α katsayısı yüzünden genel ifadeye uymamaktadır. Karşılaştırmalı değerlendirmelerde daha iyi sonuçlar veren ikinci denklem göz önüne alınmıştır.

$$\frac{f'_{cc,1}}{f'_{co}} = \alpha\left[1+2.23\frac{f'_l}{f'_{co}}\right] \quad \textbf{(5.45)}$$

$$\frac{f'_{cc,2}}{f'_{co}} = \alpha\left[1+2.29\left(\frac{f'_l}{f'_{co}}\right)^{0.87}\right] \quad \textbf{(5.46)}$$

İfadelerde geçmekte olan α katsayısı, bahsedildiği gibi en-boy oranına bağlı bir katsayıdır ve sadece daire olmayan kesitler için kullanılacaktır. Bu katsayı

$$\alpha = 0.6 + 0.2\frac{b}{h} \tag{5.47}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bunun dışında f_l' değeri İlki 2007 [4] modelinde bahsedildiği şekilde hesaplanacaktır.

Model şekildeğiştirmeler için de,

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left[1 + 15\left(\frac{f_l'}{f_{co}'}\right)^{0.75}\right] \tag{5.48}$$

ifadesini önermektedir. Modelde kullanılan tüm birimler MPa ve mm'dir.

5.5. DBYBHY 2007'de Önerilen Model

Bu çalışma kapsamında incelenmemiş olmasına rağmen, yeni deprem yönetmeliğinde, Bilgilendirme Eki 7E adıyla yer almış olan "LP İle Sargılanan Kolonlarda Dayanım ve Süneklik Artışının Hesabı" ndan söz etmek incelenen modellerin, pratikte kullanılması önerilen modellerle karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesine yardımcı olacaktır, [12].

Yönetmeliğin 7E.2 maddesinde "Kolonların Eksenel Basınç Dayanımının Arttırılması" başlığı altında bir dizi denklem verilmiştir. 7E.4 denklemiyle genel forma uygun ve k_1 katsayısı 2.4 olan

$$f_{cc} = f_{cm}\left(1 + 2.4\left(f_l / f_{cm}\right)\right) \geq 1.2 f_{cm} \tag{5.49}$$

ifadesi verilmektedir. Bu ifade İlki ve diğ.'nin [5], 2004'te yayınlanmış olan makalelerinde önerdikleri davranış modelinin basit halidir. Çalışmada önerilen

$$f_{cc}' = f_{co}'\left(1 + 2.4\left(\frac{f_l'}{f_{co}'}\right)^{1.2}\right) \tag{5.50}$$

ifadesidir. Bu ifadeden anlaşılacağı gibi mevcut yapıların güçlendirmesiyle ilgili olan bu denklemde f_{co}''ın yerini mevcut yapının beton dayanımı olan f_{cm} almış ve güçlendirme oranının kuvveti olan 1.2 kaldırılmıştır. Aynı zamanda ifadenin

kullanımını kısıtlayan bir alt sınır eklenmiştir. Mevcut dayanımın %120'sini geçmeyen güçlendirmelerin önüne geçilmiştir.

f_l' terimi İlki 2007 [4] ve İlki 2002b'de [3] açıklandığı gibi hesaplanacak olsa da 7E.2 maddesinin devamında 7E.6 ifadesinde κ_a şekil faktörü

$$\kappa_a = \begin{Bmatrix} 1 & Daire \\ \left(\frac{b}{h}\right) & Elips \\ 1-\frac{(b-2r)^2+(h-2r)^2}{3bh} & Dikdörtgen \end{Bmatrix} \quad \textbf{(5.51)}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada makalede tanımlanmayan eliptik kesitler için şekil faktörü tanımlanmış ve dikdörtgen kesitler için verilen şekil faktöründe de, daha önce tanımlanmış olan

$$\kappa_a = 1 - A_1 - A_2 - \rho$$

ifadesi yerine, A_2 ve ρ terimlerinin küçük olmaları nedeniyle gözardı edilmeleri sonucu

$$\kappa_a = 1 - A_1 \quad \textbf{(5.52)}$$

şeklini almıştır. Yönetmelikte bunun dışında $\varepsilon_{h,rup}$ değeri de kısıtlanmaktadır. 7E.1 maddesinde

$$\varepsilon_{h,rup} \le 0.004 \quad \textbf{(5.53)}$$

$$\varepsilon_{h,rup} \le 0.5\varepsilon_{fu}^{*} \quad \textbf{(5.54)}$$

ifadeleri yer almaktadır. İlki 2004 modelinde [5] ise bu değer

$$\varepsilon_{h,rup} = 0.7\varepsilon_{fu}^{*} \quad \textbf{(5.55)}$$

olarak tanımlanmıştır. Bunların dışında yönetmelikte boyut sınırlarıda verilmiştir.

Şekildeğiştirme davranışı için İlki 2004 modeli [5] yerine İlki 2002 modelindeki [3] ifade kullanılmıştır. 5.56'da görülen bu ifadede ε_{co} değeri doğrudan 0.002 olarak kabul edilmiş ve f'_{co} yerine f_{cm} kullanılmıştır.

$$\varepsilon_{cc} = 0.002\left(1+15\left(f'_l/f_{cm}\right)^{0.75}\right) \qquad \textbf{(5.56)}$$

Bu ifadenin kullanılması da yönetmelik tarafından sınırlandırılmıştır.

Bu kısımdan da anlaşılacağı gibi, bu çalışmada karşılaştırılacak olan denklemler, pratik uygulamalarda kullanıma uygun modellerdir. Tek fark yönetmeliklerin güvenli tarafta kalmak için ortaya koyduğu güvenlik sınırları ve katsayılarıdır.

6. MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde incelenmekte olan dört model, çeşitli kıstaslara bağlı olarak, istatistiksel verilere dayanılarak karşılaştırılacaktır. İlk kısım f'_{cc} dayanımları, ikinci kısımda ise ε_{cc} şekildeğiştirmeleri değerlendirilecektir.

6.1. Dayanımın Karşılaştırılması

Modellerin öngördüğü sargılanmış elemanların dayanımları yedi farklı kıstasa ve genel duruma göre değerlendirilmiştir. Bunlar ilk dayanımın etkisi, kesit şeklinin etkisi, kesit boyutlarının etkisi, LP malzeme tipinin etkisi, en-boy oranının etkisi, sargı miktarının etkisi ve köşe yarıçapının etkisidir.

6.1.1. Beton Dayanımının Etkisi

Bu bölümde LP ile sargılanmış betonun, ilk dayanımının modeller üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, ilk dayanımlar, düşük dayanım $(<20MPa)$, orta dayanım $(20MPa \le f'_{co} \le 40MPa)$ ve yüksek dayanım $(>40MPa)$ olmak üzere üç kısımda incelenmiştir.

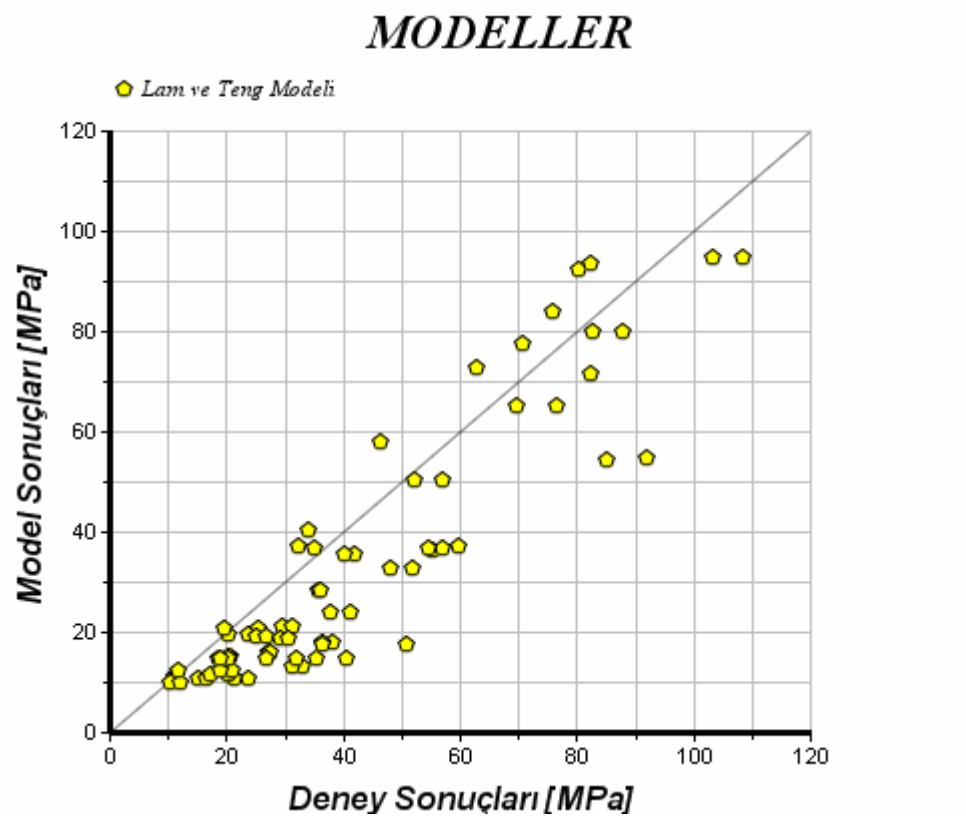
6.1.1.1. f'_{co} < 20 MPa

Veri tabanında tanımlanan aralıkta 74 numune bulunmaktadır. Şekil 6.1'de Lam ve Teng modelinin [1] grafiği gösterilmektedir. Grafikten anlaşılabileceği üzere bu model 20 MPa'ın altında ilk dayanımı olan, özellikle sargılamanın nispeten az yapıldığı numunelerde, deney sonucunda elde edilen dayanımı tahmin etmekte yetersiz kalmaktadır. Şekil 6.2'de görülen Samaan modelinin [2] grafiğinde ise standart sapmaların büyüklüğü gözlemlenmektedir. Tablo 6.1'de modellerin istatistiki sonuçları görülmektedir. Bu değerlere göre 20 MPa'ın altındaki ilk dayanımlarda en iyi sonucu, en iyi ortalama ve standart sapma ile İlki 2007 modeli [4] vermektedir. Ardından İlki 2002b [3], Samaan [2] ve Lam ve Teng [1]

gelmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi Lam ve Teng modelinin [1] değerleri, bu aralıkta, gerçek değerlerin çok altında kalmaktadır.

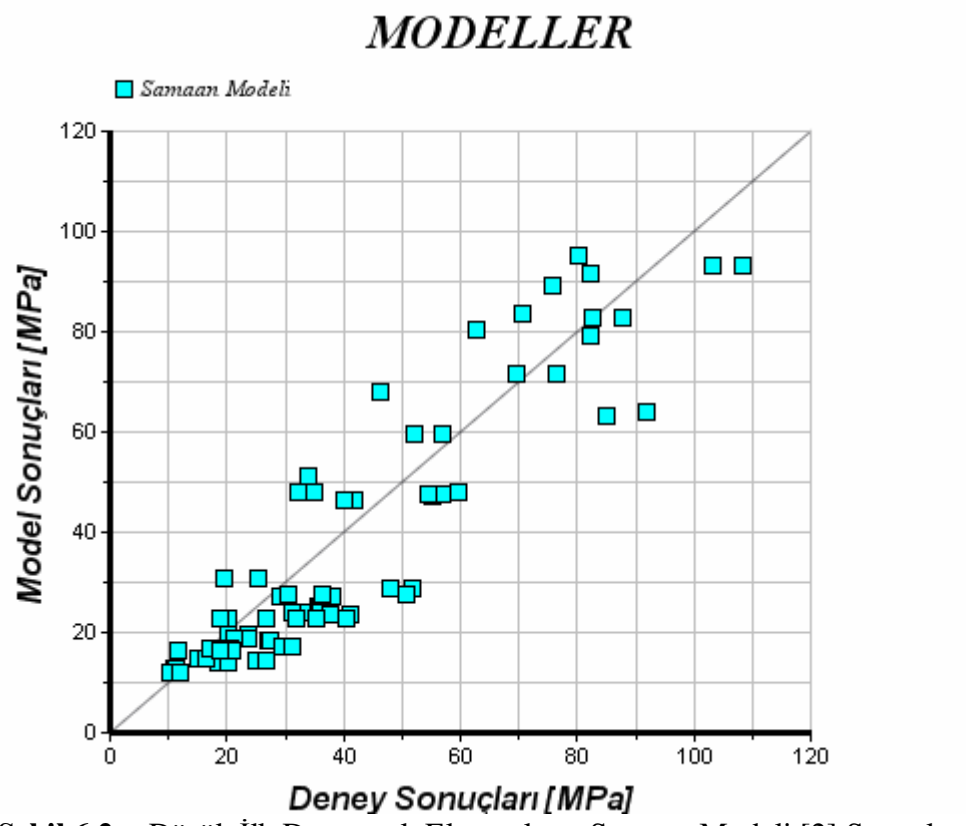
Tablo 6.1 : Modellerin Düşük İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.432	1.177	0.972	1.171
σ	0.456	0.317	0.201	0.237

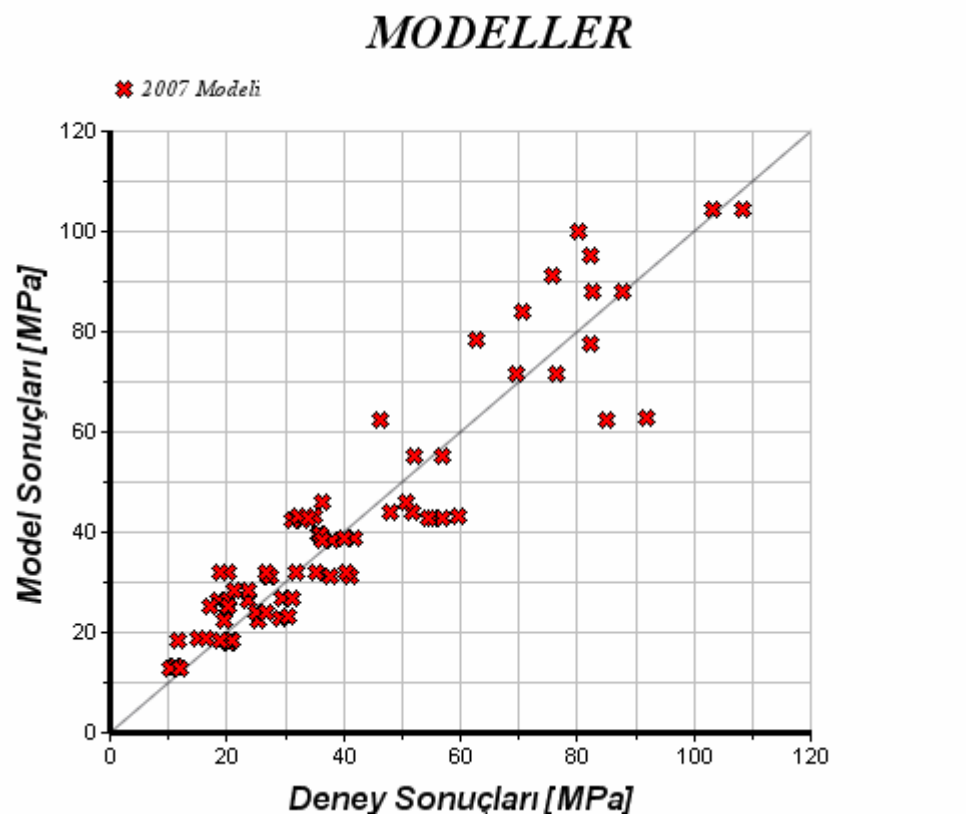


Şekil 6.1 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları

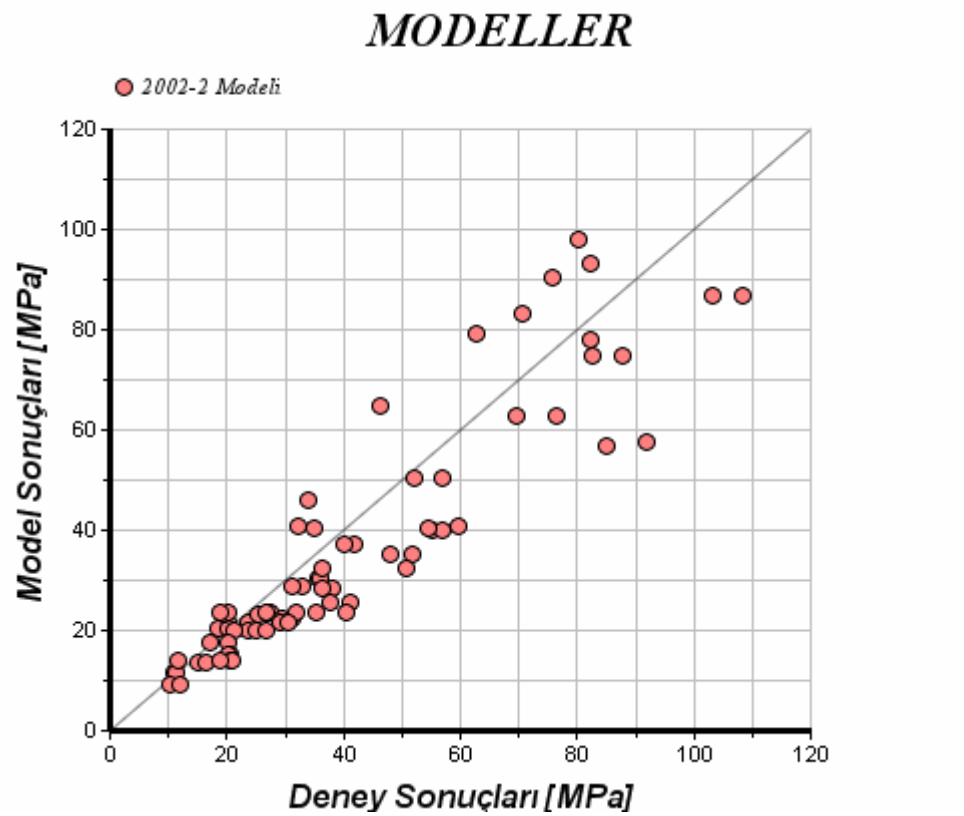
20 MPa altında ilk dayanıma sahip olan bu numunelerin davranışı, özellikle bizimki gibi beton kalitesi genelde düşük olan ülkeler için önemlidir. Bu tip durumlarda LP genellikle düşey yük dayanımını arttırmak için kullanılmaktadır ve LP sargılama sonucu elde edilecek dayanımı tahmin edebilmek önemli hale gelmektedir. Davranışı nispeten daha iyi tanımlayan İlki 2007 ve İlki 2002b modellerinin grafiklerinden de (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4) anlaşılabileceği gibi, sargılama oranı arttıkça tahmin edilen değerlerdeki sapmalar artmaktadır. Tablolarda ki μ ortalamaları, σ ise standart sapmaları temsil etmektedir.



Şekil 6.2 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.3 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 [4] Modeli Sonuçları



Şekil 6.4 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b [3] Modeli Sonuçları

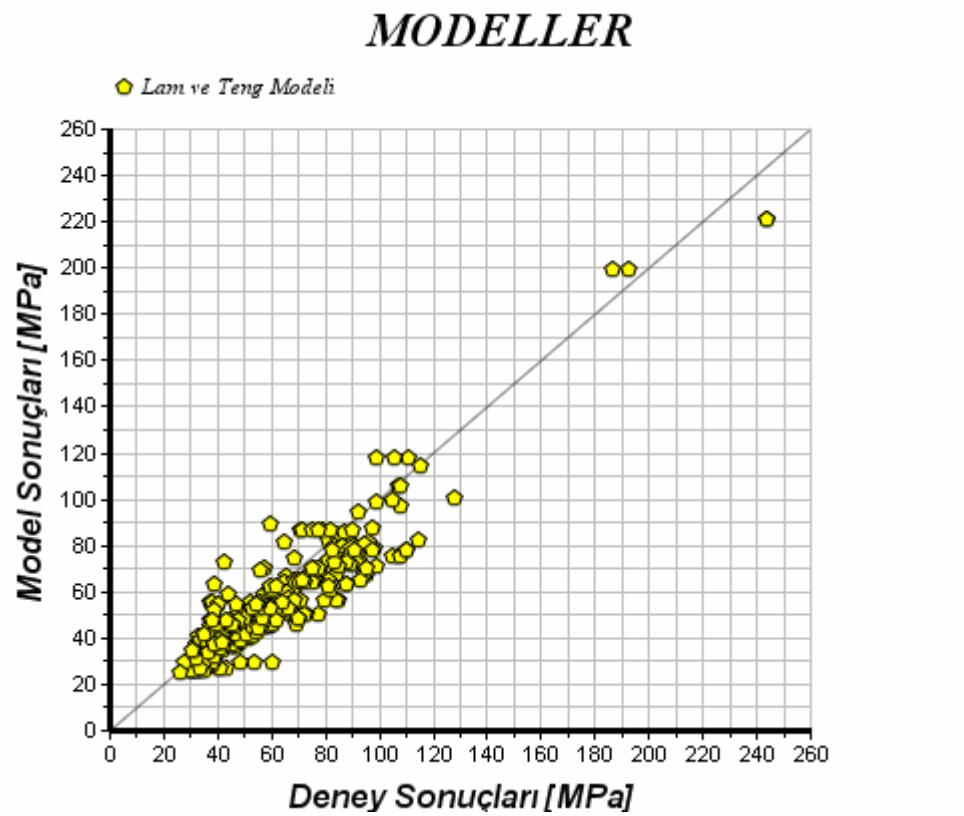
6.1.1.2. 20 MPa < f'_{co} < 40 MPa

Orta dayanım adı altında incelenen ikinci grup 20 MPa ile 40 MPa arasındaki dayanımları içermektedir. Bu aralıkta veri tabanı 339 numune içermektedir. Numune sayısından da anlaşılacağı gibi, yapılan çalışmaların çoğu bu aralıta ki orta dayanımlı elemanları kapsamaktadır ve buna bağlı olarak, Tablo 6.2'de de gösterildiği gibi, düşük dayanımlarda yanıltıcı sonuç veren modellerin bu aralıkta daha tutarlı olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8'de gösterilen model grafiklerinden de anlaşılabilmektedir. Grafikler örtüşmektedir.

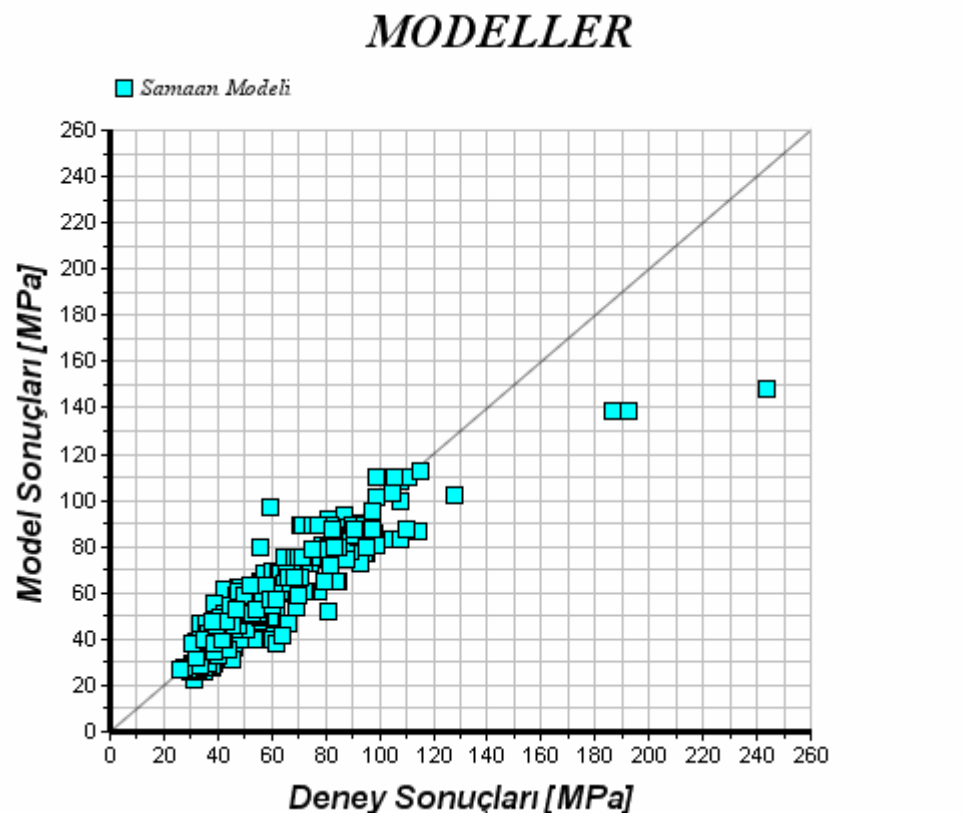
Tablo 6.2 : Modellerin Orta İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.107	1.035	1.024	1.042
σ	0.181	0.166	0.169	0.149

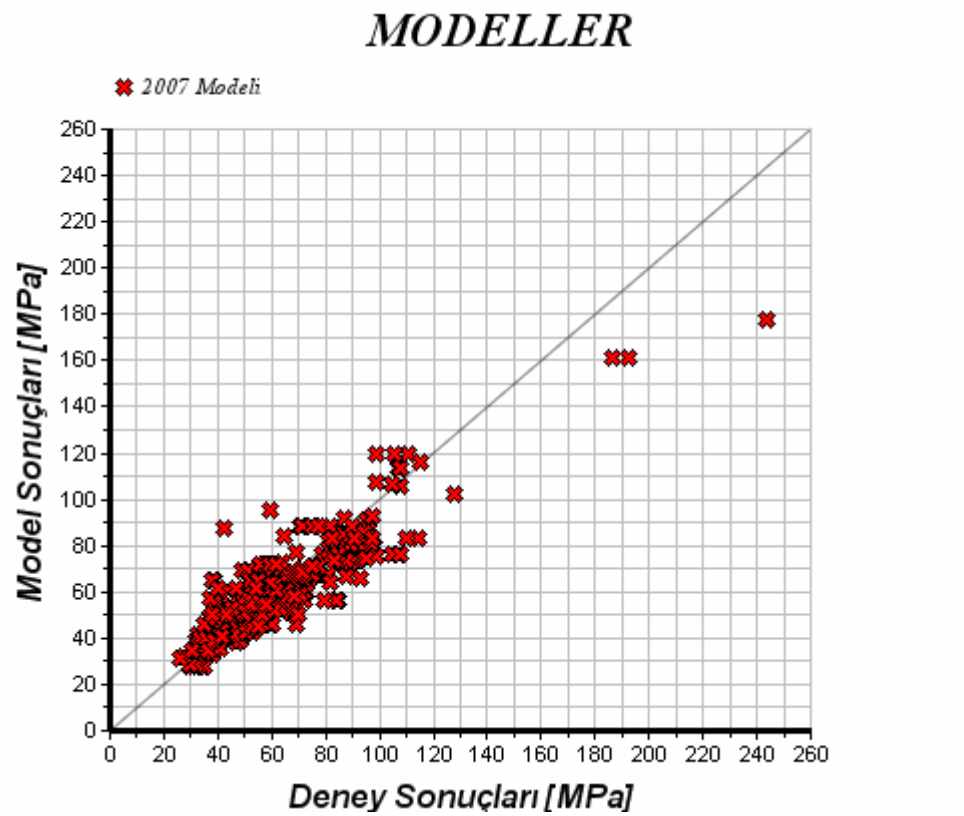
İstatistik verilere bağlı olarak İlki 2007 [3], Samaan [2] ve İlki 2002b modelleri [3] Lam ve Teng modeline [1] göre hem ortalamalar hemde standart sapmalar açısından daha iyi sonuç vermektedirler.



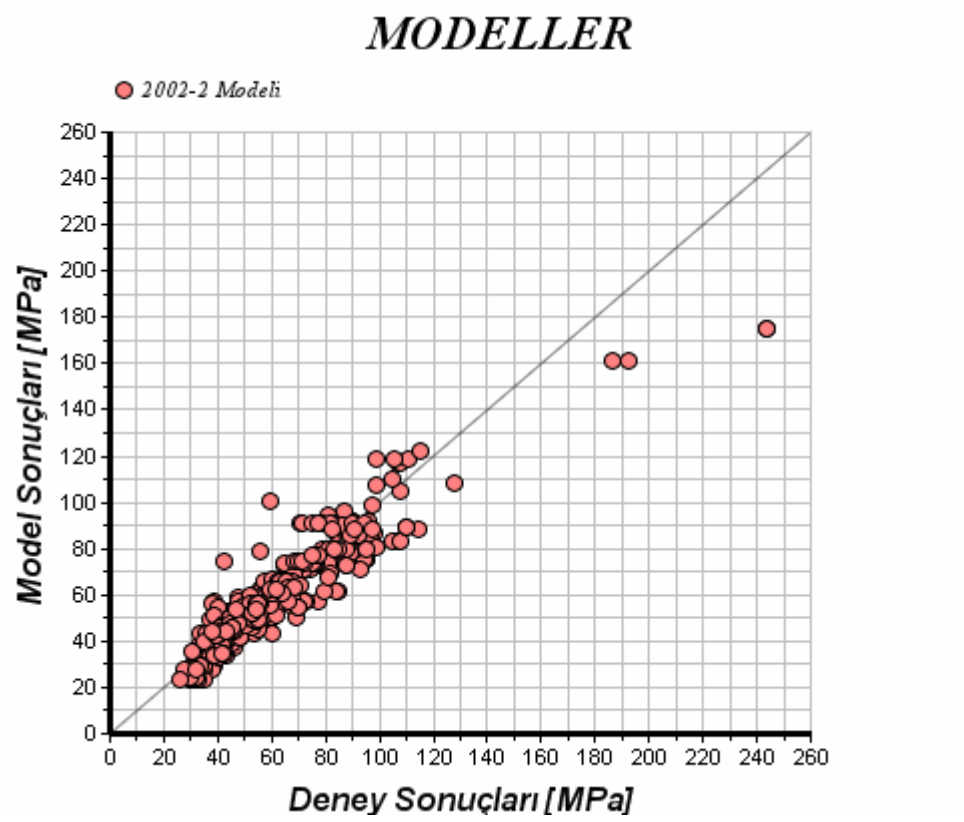
Şekil 6.5 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.6 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.7 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.8 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

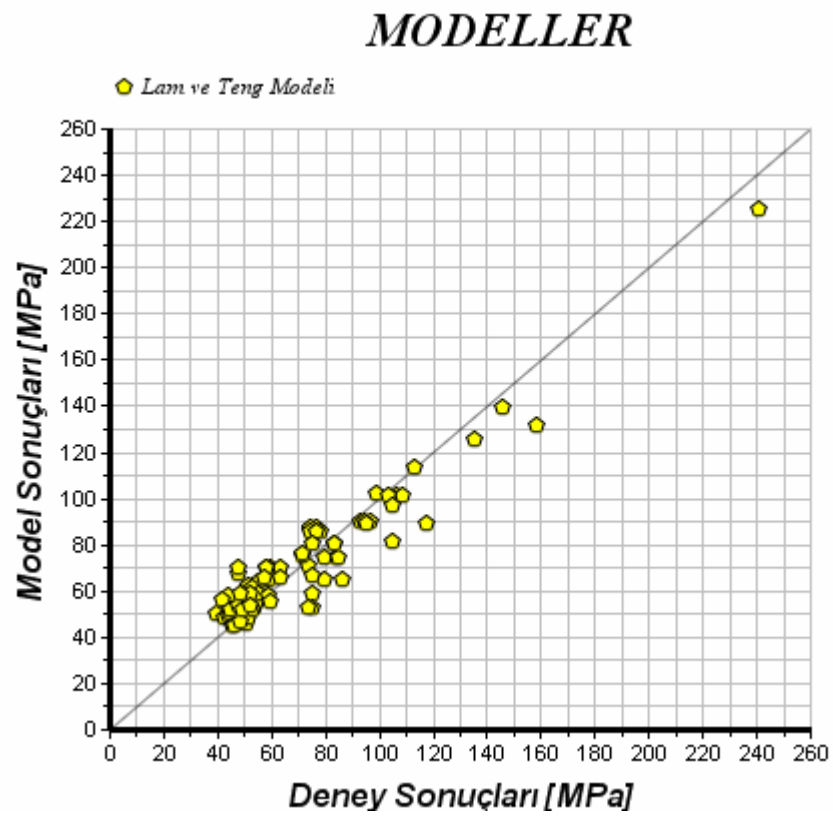
6.1.1.3. f'_{co} > 40 MPa

Üçüncü grup, 40 MPa'ın üzerinde ilk dayanıma sahip elemanları içermektedir. Bu gruba dahil numuneler 79 adettir ve orta ilk dayanıma sahip numunelerdeki gibi daha doğru tahmin edilebilmektedirler. Tablo 6.3 bu gruba dahil elemanların istatistik verilerini göstermektedir. Şekil 6.9'dan 6.12'ye kadar modellerin grafikleri verilmiştir.

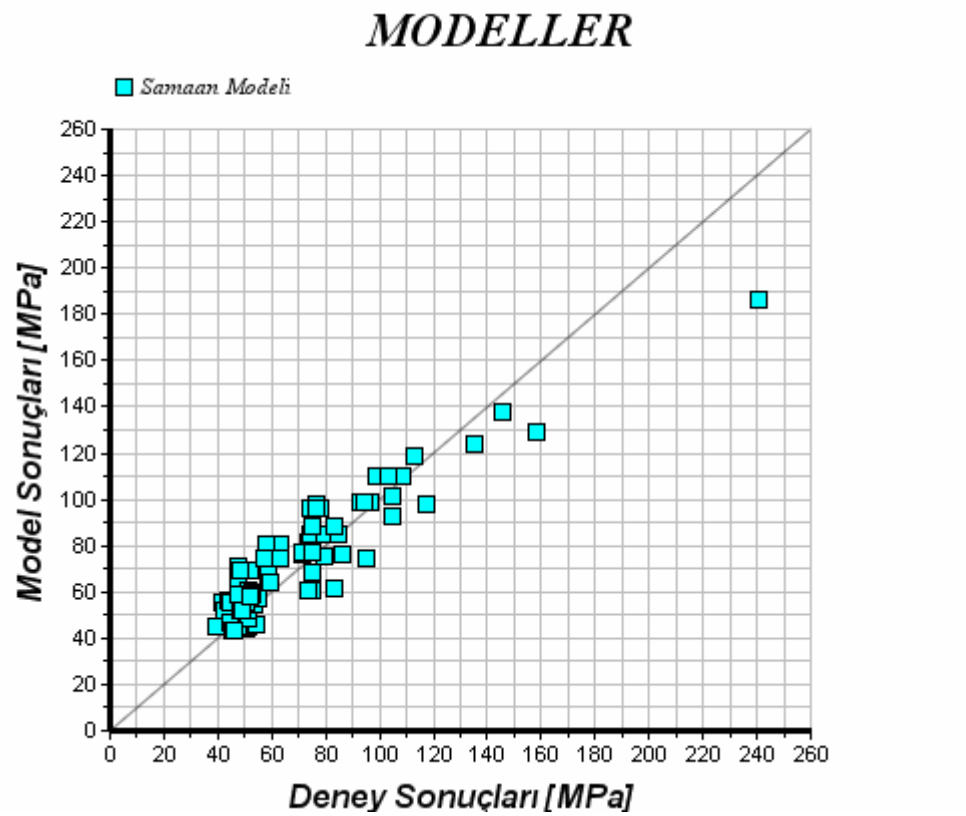
Tablo 6.3 : Modellerin Yüksek İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	0.985	0.942	0.942	0.938
σ	0.149	0.152	0.168	0.148

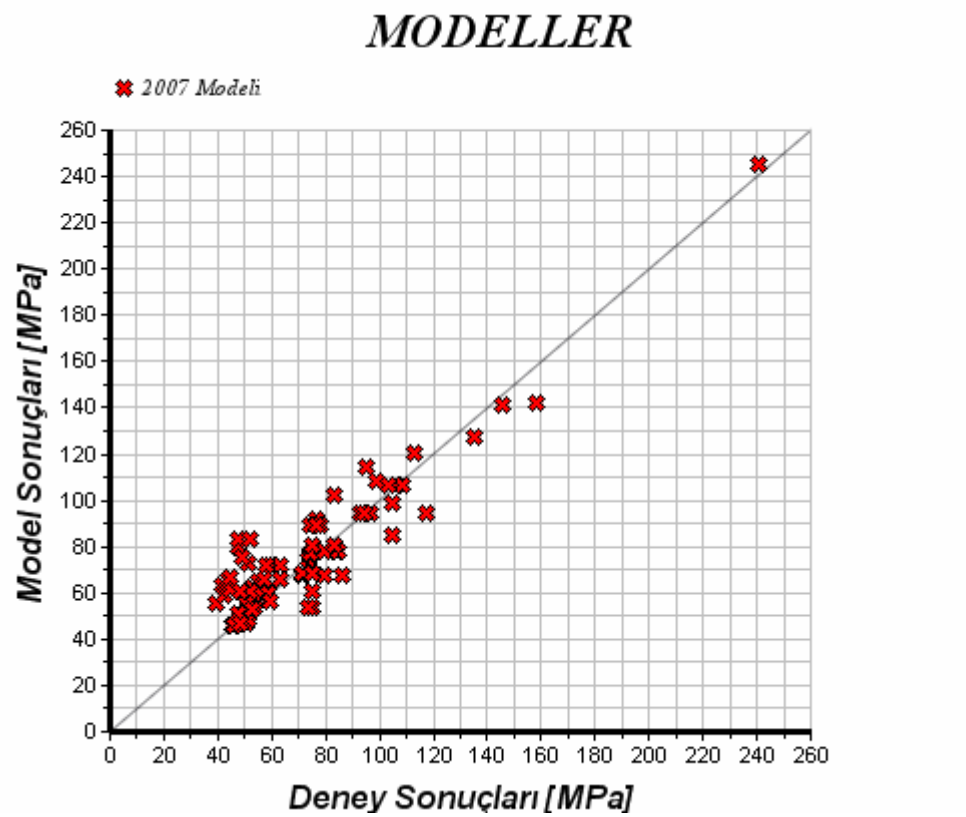
Tabloya ve Şekillere bağlı olarak, tüm modellerin 40 MPa üzeri ilk dayanıma sahip elemanlarda iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. En iyi sonuç ise Lam ve Teng modelinden [1] alınmaktadır. Bu sonuç söz konusu modelin yüksek dayanımlı beton eleman deneylerine dayanmasından kaynaklanmaktadır.



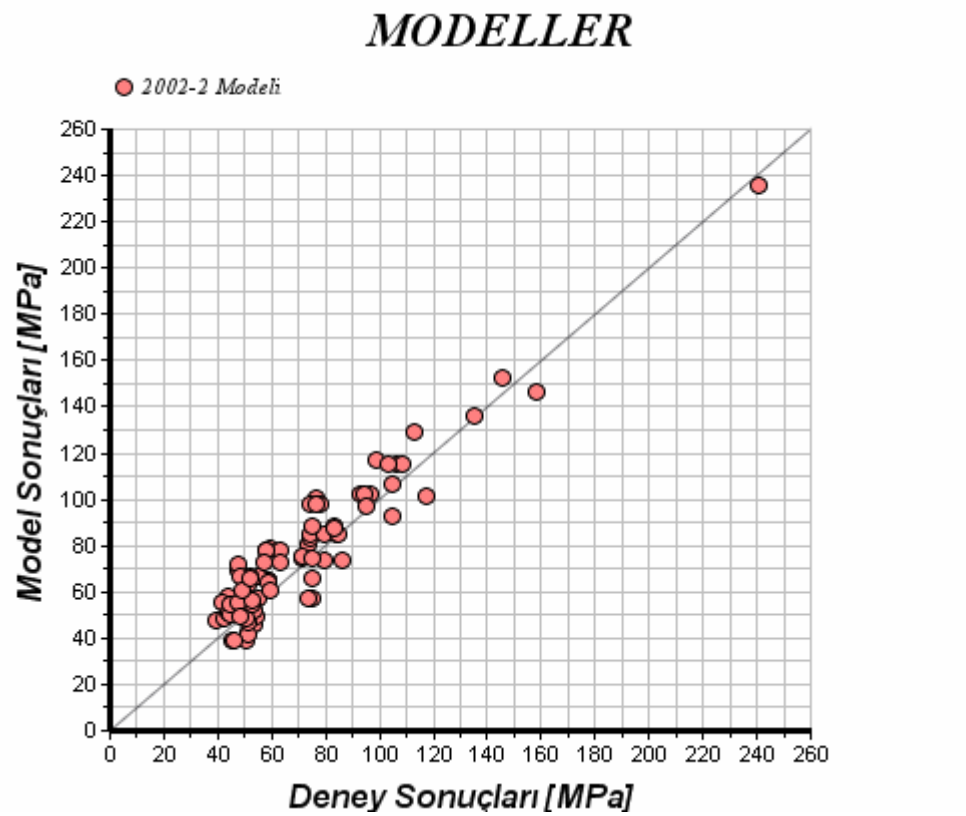
Şekil 6.9 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.10 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.11 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.12 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

İlk dayanımın etkisi altında incelenen bu kısımda, grafiklerden ve istatistiksel verilerden anlaşıldığı gibi, orta ve yüksek dayanımlardaki numunelerde incelenen tüm modeller iyi sonuçlar vermektedir. Bunun sonucu olarak da bu kıstasın belirleyici aralığı düşük ilk dayanımlılar olmuştur. Bu grupta özellikle iyi sonuç veren model İlki 2007'dir [4]. Bunun muhtemel sebebi de İlki modellerinin üzerine kurulduğu veri tabanlarının düşük dayanımlı numuneleri de içermesidir.

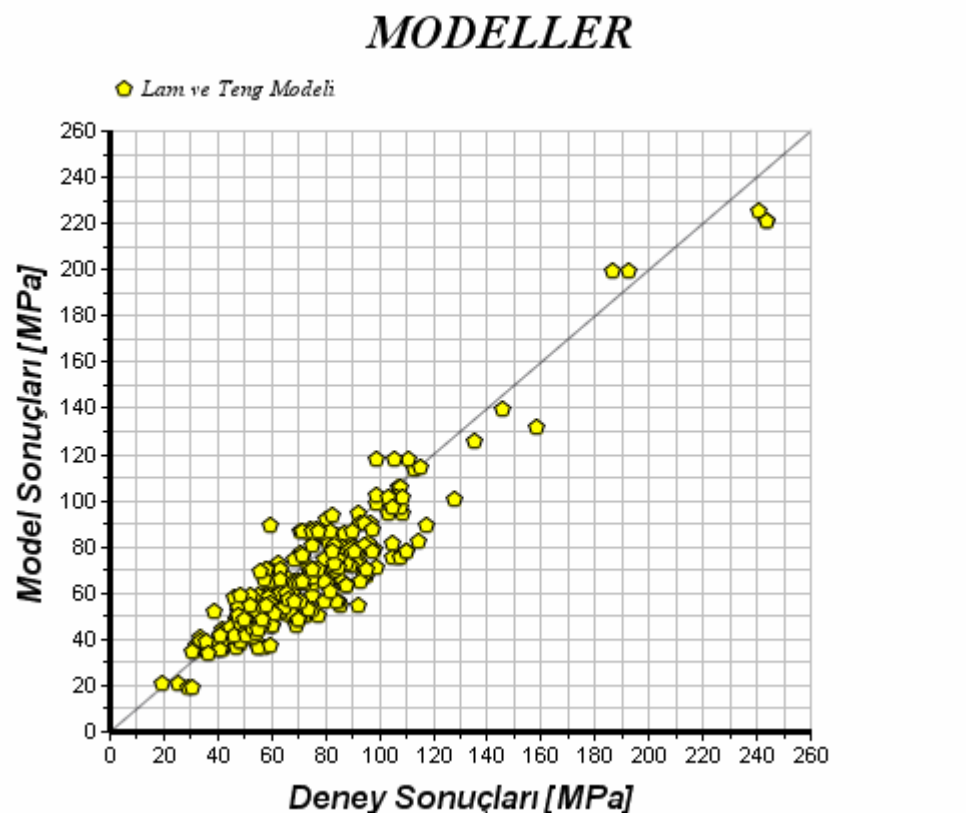
6.1.2. Kesit Şeklinin Etkisi

İkinci grup olarak, veri tabanını oluşturan numunlerin kesit şekilleri incelenmiştir. Modellerin açıklanması sırasında belirtildiği gibi, modellerin büyük kısmı dairesel numunelere dayanılarak oluşturulmuş ve sonradan bazı şekil faktörleriyle kare ve dikdörtgen numunelere uygulanabilir hale getirilmiştir.

Bu sebeple, numuneler kesitlerine göre üç gruba ayrılarak, daire kesitliler, dikdörtgen kesitliler (kare ve dikdörtgen) ve kare kesitliler, olarak incelenmiştir.

6.1.2.1. Daire Kesitli Numuneler

Daire kesitli elemanlar, veri tabanının büyük kısmını oluşturmaktadır. 296 adet numune daire kesitlidir ve 51 mm'den 300 mm'ye kadar değişen çaplara sahiptirler. Şekil 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16'da görülebileceği gibi modeller daire kesitli numuneler için iyi sonuçlar vermekte ve birbiriyle örtüşmektedir. Bu durum, modellerin genel olarak daire kesitli numunelere dayanılarak çıkarılmasıyla açıklanabilir.

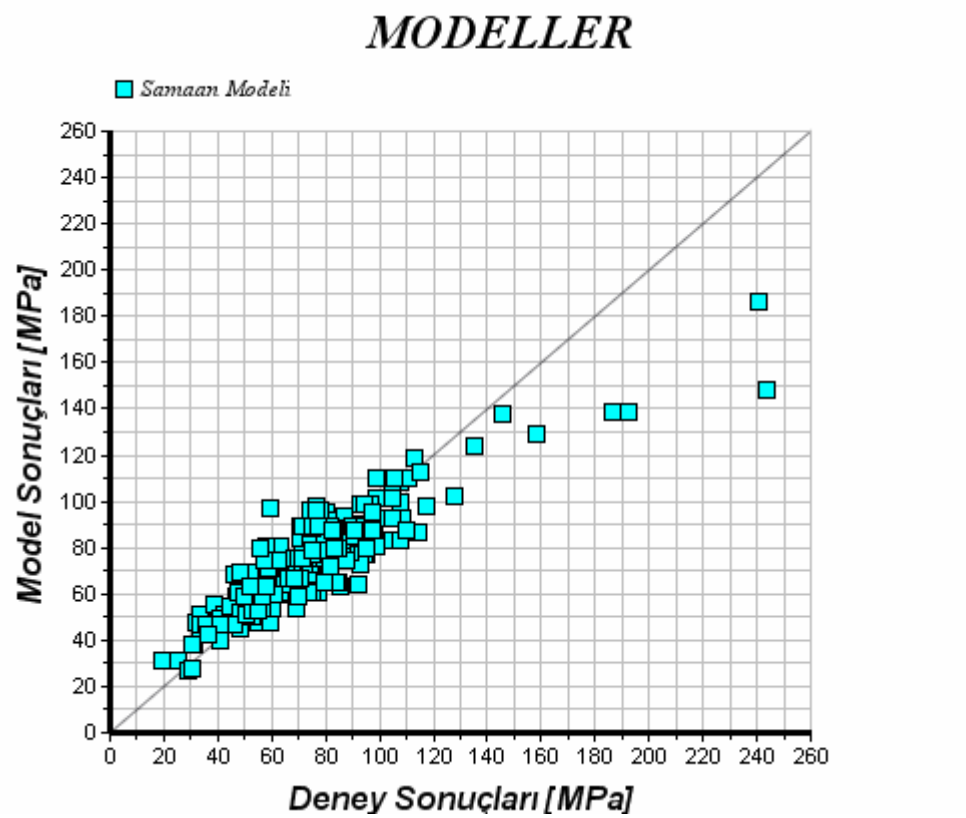


Şekil 6.13 : Daire Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları

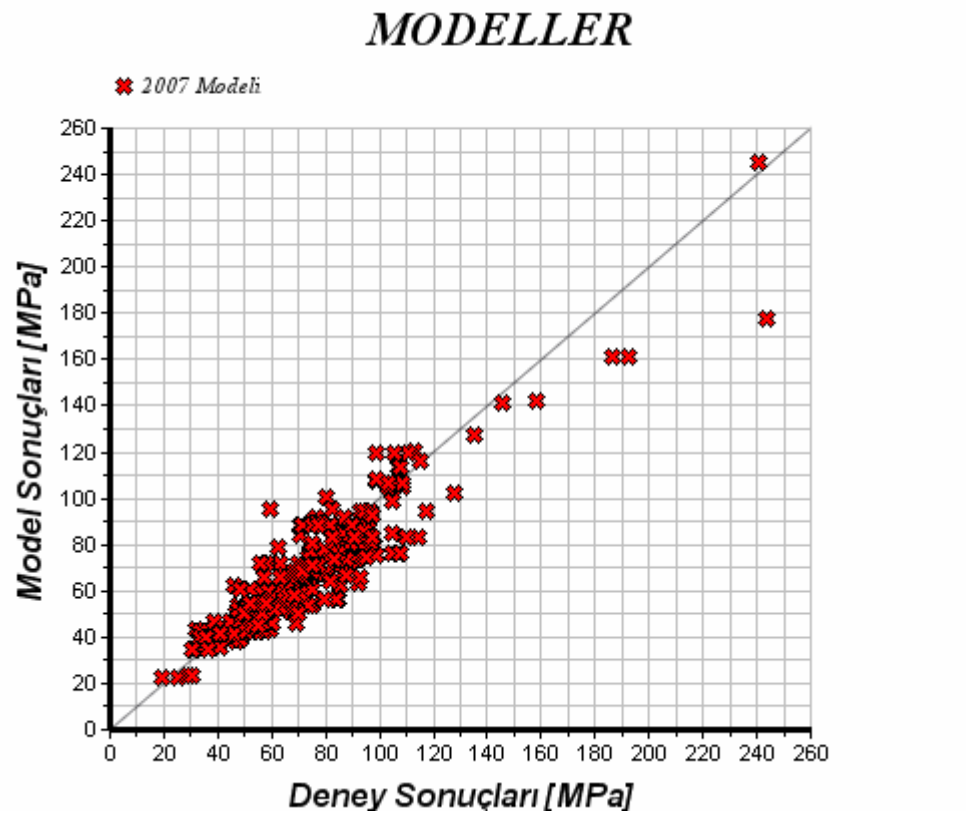
Modellerin hepsinin uygun ve birbiriyle tutarlı sonuçlar verdiği Tablo 6.4'den görülebilir. Bu verilere bağlı olarak, dairesel kolonlar için en iyi sonucu Samaan modelinin [2] verdiği görülmektedir.

Tablo 6.4 : Modellerin Daire Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri

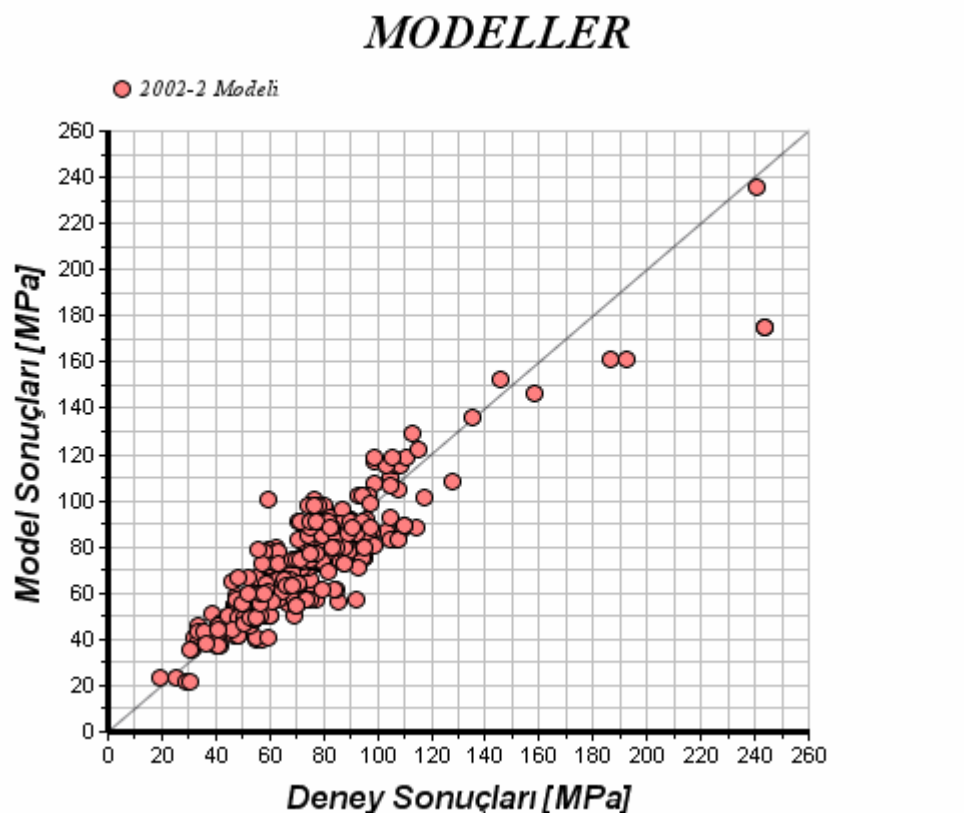
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.111	0.985	1.074	1.017
σ	0.176	0.158	0.156	0.160



Şekil 6.14 : Daire Kesitli Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.15 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.16 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

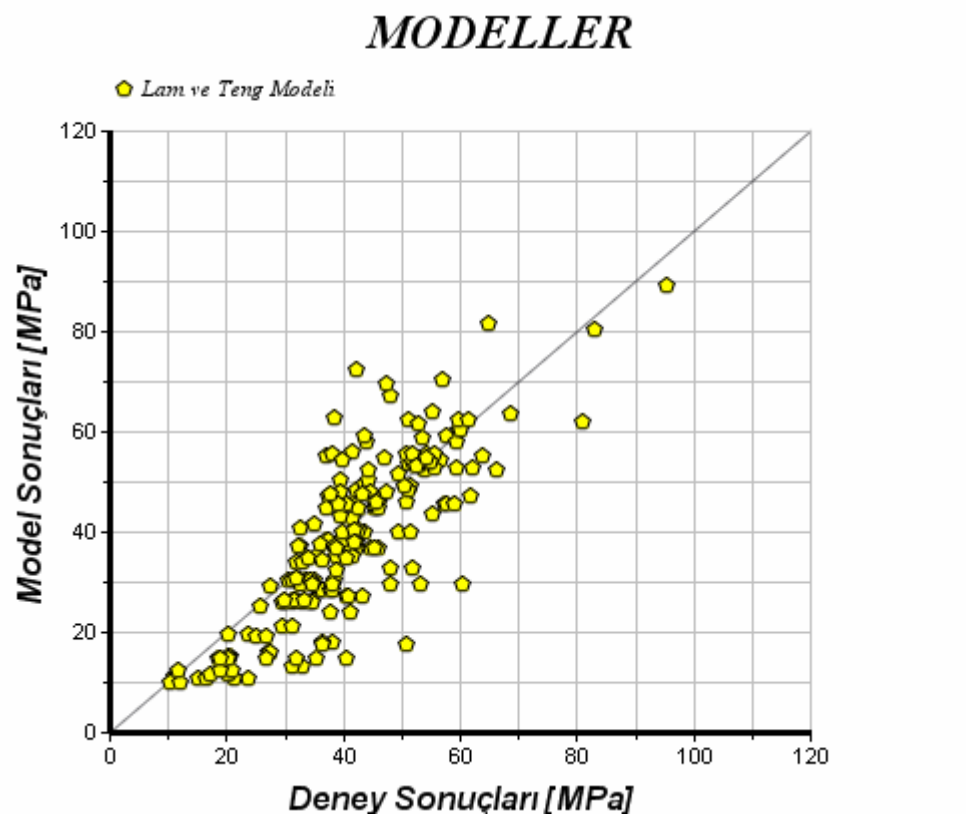
6.1.2.2. Dikdörtgen (Kare ve Dikdörtgen) Kesitli Numuneler

İrdelenen modeller, tablolardan ve grafiklerden anlaşılacağı gibi dikdörtgen ve kare kesitlerde daire kesitlerde oldukları kadar etkili değildir. Özellikle dikdörtgen kesitlerde, daire kesitlerde çok iyi sonuç veren Samaan modeli [2] İlki modellerine [3,4] göre daha kötü sonuçlar vermektedir. Özellikle Samaan modeli [2] ile Lam ve Teng modelinin [1] standart sapmaları büyümüştür.

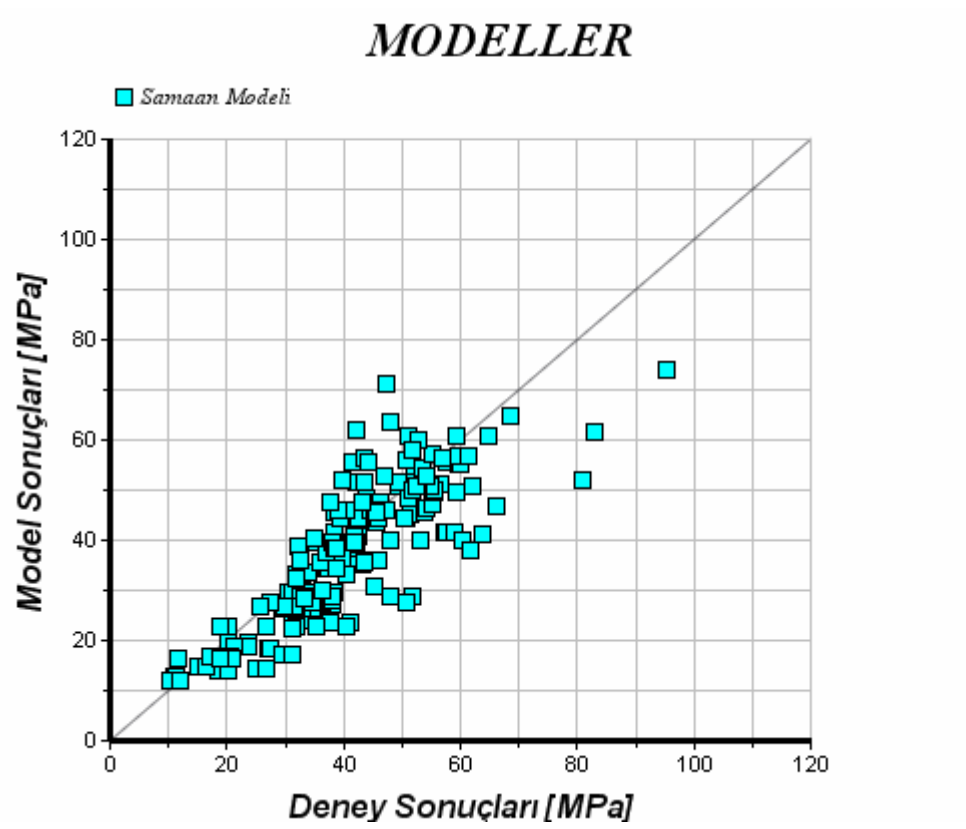
Tablo 6.5 : Modellerin Dikdörtgen Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.174	1.126	0.896	1.087
σ	0.372	0.236	0.151	0.195

Tablo 6.5, yukarıda açıklanan durumu göstermektedir. En iyi sonuçları, ortalamalarına ve nispeten düşük standart sapmalarına bağlı olarak İlki 2007 [4]ve İlki 2002b modelleri [3] vermektedir.

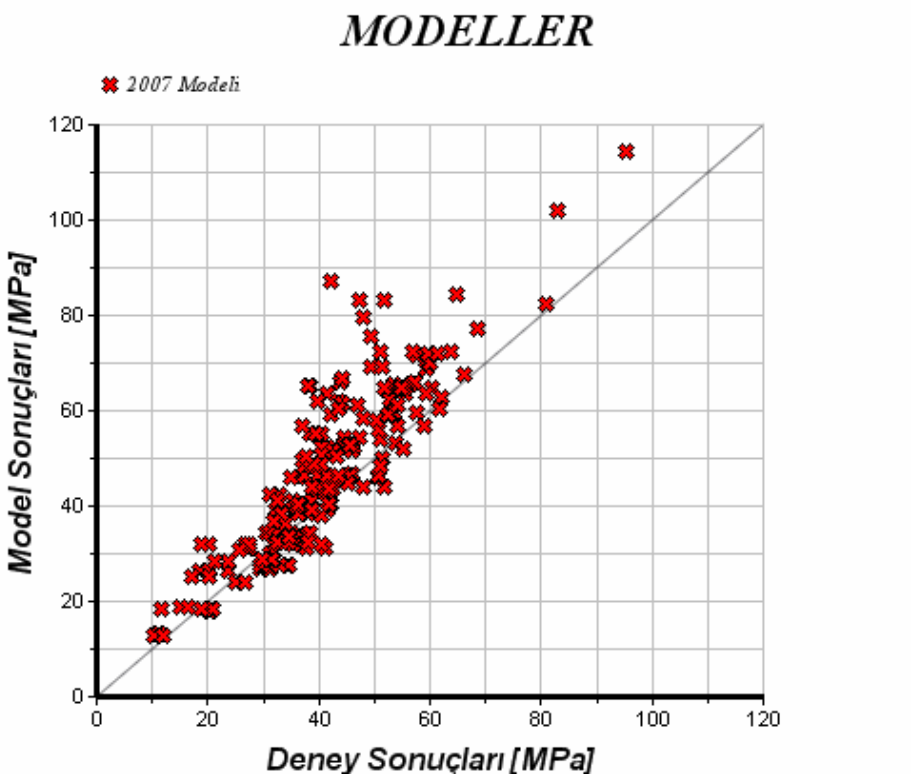


Şekil 6.17 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.18 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları

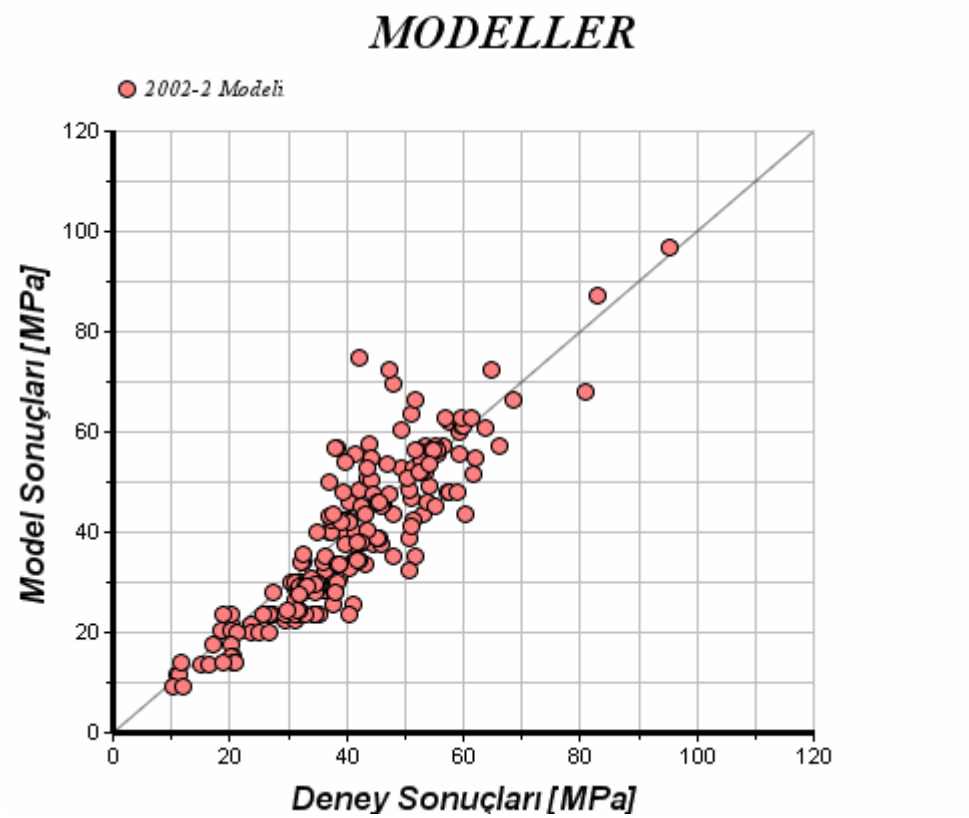
Şekil 6.17'de görülen Lam ve Teng modeli [1] grafiğinde ve Şekil 6.18'de görülen Samaan modeli [2] grafiğindeki dağılımda görüldüğü üzere, bu iki modelin standart sapmaları yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.19 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları

Şekil 6.19'da görülen İlki 2007 modeli [4] grafiğinden de, modelin genel olarak öngördüğü dayanımların, deney sonucu elde edilen gerçek dayanımların üzerinde olduğu görülmektedir. Şekil 6.20'deki İlki 2002b modeli [3] grafiğindeki dağılımın daha homojen olduğu görülmektedir. Bu durumlar istatistiki veri tablosunda da kendisini göstermiştir.

Bu grupta incelenen numuneler, 146 adet kare ve 50 adet dikdörtgen numuneden oluşmaktadır. Genel durumdaki standart sapmalarda büyük oranda bu gruptan kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak özellikle Samaan modeli ve Lam ve Teng modeli şekil faktörlerinin davranışları açıklamakta yeterince başarılı olmadıkları düşünülebilir. Bu çalışmanın konusu dışında olmakla beraber, Lam ve Teng modelinde [1] İlki 2007 modelinde [4] tanımlanan şekil faktörü κ_a uygulandığında çıkan istatistiki değerlerin çok daha uygun olduğu gözlemlenmiştir. Fakat Samaan modelinde [2] tam tersi geçerlidir, İlki 2007 modeli [4] şekil faktörü sonuçları kötüleştirmektedir.



Şekil 6.20 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.2.3. Kare Kesitli Numuneler

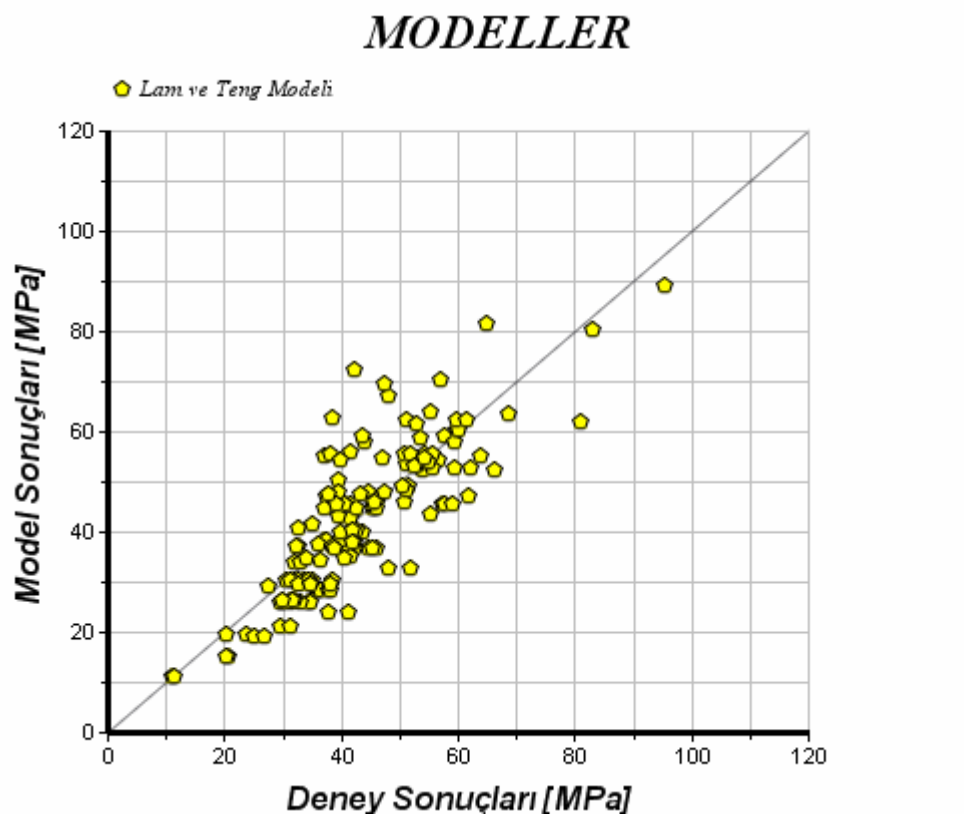
Kare kesitli numunelerin incelenmesi, dikdörtgen kesitli numunelerin irdelenmesinin özel bir halidir. Daha öncede belirtildiği gibi veri tabanında 146 adet kare numune vardır ve dikdörtgen kesitlerin çoğunluğunu da bunlar oluşturmaktadır.

Şekil 6.21, 6.22, 6.23 ve 6.24'de görüldüğü üzere sadece kare numunelerle, tüm dikdörtgen numuneler arasında önemli bir fark görülmemektedir. İstatistiki verilere göre ise, İlki 2007 [4], İlki 2002b [3] ve Lam ve Teng [1] modellerinde hem ortalamalarda hem de standart sapmalarda bir iyileşme olmuştur. Samaan modelinde ise ne ortalamalarda ne de standart sapmalarda önemli bir iyileşme görülmemektedir.

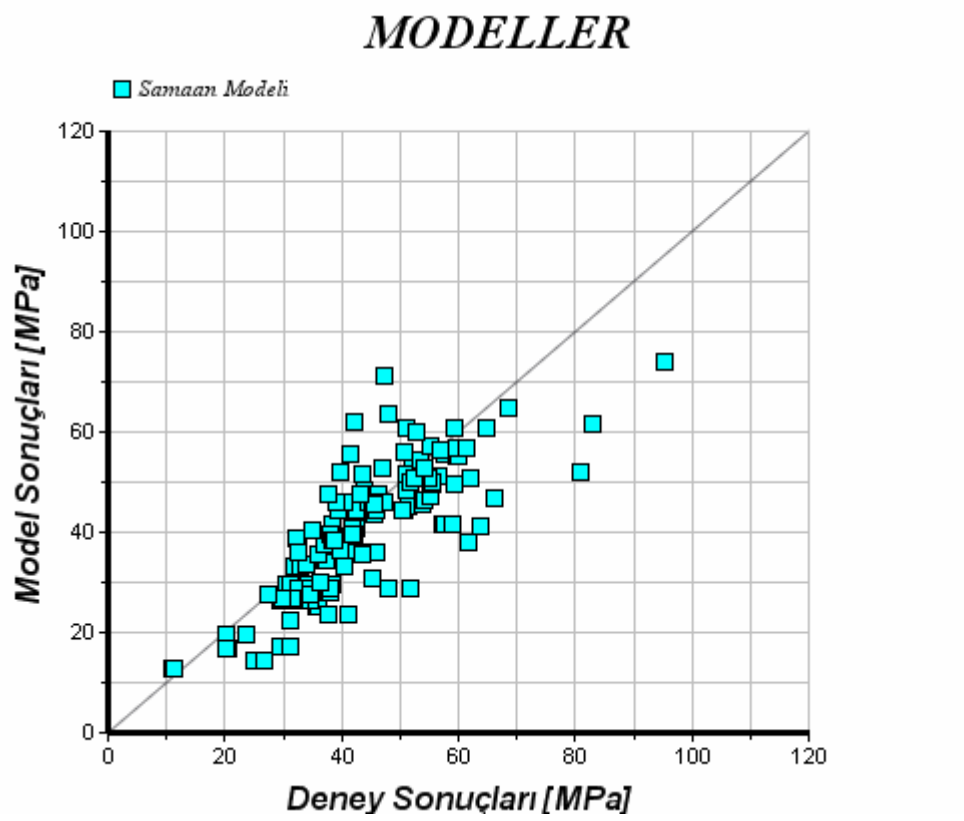
Genel olarak bakıldığında kare numunelerin davranışı dikdörtgen numunelere göre, modeller tarafından daha iyi açıklanmaktadır.

Tablo 6.6 : Modellerin Kare Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.053	1.120	0.916	1.073
σ	0.197	0.230	0.146	0.185

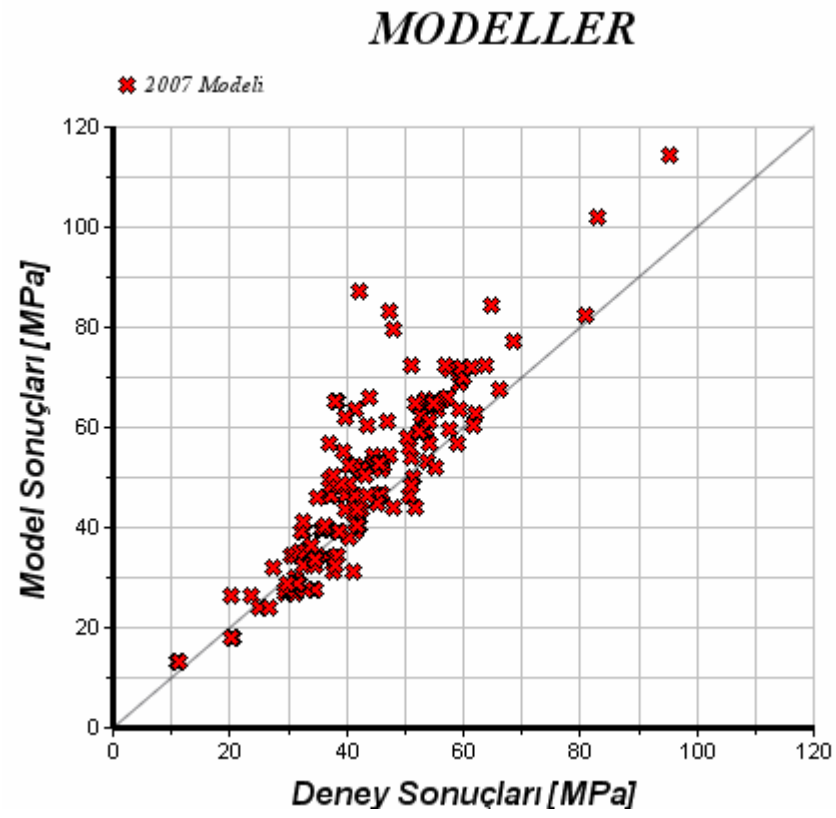


Şekil 6.21 : Kare Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları

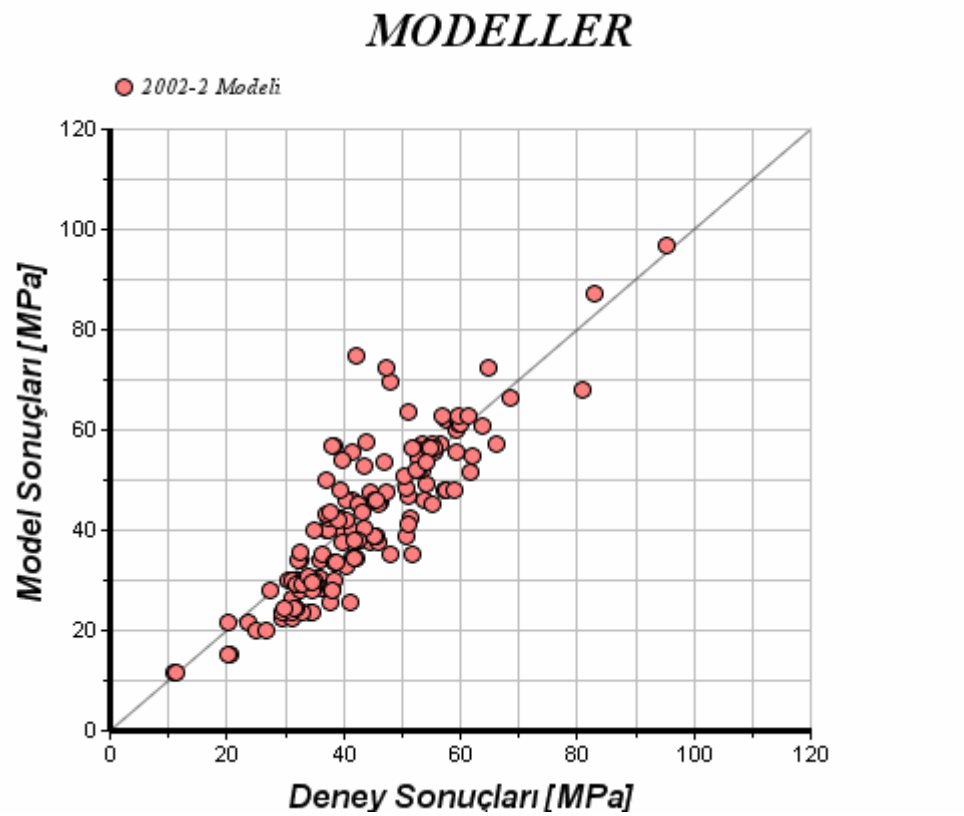


Şekil 6.22 : Kare Kesitli Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları

Yukarıda da belirtildiği gibi, Lam ve Teng modeli [1] Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'de görüldüğü gibi yüksek standart sapmalara sahiptirler. Fakat bu durum Tablo 6.6'dan da anlaşılacağı gibi, Lam ve Teng modeli [1] için, dikdörtgen kesit durumundan daha iyidir. Lam ve Teng modeli için 0.37 olan değer kare numunelerde 0.2 mertebesine düşmüştür. Dikdörtgen kesitlerde bahsedilen, Lam ve Teng modelinin [1] şekil faktörü yerine İlki 2007 modelinin [1] şekil faktörü kullanıldığında daha iyi sonuç vermesi, sadece kare numuneler için geçerli değildir. Sadece kare numunelere bakıldığında ortalamalar açısından Lam ve Teng modelinin [1] İlki 2007 [4] ve İlki 2002b modellerinden [3] daha iyi sonçlar vermesi Lam ve Teng modelinin [1] dairesel olmayan elemanlarda daha çok kare numunelere dayanmasıyla açıklanabilir. Buna karşılık İlki 2007 [4] ve İlki 2002b [3] modellerinde kare kesitli numuneler için elde edilmiş olan standart sapmalar Lam ve Teng [1] modeline göre daha düşüktür. Fakat sözü geçen iki İlki modeli kare numuneler kadar en-boy oranı farklı dikdörtgen numunelerede dayandığı için genel durumda (kare ve dikdörtgen birlikte) daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 6.23 : Kare Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.24 : Kare Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

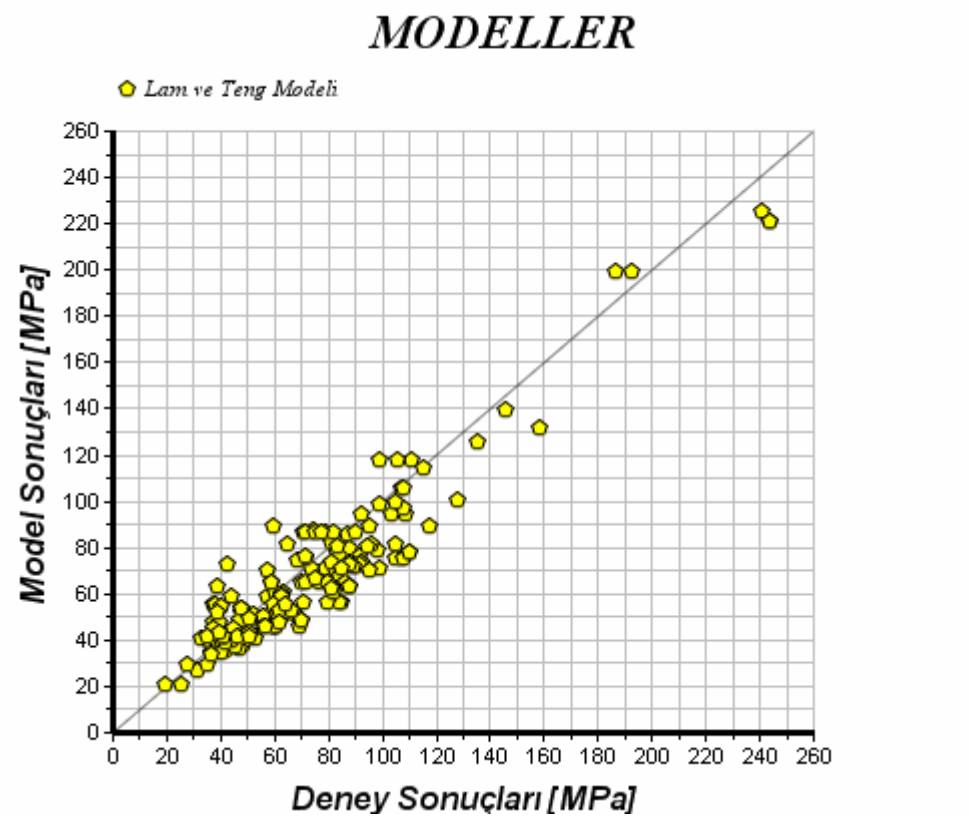
6.1.3. Kesit Boyutlarının Etkisi

Diğer bir karşılaştırma numunelerin kesit boyutlarına göre yapılmıştır. Bu kısımda dairesel olmayan elemanların uzun boyutları, daire kesitlilerin ise çapları gözönüne alınmıştır. İlk grupta sözü geçen boyutları 150 mm'ye eşit ya da daha kısa olan elemanlar, ikinci grupta 150 mm ile 250 mm arasında olanlar ve son olarak da 250 mm'ye eşit ve daha büyük olanlar incelenmiştir.

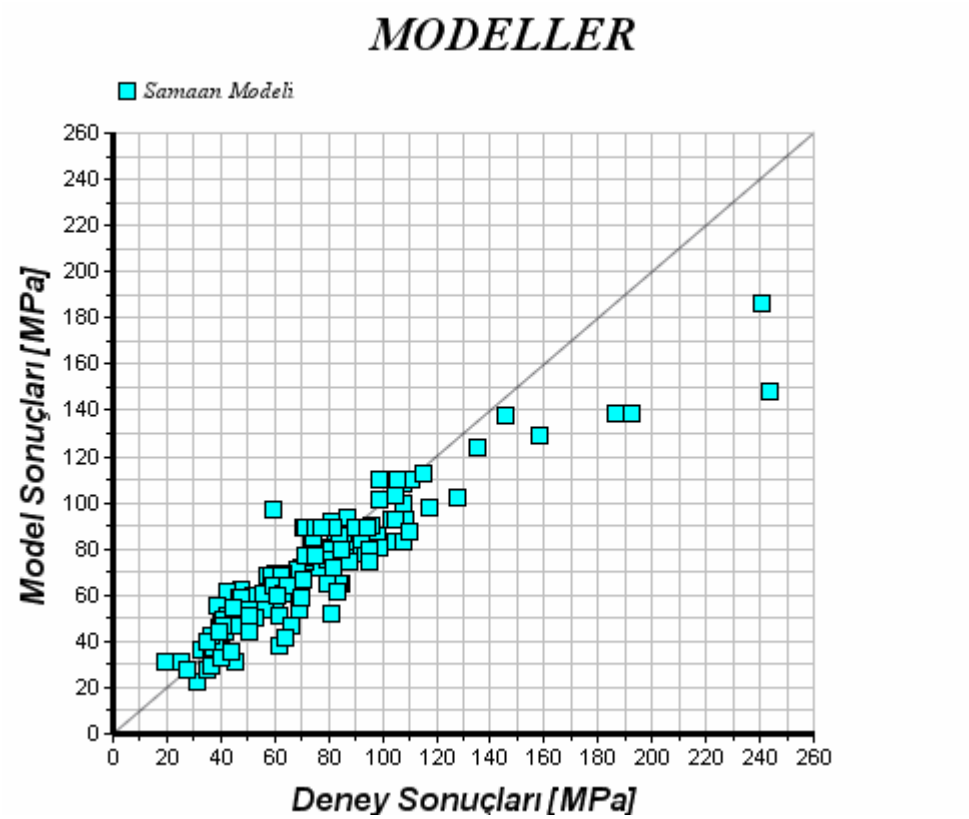
6.1.3.1. $(h \sim d) \leq$ 150 mm

İlk grubu oluşturan boyutu 150 mm'ye eşit ve küçük olan numunelerin veri tabanındaki sayısı 168'dir. Bunların 33 tanesi daire olmayan, geri kalan 135 tanesi ise daire kesitlilerdir.

Modellerin grafiklerini içeren Şekil 6.25, 6.26, 6.27 ve 6.28'e bakıldığında, tüm modellerin 150 mm'ye eşit ve küçük numunelerde kabul edilebilir sonuçlar verdikleri ve birbirleriyle örtüştükleri görülmektedir.



Şekil 6.25 : $(h \sim d) \leq 150mm$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



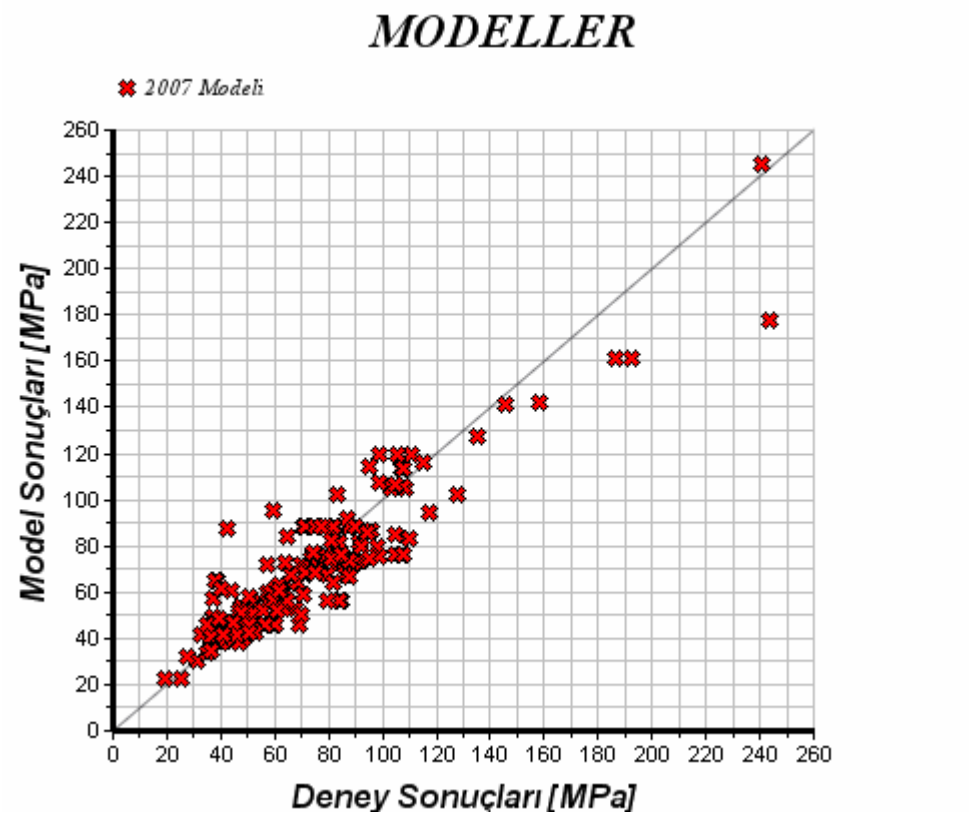
Şekil 6.26 : $(h \sim d) \leq 150mm$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları

Tablo 6.7'de irdelenen durumla ilgili istatistiksel veriler sunulmaktadır. Bu veriler de grafiklerden elde edilen görüşü desteklemektedir. Tüm modeller iyi ortalamalara sahiptir. Bu durum, incelenmekte olan grubun çoğunlukla daire kesitli elemanlardan oluşmasıyla açıklanabilir.

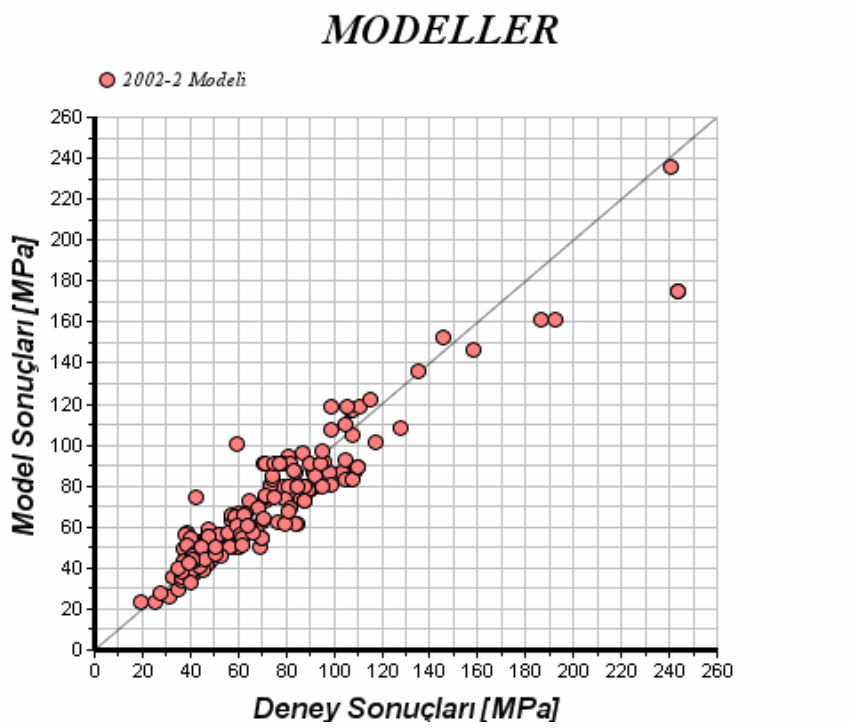
Tablo 6.7 : Modellerin $(h \sim d) \leq 150mm$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.093	1.040	1.052	1.035
σ	0.190	0.187	0.191	0.155

En iyi sonuçlar, Samaan modeli ve İlki 2002b modeli tarafından verilmekle birlikte, tüm modellerin ortalamalara bağlı olarak iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 6.27 : $(h \sim d) \leq 150mm$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.28 : $(h \sim d) \leq 150mm$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [2] Sonuçları

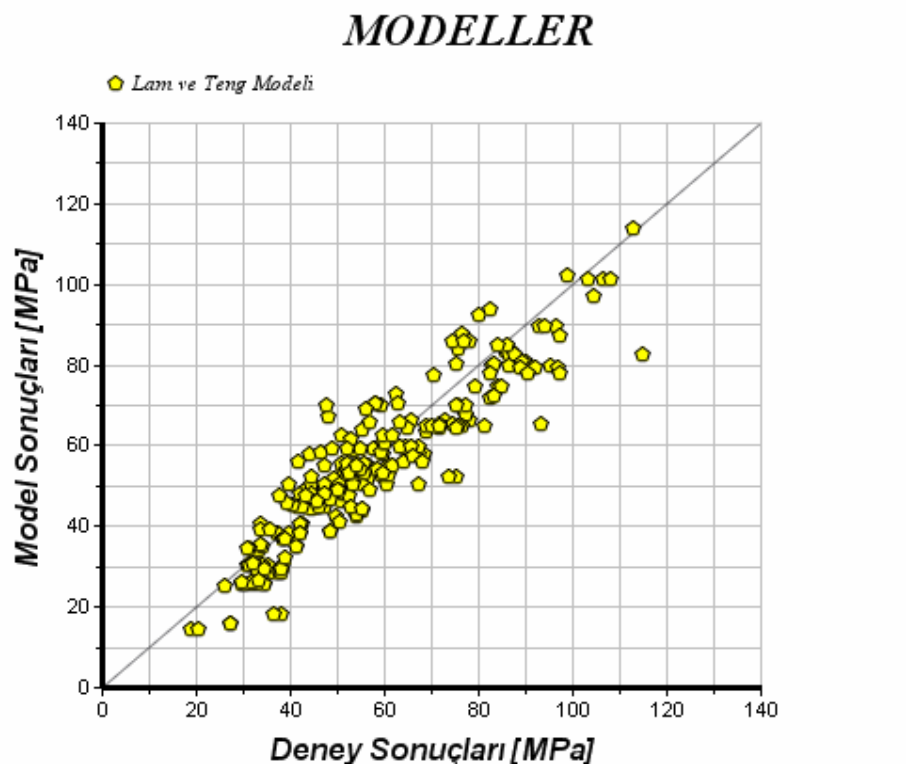
6.1.3.2. 150 mm $< (h \sim d) <$ 250 mm

100'ü kare ve dikdörtgenlerden ve 141 tanesi de daire kesitli numunelerden oluşan bu grupta, bir önceki kıstas gibi tüm modeller iyi sonuçlar vermektedir. İstatistik verilere bakıldığında da bu görülmektedir (Tablo 6.8). Tüm modellerde ortalama değerler daha iyi duruma gelmiş ve standart sapmalar düşmüştür.

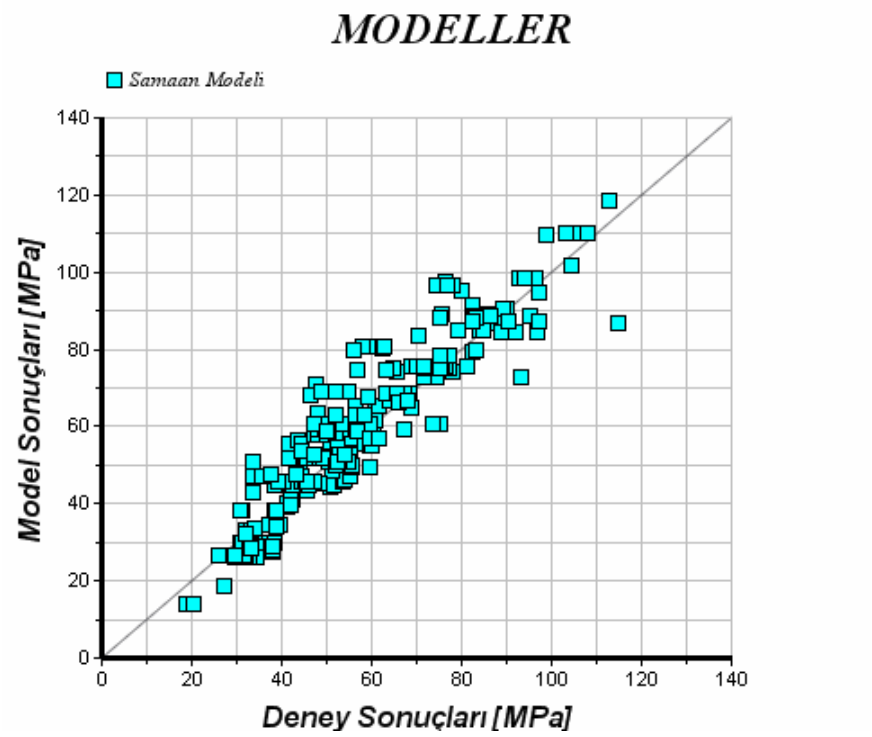
Tablo 6.8 : Modellerin $150 < (h \sim d) < 250$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.063	0.987	0.980	1.003
σ	0.174	0.151	0.147	0.152

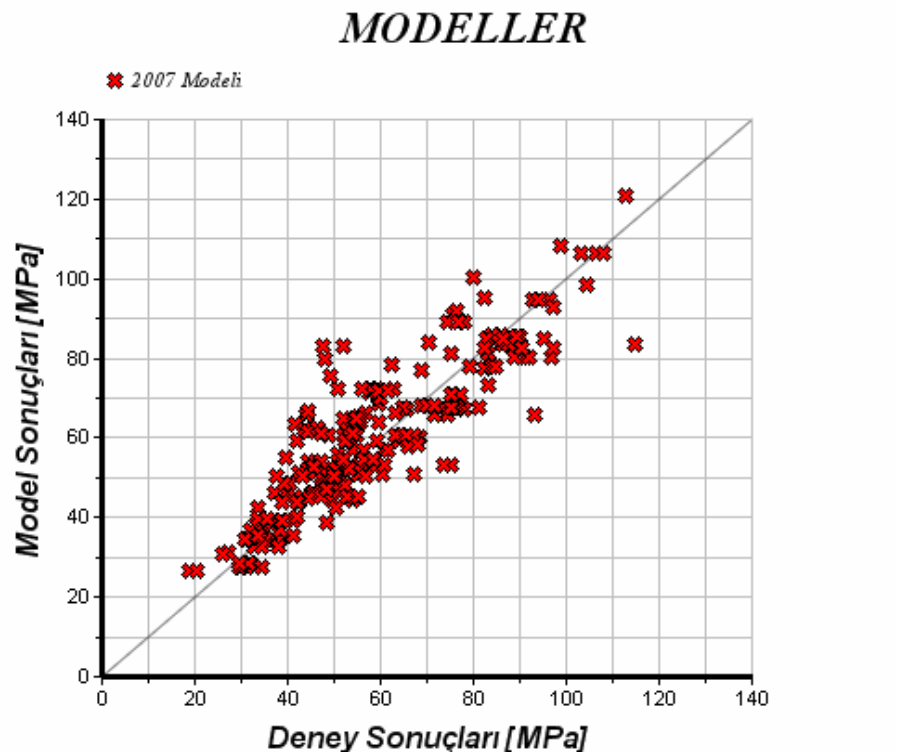
Bu iki kıstasın oluşturduğu grubun sonuç değerleri, uzun boyutu ya da çapı 250 mm'den kısa olan tüm numuneleri içerecek şekilde, tüm modeller tarafından iyi bir şekilde öngörülebilmektedir (Şekil 6.29, 6.30, 6.31 ve 6.32). Bunun sebebi bu grubu oluşturan elemanların büyük oranda daire ve kare kesitli elemanlardan oluşmasıdır. Unutulmamalıdır ki modeller daire kesitlerden sonra kare kesitleri dikdörtgen kesitlere nispeten daha iyi değerlendirebilmektedir.



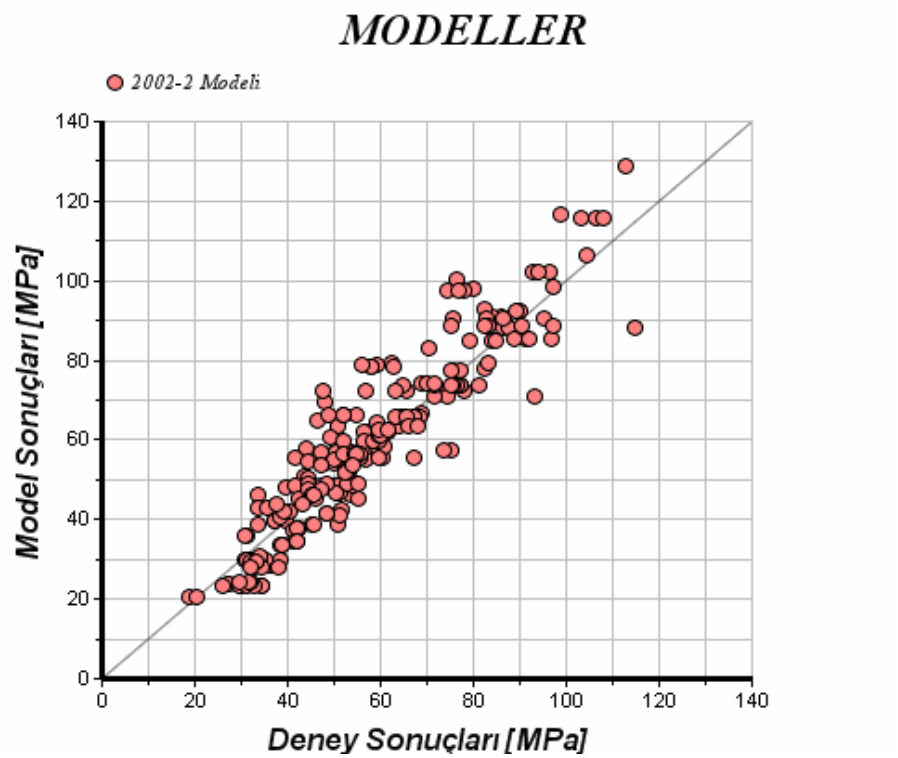
Şekil 6.29 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.30 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



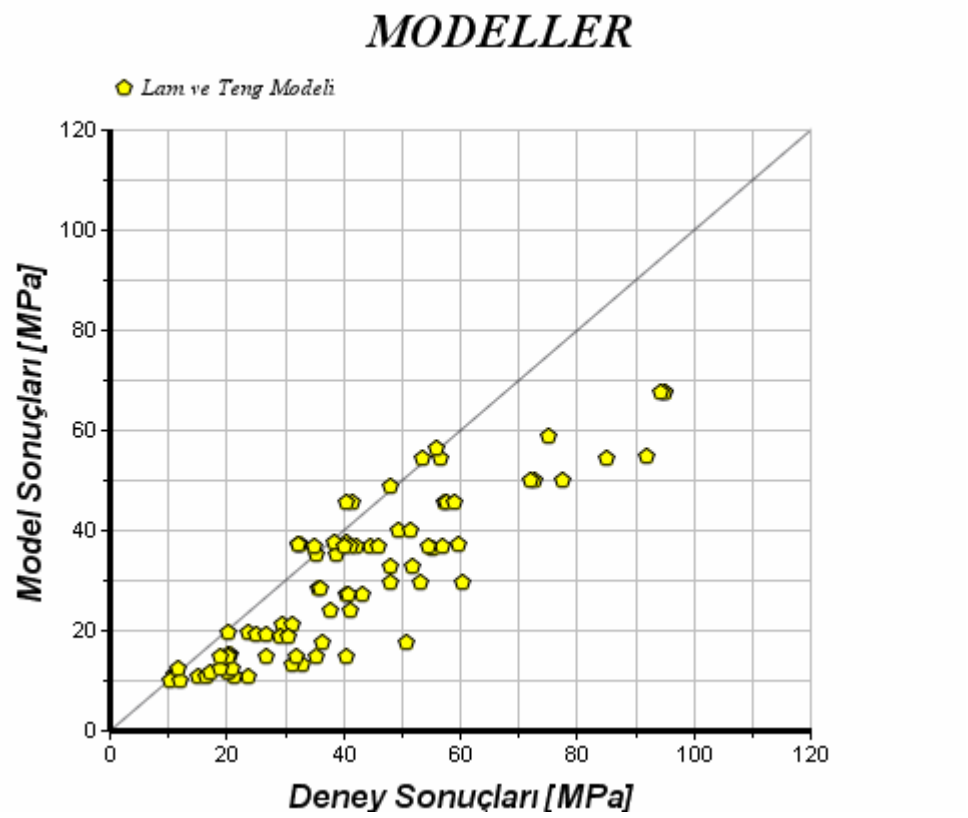
Şekil 6.31 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.32 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

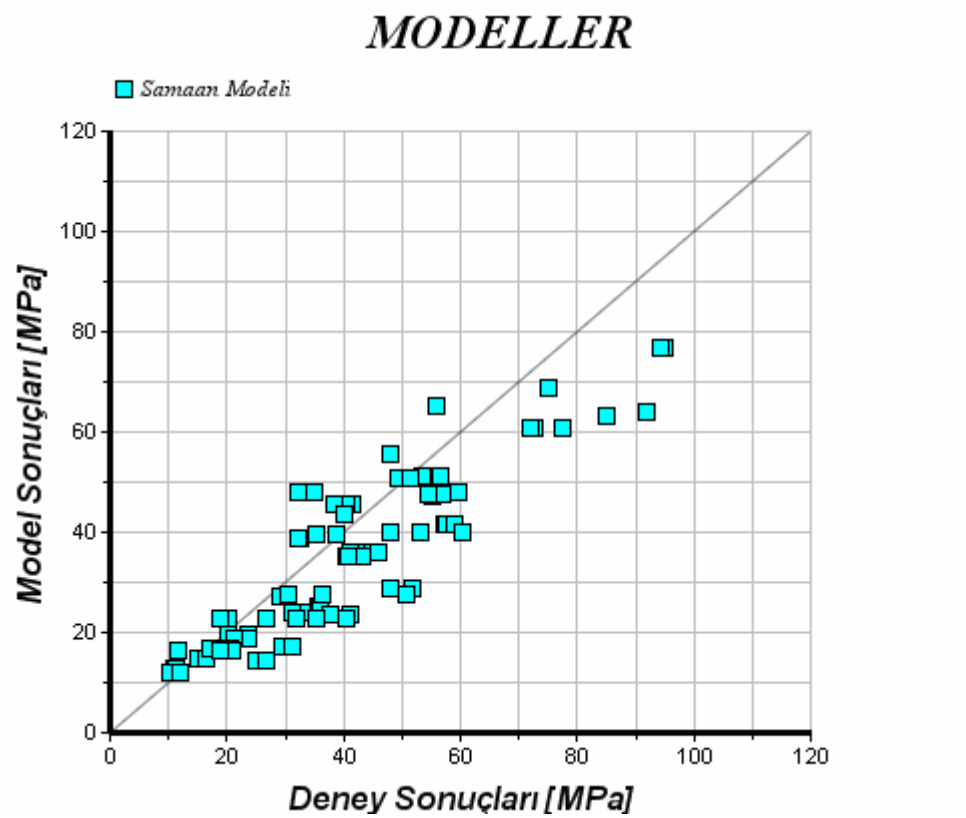
6.1.3.3. $(h \sim d) \geq$ 250 mm

Uzun boyutu ya da çapı 250 mm'den uzun olan elemanları kapsayan bu grup modellerin etkinliklerinin görülmesinde önemlidir. Daha önce de belirtildiği gibi, önceki kısımlarda, gruplar genelde daire ve kare kesitli elemanlardan oluşmaktaydı, fakat son grup dikdörtgen kesitli elemanların yoğunlukta olduğu bir gruptur.

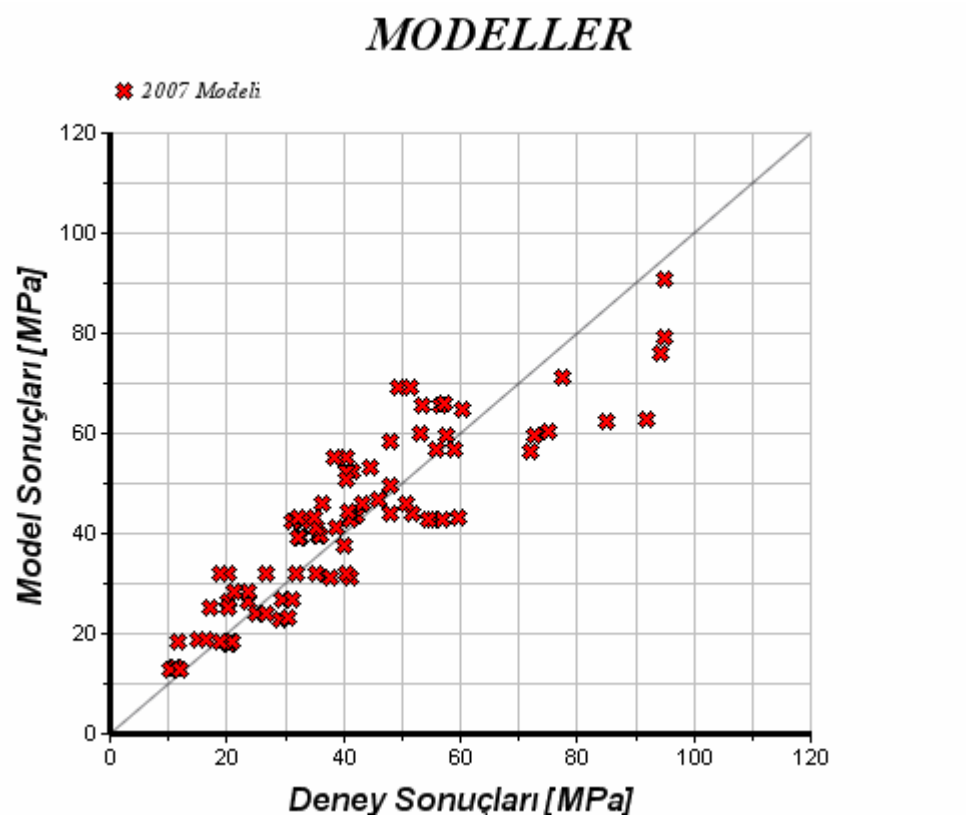


Şekil 6.33 : $250mm \leq (h \sim d)$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları

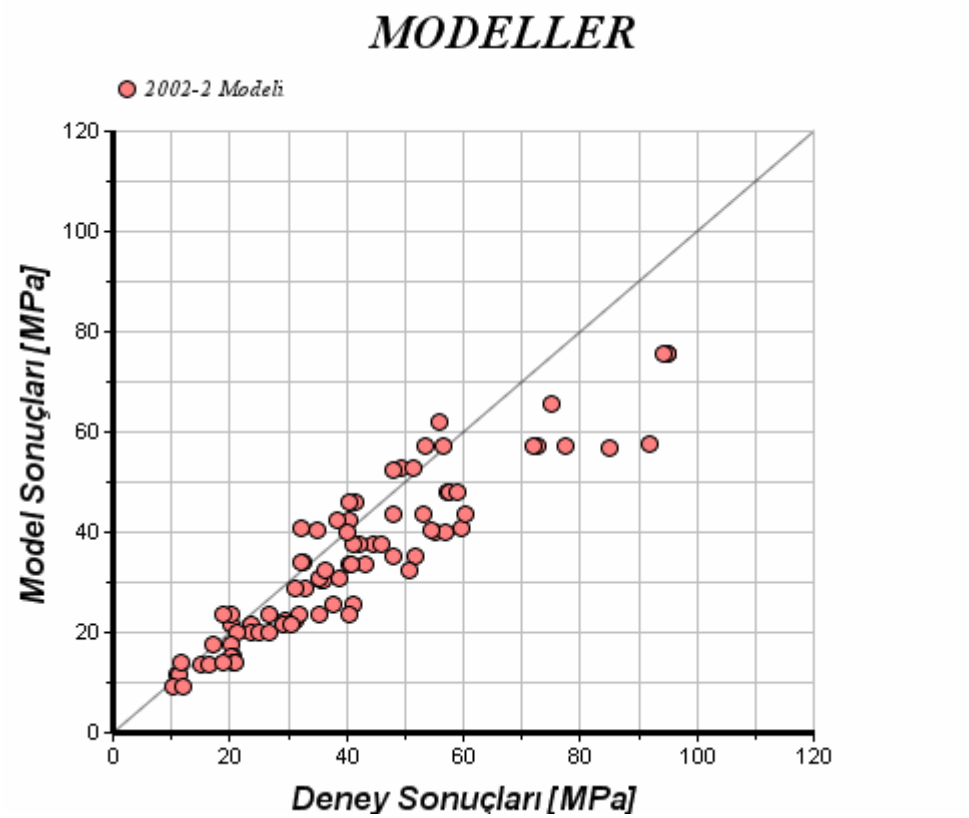
Örneğin Şekil 6.33'te gösterilen Lam ve Teng modeli [1] grafiğinde, hem ortalama değerinin çok kötü çıkacağı hem de standart sapmaların çok büyük çıkacağı görülmektedir. Bu kıstaslar altında Lam ve Teng modeli [1], genel olarak dayanım değerlerini, deneylerden elde edilen değerlerin çok altında bulmaktadır. Bunun yanısıra Şekil 6.34, 6.35 ve 6.36'da görülen, sırasıyla Samaan [2], İlki 2007 [4] ve İlki 2002b modellerini [3] gösteren grafikler Lam ve Teng modeline [1] göre daha iyi dağılımlar göstermektedirler. Fakat standart sapmaların tüm modellerde yüksek olacağı gözlemlenebilmektedir.



Şekil 6.34 : $250mm \le (h \sim d)$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.35 : $250mm \le (h \sim d)$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.36 : $250mm \le (h \sim d)$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

Durumun daha yerinde bir değerlendirmesi için Tablo 6.9'a bakmak gerekmektedir. Buradaki değerlere göre Lam ve Teng modeli [1] çok büyük bir standart sapma ve kötü bir ortalama ile en kötü sonucu verirken İlki 2007 modeli [1] görece en küçük standart sapma ve en iyi ortalama ile en yakın sonuçları veriyor görünmektedir. Bu durum en-boy ilişkisinin irdelenmesinde kare ve dikdörtgen kesitlerin birbirinden belirli oranlarda uzaklaşması sayesinde daha net bir şekilde ortaya çıkacaktır.

Tablo 6.9 : Modellerin $250mm \le (h \sim d)$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.436	1.200	0.974	1.192
σ	0.416	0.280	0.205	0.211

6.1.4. LP Tipinin Etkisi

Bir diğer önemli karşılaştırma konusu da kullanılan LP malzemenin tipidir. Bilindiği üzere LP malzemeler içerdikleri lif türüne göre üç ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar karbonun kullanıldığı CFRP, camın kullanıldığı GFRP ve aramidin kullanıldığı

AFRP'dir. CFRP bunların arasında en sık kullanılan, AFRP ise en az kullanılan LP türüdür.

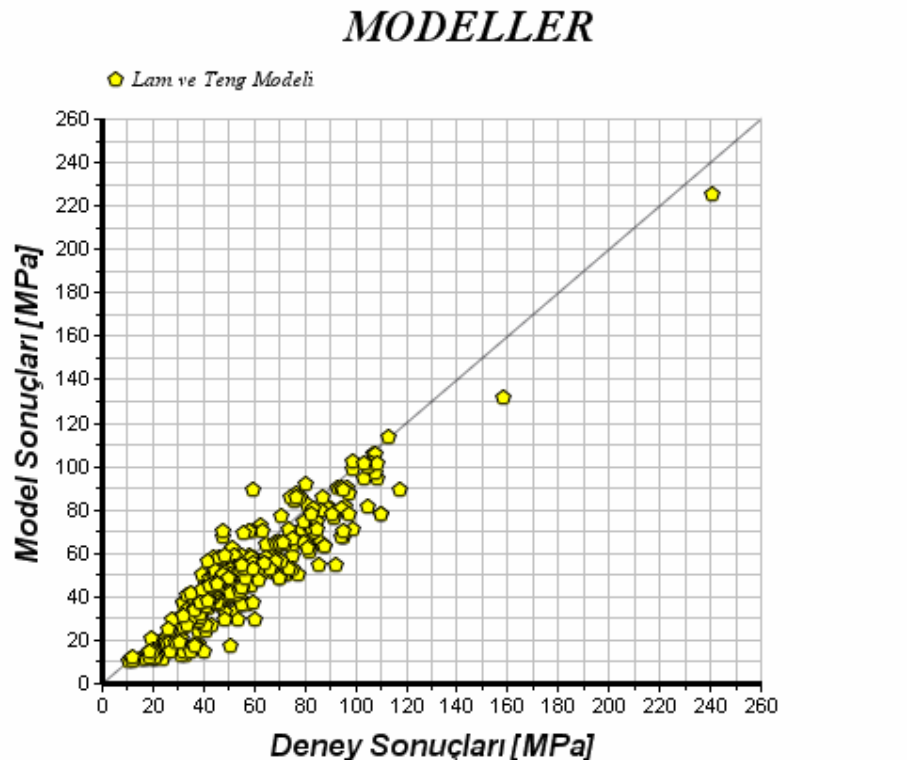
Modellerin açıklanmasından da hatırlanacağı gibi, Lam ve Teng modeli [1] her üç lif tipi için ayrı ayrı $\varepsilon_{h,rup}$ değerleri tanımlarken, diğer modeller tek bir kabul yapmışlardır. Bu inceleme sayesinde bu durumunda etkinliği gözlemlenmiş olacaktır.

6.1.4.1. CFRP

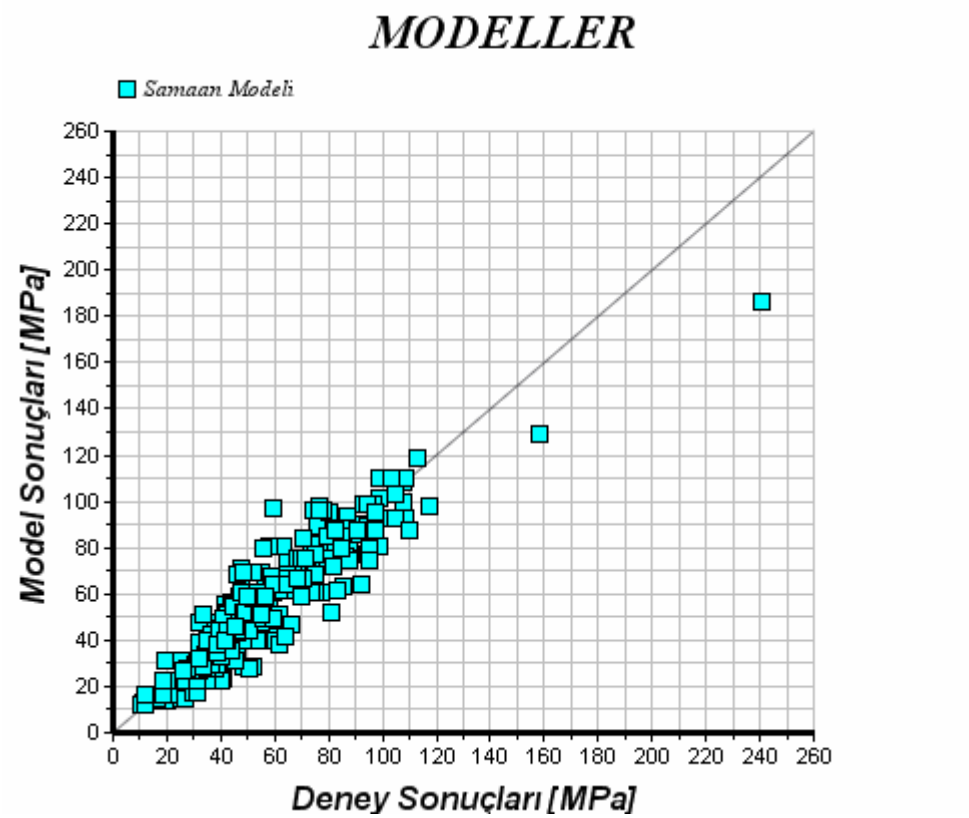
CFRP ile sargılanmış olan numuneler veri tabanının %65'i gibi büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Şekillerden de görüleceği gibi tüm modeller uygun bir dağılım göstermektedir. Fakat istatistik değerlere bakıldığında Lam ve Teng modelinin [1] standart sapmasının büyük olduğu görülmektedir (Tablo 6.10). Modellerin grafikleri Şekil 6.37'den 6.40'a kadar verilmiştir. En iyi sonuçlar İlki 2007 modeli tarafından verilmiştir.

Tablo 6.10 : Modellerin CFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri

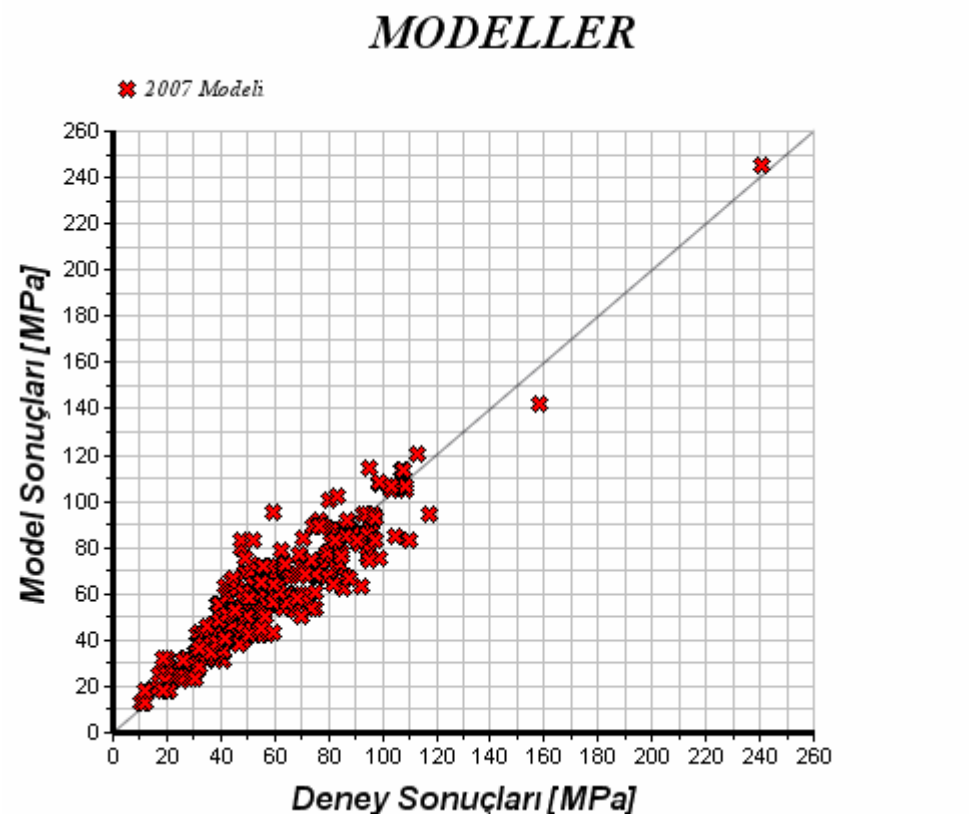
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.183	1.056	0.986	1.055
σ	0.303	0.225	0.170	0.184



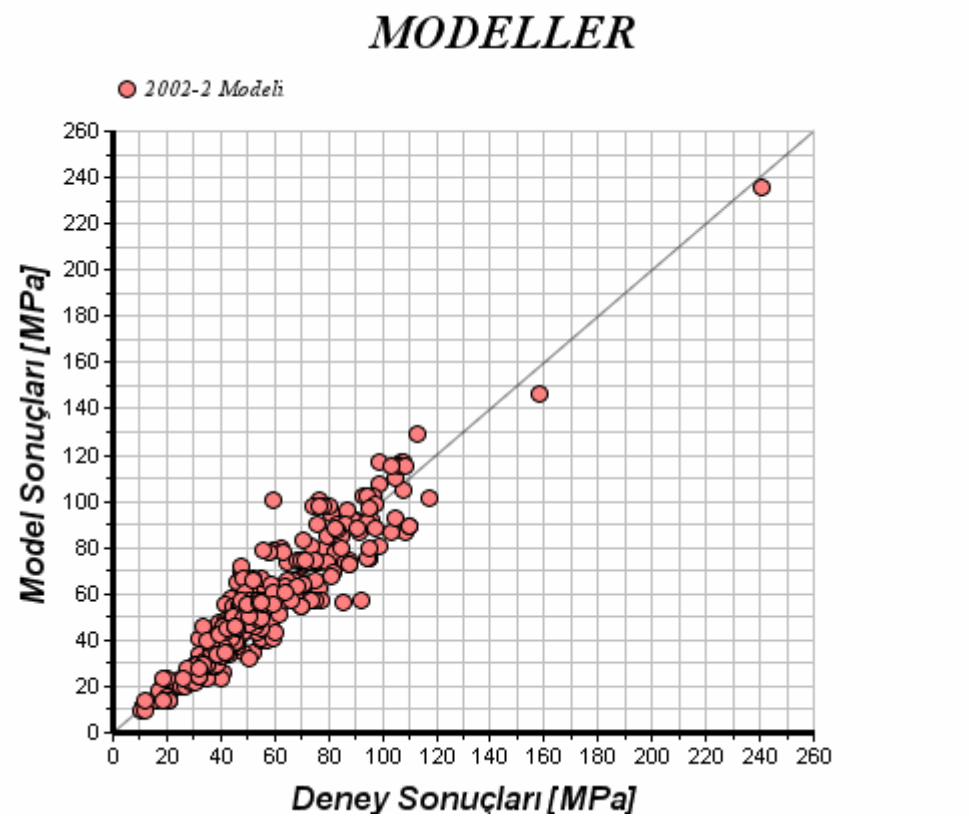
Şekil 6.37 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.38 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.39 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.40 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

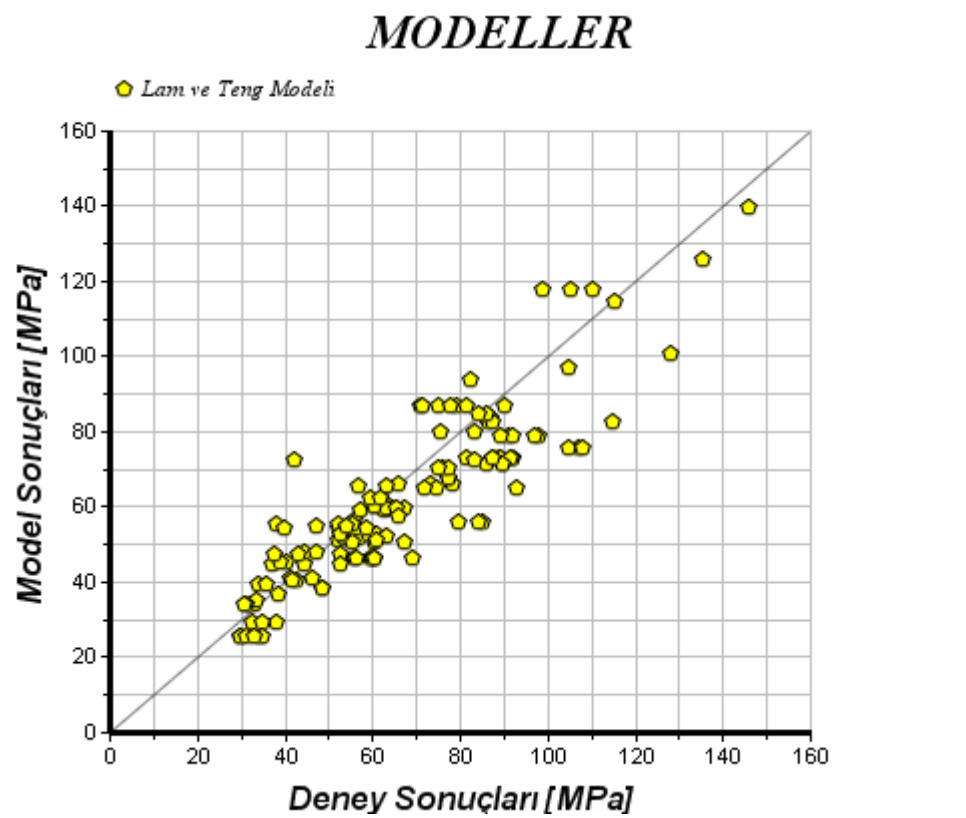
6.1.4.2. GFRP

Veri tabanının ikinci kalabalık grubudur ve %28'lik kısmı kapsar. CFRP'den sonra ikinci yoğun malzemedir. Şekillerde grafikleri görülen tüm modeller iyi dağılımlar göstermektedir. Tablo 6.11'deki veriler de bu durumu desteklemektedir.

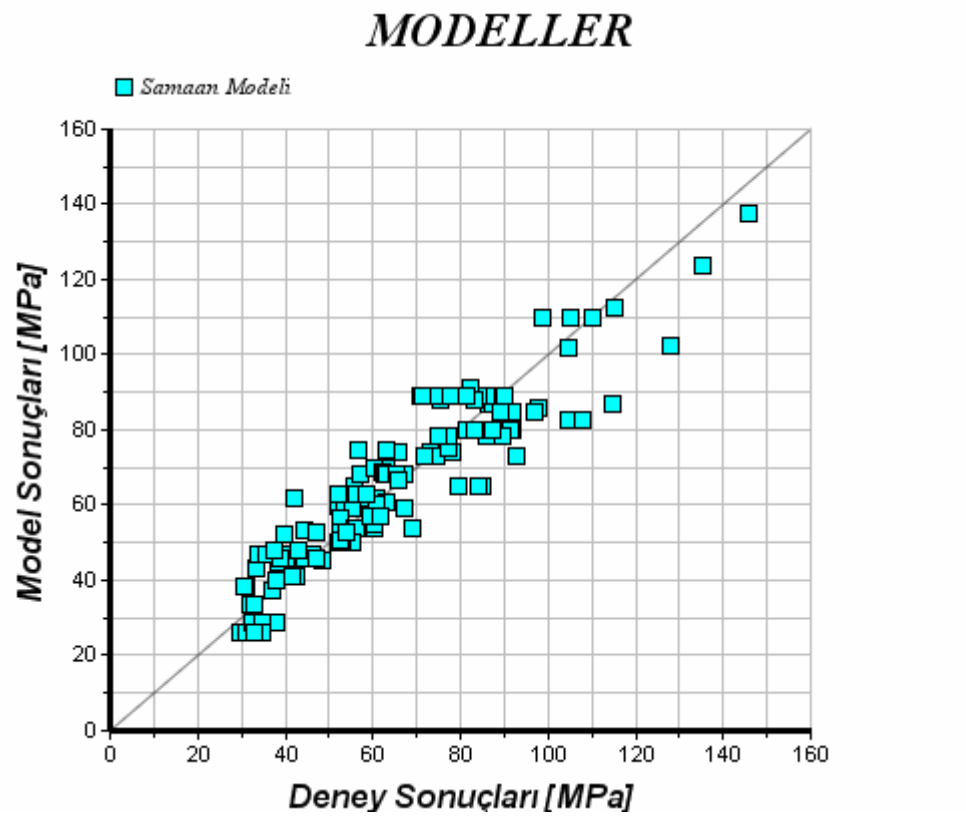
Tablo 6.11 : Modellerin GFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.085	1.012	1.054	1.031
σ	0.170	0.140	0.182	0.160

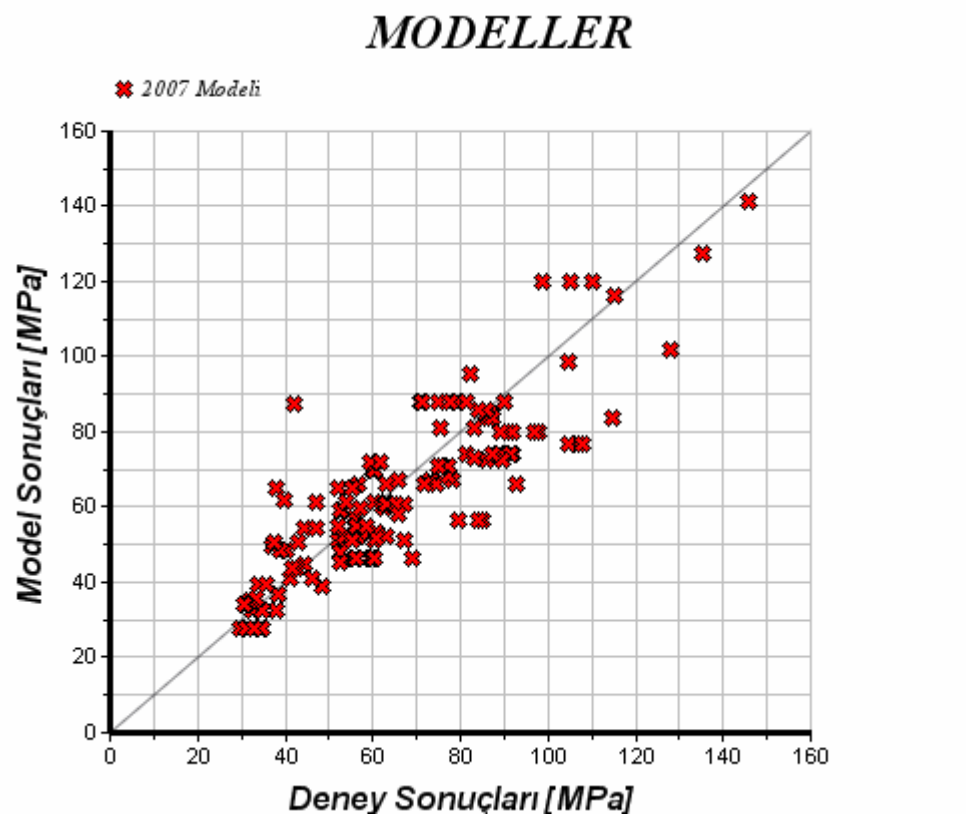
Görüldüğü üzere tüm ortalamalar bire yaklaşırken, standart sapmalar da düşmüştür. Tüm modeller GFRP ile sargılanmış numunelerin dayanımlarını tahmin etmekte yeterli görülmektedir. Bunun yanısıra sayısal değerlere göre en iyi ortalama Samaan modelinde, en kötü ortalama ise Lam ve Teng modelinde [1] ortaya çıkmaktadır. Model grafikleri Şekil 6.41, 6.42, 6.43 ve 6.44'te sırasıyla Lam ve Teng modeli [1], Samaan modeli, İlki 2007 modeli [4] ve İlki 2002b modeli [3] için verilmiştir.



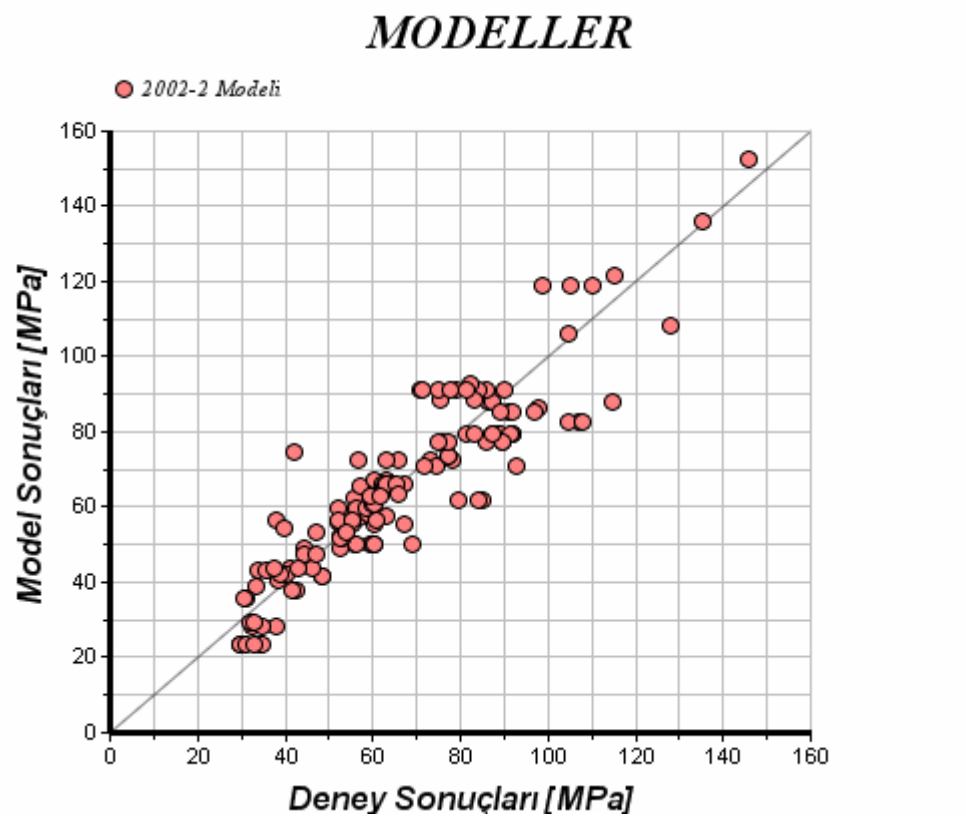
Şekil 6.41 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.42 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.43 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.44 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

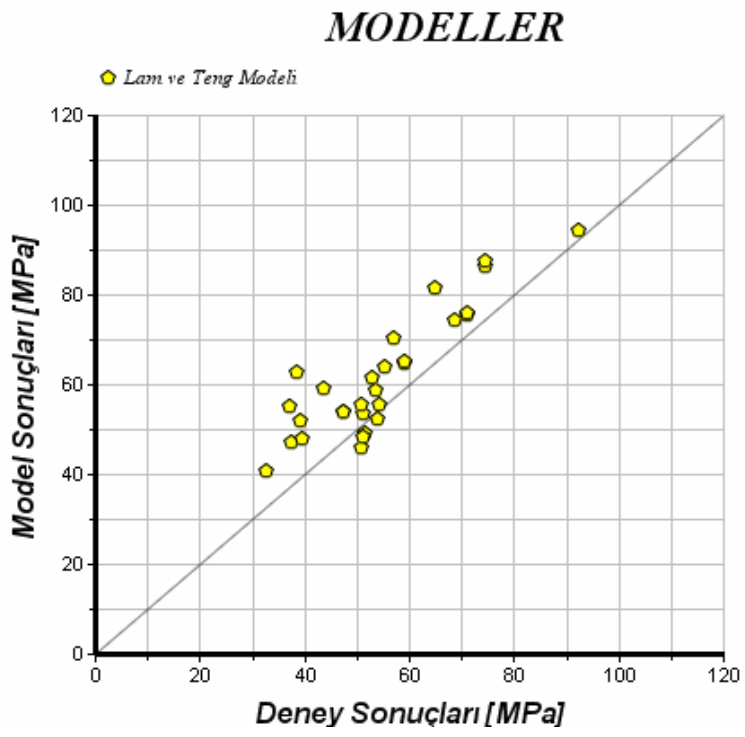
6.1.4.3. AFRP

Bu grup veri tabanın en küçük kısmını oluşturur. Sadece 33 numune bu malzemeyle sargılanmıştır ve bu toplam veri tabanının ancak %7'si kadarını oluşturmaktadır. Grafiklerden, Lam ve Teng modelinin [1] genel olarak, deneysel verilerin üzerinde değerler verdiği görülmektedir. İlki 2007 modelide [4] Lam ve Teng [1] kadar olmamakla birlikte bu eğilimde görülmektedir. Samaan [2] ve İlki 2002b [3] modelleri ise dağılımları açısından uygun görünmektedir. Tablo 6.12 ise modellerin etkinlikleri sayısal olarak gösterilmektedir.

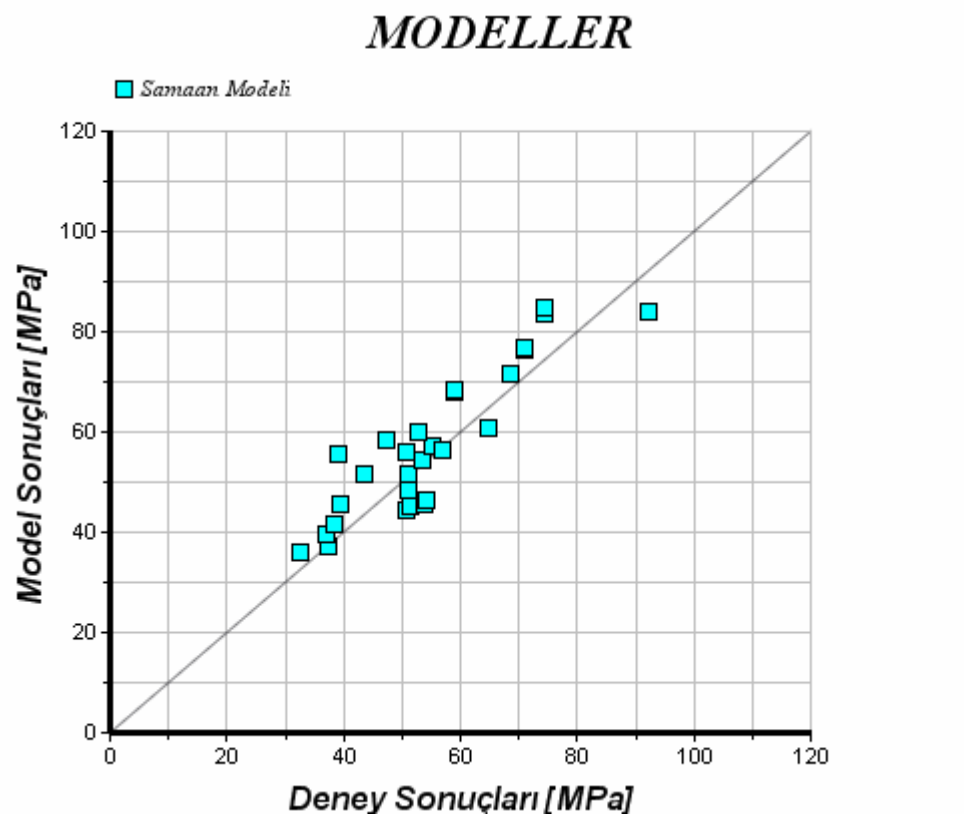
Tablo 6.12 : Modellerin AFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	0.899	1.021	0.952	1.002
σ	0.117	0.215	0.176	0.177

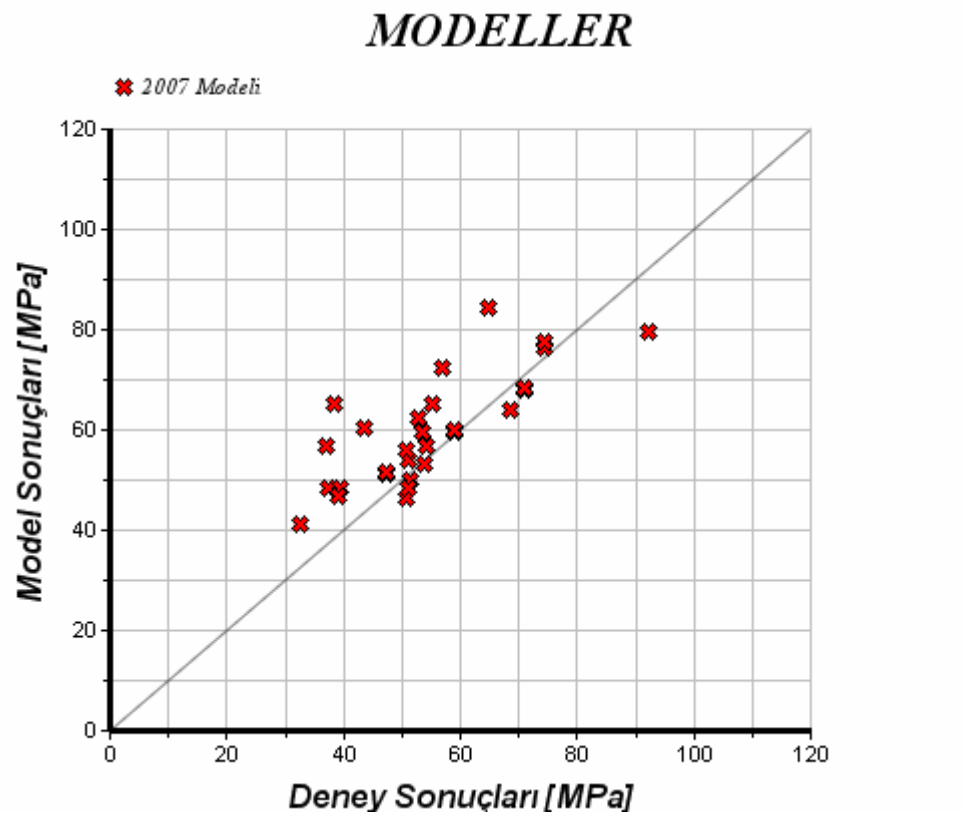
Tabloda da görüldüğü gibi, İlki 2002b [3], Samaan [2] ve İlki 2007 modelleri [4] istatistiksel olarak uygun sonuçlar vermektedir. Lam ve Teng [1] ise, standart sapmasının küçük olmasına rağmen, göreceli olarak daha kötü bir ortalamaya sahiptir.



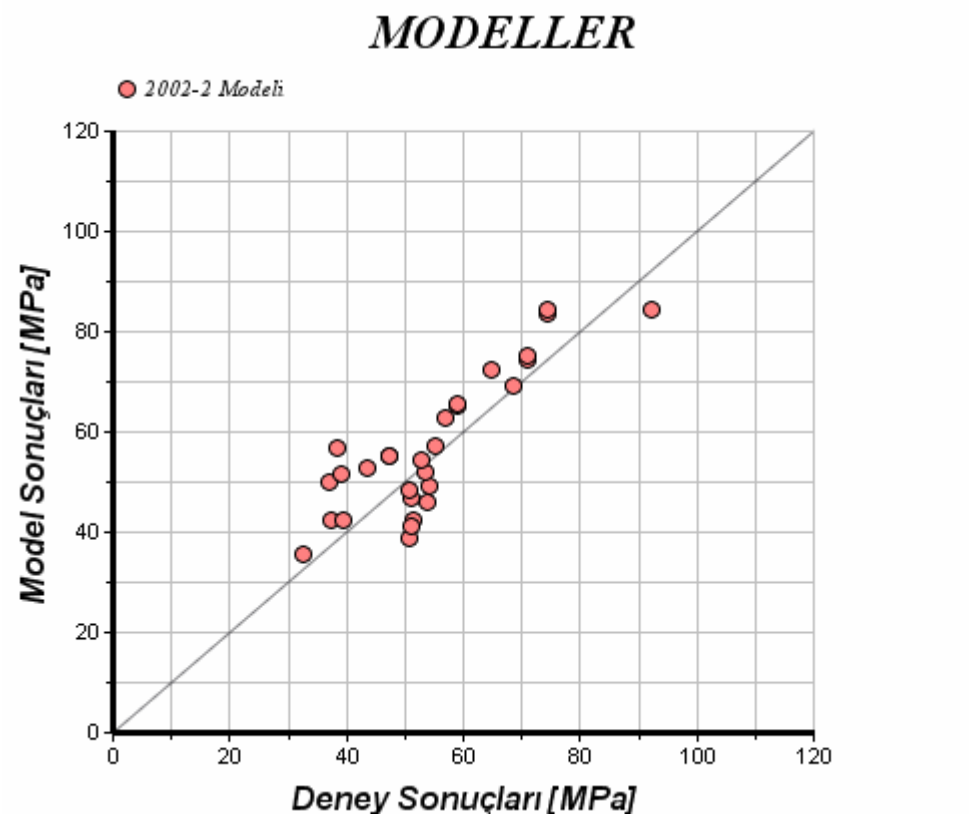
Şekil 6.45 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.46 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.47 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.48 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

LP tipine göre yapılan bu kısım incelemeden, lif tipine göre farklı kopma değerleri yerine tek bir ortalama veren modellerin, her lif tipi için ayrı değer veren Lam ve Teng'e [1] göre daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 6.45'ten 6.48'e kadar modellerin grafikleri görülmektedir.

6.1.5. Kesit En-Boy Oranının Etkisi

Daha öncede belirtildiği üzere, en-boy oranları aracılığıyla yapılan inceleme sonucunda kareden dikdörtgene geçişte, modellerin etkinlikleri daha rahat gözlemlenebilecektir. Bu amaçla oluşturulan üç inceleme grubunun ilkini h/b değeri 1.5'dan küçük olanlar, ikincisini 1.5 ile 2 arasında olanlar ve sonuncusunu da 2'den büyük olanlar oluşturmaktadır.

Unutulmamalıdırki en-boy oranı ikiden büyük olan elemanlarda LP uygulaması yapılması DBYBHK 2007'nin [12] ilgili kısımlarınca engellenmiştir. Birçok yabancı yönetmelik ise bu sınırı 1.5 olarak belirlemiştir. Aralıklar da bu sınırlara bağlı olarak belirlenmiştir. İlk aralık çoğu yabancı yönetmeliğin kabul ettiği sınıra, ikinci aralık

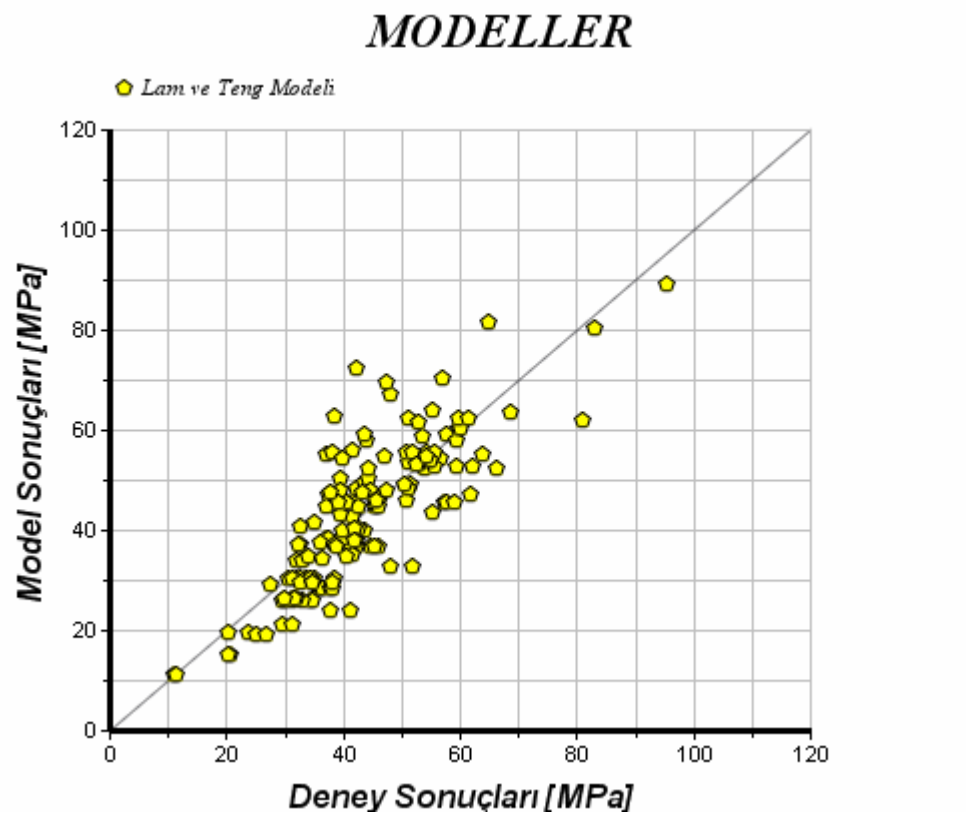
Türk yönetmeliğinin kabul ettiği sınıra ve son aralıkta bunun üstünde kalan değerler için oluşturulmuştur [17].

6.1.5.1. $1 \le h/b \le$ 1.5

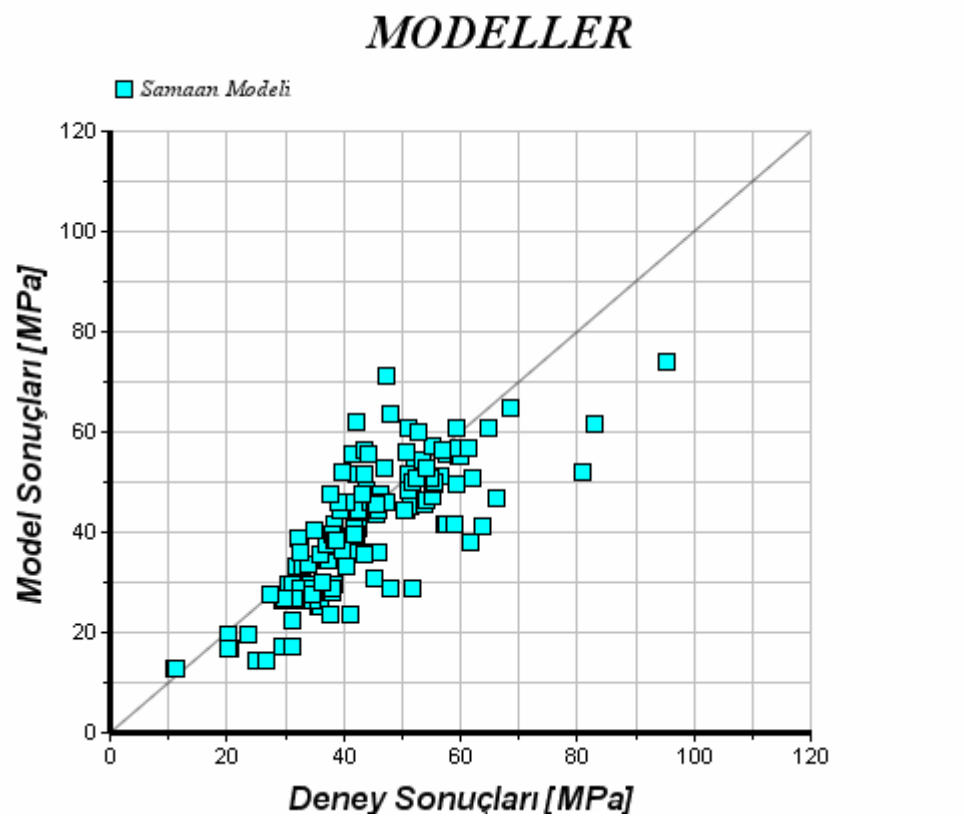
Yukarıda da belirtildiği gibi, birinci grupda kare kesitlerden $(h/b=1)$, en-boy oranı 1.5'a kadar olan dikdörtgen kesitler incelenmektedir. Şekil 6.49'dan Şekil 6.52'ye kadar olan grafiklerde modellerin bu aralıklarda verdiği sonuçların dağılımları görülmektedir. Bunlardan İlki 2007 modeli [4] deneysel değerlerin bir miktar üzerinde tahminler yapıyor görünmektedir. Bunun dışıda Tablo 6.13'e göre de modeller genel olarak başarılı sonuç vermektedir.

Tablo 6.13 : Modellerin $(h/b) \le 1.5$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

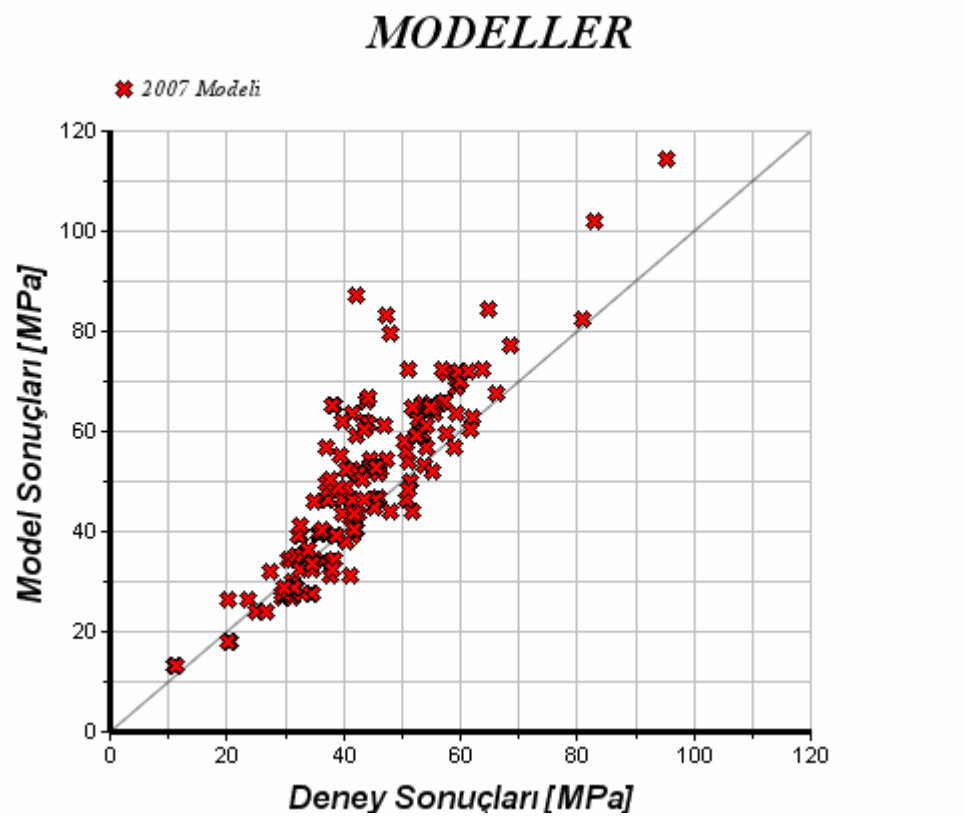
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.071	1.120	0.905	1.066
σ	0.236	0.234	0.150	0.187



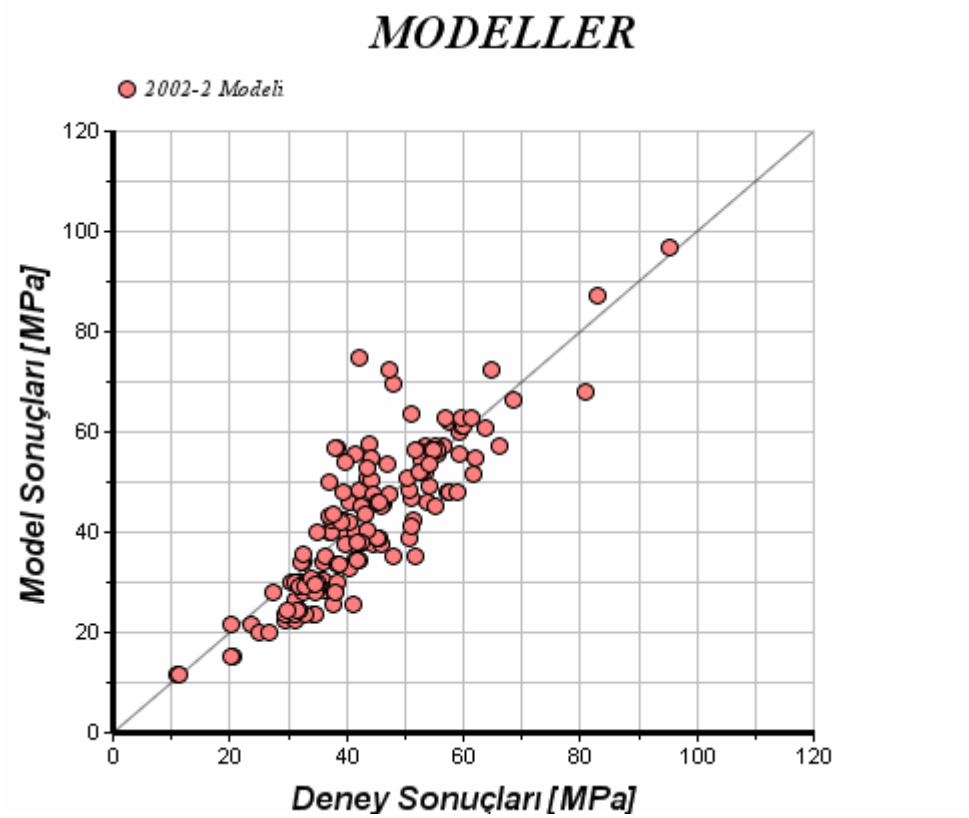
Şekil 6.49 : $(h/b) \le 1.5$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.50 : $(h/b) \leq 1.5$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.51 : $(h/b) \leq 1.5$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



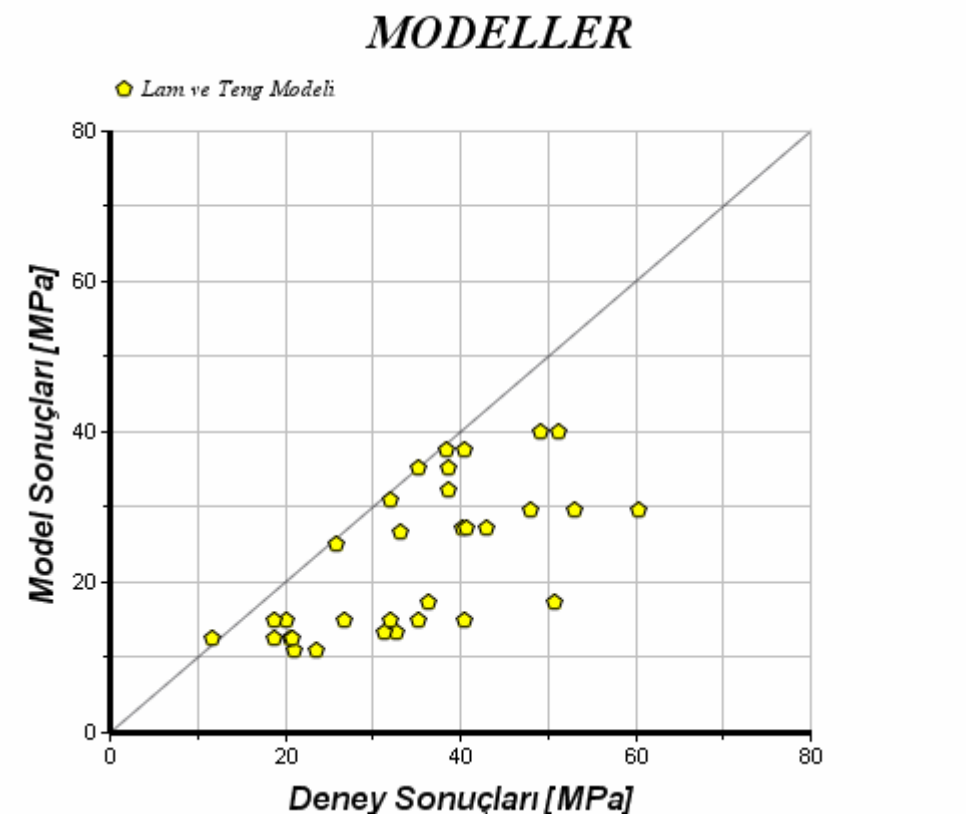
Şekil 6.52 : $(h/b) \leq 1.5$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.5.2. 1.5 $< h/b \leq$ 2

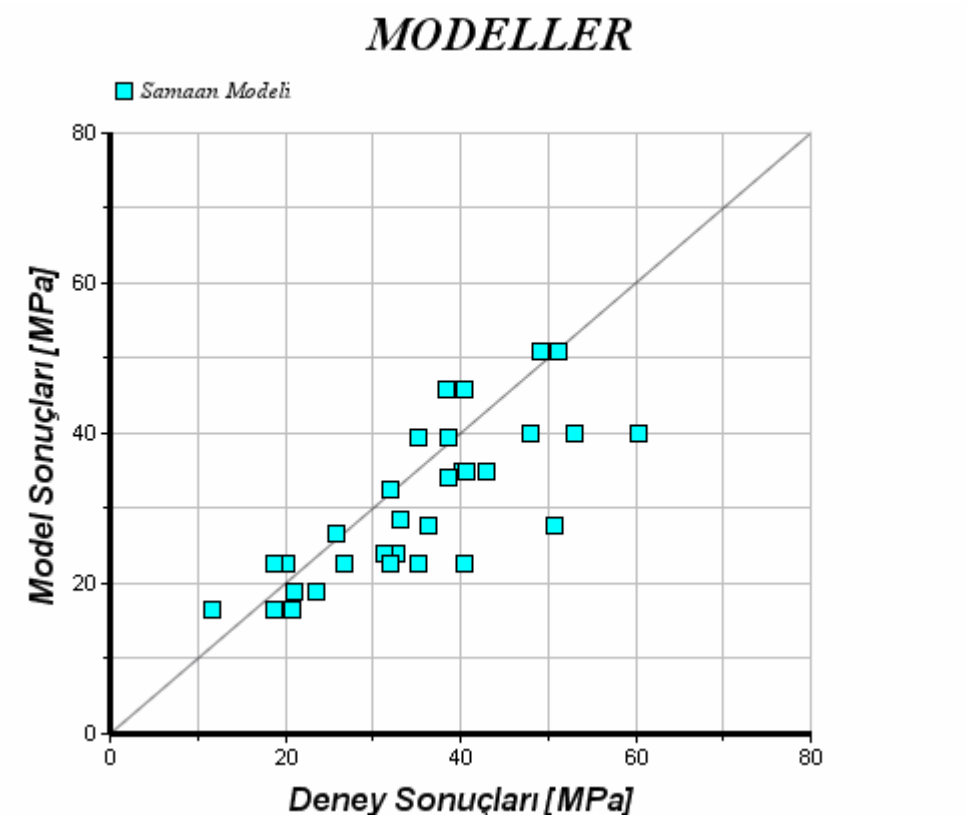
İkinci grup olarak 1.5 ve 2 arasındaki değerler ve 2'ye eşit değerler incelenmiştir. Bu aralık en-boy etkisinin en iyi gözlemlendiği aralıktır. 1.5-2 aralığına giren elemanların LP ile sargılanması birçok yönetmelik tarafından yasaklanmıştır. Modeller de bu değerlerin hesaplamasında güçlük çekmektedir. Örneğin Şekil 6.53'de görülen Lam ve Teng modelinin [1] grafiğinde, dağılımın hep ortalama çizgisinin altında kaldığı görülmektedir. Bunun anlamı, sözü geçen modelin öngördüğü değerlerin, deney sonucu elde edilen değerlerin hep altında kaldığıdır. Diğer üç model nispeten daha iyi sonuçlar vermekte ve bu Şekil 6.54'ten 6.56'ya kadar olan grafiklerinden de görülmektedir. Tablo 6.14'de görülen değerlere göre ise İlki 2007 modeli [4] bu tip elemanlarda en iyi sonucu vermektedir.

Tablo 6.14 : Modellerin $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

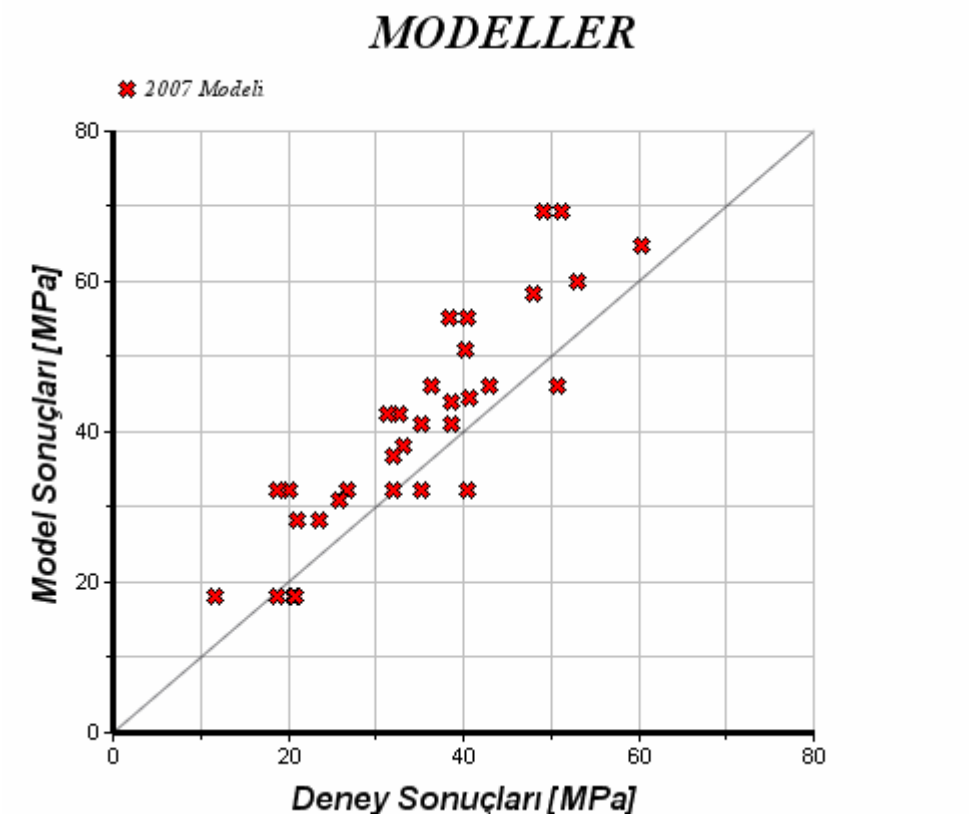
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.642	1.173	0.866	1.181
σ	0.532	0.256	0.158	0.216



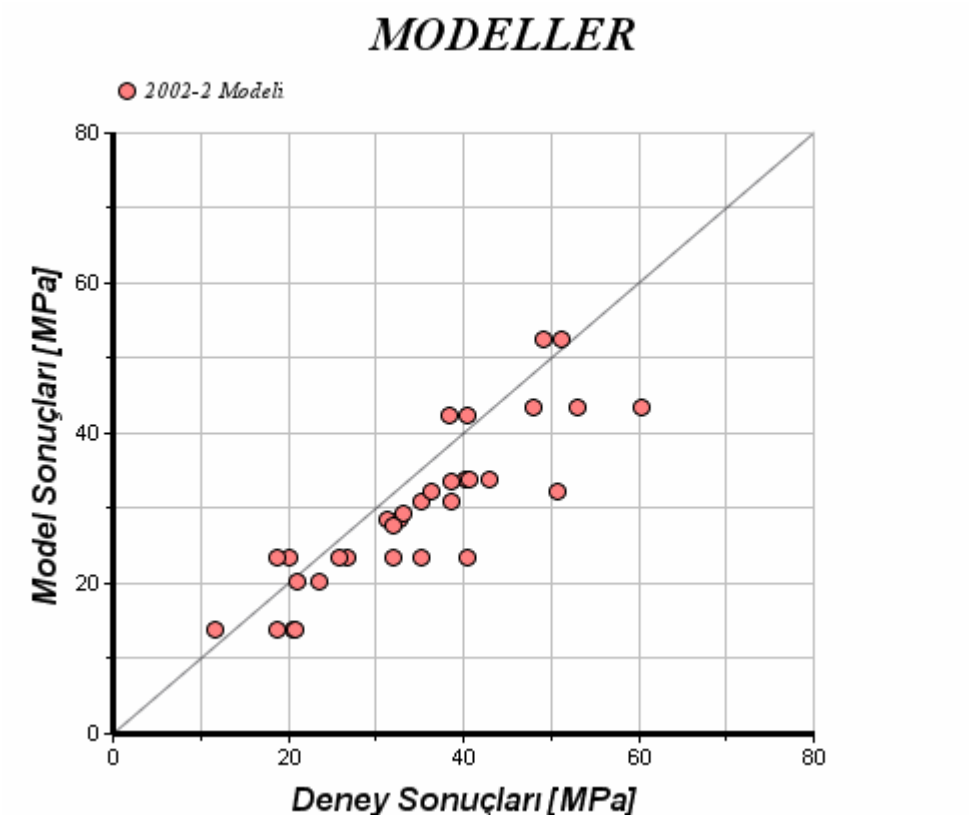
Şekil 6.53 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.54 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.55 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



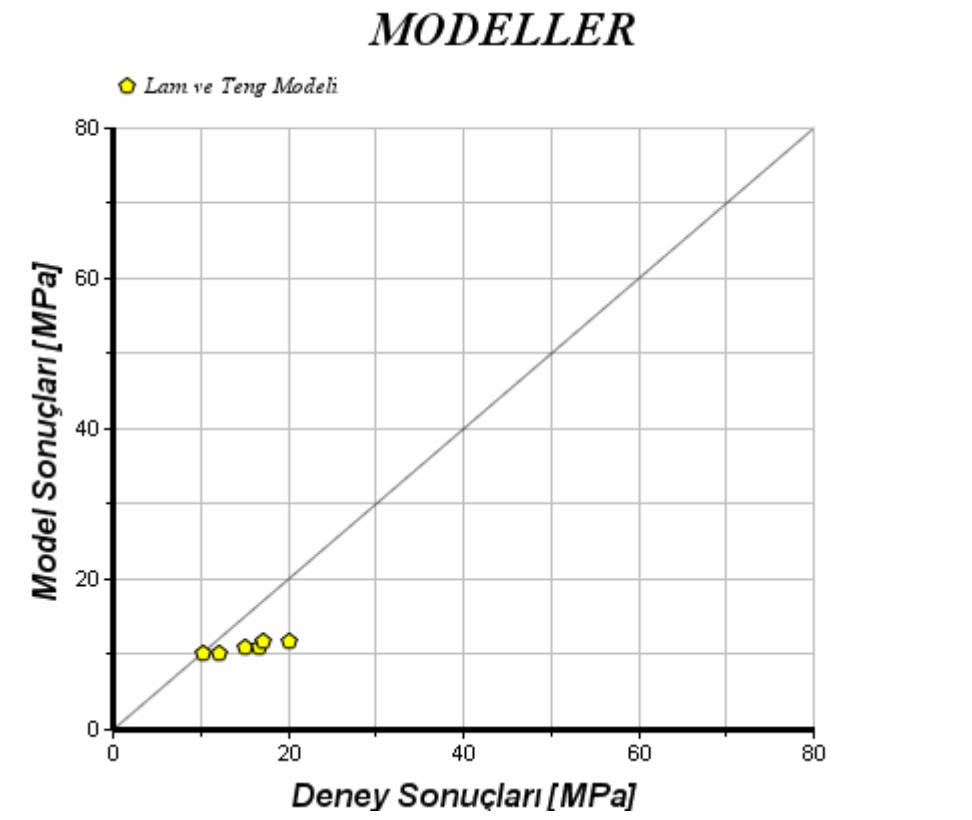
Şekil 6.56 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.5.3. $h/b > 2$

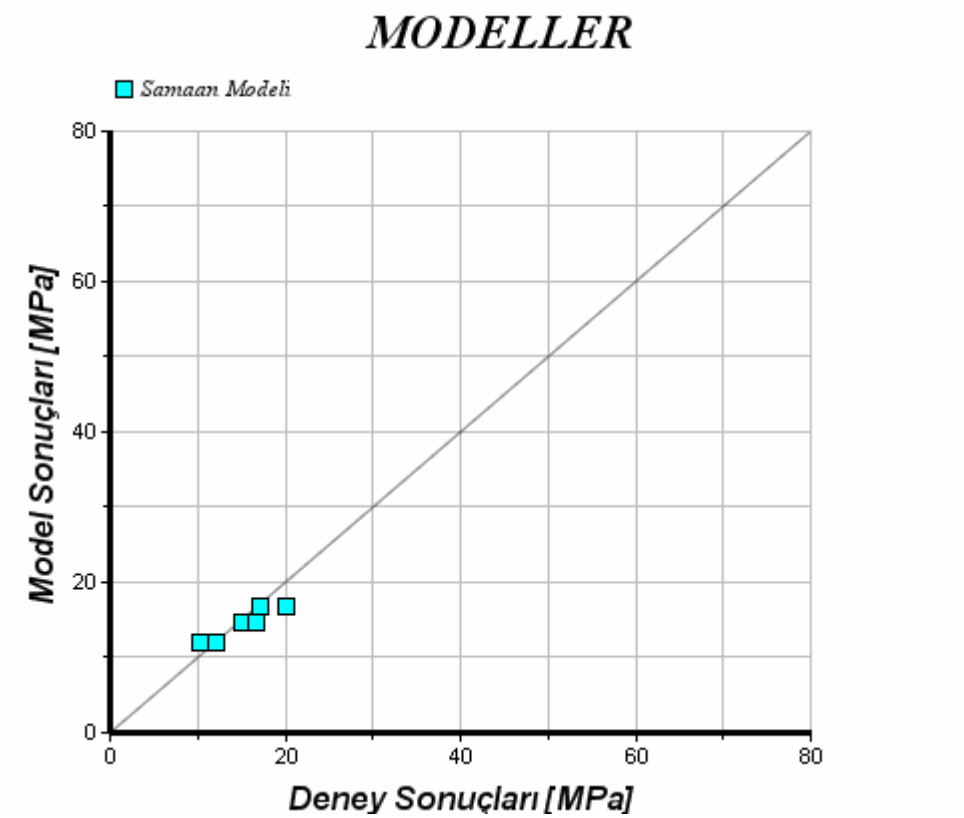
En-boy oranının 2'den büyük olduğu numune sayısı çok azdır. Bu nedenle buradan elde edilecek olan sonuçlar gerçeği yansıtmakta yetersiz kalacaktır. Fakat yinede Şekil 6.57'den 6.60'a kadar modellerin grafikleri verilmiş ve Tablo 6.15'te gerekli veriler ortaya konmuştur. En iyi sonuçları doğal olarak numunelerin veri olarak kullanıldığı İlki 2002b modeli [3] ve Samaan modeli [2] vermektedir. Lam ve Teng modeli [1] kötü sonuçlar verirken, incelenen üç aralıkta da nispeten iyi sonuçlar veren İlki 2002b [3] modelinin, dayanım için önerdiği ifadede en-boy oranına bağlı bir katsayı içerdiği unutulmamalıdır.

Tablo 6.15 : Modellerin $2 < (h/b)$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

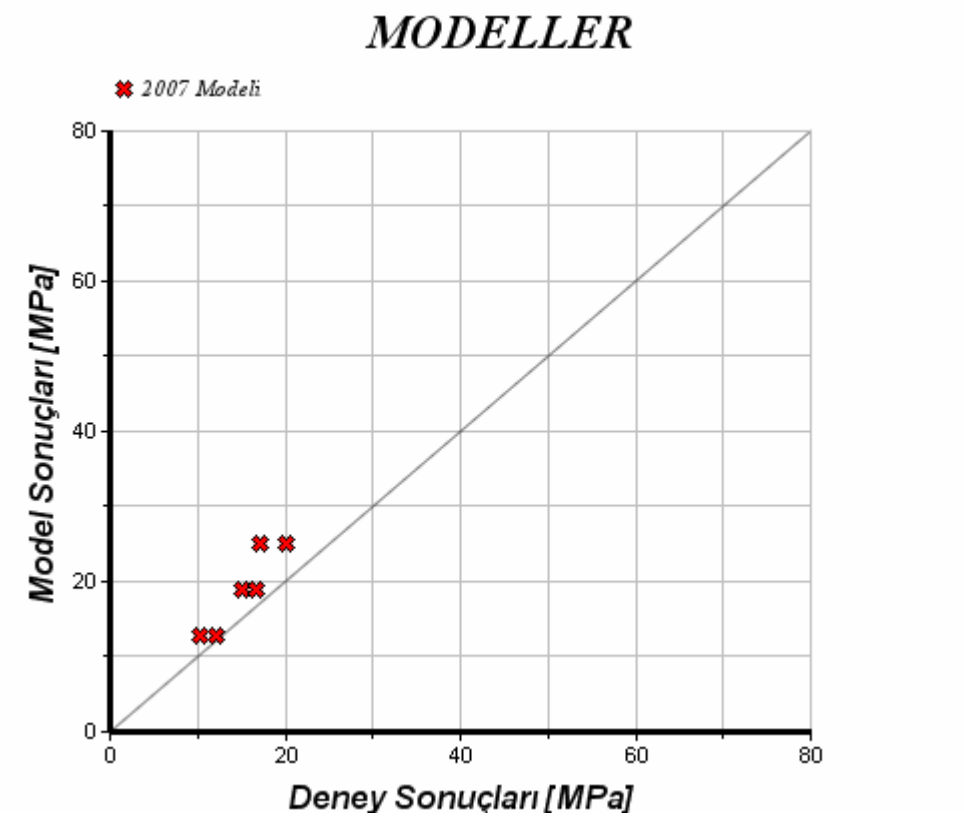
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.384	1.033	0.814	1.130
σ	0.236	0.110	0.078	0.102



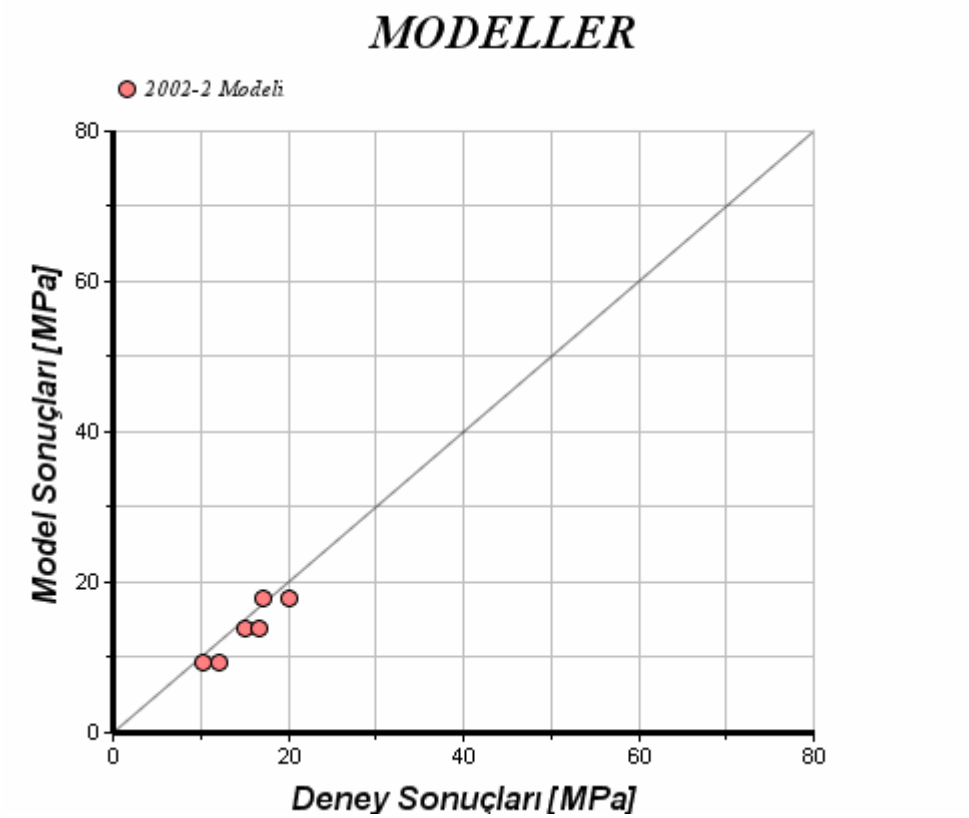
Şekil 6.57 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.58 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.59 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.60 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.6. Sargı Miktarının Etkisi

LP ile sargılanan elemanların davranışında diğer bir önemli etken sargı miktarıdır. Sargı miktarı terimi ile LP sargılamanın elemanda yarattığı yanal basıncın, numune ilk dayanımına oranı kastedilmektedir. Buradaki f_l değeri için tüm modellerde farklı bir tanım yapıldığı için İlki 2002b [3] modelinde tanımlanan f_l değeri esas alınmıştır. Bu değer içerisinde şekil faktörünü, LP malzemenin elastisite modülünü, kabul edilen kopmada uzamasını ve LP pursantajını içermektedir.

İnceleme için veri tabanı diğer kısımlarda olduğu gibi üç gruba ayrılmıştır. Birinci grup, (f_l/f_{co}) oranı 0.25'den küçük olanlardan, ikinci grup 0.25 ve 0.5 değeri arasında kalanlardan ve üçüncü ise 0.5 değerinden büyük olan numunelerden oluşmaktadır.

6.1.6.1. $f_l/f'_{co} < 0.25$

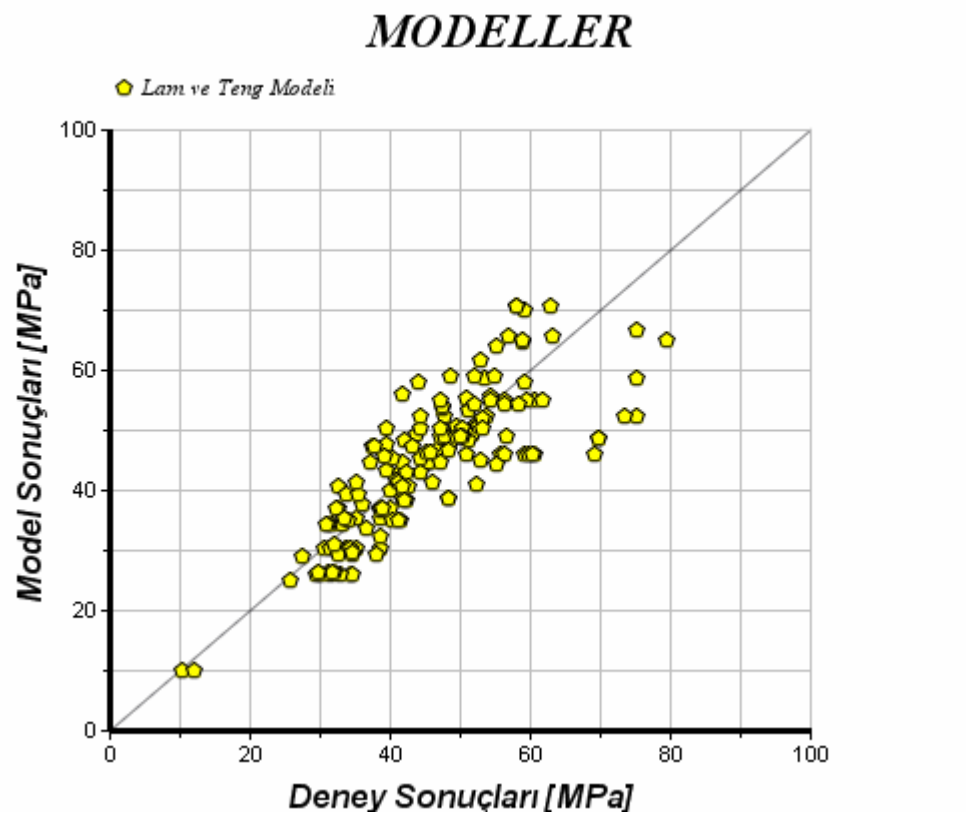
İlk grup olarak yanal basıncı, ilk dayanımının %25'inden az olan elemanlar alınmıştır. Bu gruba veri tabanından 163 eleman dahil olmaktadır. Bu numunelerin

82 adedi daire kesitli, 70 adedi kare kesitli ve geri kalan 11 adedi dikdörtgen kesitli elemanlardır.

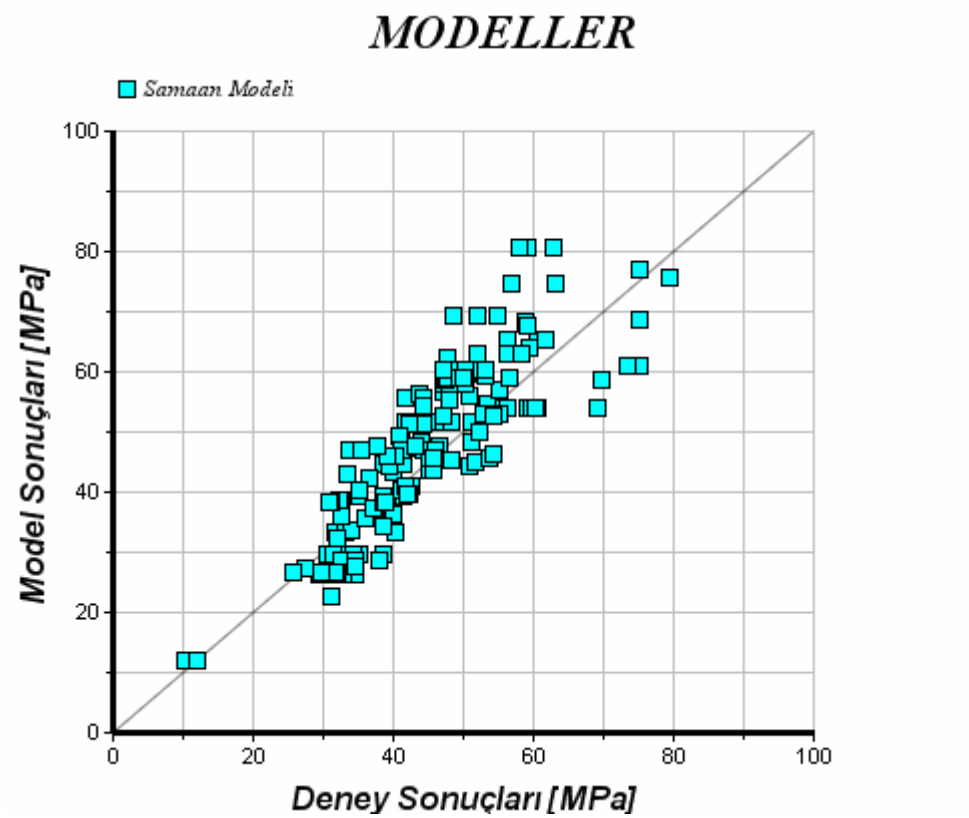
Şekil 6.61, 6.62, 6.63 ve 6.64'de ki grafiklerden ve Tablo 6.16'daki sayısal verilerden anlaşılacağı gibi, ilk dayanıma göre az bir sargılamaya tekabül eden bu aralıkta modellerin hepsi iyi sonuçlar vermektedir. Tüm değerler birebir doğrusuna yakındır ve standart sapmalar düşüktür. En iyi sonuç ise en uygun ortalama ile İlki 2007 [4] modeli tarafından verilmektedir. Bu durum düşük sargılama oranlarında tüm modellerin kabul edilebilir sınırlar içinde sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Tablo 6.16 : Modellerin $(f_l / f_{co}) < 0.25$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

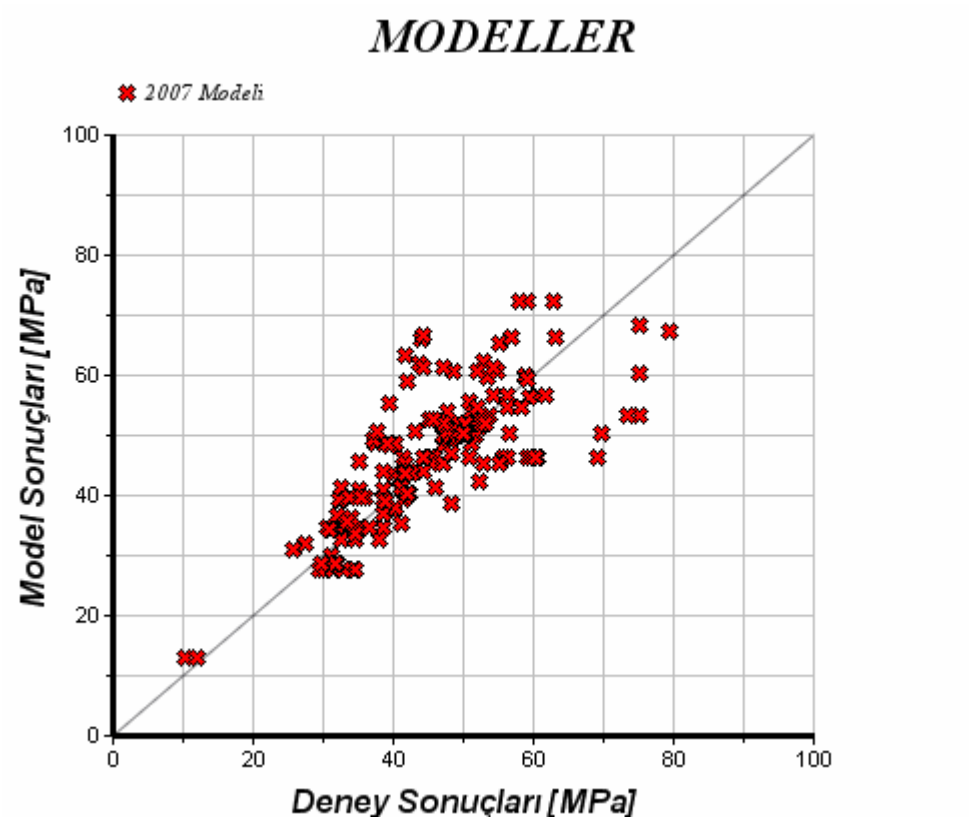
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.037	0.966	0.985	1.026
σ	0.151	0.149	0.155	0.164



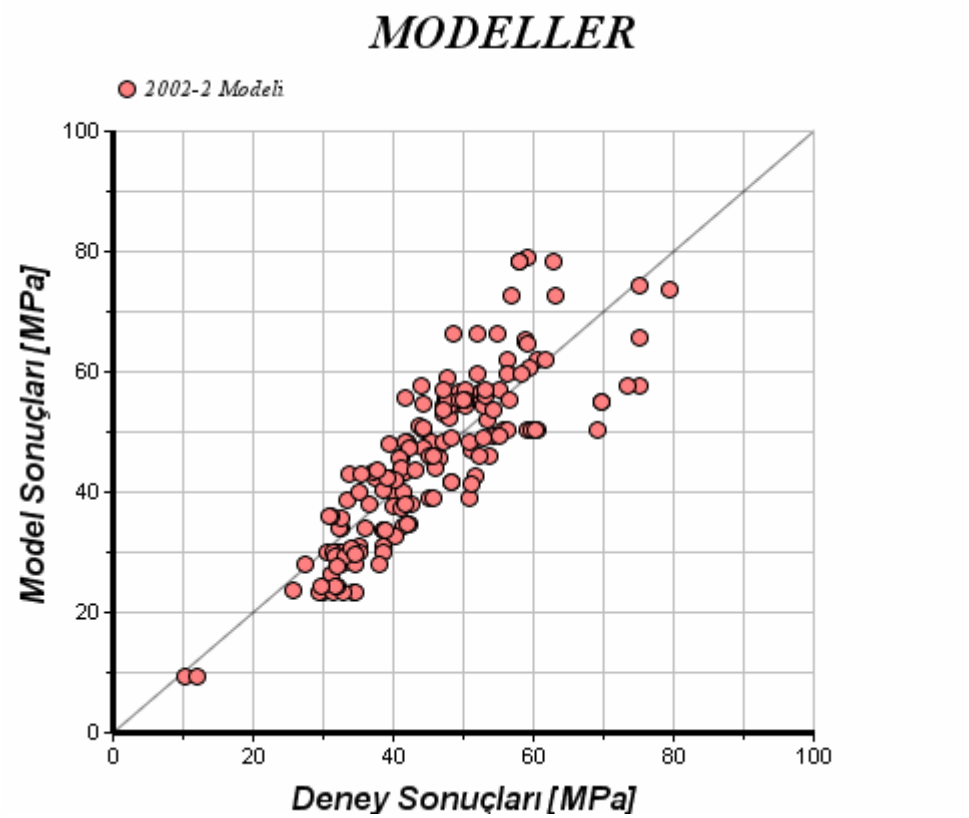
Şekil 6.61 : $(f_l / f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.62 : $(f_l / f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.63 : $(f_l / f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



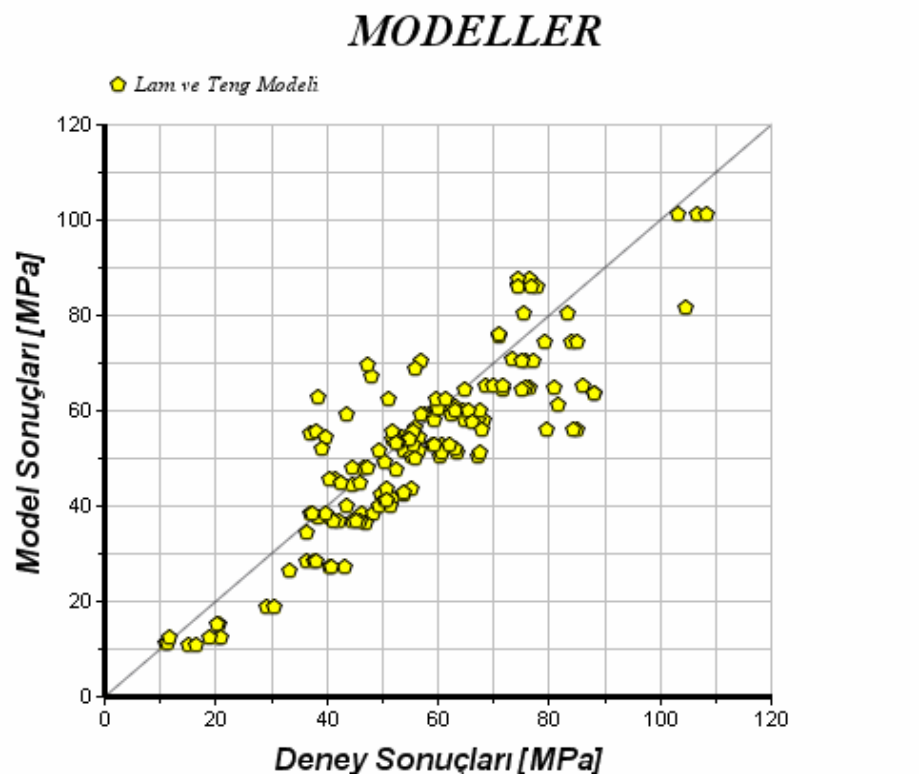
Şekil 6.64 : $(f_l/f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.6.2. $0.25 \le (f_l/f_{co}) \le$ 0.5

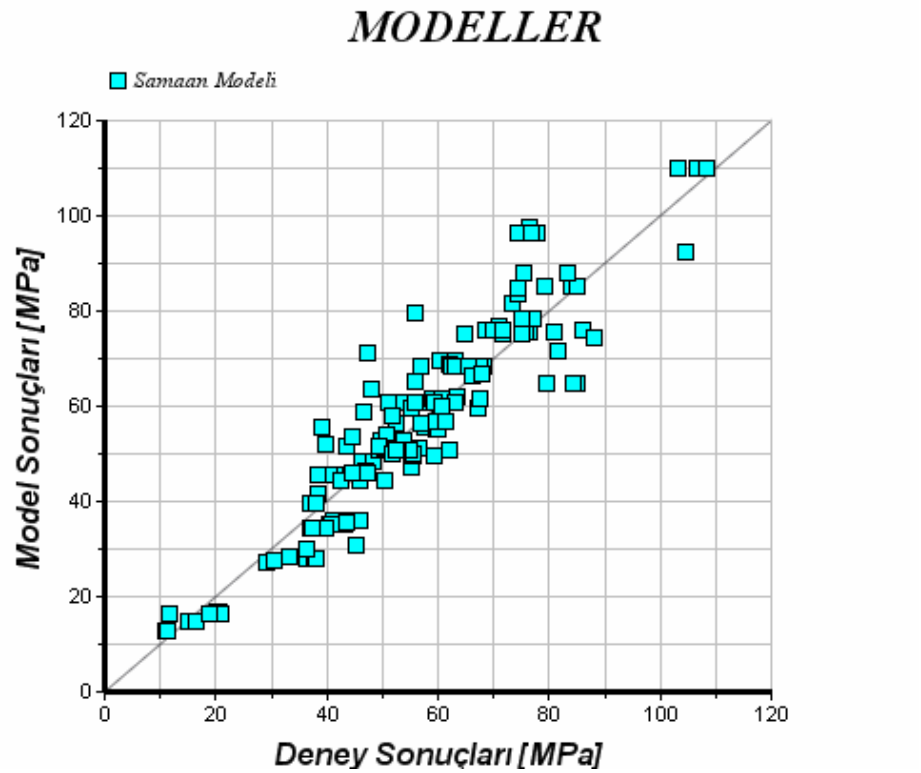
İkinci grubu oluşturan numune sayısı da 149'dur. Bunların 81 adedi daire, 52 adedi kare ve 16 adedi dikdörtgen kesitlidir. Bir önceki kısımda olduğu gibi bu aralıkta da modeller tutarlı sonuçlar vermektedir. Sadece Lam ve Teng modeli [1] diğer üç modele nazaran daha büyük bir ortalama vermektedir. Şekil 6.65'den Şekil 6.68'e kadar olan grafiklerde dağılımlarda önemli bir özellik görülmemektedir. Tablo 6.17 durumu özetler niteliktedir.

Tablo 6.17 : Modellerin $0.25 \le (f_l/f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

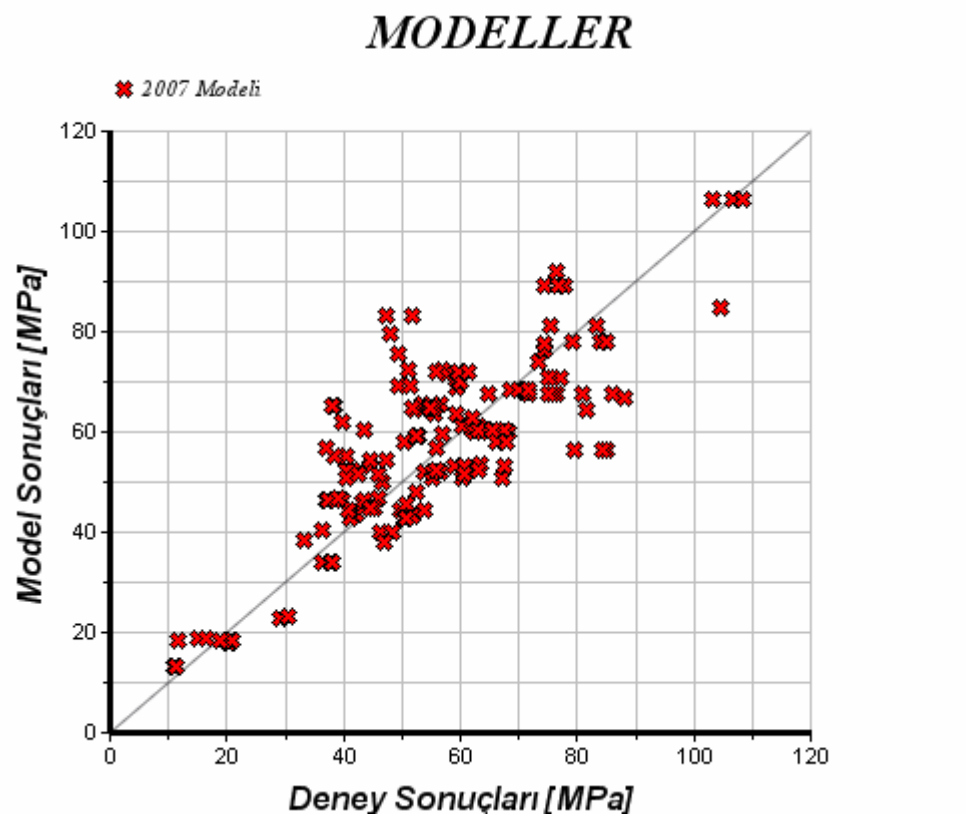
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.037	0.966	0.985	1.026
σ	0.151	0.149	0.155	0.164



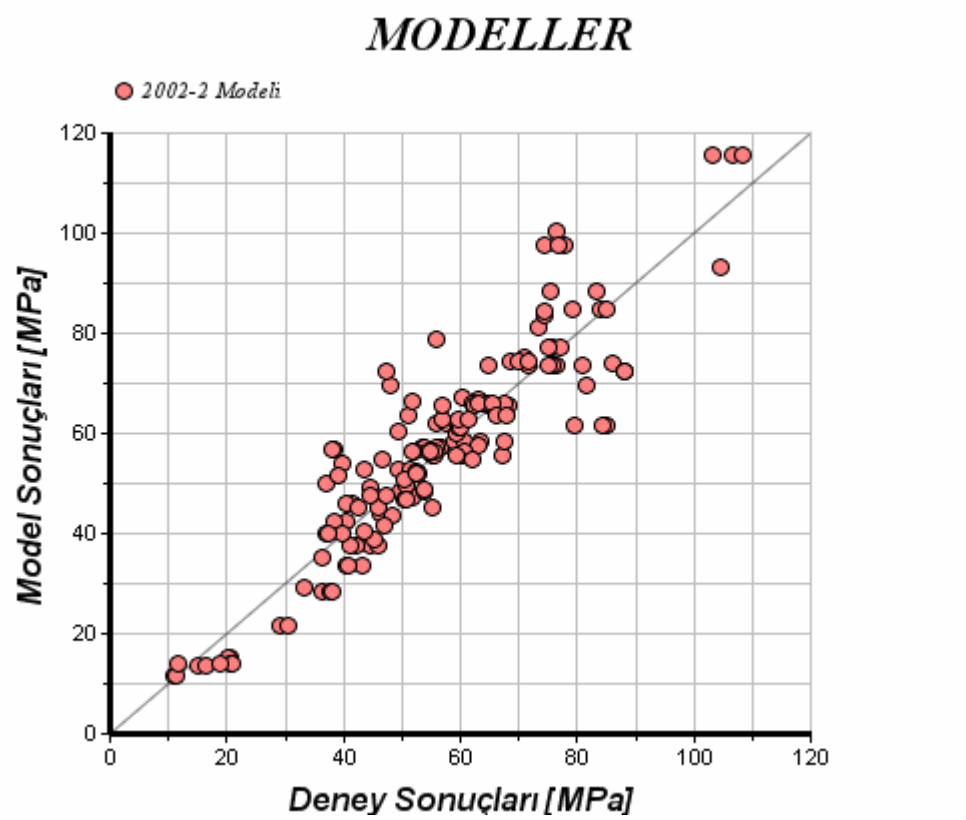
Şekil 6.65 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.66 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.67 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.68 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

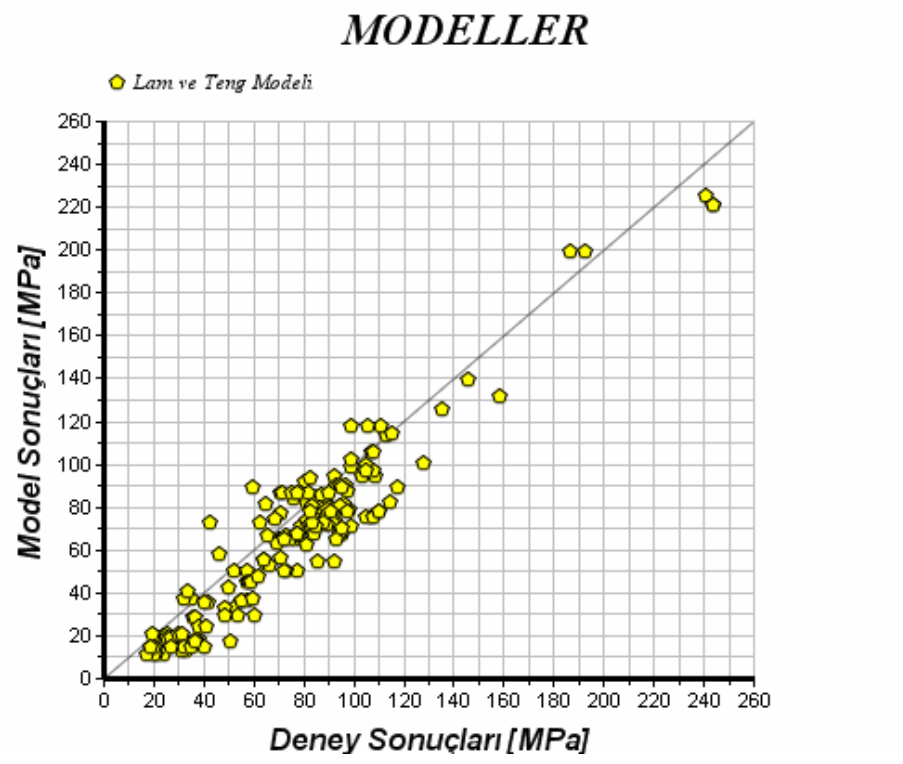
6.1.6.3. $f_l / f'_{co} > 0.5$

Son grup, yanal sargı basıncının betonun ilk basınç dayanımına oranı 0.5'ten büyük olan 180 numuneyi içermektedir. Bu numunelerin 133 adedi daire, 24 adedi kare ve 23 adedi dikdörtgen kesitlilerden oluşmaktadır. Şekil 6.69'dan Şekil 6.72'ye kadar modellerin dağılımları görülmektedir. Bunlardan Lam ve Teng modelini [1] göstermekte olan grafiğin ağırlık merkezinin birebir doğrusunun altına düştüğü ve değerlerin birebir doğrusu üzerine yoğunlaşmak yerine kenarlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum Tablo 6.18'de de görülmektedir. Ayrıca en iyi sonuç İlki 2007 modeli [4] tarafında verilmektedir.

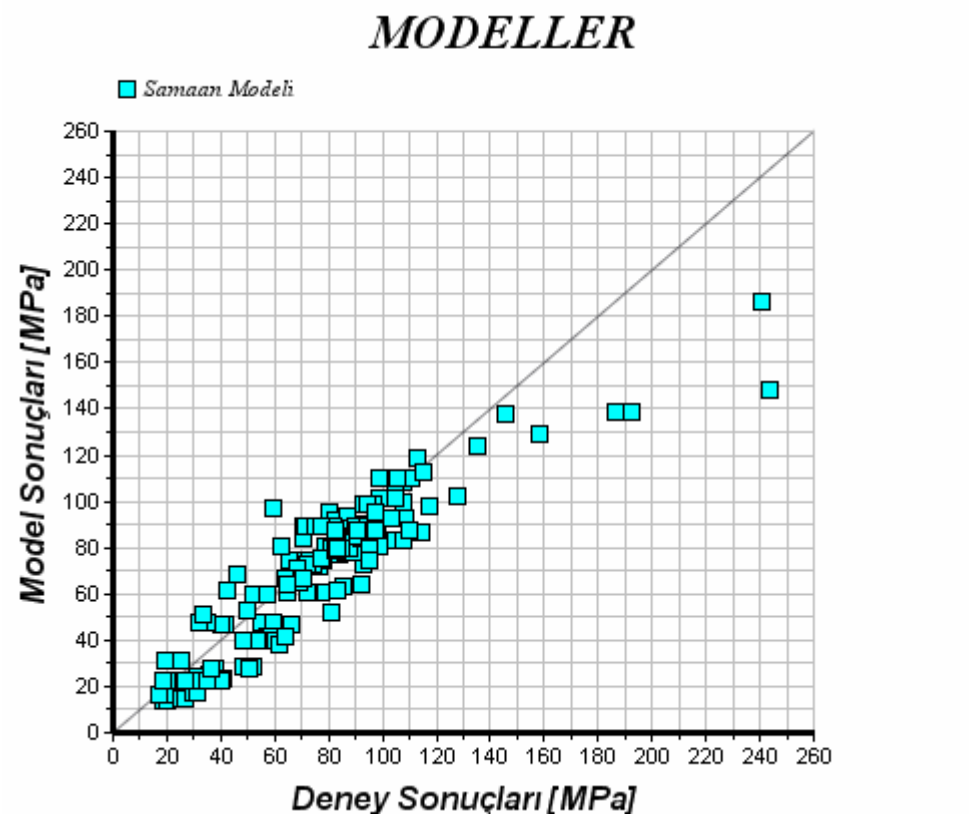
Sonuçta, bu üç kısımdan anlaşılacağı gibi sargılama miktarı arttıkça bazı modeller için dayanımı öngörmek zorlaşmaktadır. Bu durum Lam ve Teng modelinde [1] bariz bir şekilde görülürken, Samaan modelinde [2] de üçüncü kısımda göze çarpmaktadır.

Tablo 6.18 : Modellerin $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

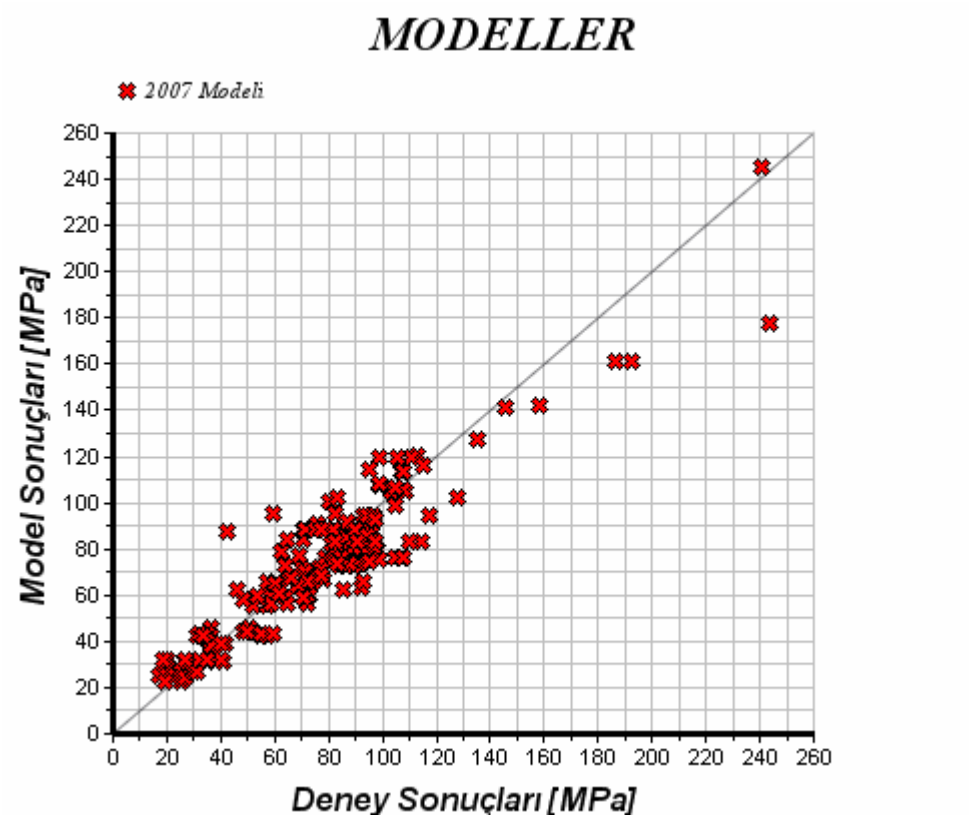
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.250	1.135	1.035	1.087
σ	0.356	0.251	0.182	0.192



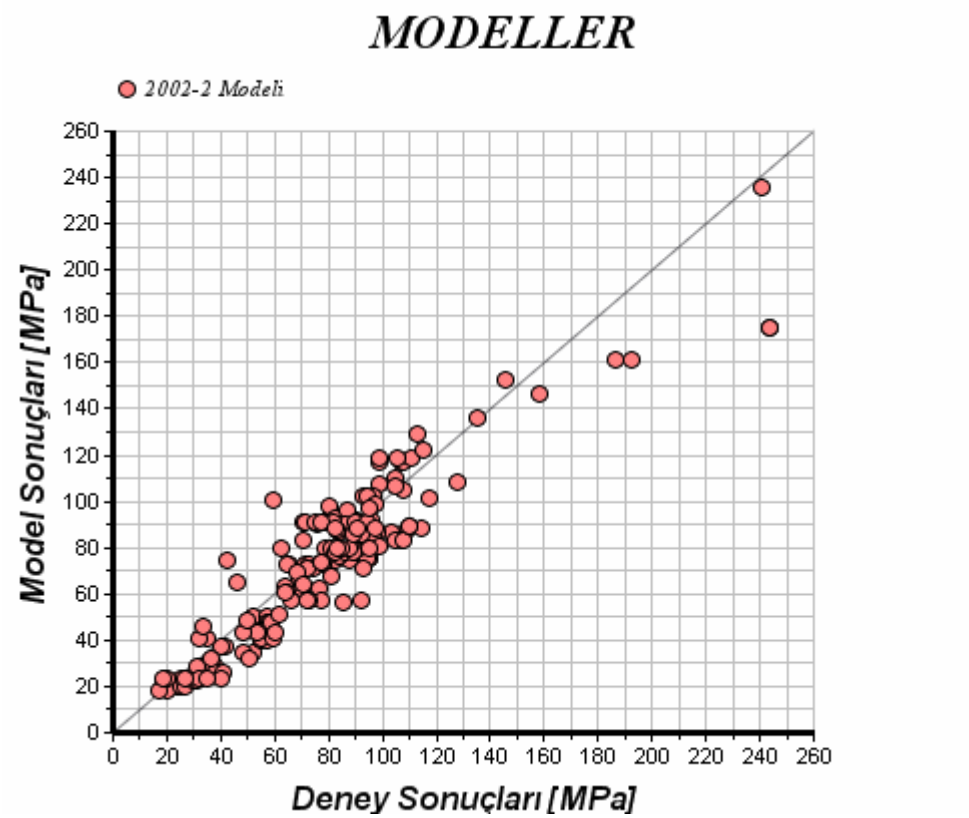
Şekil 6.69 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.70 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.71 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.72 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.7. Köşe Yarıçapının Etkisi

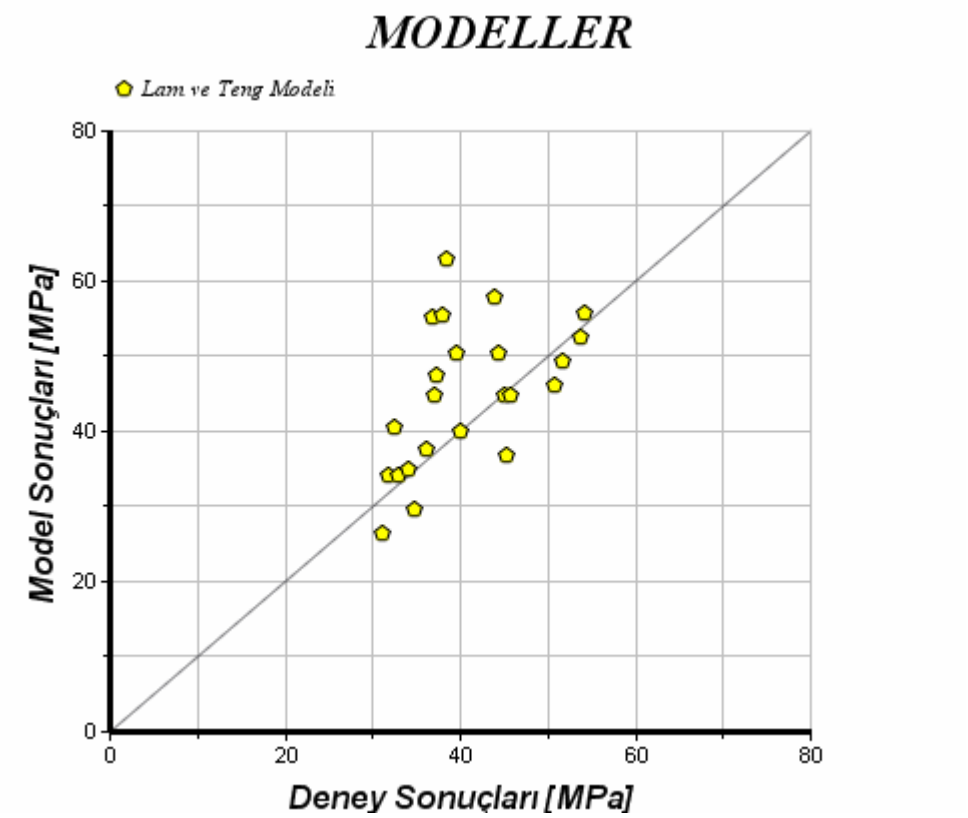
Son karşılaştırma konusu olarak köşe yarıçapının etkisi irdelenmiştir. Daha önce de açıklandığı gibi yarıçap, LP ile sargılanmış kare ve dikdörtgen kesitlerin dayanımlarındaki önemli etkenler arasındadır. Aynı ilk dayanıma sahip, aynı oranda güçlendirilmiş numuneler arasında köşe yarçapı büyüdükçe (yani kesit daireye ya da elipse yaklaştıkça) dayanım artmaktadır. İlki ve diğ. [5], 2004'te yaptıkları çalışmada bu durum açık bir şekilde görülmektedir.

6.1.7.1. $r <$ 10 mm

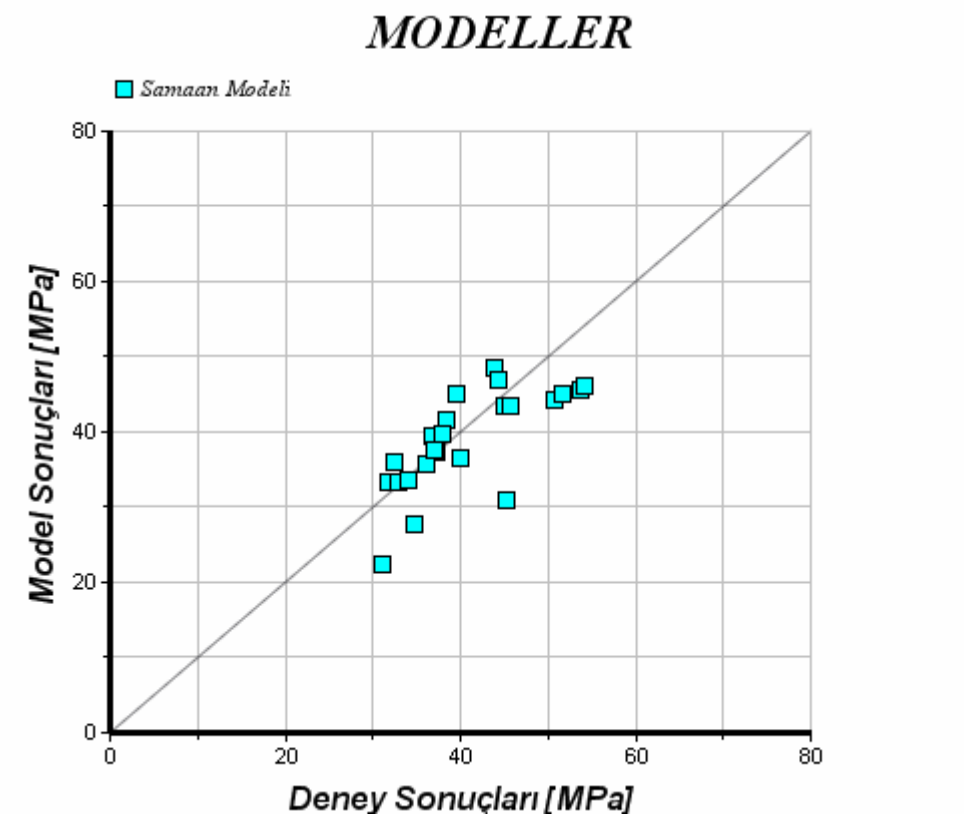
İlk irdeleme grubu olarak köşe yarıçapı 10 mm'den küçük olan elemanlar alınmıştır. Bu gruba 23 adet numune girmektedir ve bunların biri dışında tamamı kare kesitlidir. Tablo 6.19'da gerekli sayısal veriler görülebilmektedir. Şekil 6.73, 6.74, 6.75 ve 6.76'da sırasıyla Lam ve Teng modeli [1], Samaan modeli [2], İlki 2007 modeli [4] ve İlki 2002b [3] modelleri verilmektedir. Sonuçlara göre, göreceli olarak en büyük standart sapmaya sahip olsada, en iyi ortalamanın İlki 2002b modeli [3] tarafından verildiği görülmektedir.

Tablo 6.19 : Modellerin $r < 10mm$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

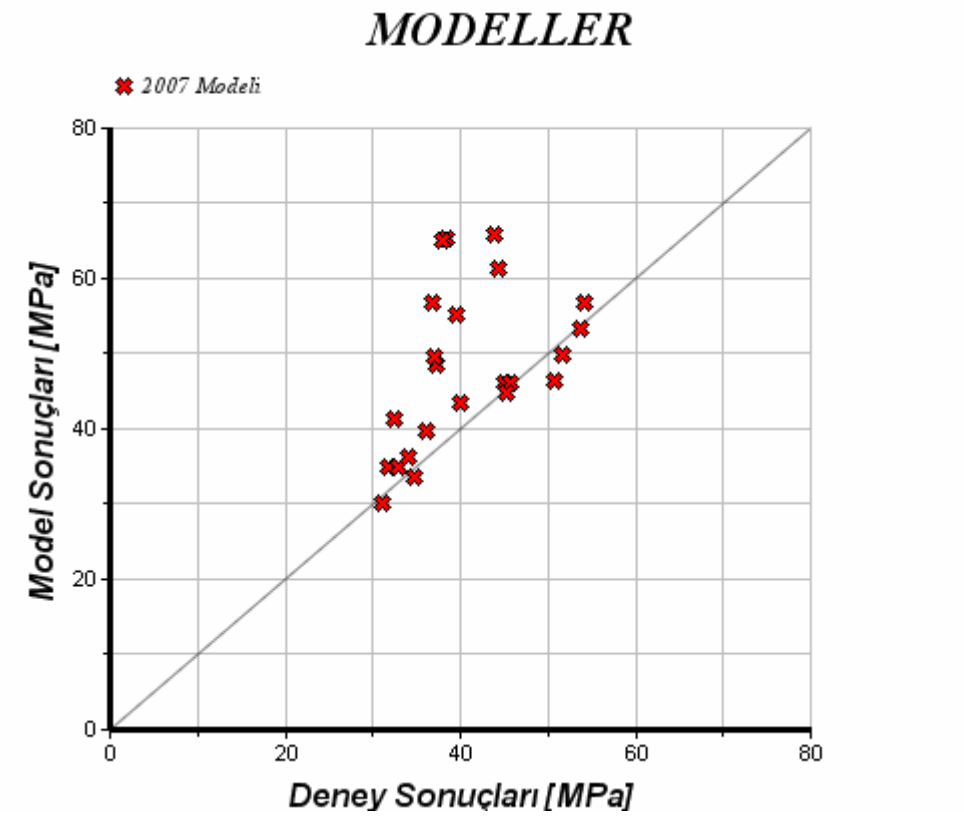
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	0.929	1.057	0.869	1.011
σ	0.163	0.150	0.154	0.185



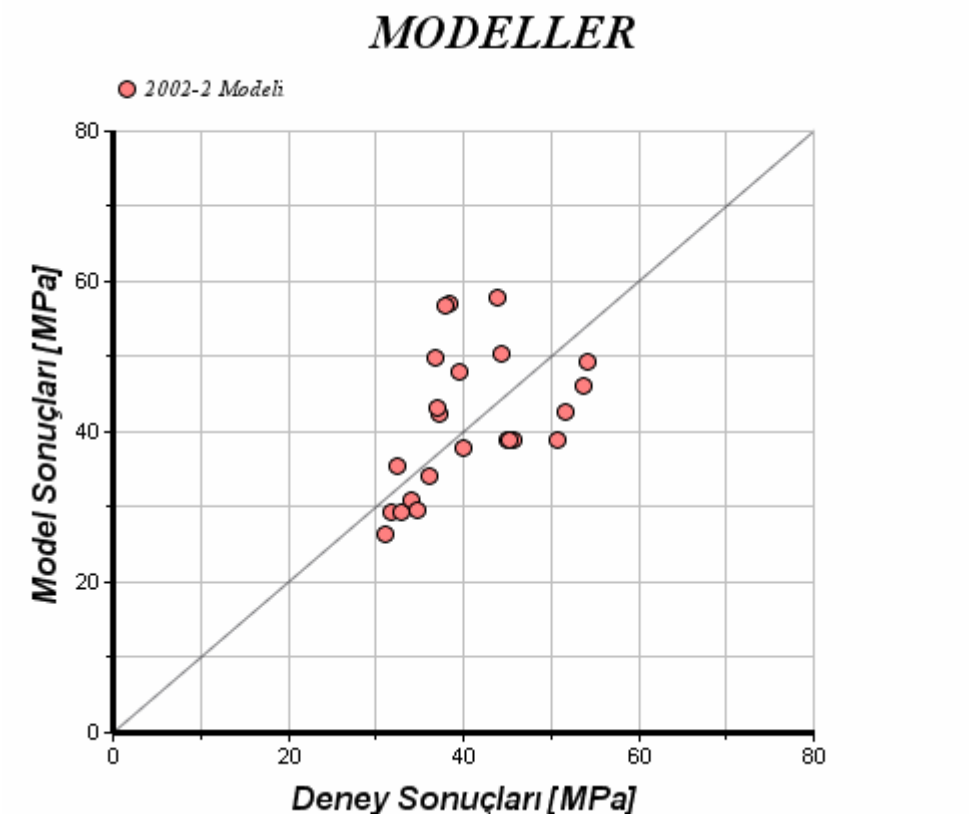
Şekil 6.73 : $r < 10mm$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.74 : $r < 10mm$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.75 : $r < 10mm$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



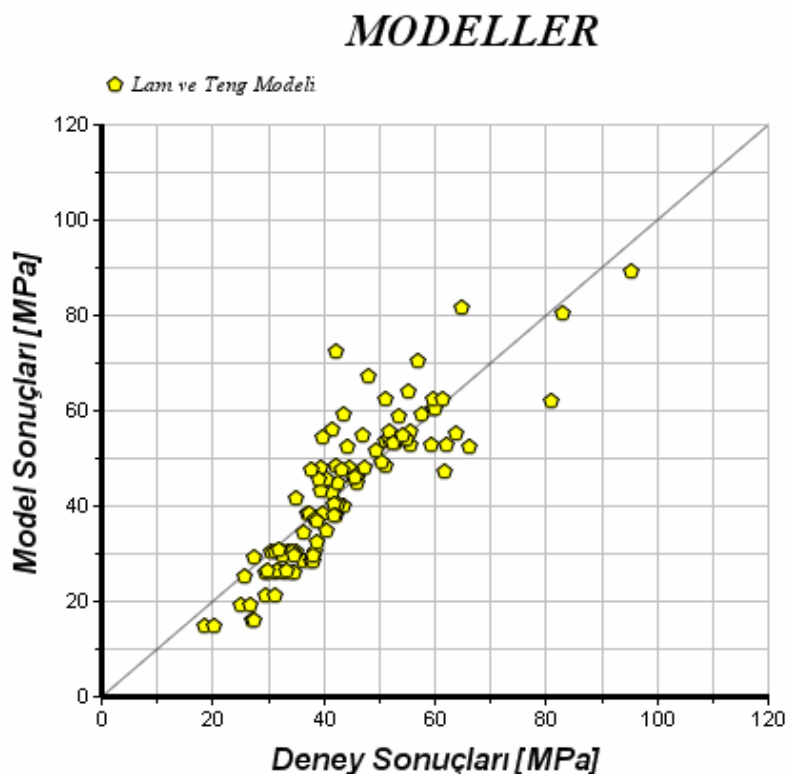
Şekil 6.76 : $r < 10mm$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.7.2. 10 mm $\leq r \leq$ 30 mm

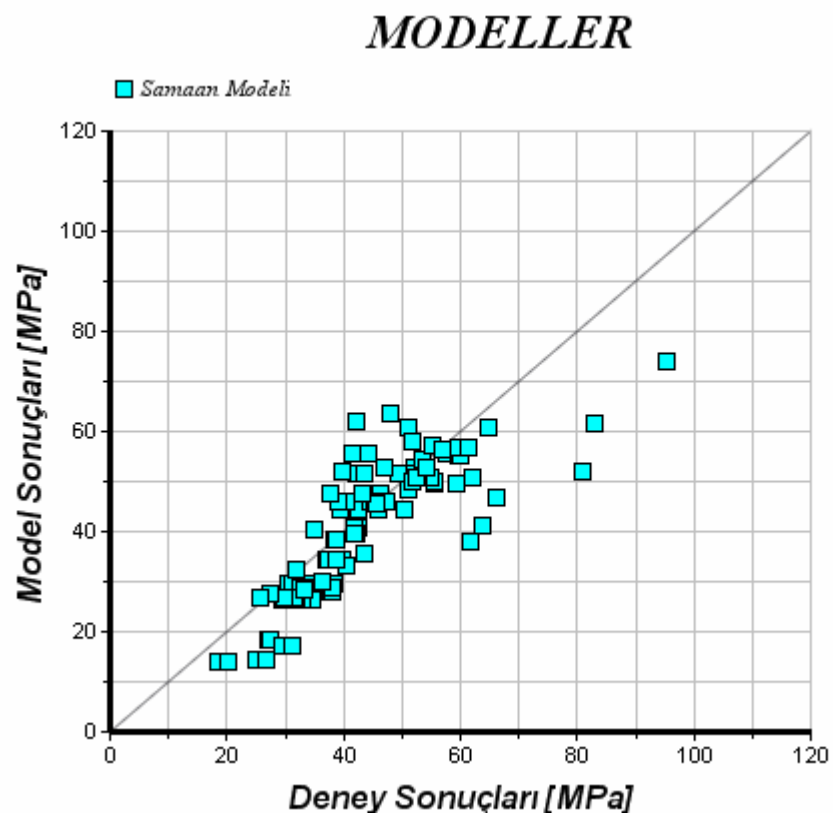
İkinci grup olarak 104 adet numune içeren, köşe yarıçapı 10 mm ile 30 mm arasında değişen küme kullanılmıştır. Bunların 92 adedi kare kesitli numunelerden oluşmaktadır. Şekil 6.77'de görülen Lam ve Teng modeli [1] ile Şekil 6.80'de görülen İlki 2002b modelinin [3] verdiği sonuçlar diğer iki modele göre daha başarılı görünmektedir. Samaan modeli [2] birebir doğrusunun altına doğru, İlki 2007 modeli [4] ise üzerine doğru eğilimler göstermektedir. Bu durum Tablo 6.20'de da görülebilmektedir. Şekil 6.78 ve 6.79'da da Samaan [2] ve İlki 2007 modelleri [4] görülmektedir. İstatistiki verilere dayanarak en iyi sonuçları Lam ve Teng modeli [1] ile İlki 2002b modelinin [3] verdiği, göreceli olarak kötü sonuçlarıda Samaan [2] ve İlki 2007 modelinin [4] verdiği görülmektedir.

Tablo 6.20 : Modellerin $10mm \leq r \leq 30mm$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

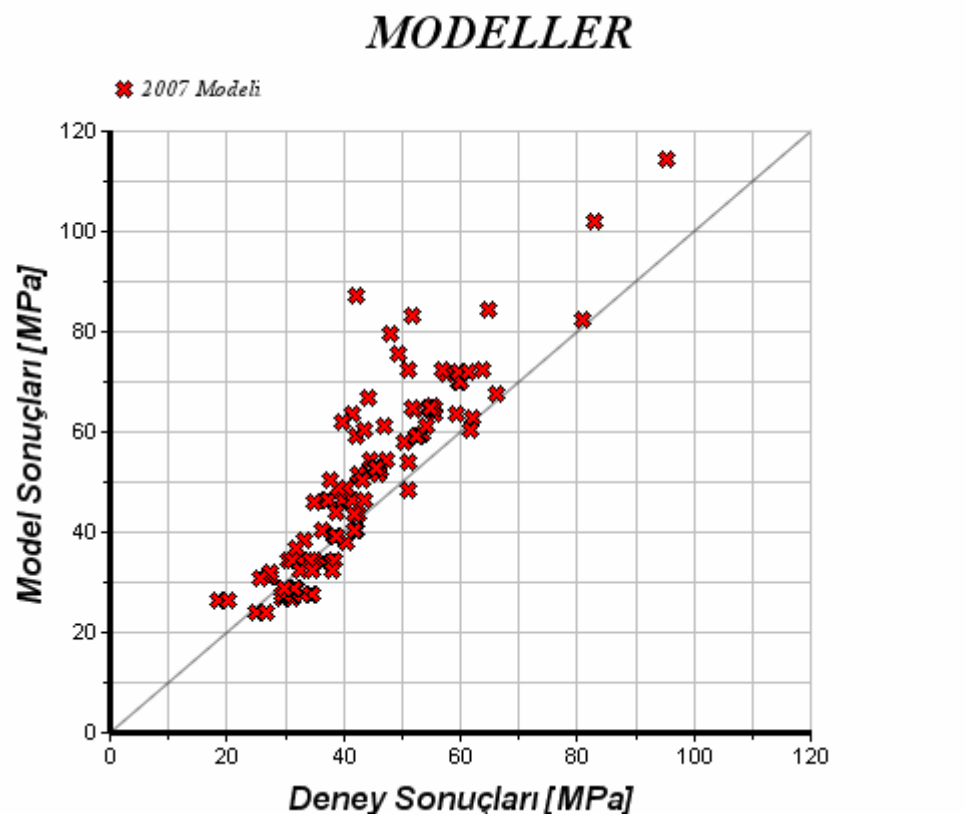
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.062	1.115	0.903	1.061
σ	0.192	0.224	0.144	0.173



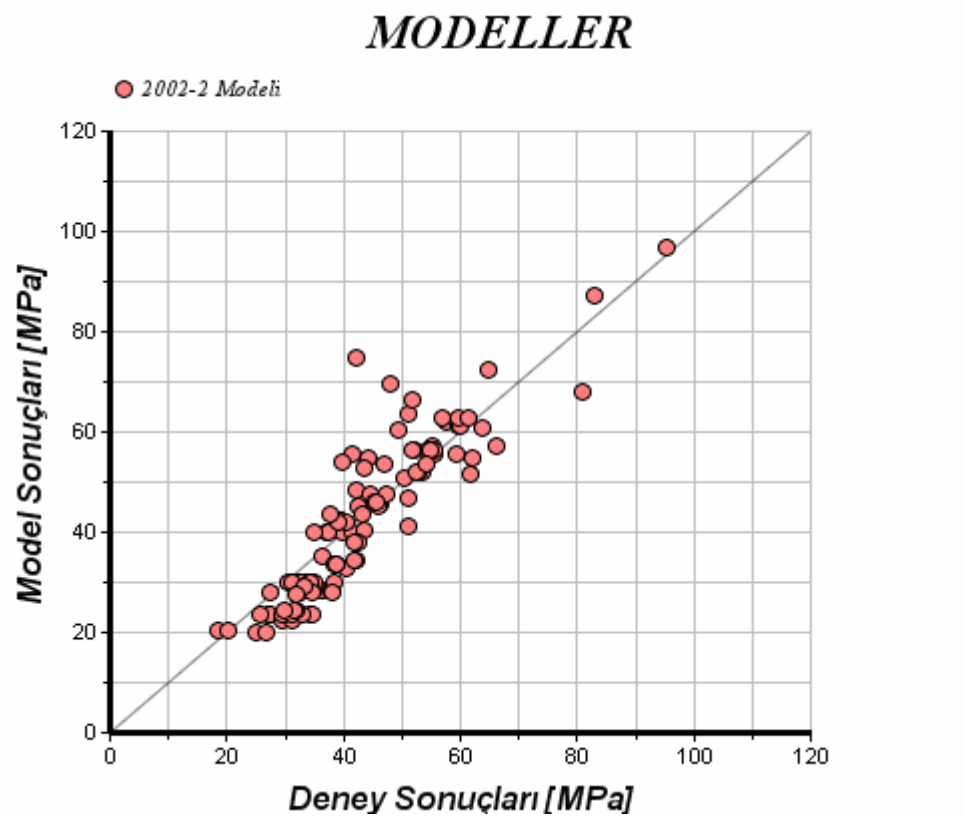
Şekil 6.77 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.78 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.79 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



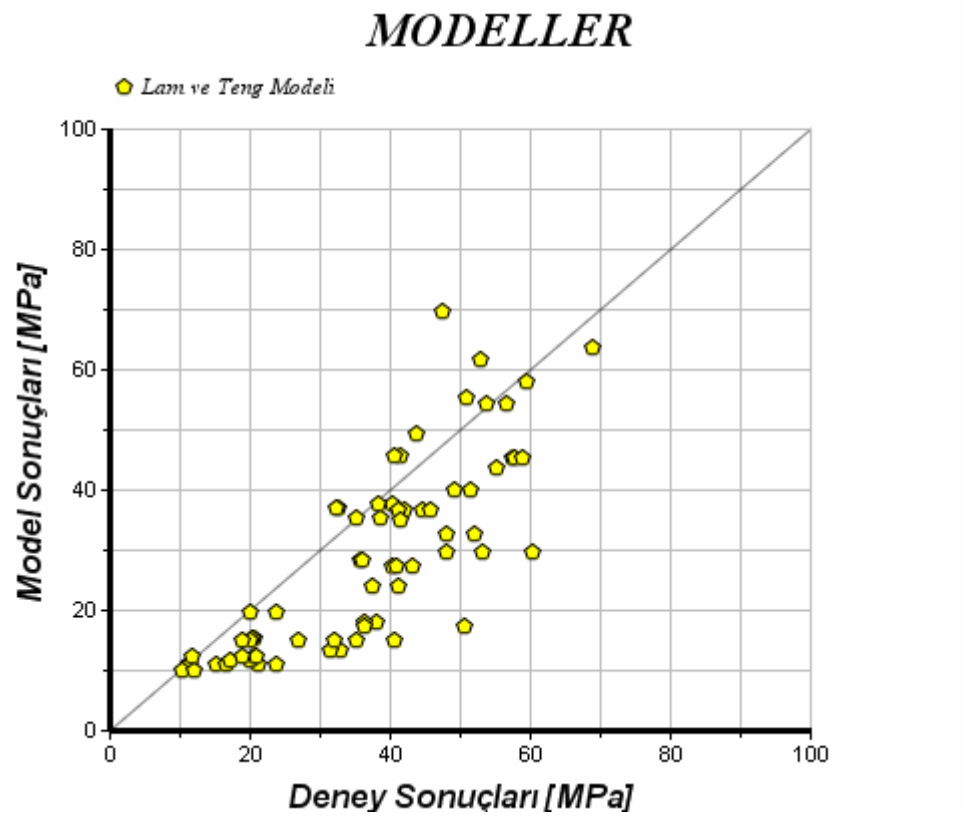
Şekil 6.80 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.7.3. $r >$ 30 mm

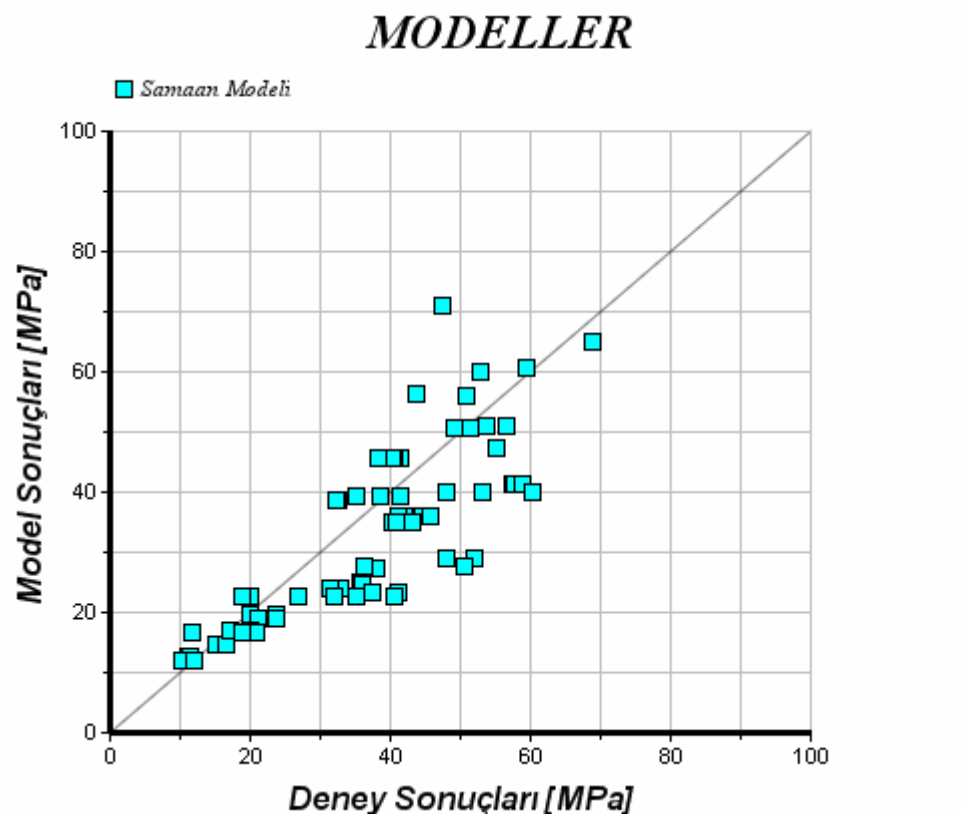
Veri tabanında köşe yarıçapı 30 mm'den büyük 69 eleman bulunmaktadır. Bunların 32 adedi kare, 37 adedi dikdörtgen kesitlidir. Köşe yarıçapının etkisi özellikle bu aralıkta belirginleşmektedir. Şekil 6.81, Lam ve Teng modelinin [1] 30 mm'den büyük köşe yarıçapı olan elemanlar için öngördüğü dayanım ve deney sonucu elde edilen dayanımları karşılaştırmaktadır. Bu durum için söz konusu modelin tahminlerinin başarılı olmadığı görülmektedir. Noktaların ağırlık merkezi tamamiyle aşağıya kaymış ve noktalar doğrusal olmaktan çıkıp dağınık bir yerleşim izlemişlerdir. Bunun sonucu olarak 1.4 mertebesinde bir ortalama ve 0.48 mertebesinde bir standart sapma meydana gelmiştir (Tablo 6.21). Şekil 6.82'den 6.6.84'e diğer grafikler verilmiştir.

Tablo 6.21 : Modellerin $30mm < r$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

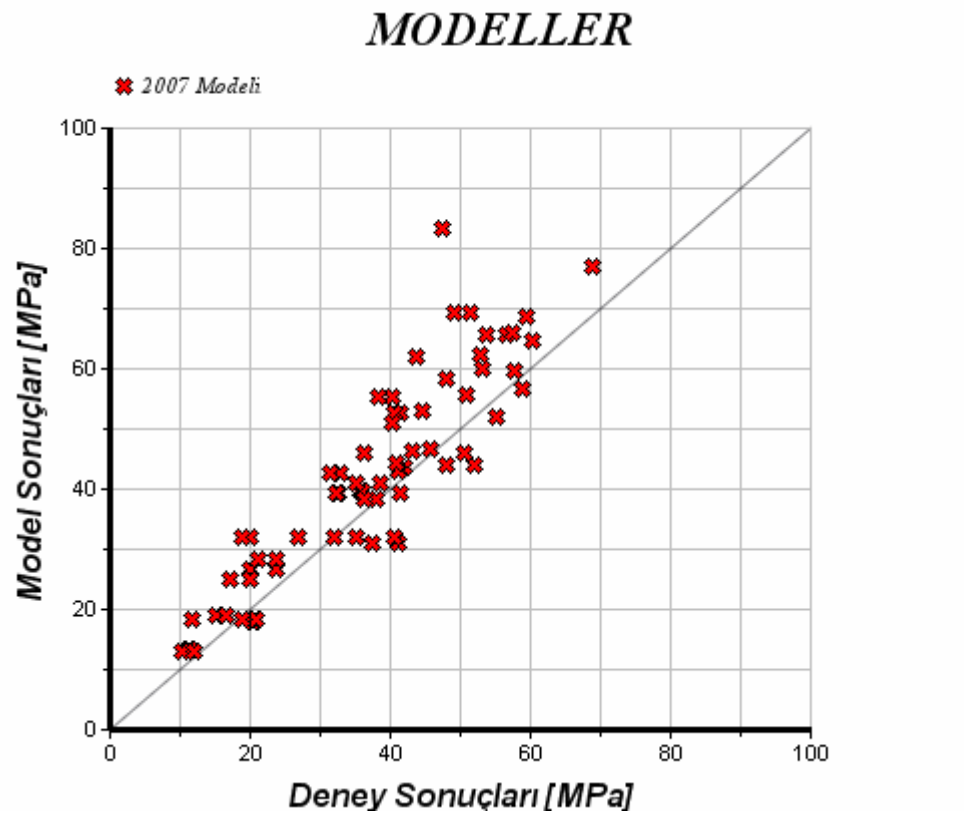
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.425	1.167	0.894	1.152
σ	0.476	0.268	0.158	0.209



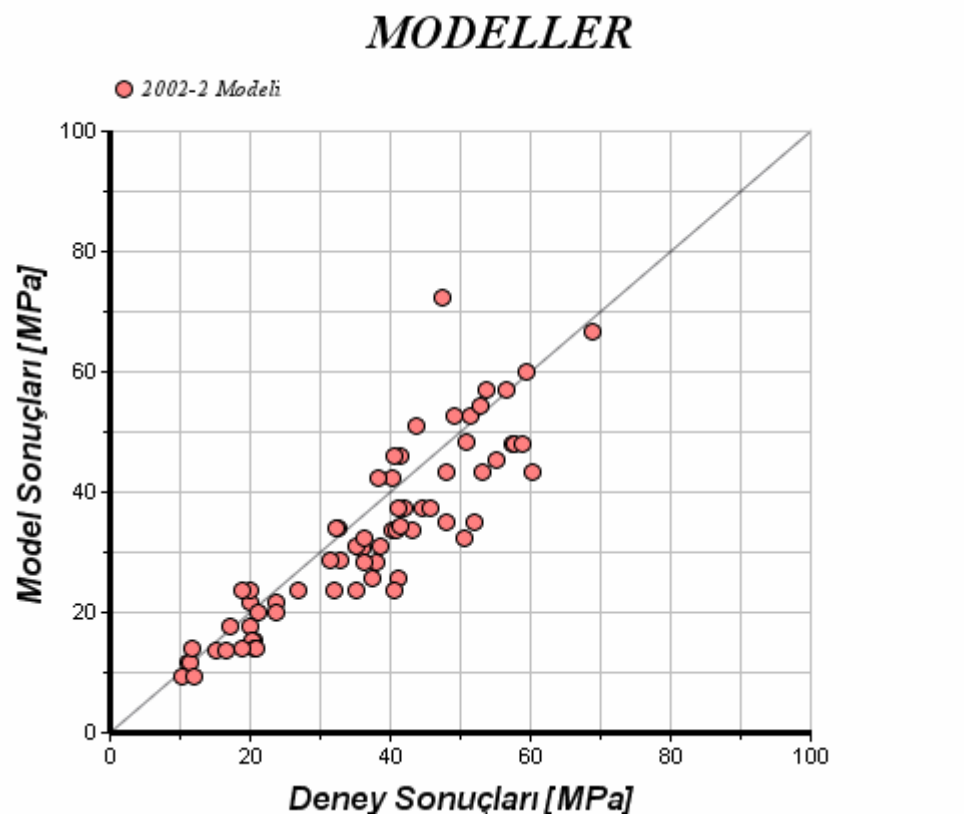
Şekil 6.81 : $30mm < r$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.82 : $30mm < r$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.83 : $30mm < r$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



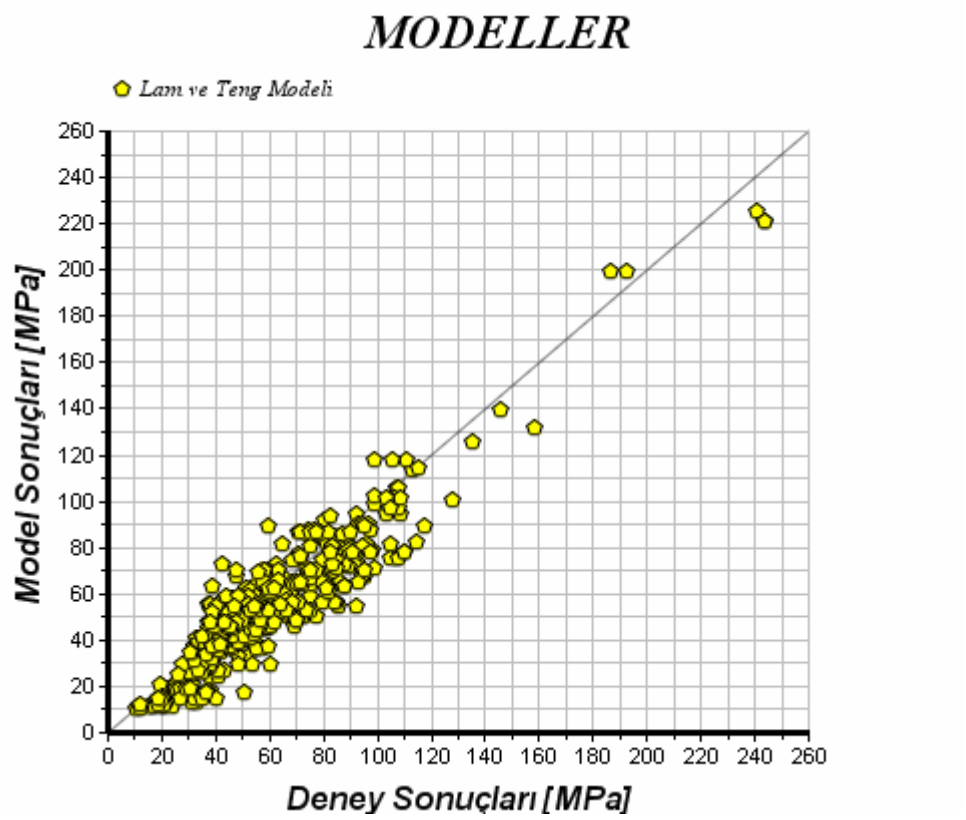
Şekil 6.84 : $30mm < r$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.1.8. Genel Durum

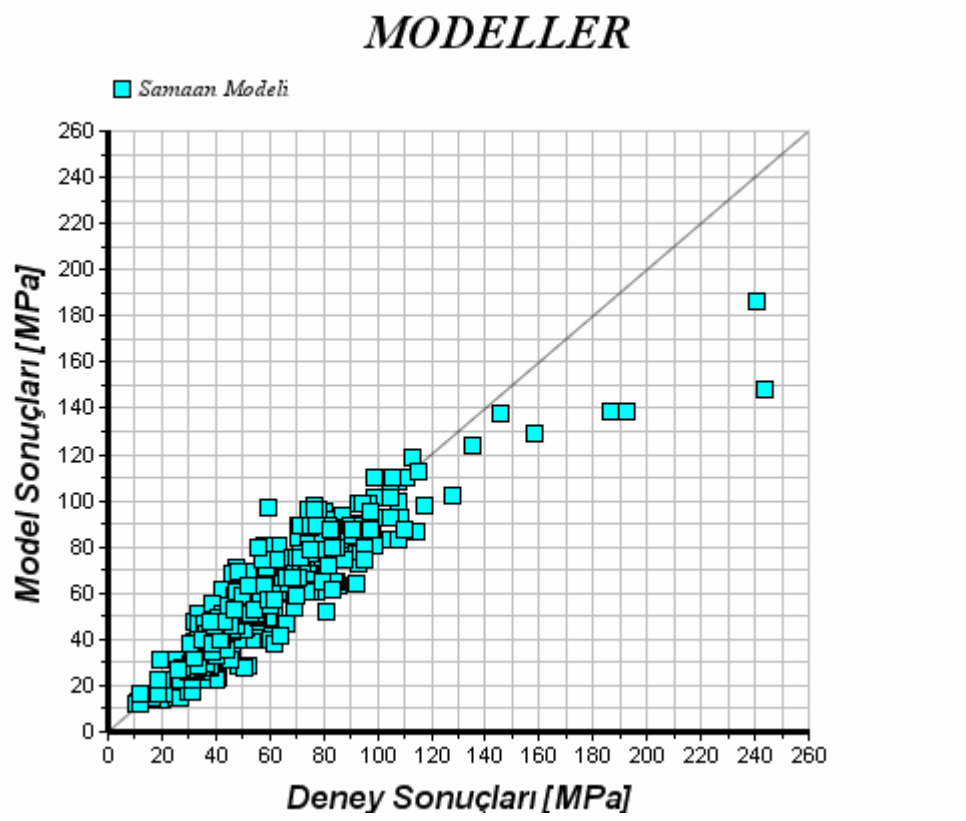
Modellerin çeşitli etkenler altındaki davranışlarını inceledikten sonra, son olarak genel durum incelenmiştir. Tüm veri tabanını kapsayan bu analizlerin sonuçları aşağıda Şekil 6.85, 6.86, 6.87 ve 6.88 ile sırasıyla Lam ve Teng modeli [1], Samaan modeli [2], İlki 2007 modeli [4] ve İlki 2002b modeli [3] için verilmiştir. Sayısal sonuçlar ise Tablo 6.22'de verilmiştir. Sonuç olarak genel halde tüm modellerin kabul edilebilir değerler verdiği fakat İlki 2007 modelinin [4], 1.003 ortalama ile özellikle iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 6.22 : Modellerin Genel Duruma Göre İstatistik Verileri

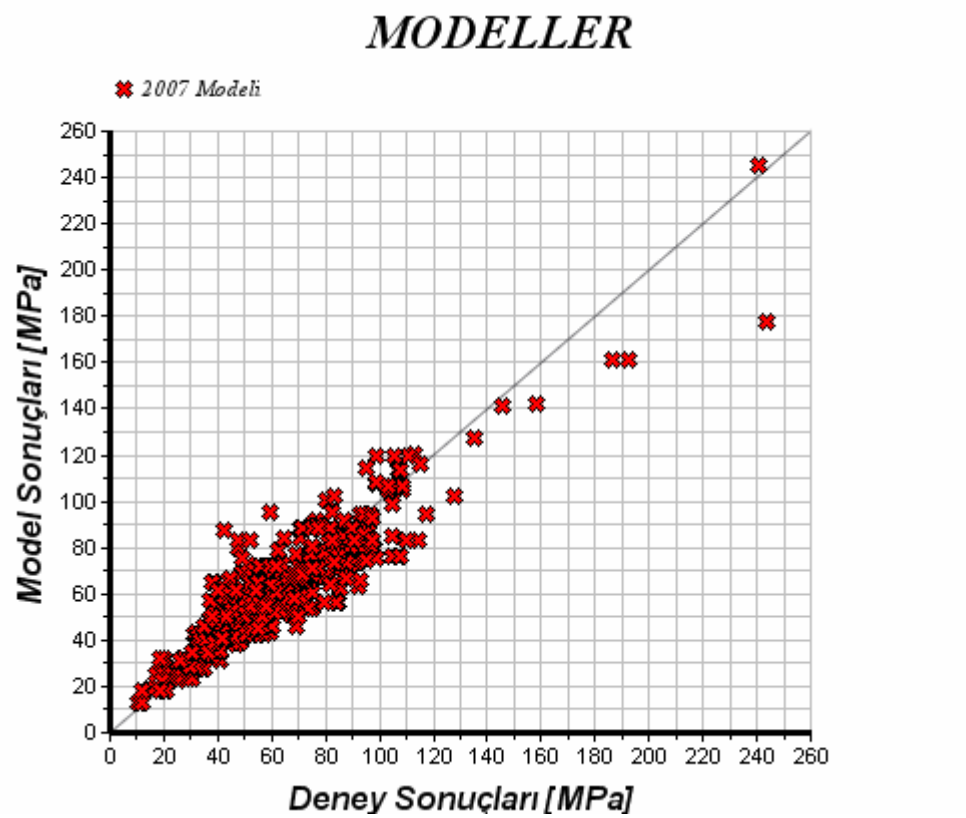
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.136	1.041	1.003	1.045
σ	0.273	0.205	0.178	0.178



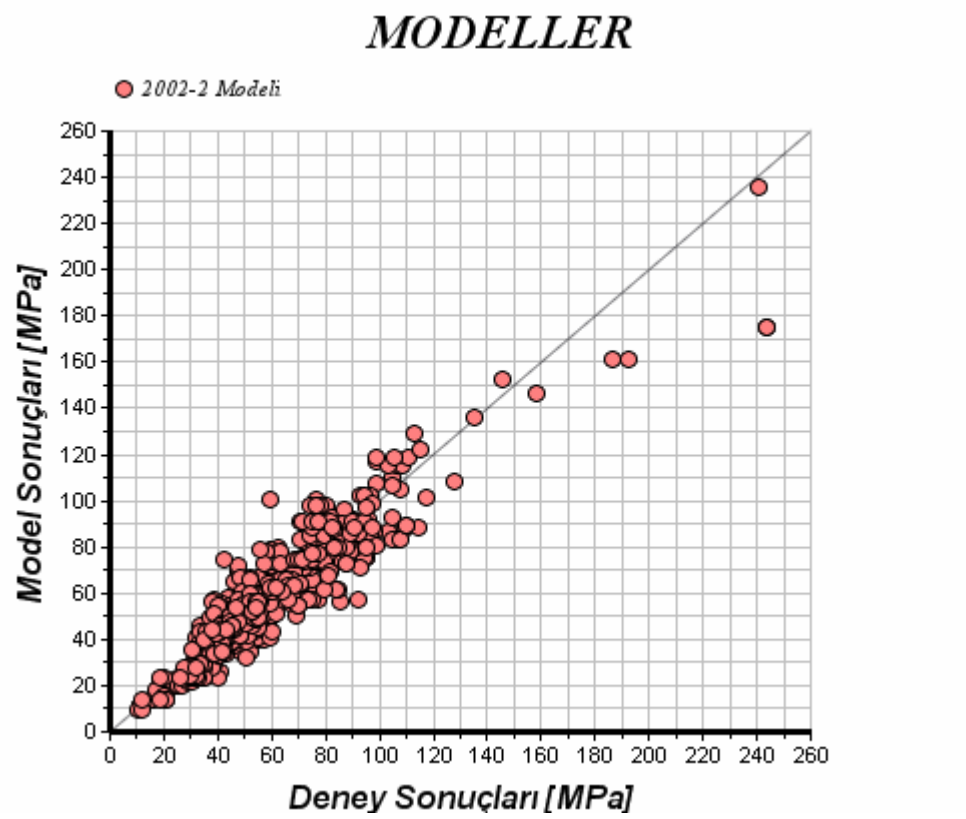
Şekil 6.85 : Genel Durumda Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.86 : Genel Durumda Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.87 : Genel Durumda İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.88 : Genel Durumda İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2. Dayanıma Karşı Gelen Şekildeğiştirmelerin Karşılaştırılması

Modellerin LP ile saergılanmış elemanlar için öngördüğü dayanıma karşı gelen şekildeğiştirmeler, aynı dayanım incelenmesindeki gibi yedi farklı kıstasa ve genel duruma göre değerlendirilmiştir. Bunlar ilk dayanımın etkisi, kesit şeklinin etkisi, kesit boyutlarının etkisi, LP malzeme tipinin etkisi, en-boy oranının etkisi, sargı miktarının etkisi ve köşe yarıçapının etkisidir. Bu parametreler için aynı aralıklar gözönüne alınmıştır. Fakat tüm numunelerin deney sonrası şekildeğiştirme değerleri elimizde olmadığı için numunelerin bir bölümü bu karşılaştırmada kullanılmamıştır.

Karşılaştırmalara başlamadan önce, modellerin önerdikleri şekildeğiştirme ifadelerinin, dayanım ifadeleri kadar başarılı olmadığı bilinmelidir. Modeller, üzerine kuruldukları veri tabanında bile dayanımı tahmin etmede gösterdikleri etkinliği gösterememektedirler. Bu durum İlki ve diğ.'nin 2007'de [4] yaptıkları çalışmadan görülebilir. Örneğin Samaan [2] denklemi, bir kısım numunenin şekildeğişmesini negatif değerler olarak vermektedir. Diğer modellerde böyle bir durum olmasa da, ortamalar kötü ve standart sapmalar da oldukça büyük çıkabilmektedir.

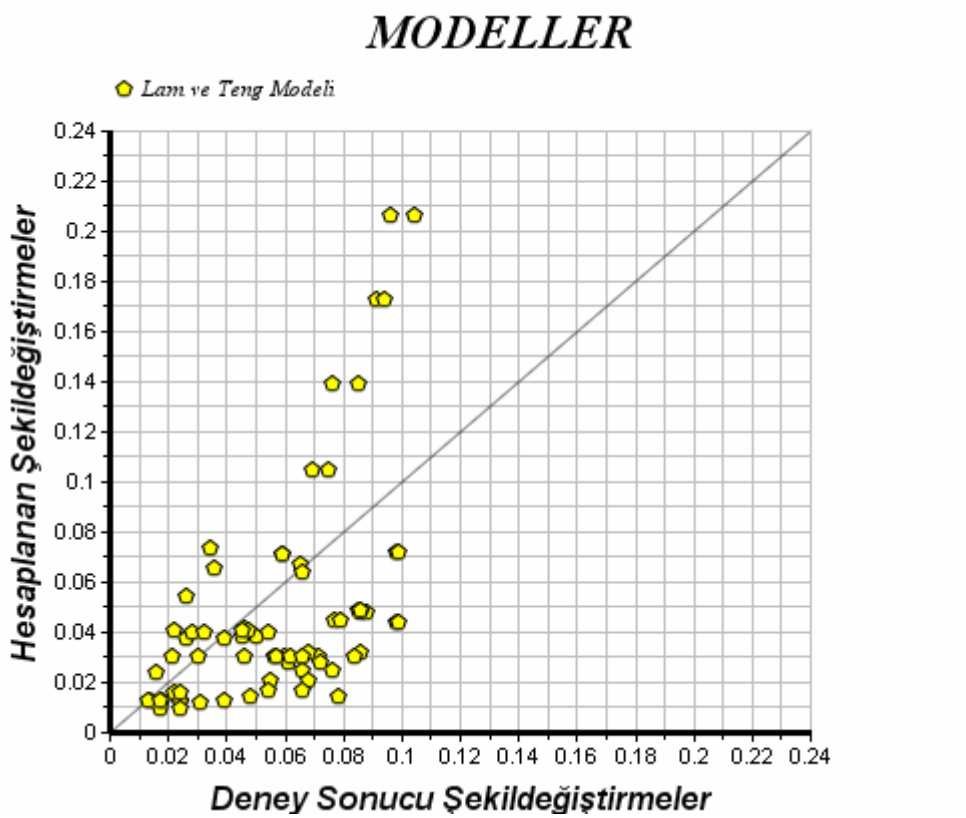
6.2.1. Beton Dayanımının Etkisi

6.2.1.1. f'_{co} < 20 MPa

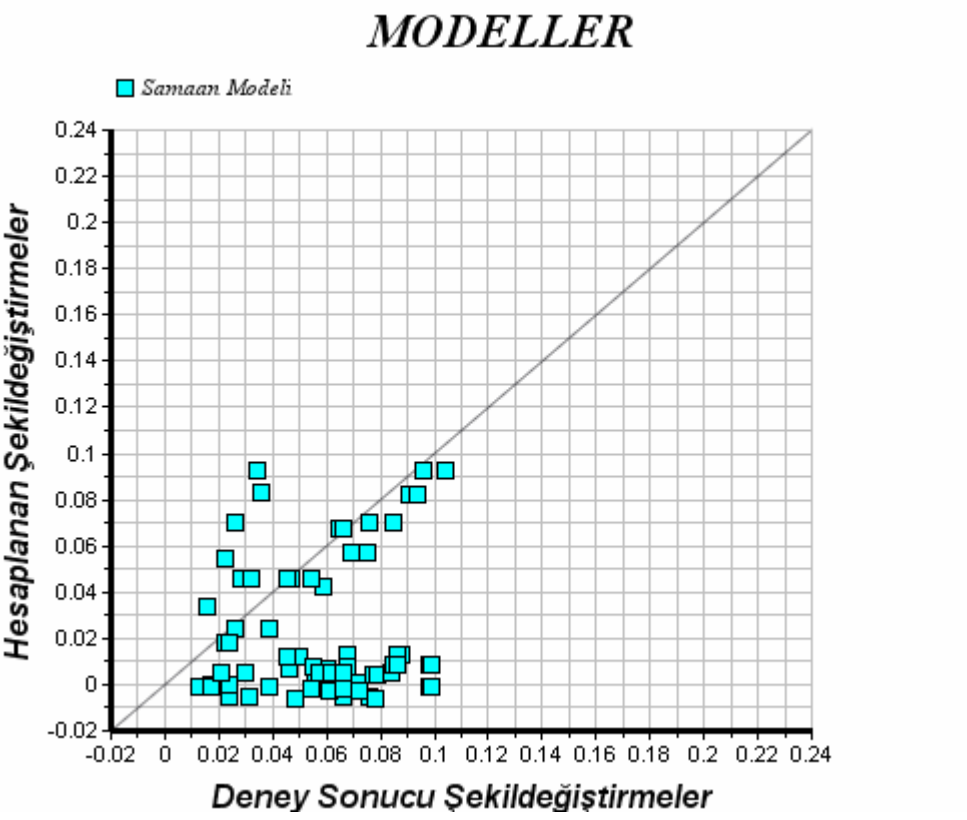
Bu kıstasa giren 71 adet numune bulunmaktadır. Şekil 6.89-6.92 ve Tablo 6.23'ten anlaşılacağı üzere, en iyi ortalama ve en düşük standart sapma ile İlki 2007 modeli [4] en iyi tahminleri yapmaktadır. İlki 2007 modelinin [4] ardından, Şekil 6.92'de grafiği görünen İlki 2002b modeli [3] gelmektedir. Lam ve Teng modeli [1] ise hem grafiğinden hemde istatistik verilerden anlaşıldığı gibi kötü bir ortalama ve yüksek standart sapmalarla sonuca götürmektedir. Bunların dışında Samaan modelinin [3] sonuçları özellikle verilmemiştir. Bunun nedeni Samaan modelinin [3] Şekil 6.90'da grafiğinde görüldüğü gibi negatif değerler vermesidir.

Tablo 6.23 : Modellerin Düşük İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri

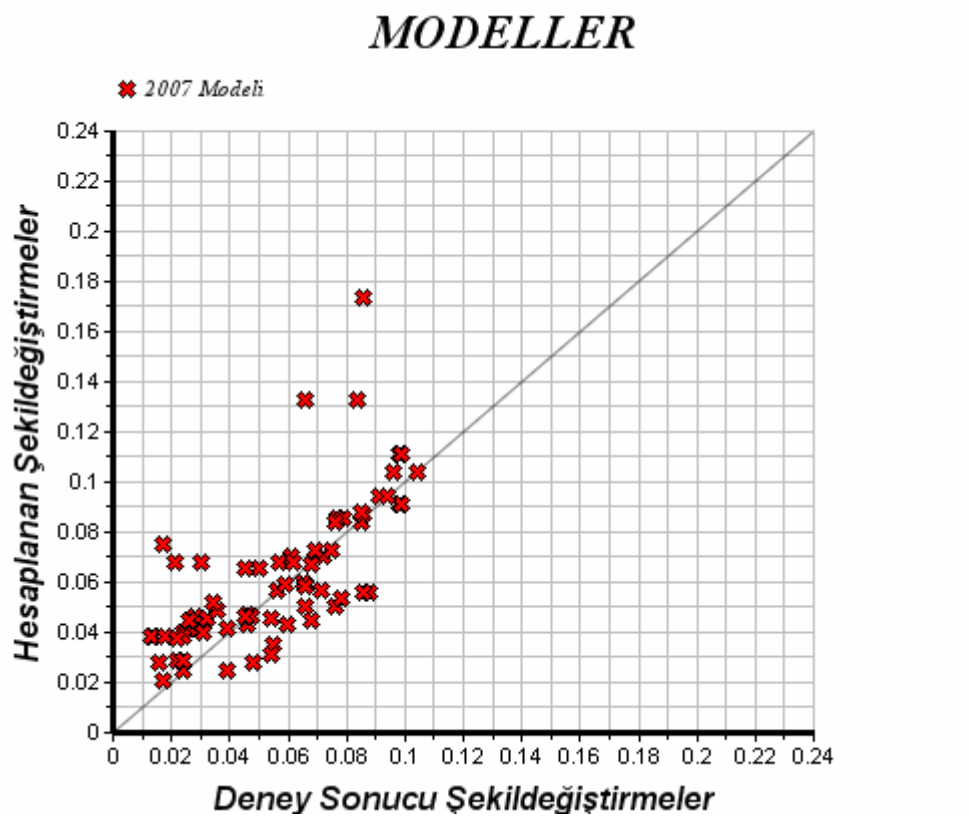
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.638	-	0.935	1.203
σ	0.954	-	0.339	0.510



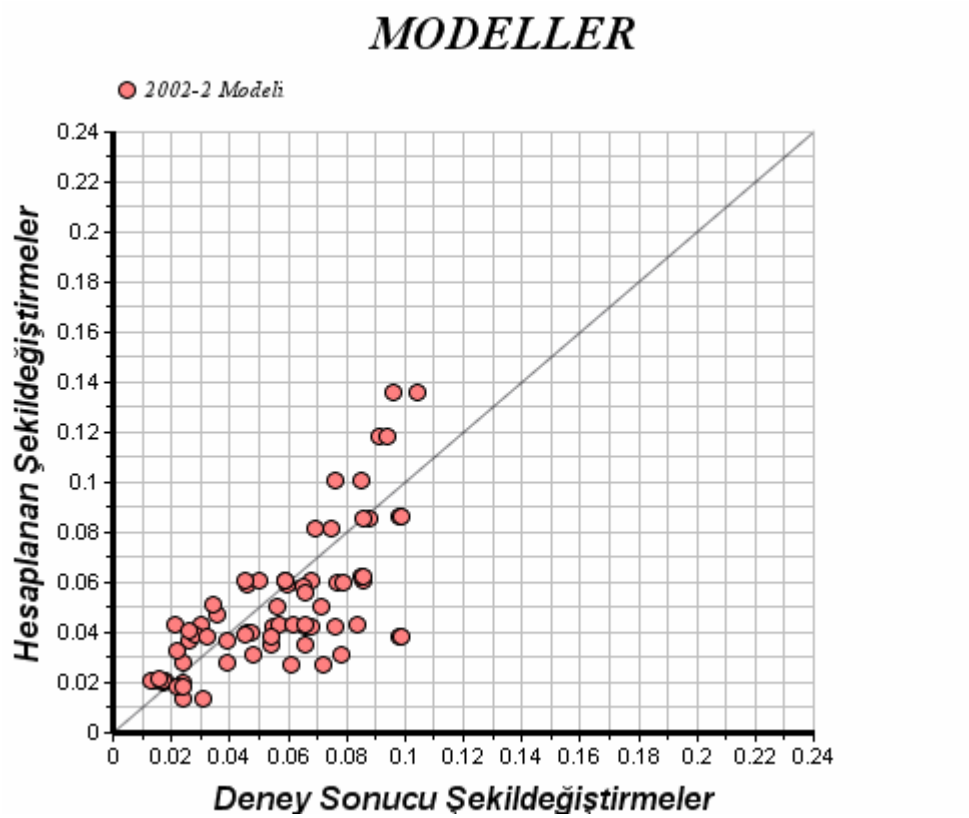
Şekil 6.89 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.90 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.91 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



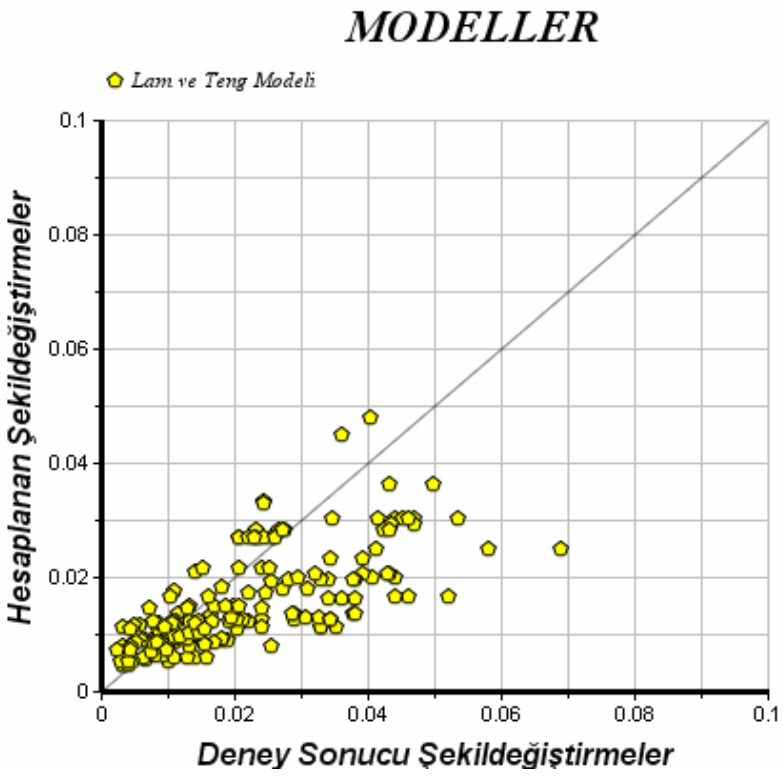
Şekil 6.92 : Düşük İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.1.2. 20 MPa < f'_{co} < 40 MPa

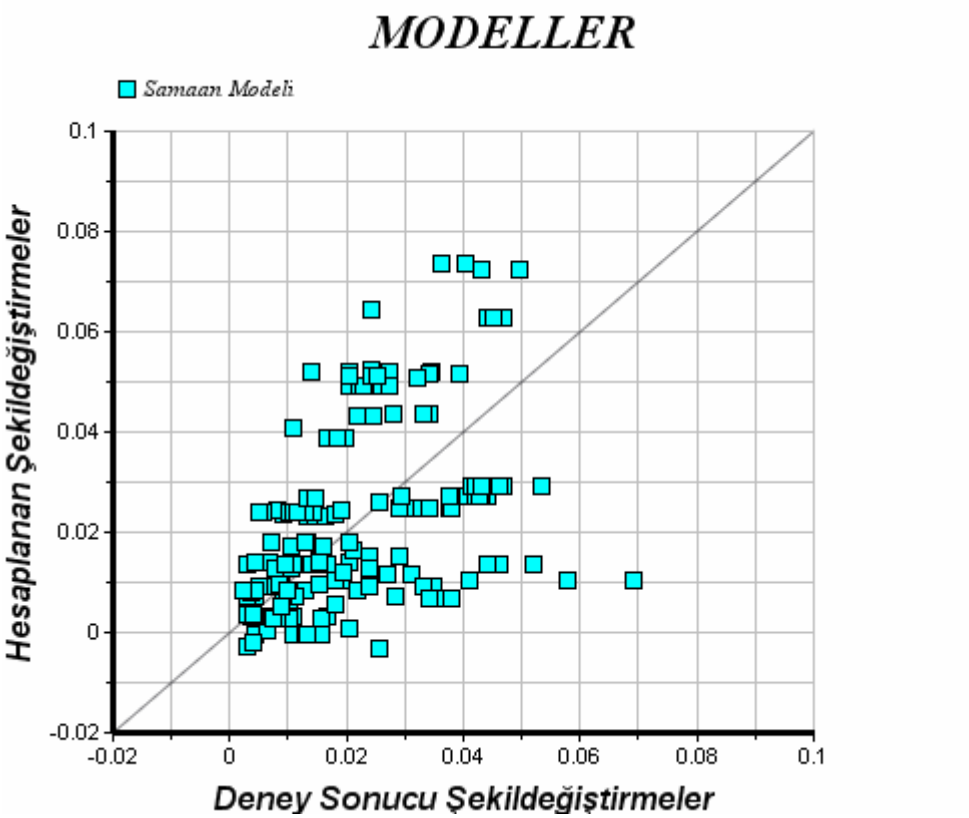
Veri tabanındaki 170 numune bu aralıkta incelenmektedir. Tablo 6.24'e göre bu durum için en iyi sonucu yüksek standart sapmasına karşın İlki 2002b [3] vermektedir. Bu durum, grafiklerle de desteklenmektedir. Şekil 6.96'da, İlki 2002b modelinin [3] grafiği görülmektedir. Bu grafikte büyük standart sapmalara rağmen düzgün bir dağılım görülmektedir. İlki 2007 modelinin [4] ağırlık merkezi birebir doğrusunun üzerine kaymış ve Lam ve Teng modelinde [1] de standart sapmalar çok büyümüştür. Samaan modelinin [2] sayısal verileri daha önce açıklanan nedene bağlı olarak verilmemiştir. Ayrıca Şekil 6.94'teki grafikten de, standart sapmasının çok büyük olacağı görülmektedir. Şekil 6.93 ve 6.95'te ise sırasıyla Lam ve Teng modeli [1] ile İlki 2007 modeli [4] verilmiştir.

Tablo 6.24 : Modellerin Orta İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri

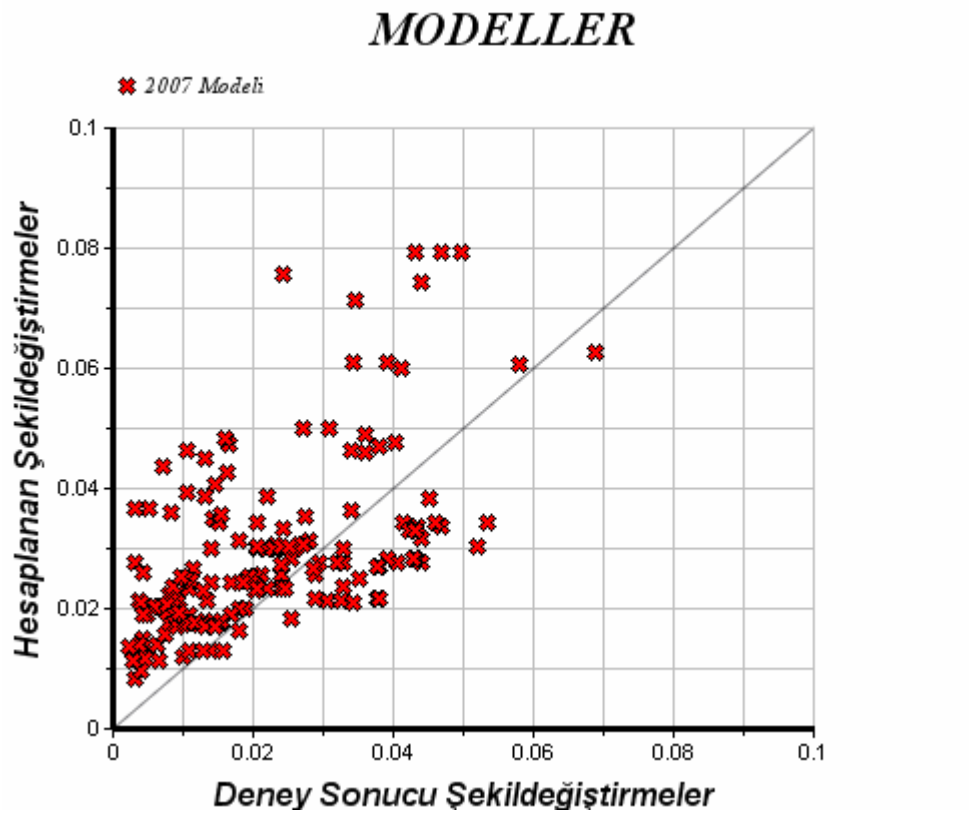
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.376	-	0.754	0.994
σ	0.650	-	0.400	0.521



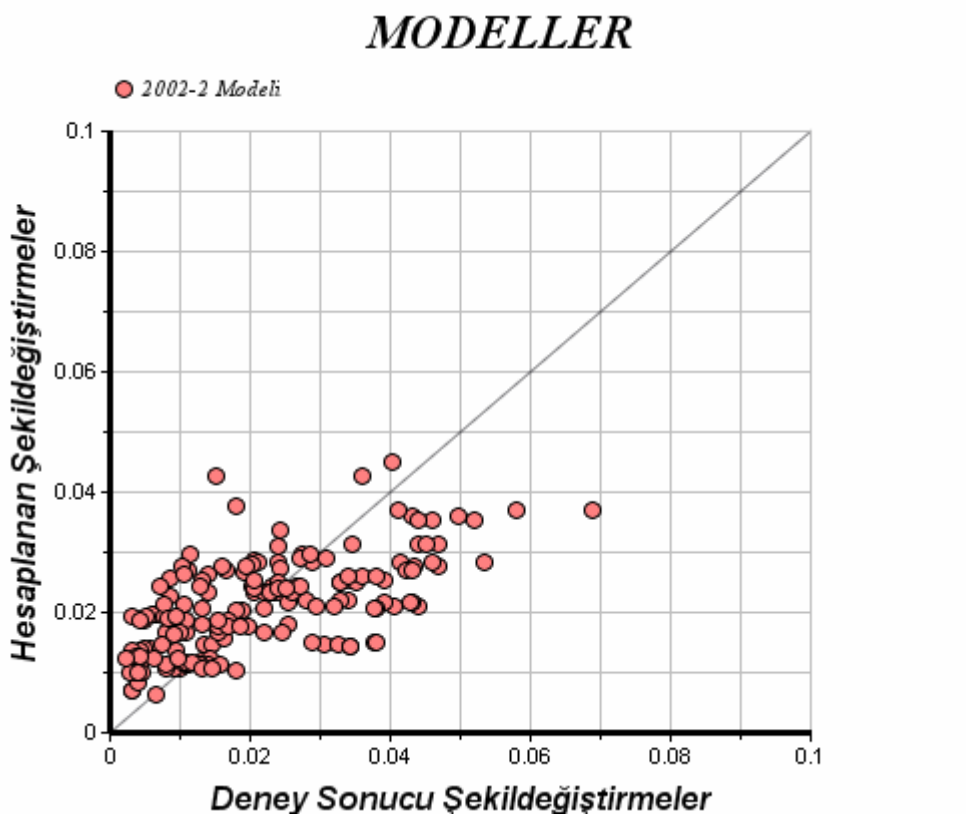
Şekil 6.93 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.94 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.95 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



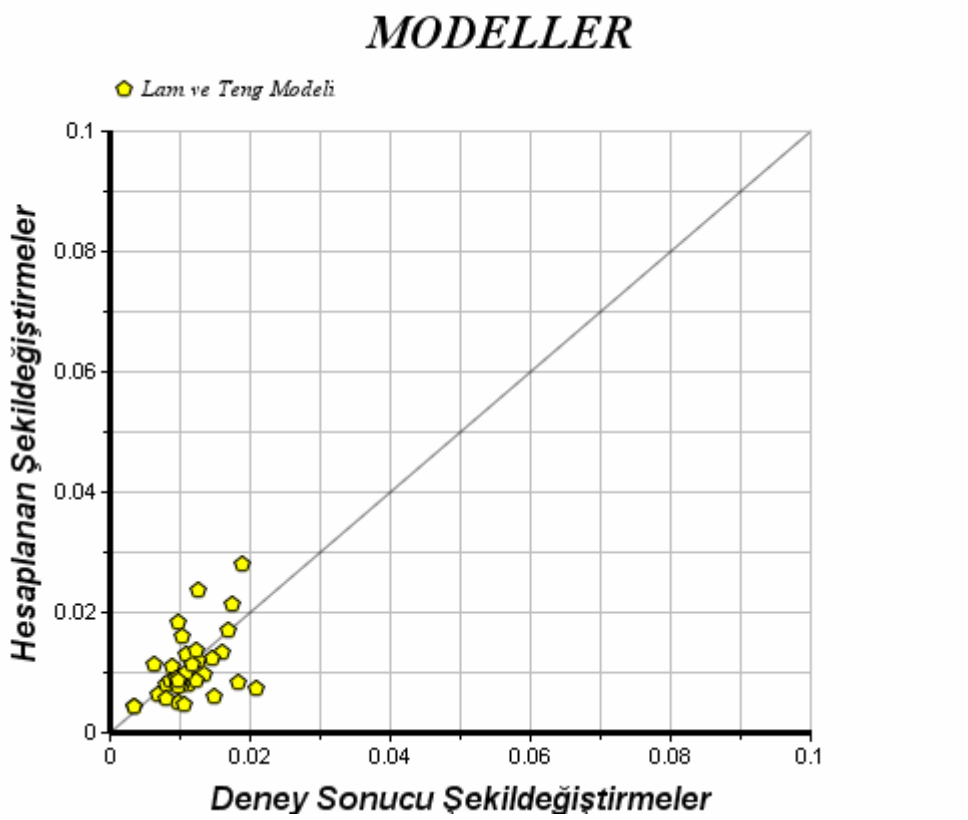
Şekil 6.96 : Orta İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.1.3. f'_{co} > 40 MPa

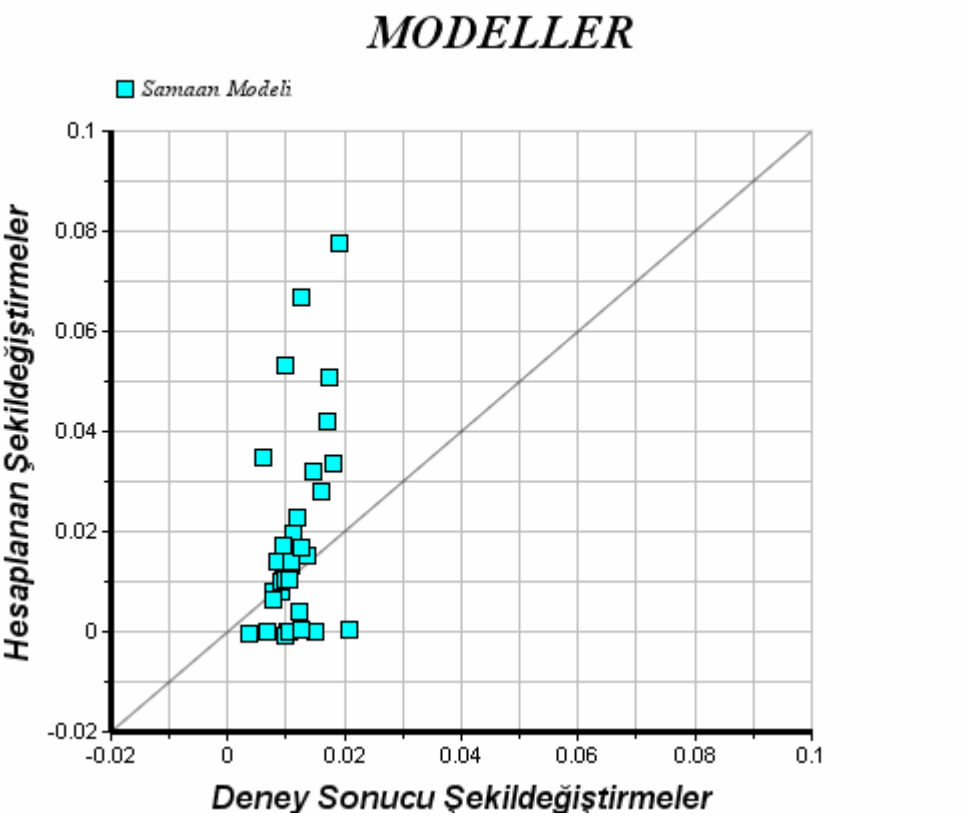
Veri tabanındaki 35 numune bu kıstasa uymaktadır. Bu son grubunda gösterilmesiyle ortaya, artan ilk dayanıma göre sürekli düşen ortalamalar ve düşen standart sapmalardan oluşan bir tablo çıkmıştır. Özellikle Lam ve Teng modeli [1] ile İlki 2002b [3] modeli bu aralıkta başarılı görünmektedir. İlki modelinin [3,4] ağırlık merkezi birebir doğrusunun üzerine çıkmıştır, buna bağlı olarak ortalaması da düşmüştür. Samaan modeli [2] diğer gruplarda olduğu gibi yine eksi değerler vermiştir ve sayısal verileri gösterilmemiştir. Tablo 6.25'te sayısal sonuçlar, Şekil 6.97'den 6.100'e kadar ise modellerin grafikleri verilmiştir.

Tablo 6.25 : Modellerin Yüksek İlk Dayanımlı Elemanlara Göre İstatistik Verileri

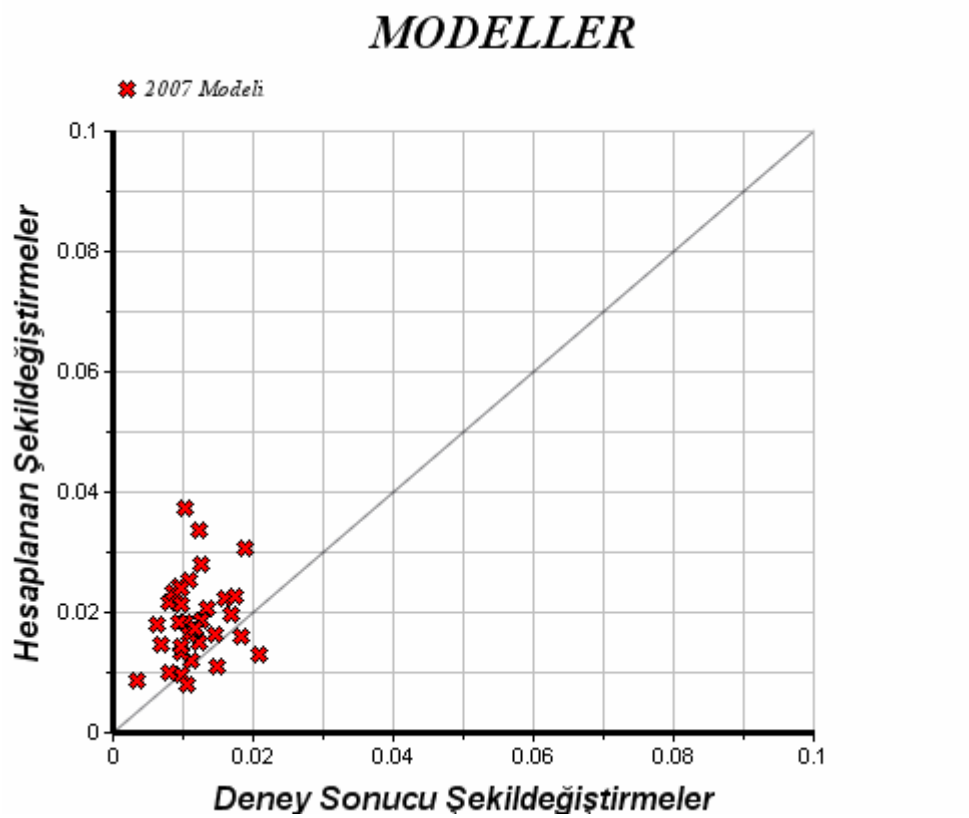
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.194	-	0.670	0.850
σ	0.531	-	0.313	0.450



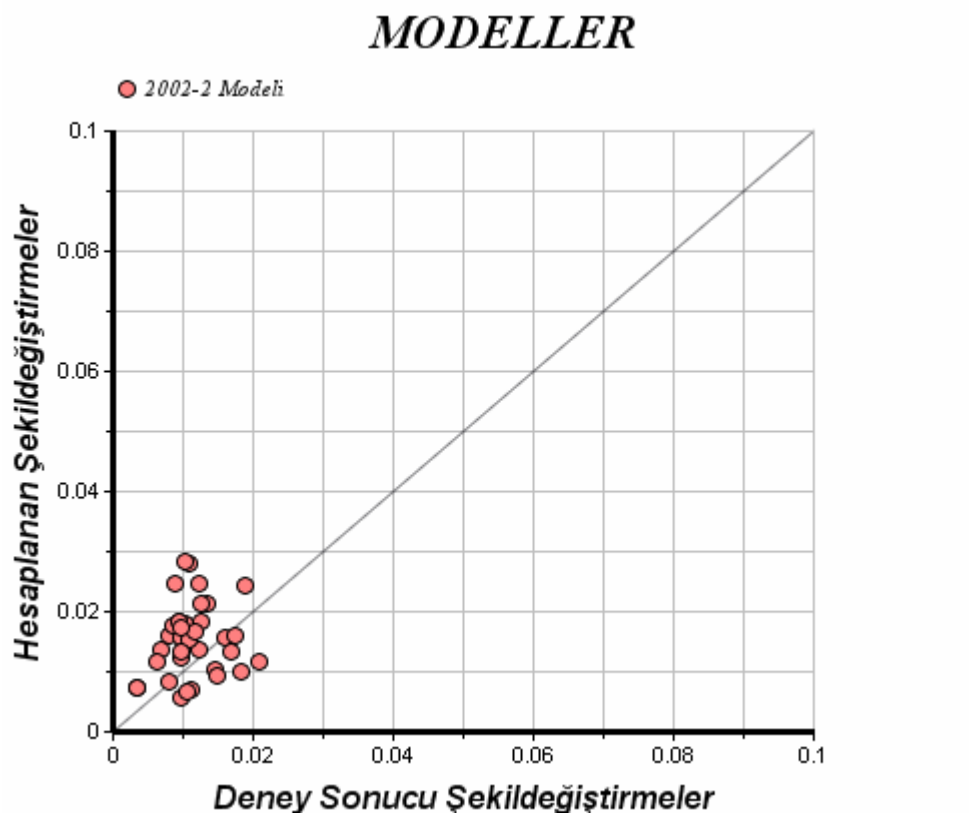
Şekil 6.97 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.98 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.99 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.100 : Yüksek İlk Dayanımlı Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

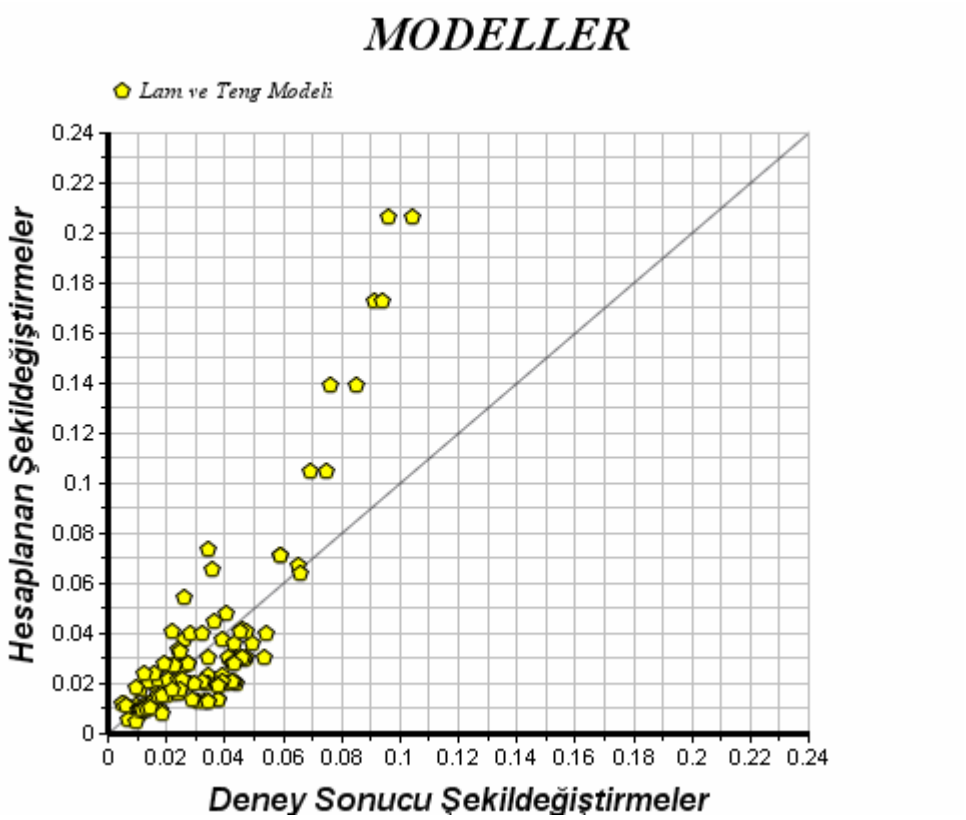
6.2.2. Kesit Şeklinin Etkisi

6.2.2.1. Daire Kesitli Numuneler

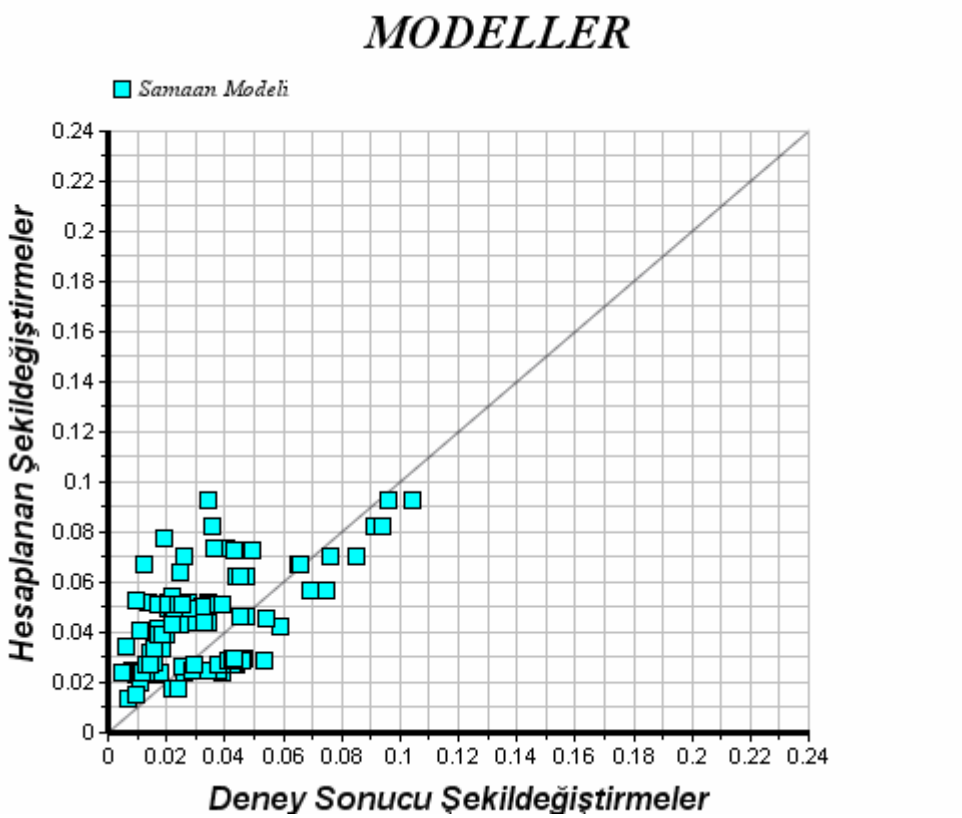
Veri tabanında daire kesitli ve deney sırasında şekildeğiştirmeleri ölçülmüş 119 numune bulunmaktadır. Grafiklerden (Şekil 6.101, 6.102, 6.103 ve 6.104) ve Tablo 6.26'dan anlaşılacağı gibi, modeller daire kesitli elemanlar için yüksek standart sapmalarına rağmen iyi sonuçlar vermektedir. Grafiklerdeki dağılımlar da iyi görünmektedir. Özellikle İlki 2007 [4] ve İlki 2002b [3] modelleri, hem grafik dağılımında hem de istatistiki veride görüldüğü gibi, en iyi sonuçları vermektedir. Samaan modeli de [2], daire kesitli elemanlarda negatif değerler vermediği için değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 6.26 : Modellerin Daire Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri

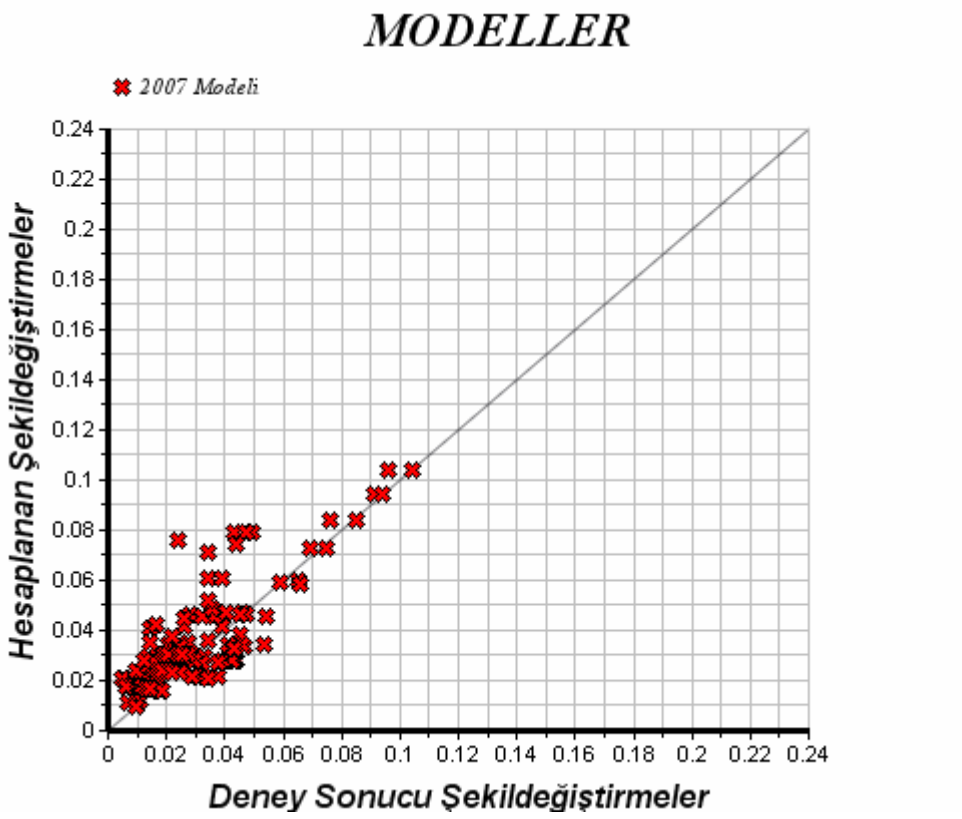
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.212	0.792	0.886	1.197
σ	0.544	0.427	0.339	0.459



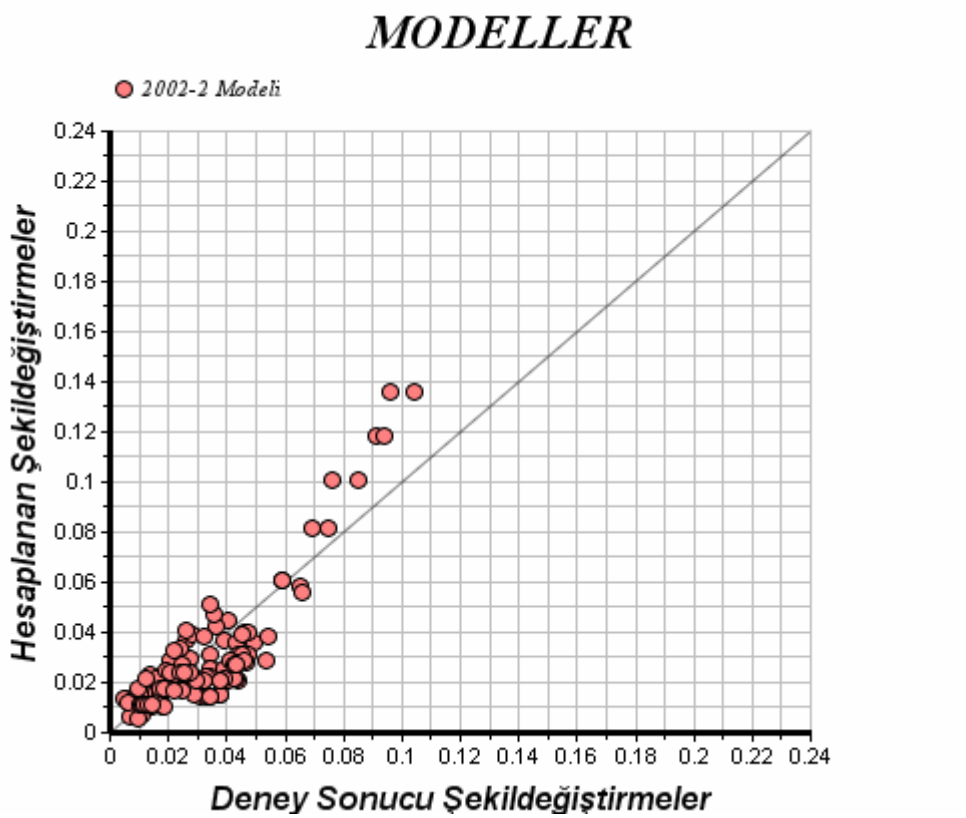
Şekil 6.101 : Daire Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.102 : Daire Kesitli Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.103 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



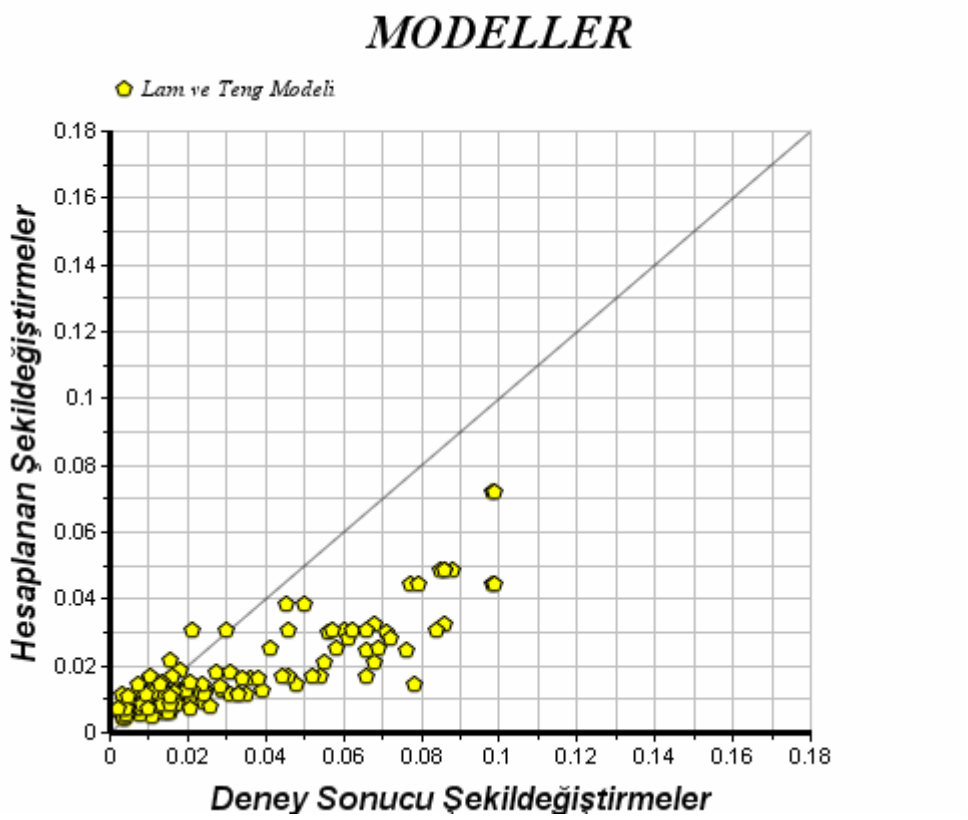
Şekil 6.104 : Daire Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.2.2. Dikdörtgen (Kare ve Dikdörtgen) Kesitli Numuneler

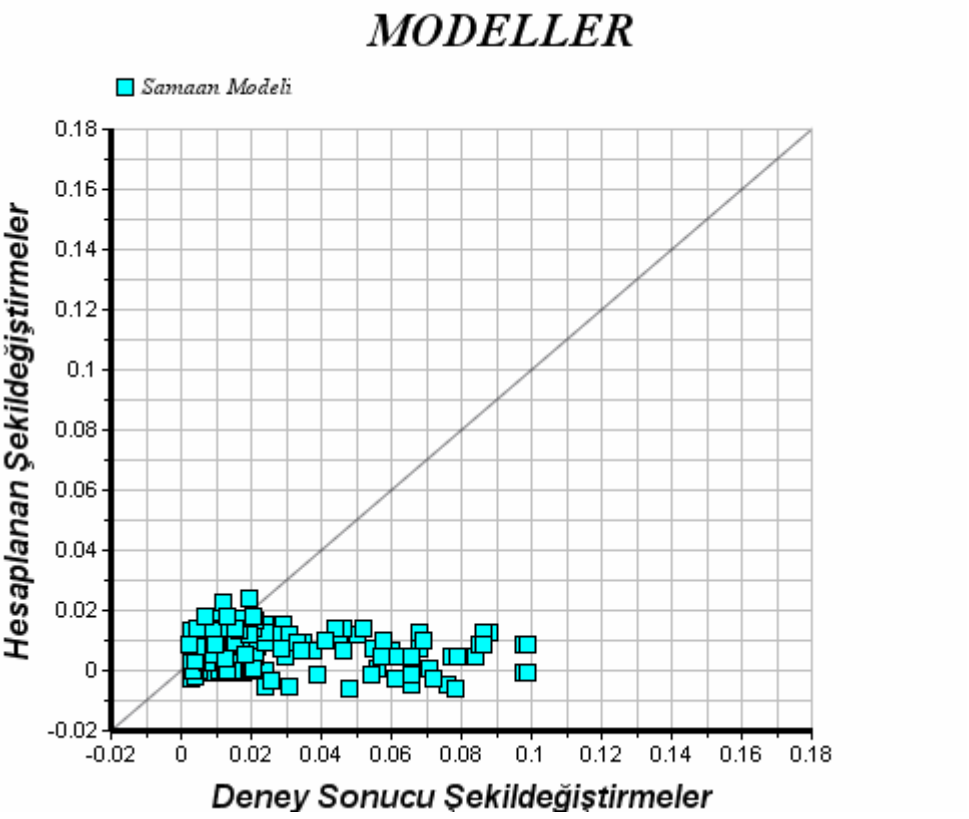
Bu kısımda 157 adet numune incelenmektedir. Bunların 111 adedi bir sonraki paragrafda da incelenecek olan kare numunelerdir. Tablo 6.27'de görüldüğü gibi İlki 2002b modelinin [3] verileri dışında tüm ortalamalar daire kesitlere göre kötüleşmiştir. İlki 2002b modelinin [3] ortalaması iyileşirken, standart sapması bir miktar büyümüştür. Samaan modeli [2] Şekil 6.106'da görüldüğü gibi yine negatif değerler vermiştir ve istatistik değerlendirmeye alınmamıştır. Şekil 6.105, 6.107 ve 6.108'de de sırasıyla Lam ve Teng modeli [1], İlki 2007 modeli [4] ve İlki 2002b modellerinin [3] grafikleri verilmiştir.

Tablo 6.27 : Modellerin Dikdörtgen Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri

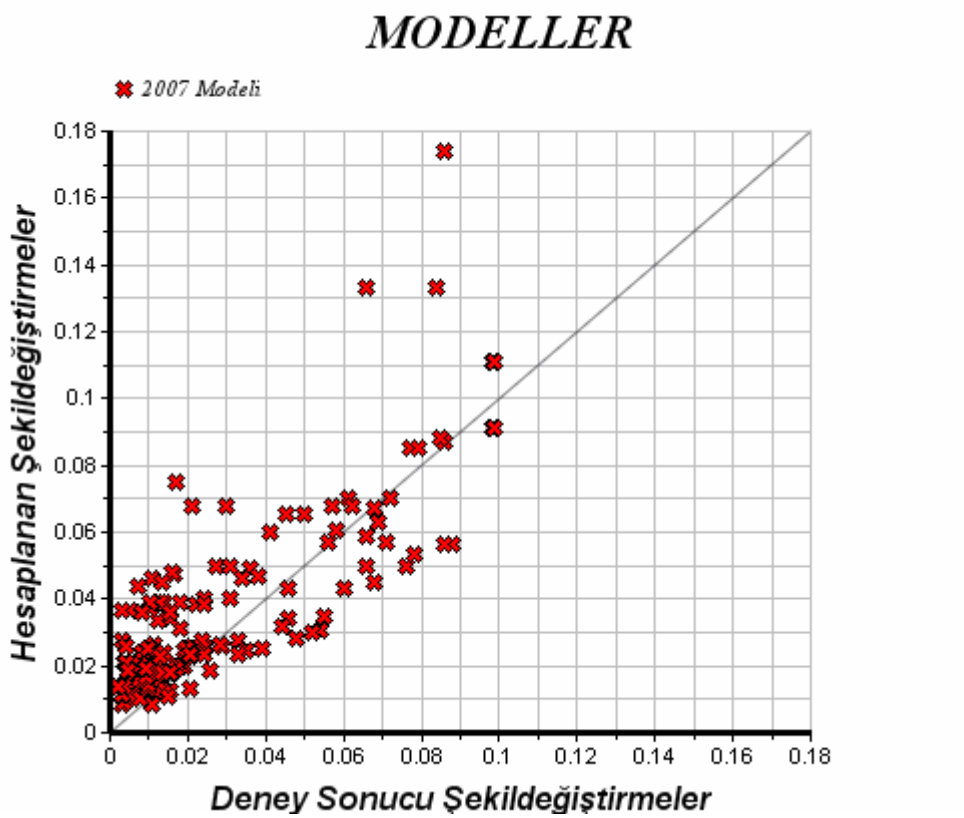
	Lam ve Teng	Samaan	İlki 2007	İlki 2002b
μ	1.577	-	0.718	0.902
σ	0.828	-	0.402	0.531



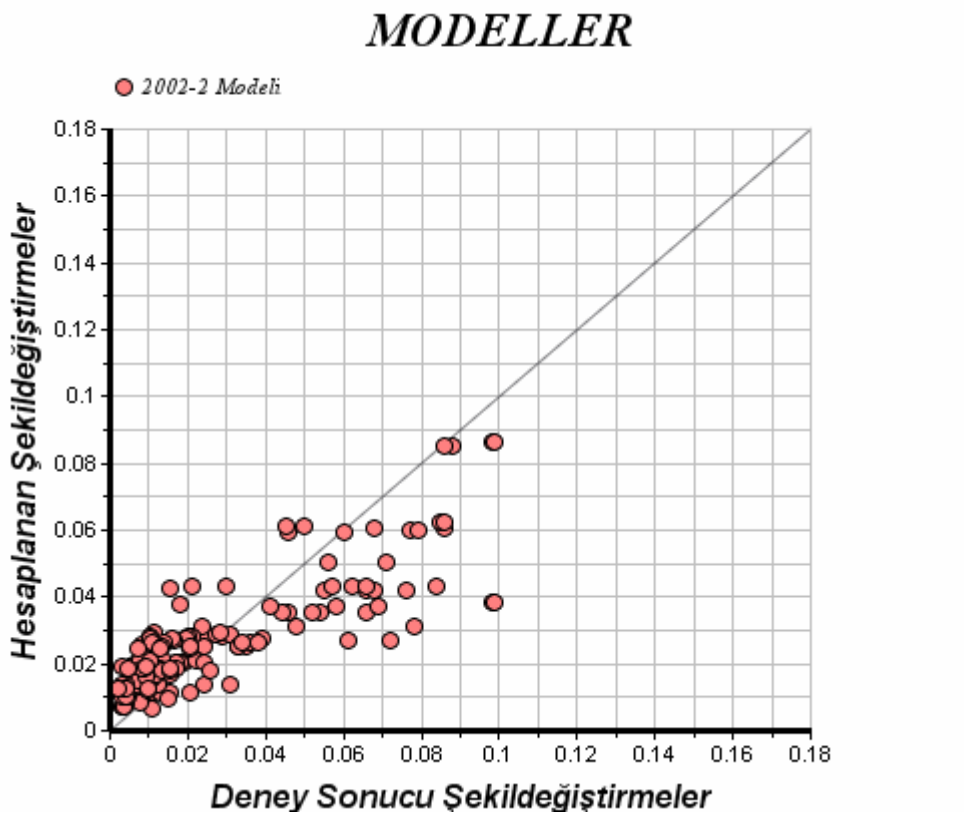
Şekil 6.105 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.106 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.107 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



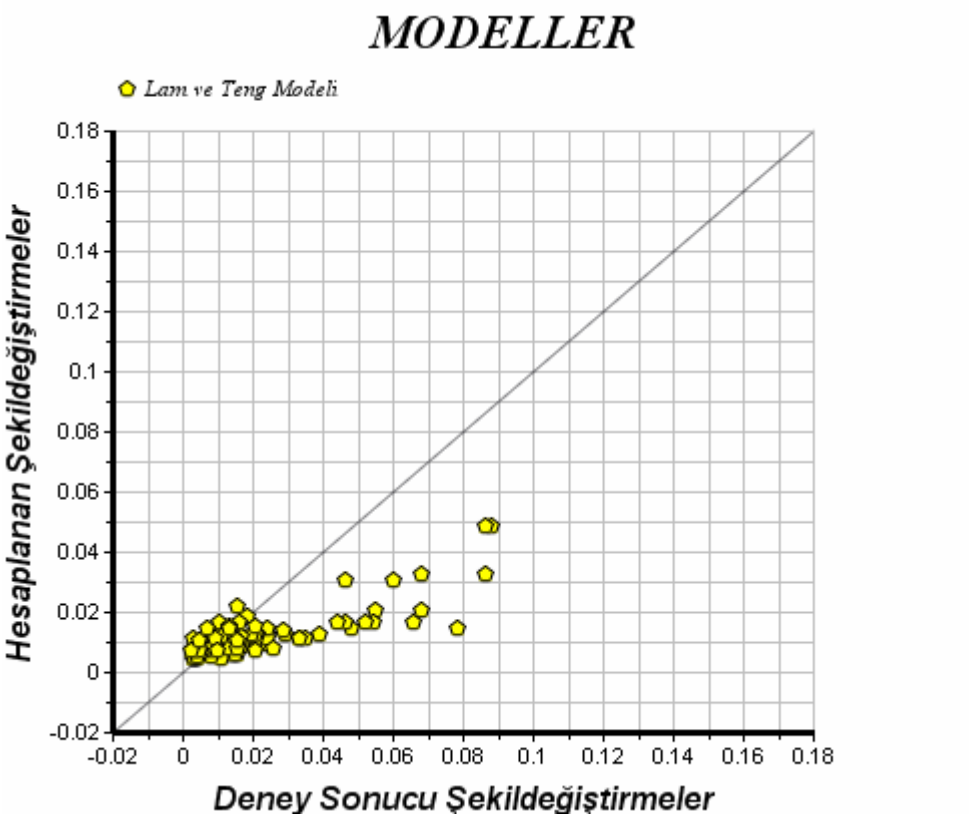
Şekil 6.108 : Dikdörtgen Kesitli Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.2.3. Kare Kesitli Numuneler

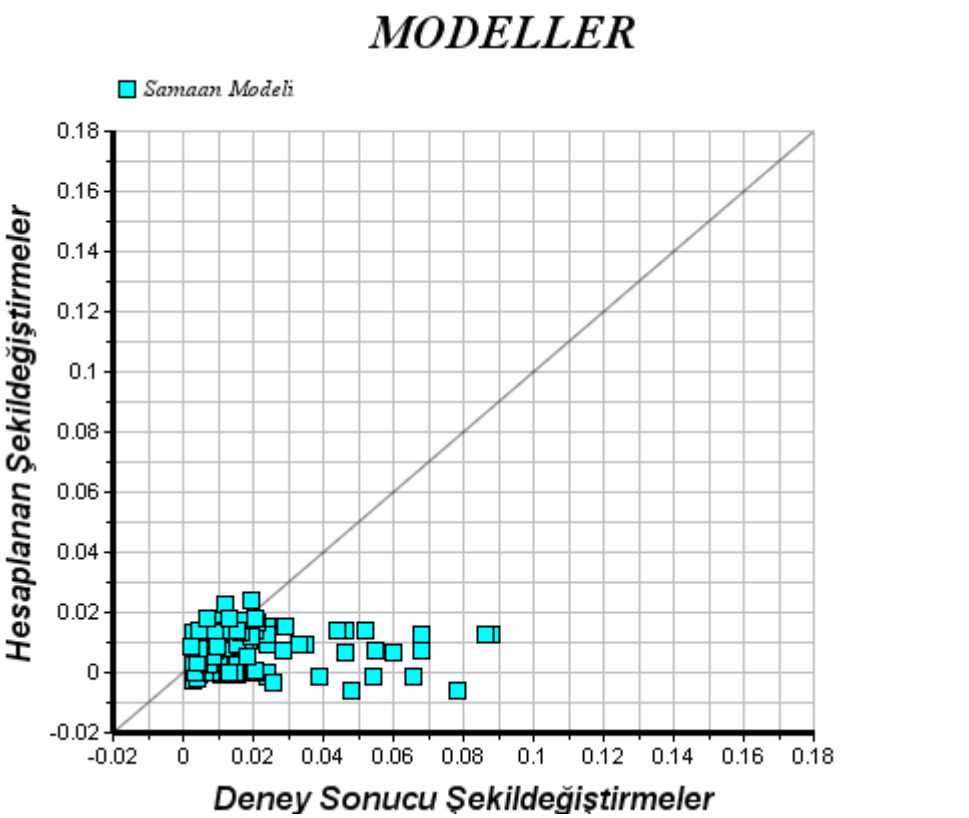
Yukarıda belirtildiği gibi, deneysel olarak şekildeğiştirme değerleri bilinen 111 numune kare kesitlidir. Bu aralıkta elde ediln sonuçların dikdörtgen kesitli numuneler için elde edilmiş olan sonuçlar ile önemli bir farkı yoktur. İlki 2002b modeli [3], dikdörtgen kesitlerin inceleme kümesinden çıkmasıyla daha kötü bir ortalama vermeye başlamıştır. Diğer iki model İlki 2007 [4] ve Lam ve Teng [1] hem ortalamaları hemde standart sapmaları açısından çok büyük bir farklılık göstermemektedir. Samaan modeli [2] dikdörtgen kesitlerde olduğu gibi yine negatif değerler vermektedir ve değerlendirme dışı tutulmaktadır. İlki 2002b modelinin [3] ortalama değeri tüm dikdörtgen numunelerin birarada değerlendirildiği gruba göre daha kötü bir değere gitmesine rağmen, bu aralıkta da en iyi sonucu vermektedir (Tablo 6.28). Şekil 6.109-6.112'de modellerin grafikleri verilmiştir. Bununla birlikte İlki 2007 modeli [4] ile elde edilen sonuçlar da bir hayli başarılıdır.

Tablo 6.28 : Modellerin Kare Kesitli Elemanlara Göre İstatistik Verileri

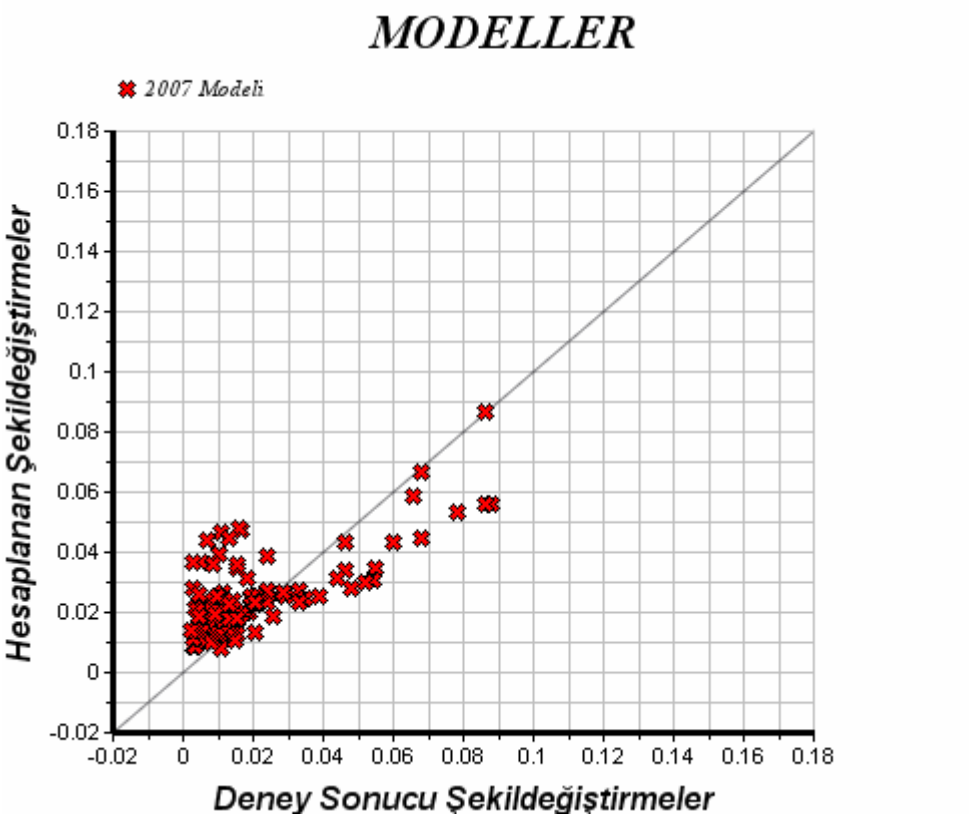
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.515	-	0.726	0.776
σ	0.897	-	0.436	0.435



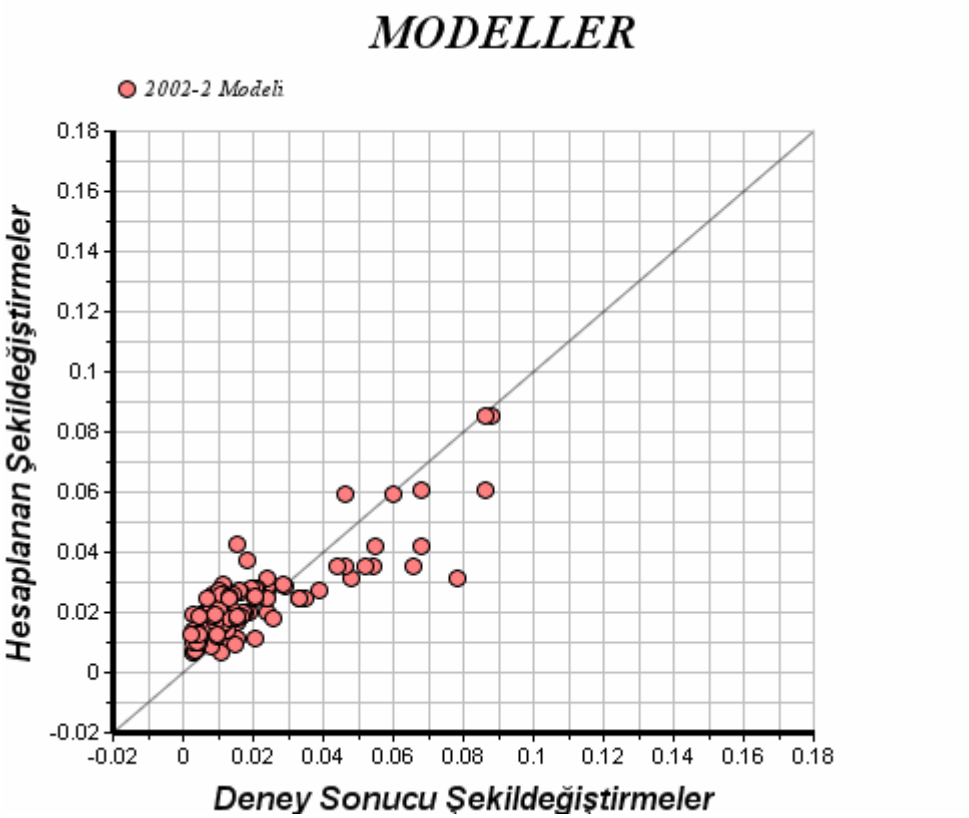
Şekil 6.109 : Kare Kesitli Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.110 : Kare Kesitli Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.111 : Kare Kesitli Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.112 : Kare Kesitli Elemanların İlki2002b Modeli [3] Sonuçları

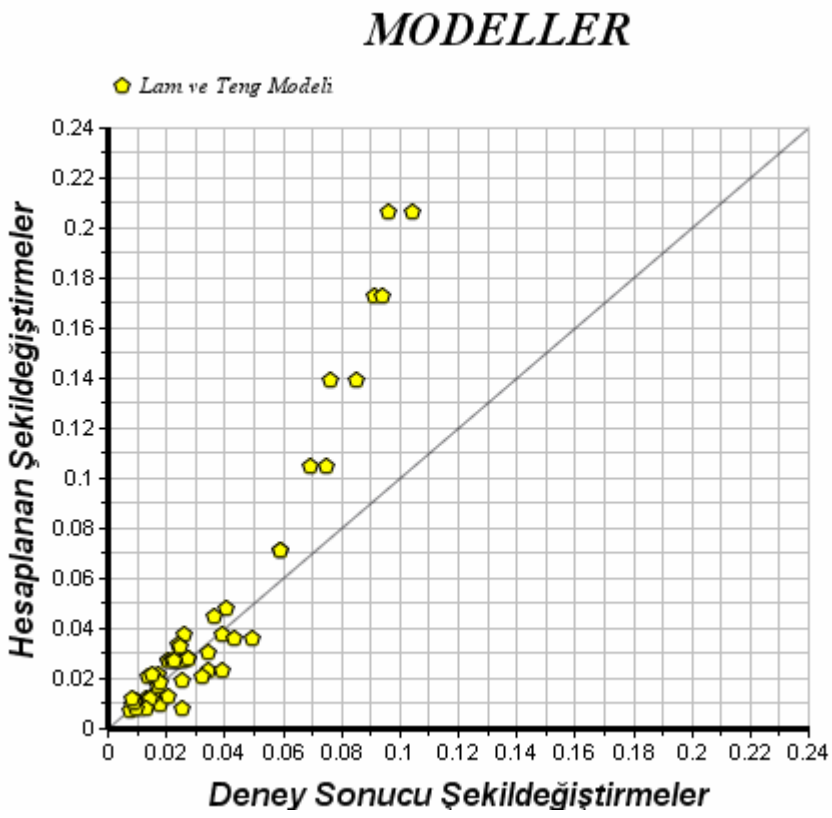
6.2.3. Kesit Boyutlarının Etkisi

6.2.3.1. $(h \sim d) \leq$ 150 mm

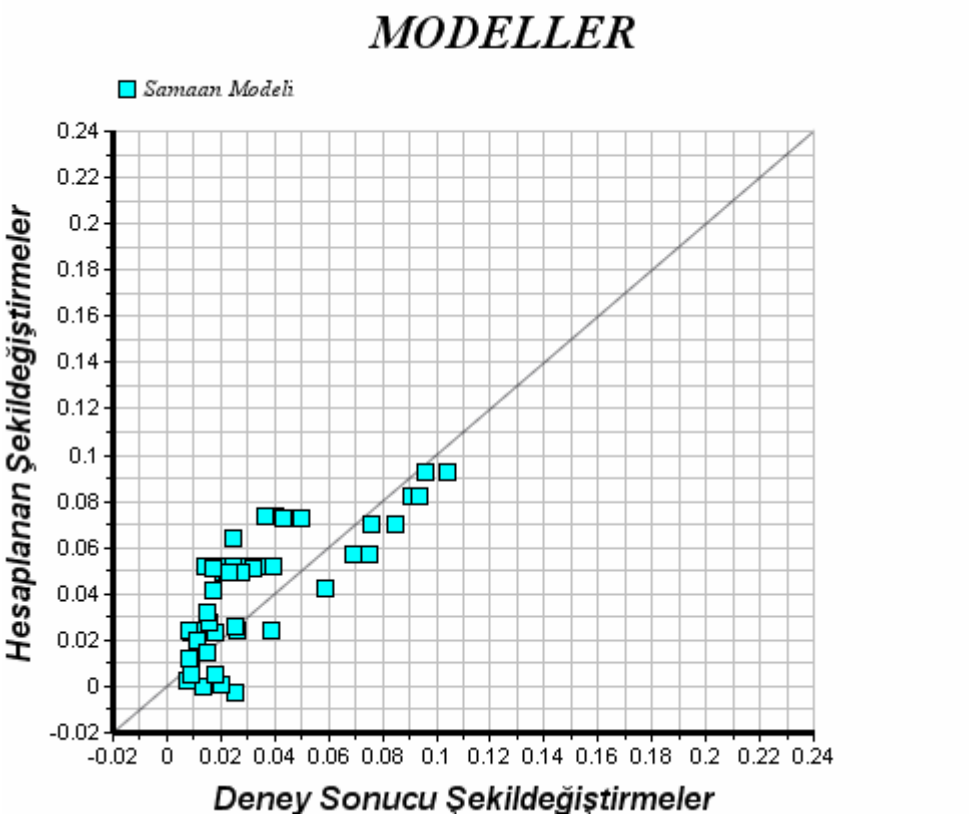
Bu aralıkta 59 numune incelenmiştir. Samaan modeli [2] verdiği negatif değerlerden dolayı inceleme dışı bırakılmıştır. Geri kalan üç model de kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. İlki 2007 modelinin [4] ağırlık merkezi birebir doğrusunun üzerine çıkmış bu nedenle ortalaması bir miktar düşük çıkmıştır. Fakat Şekil 6.115'teki grafiğinin dağılımı kabul edilebilir görünmektedir. En iyi sonuçlar ise İlki 2002b modeli [3] ve Lam ve Teng modeli [1] tarafından verilmektedir. Bunlardan İlki 2002b'nin [3] standart sapmaları da nispeten küçüktür. Tablo 6.29'da istatistiki veriler, Şekil 6.113'ten 6.116'ya kadar ise modellerin grafikleri verilmiştir.

Tablo 6.29 : Modellerin $(h \sim d) \leq 150mm$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

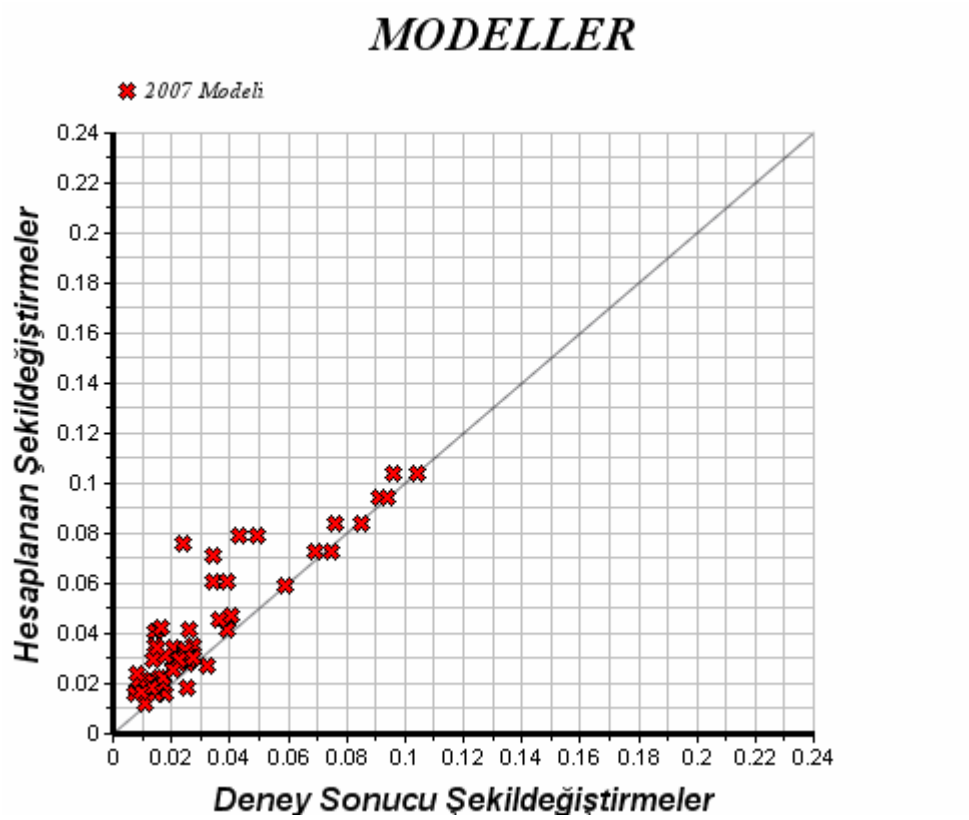
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.019	-	0.746	0.956
σ	0,428	-	0.228	0.303



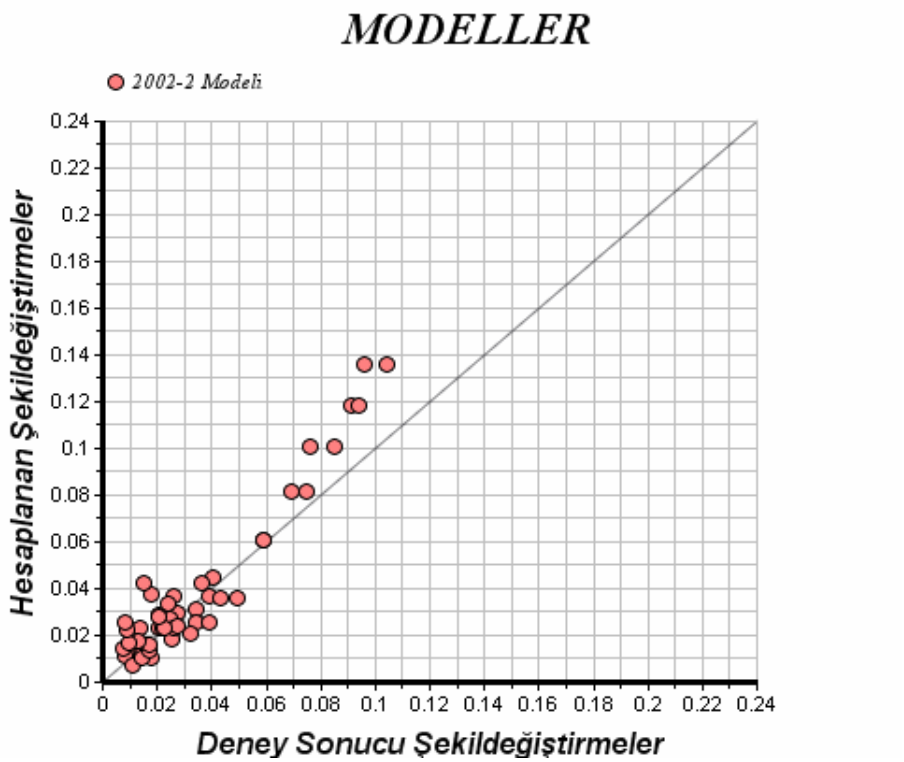
Şekil 6.113 : $(h \sim d) \leq 150mm$ Olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.114 : $(h \sim d) \leq 150mm$ Olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.115 : $(h \sim d) \leq 150mm$ Olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



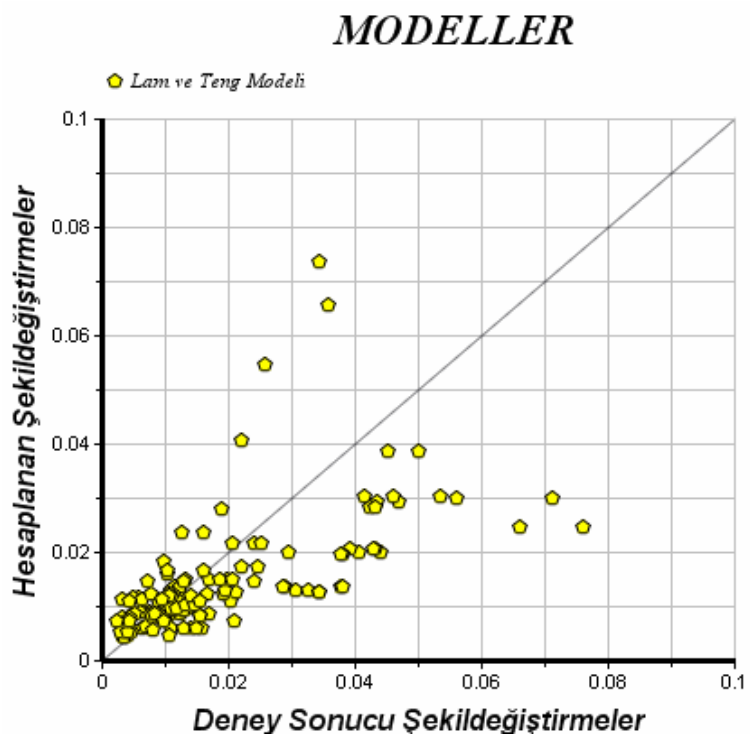
Şekil 6.116 : $(h \sim d) \leq 150mm$ Olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.3.2. 150 mm $< (h \sim d) <$ 250 mm

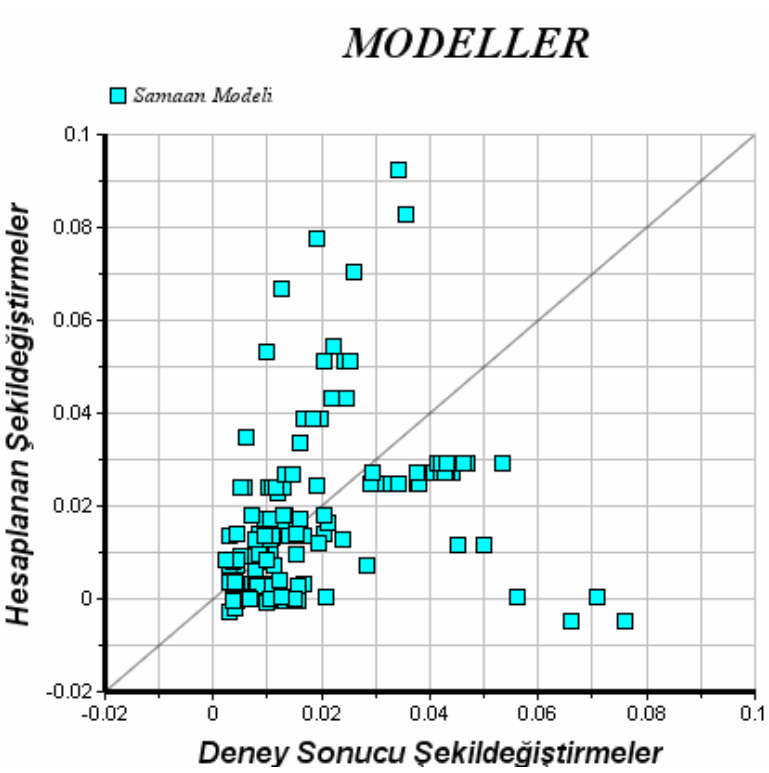
Veri tabanında şekildeğiştirme verileri bulunan numunelerin büyük kısmı bu aralığa dahildir. Aralık 135 eleman içermektedir. Numune oyutlarının büyümesi ile birlikte bir önceki kısma göre modellerin ortalamaları kötüleşmiş ve standart sapmaları büyümüş durumdadır (Tablo 6.30). Samaan modeli [2], aynı gerekçelerle, negatif değerler ve anlamsız standart sapmalar nedeniyle karşılaştırma dışında bırakılmıştır. Lam ve Teng modeli [1] Şekil 6.117'de görüldüğü gibi kötü bir dağılım sergilemektedir. Buna bağlı olarak standart sapmasıda yüksek çıkmıştır. İlki 2007 [4] ve İlki 2002b [3] modelleri diğerlerine görece daha iyi standart sapmalara ve ortalamalara sahiptir. Şekil 6.117'den 6.120'ye kadar modellerin grafikleri verilmiştir.

Tablo 6.30 : Modellerin $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

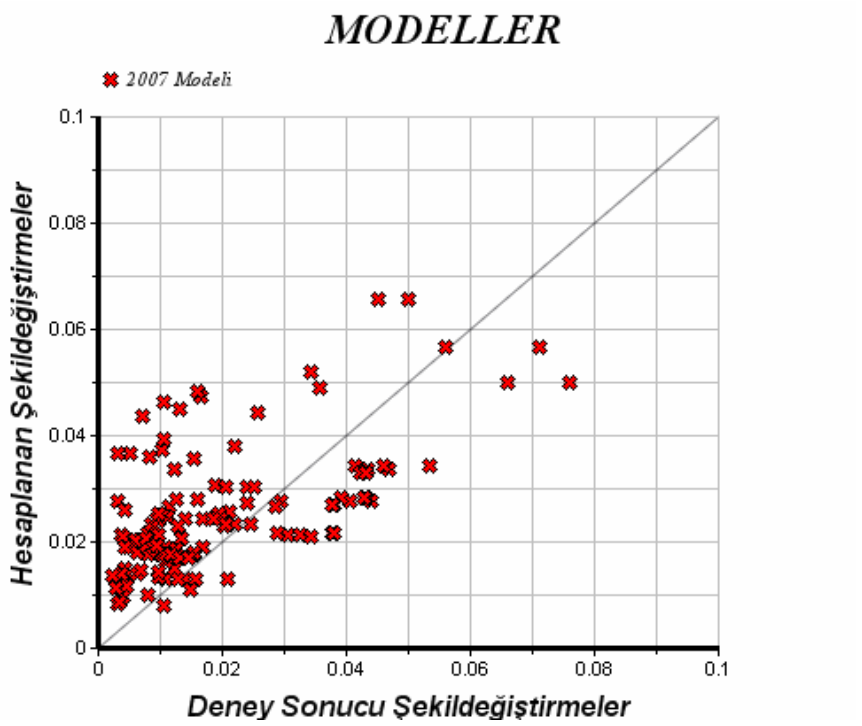
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.273	-	0.727	0.902
σ	0.640	-	0.431	0.573



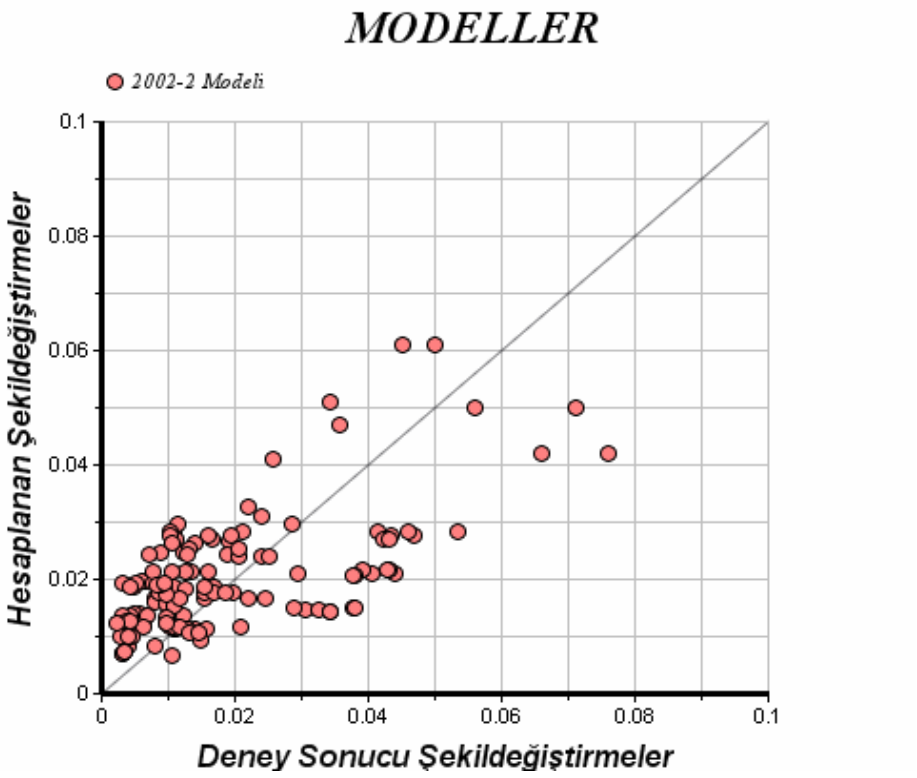
Şekil 6.117 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.118 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.119 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



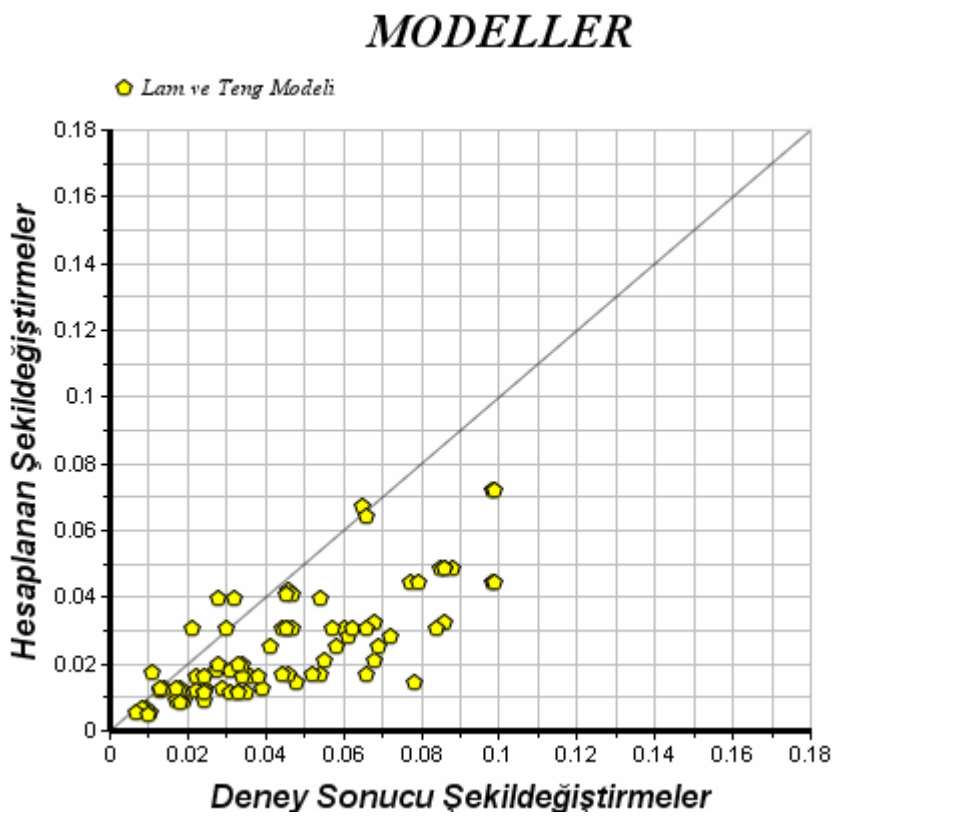
Şekil 6.120 : $150mm < (h \sim d) < 250mm$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.3.3. $(h \sim d) \geq$ 250 mm

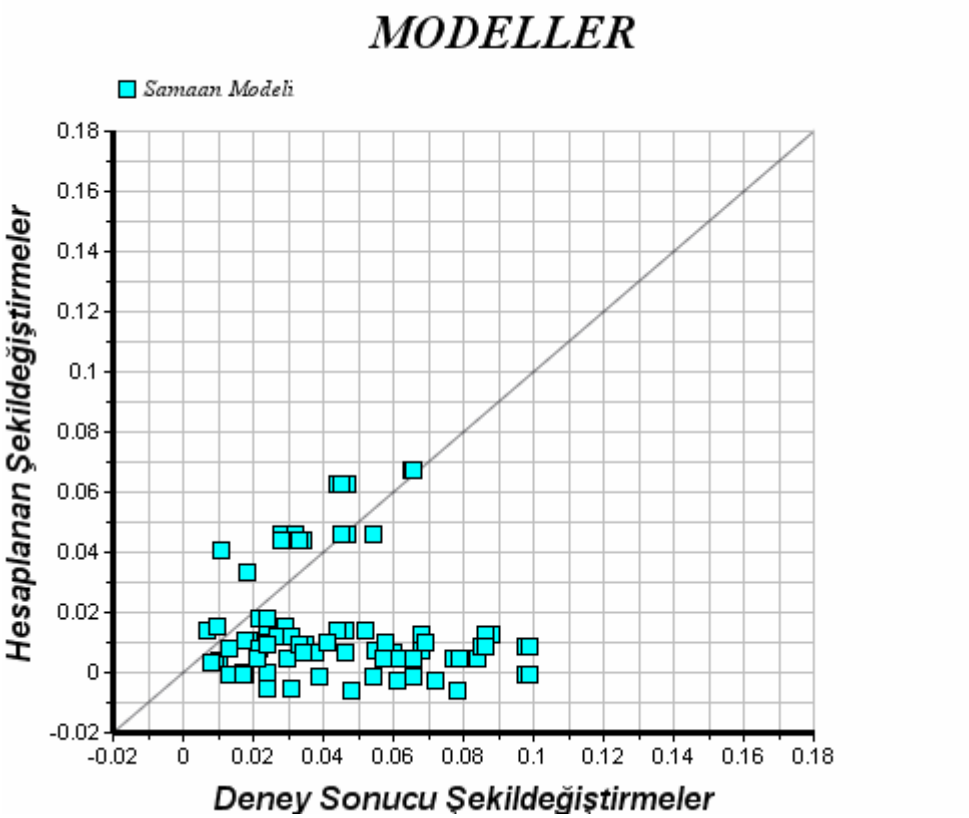
Bu bölümün son grubu 82 numuneden oluşmaktadır. Samaan modeli [2] daha önce açıklanan gerekçe ile karşılaştırma dışı bırakılmıştır. Lam ve Teng modeli [1] sonuçları bir önceki incelemeye nazaran daha kötü sonuçlar vermeye başlamıştır. Ortalama değeri neredeyse ikiye ulaşmış ve standart sapması da çok büyük çıkmıştır. Bu durum Şekil 6.121'deki grafiğinde de görülmektedir. İlki 2007 modeli [4] ise bu gruptaki en iyi sonuçları vermektedir. En yaklaşık ortalama ve en düşük stadart sapmaya sahiptir. Bu durum, bu aralığa dahil olan numunelerin büyük kısmının İlki modellerinin üzerine kurulduğu deney takımından olmasından kaynaklanabilir. Tablo 6.31'de sayısal verileri Şekil 6.121'den 6.124'e kadar da model grafikleri verilmiştir.

Tablo 6.31 : Modellerin $250mm \leq (h \sim d)$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

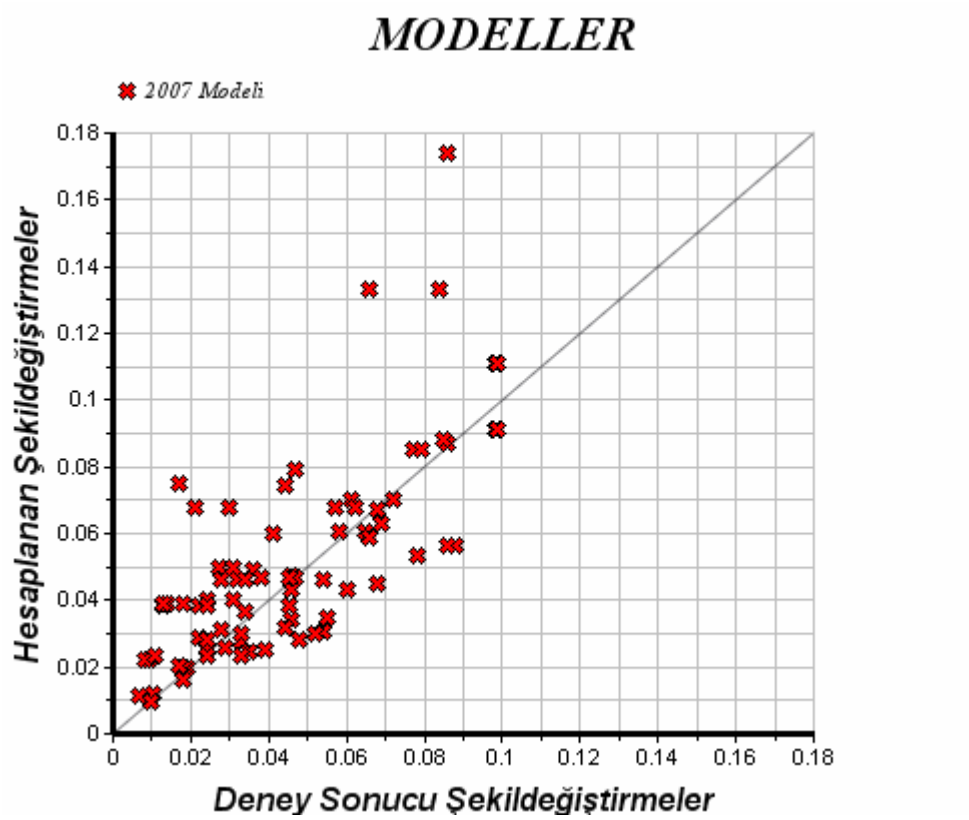
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.950	-	0.926	1.292
σ	0.783	-	0.360	0.460



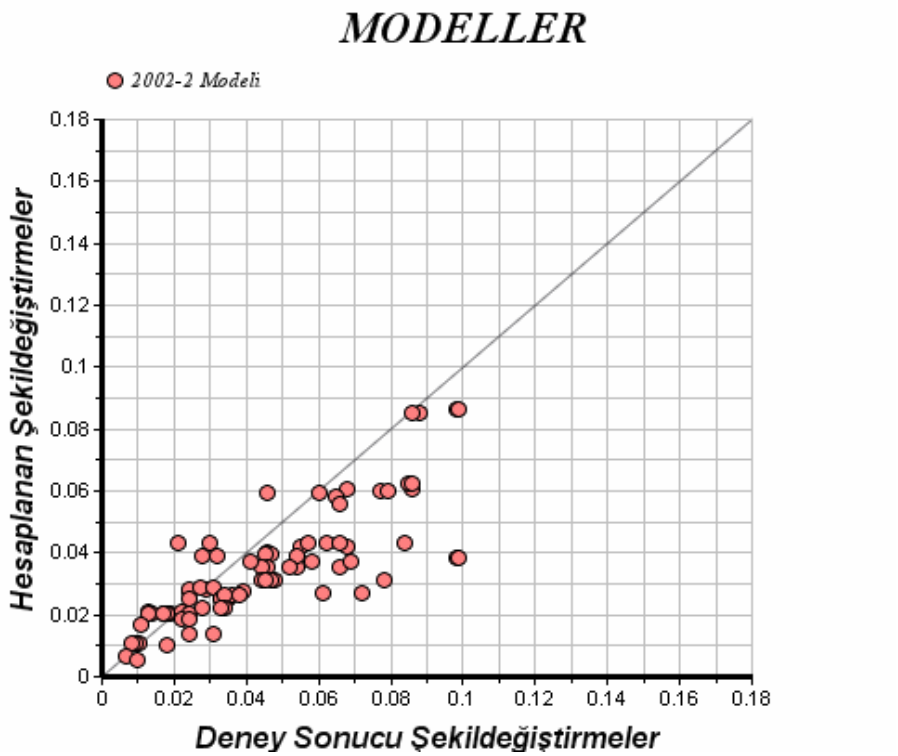
Şekil 6.121 : $250mm \leq (h \sim d)$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.122 : $250mm \le (h \sim d)$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.123 : $250mm \le (h \sim d)$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.124 : $250mm \le (h \sim d)$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

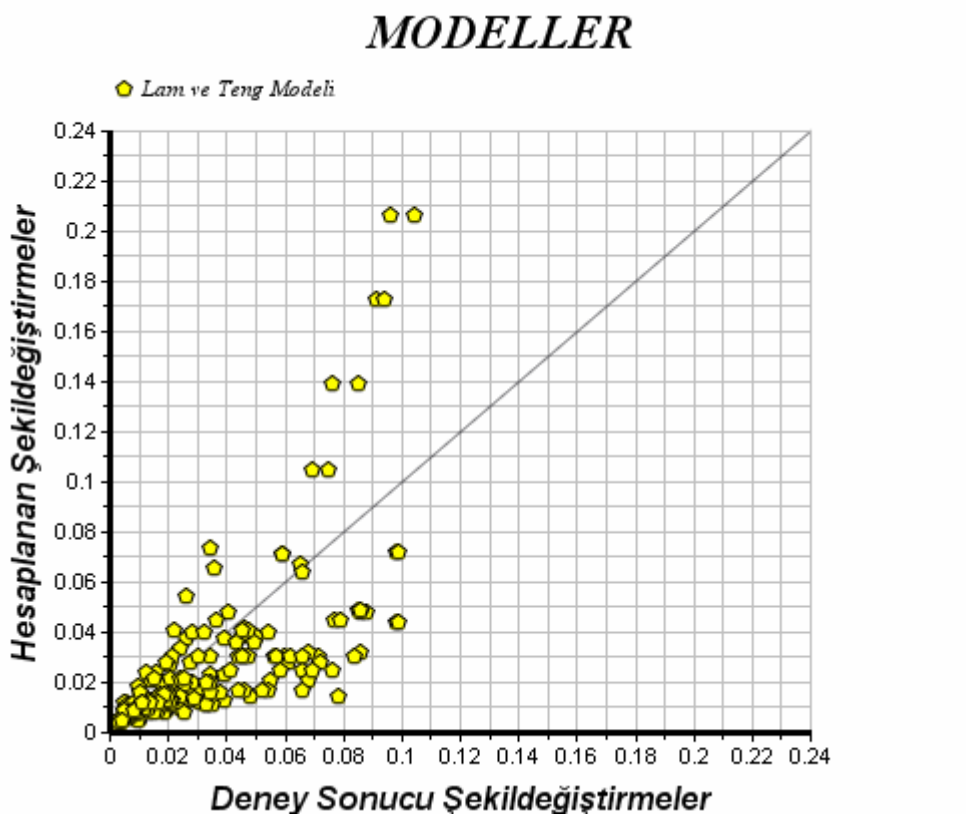
6.2.4. LP Tipinin Etkisi

6.2.4.1. CFRP

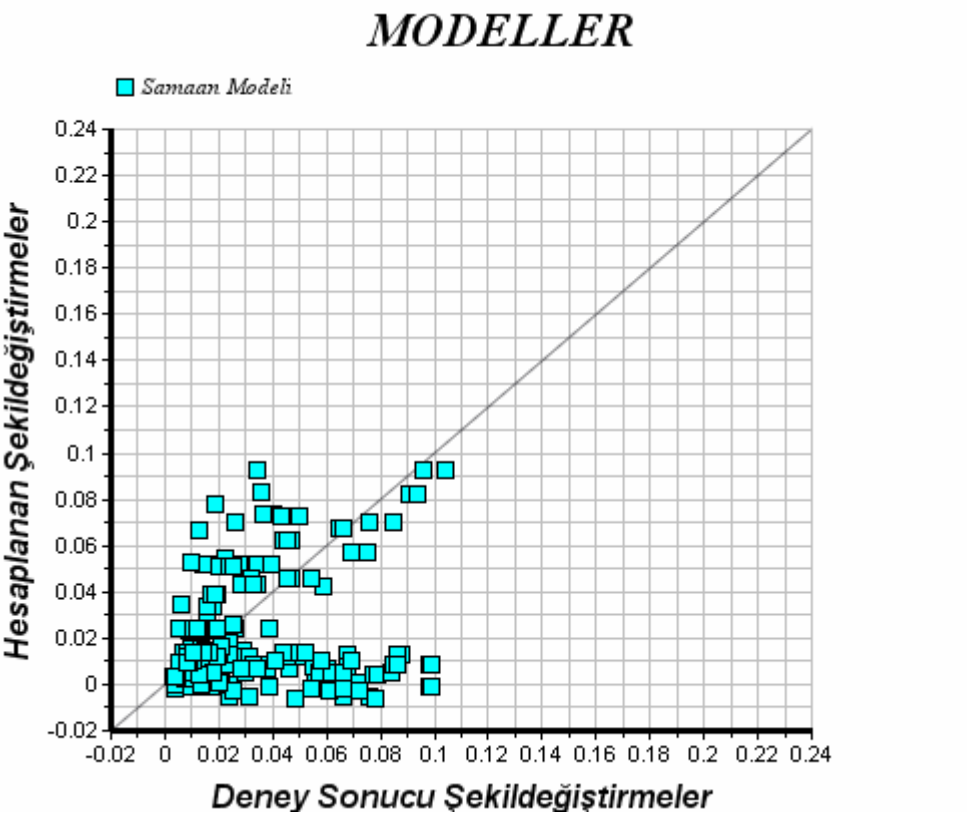
Karbon esaslı LP ile sargılanmış elemanlar veri tabanının en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölümde incelenen 276 numunenin 193'ü CFRP ile sargılanmış elemanlardır. Samaan modeli [2] Şekil 6.126'da görülen davranış yüzünden karşılaştırmaya sokulmamış ve anlamsız oldukları için istatistik verileri Tablo 6.32'de gösterilmemiştir. Bu tablodaki verilere göre en iyi ortalama değer İlki 2002b modeli [3] tarafından verilmekte ve Şekil 6.128'deki noktaların dağılımıda uygun görünmektedir. İlki 2007 modelinin [4] dağılımınında uygun görünmesine rağmen hesaplanan ortalaması İlki 2002b modeline [3] göre 1.0 değerinin daha çok altında kalmaktadır. Şekil 6.125 ve 6.127'de Lam ve Teng [1] ve İlki 2007 modelleri [4] grafikleri verilmiştir.

Tablo 6.32 : Modellerin CFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri

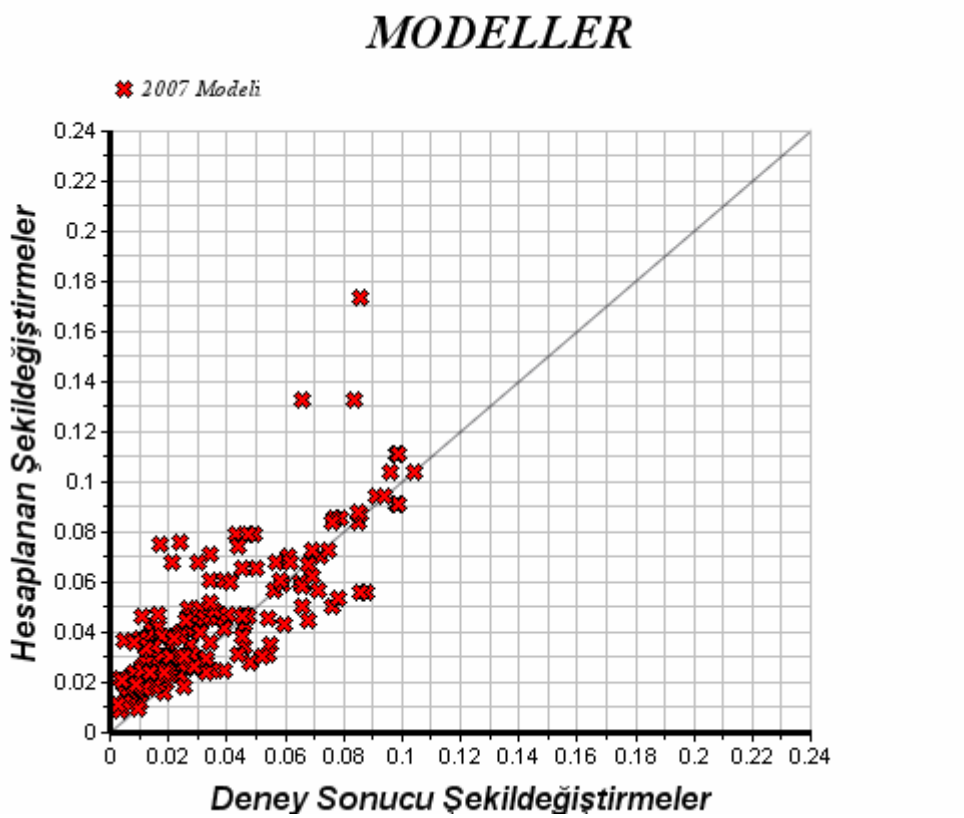
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.447	-	0.750	0.979
σ	0.770	-	0.347	0.469



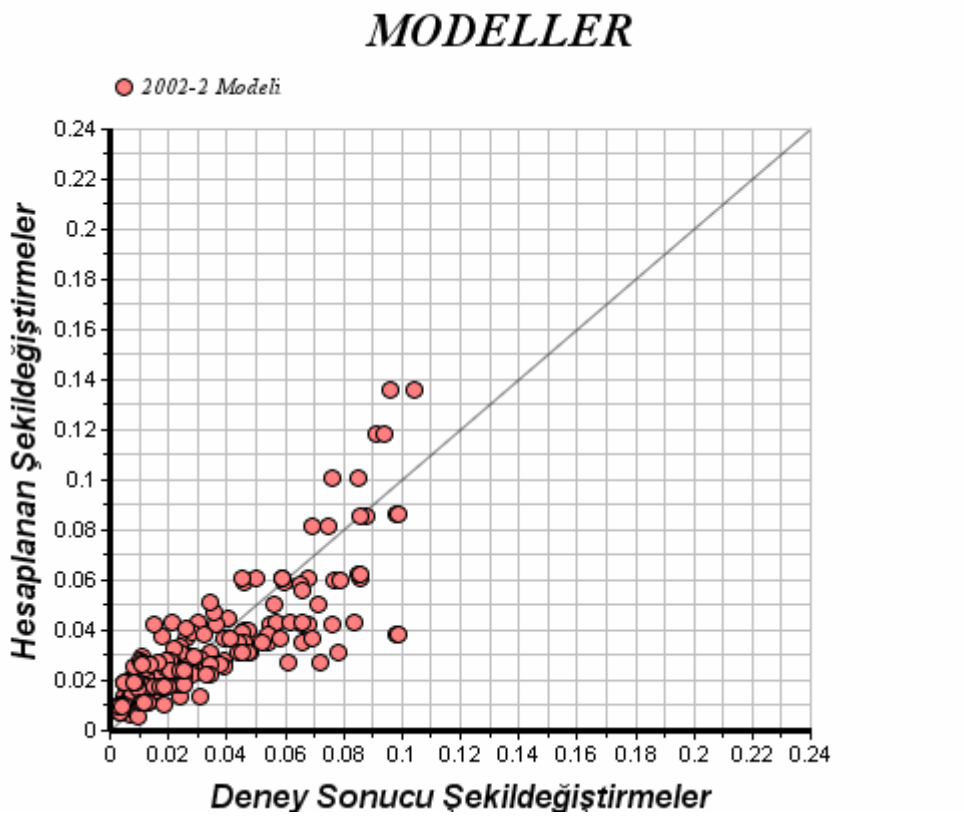
Şekil 6.125 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.126 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.127 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



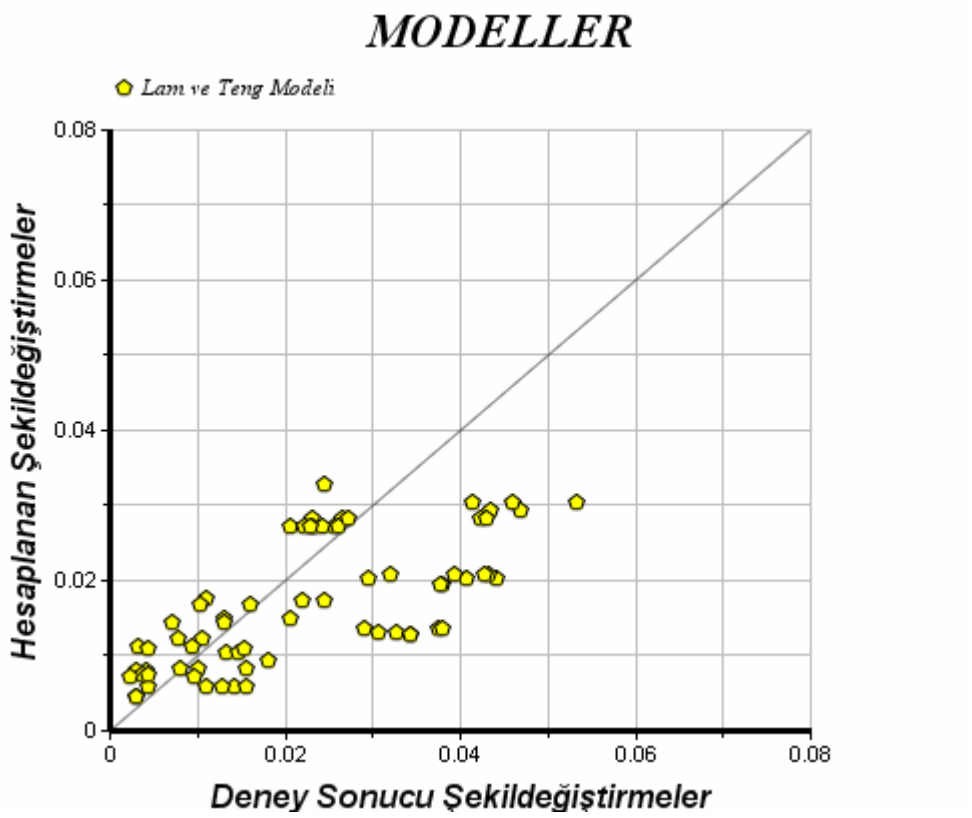
Şekil 6.128 : CFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.4.2. GFRP

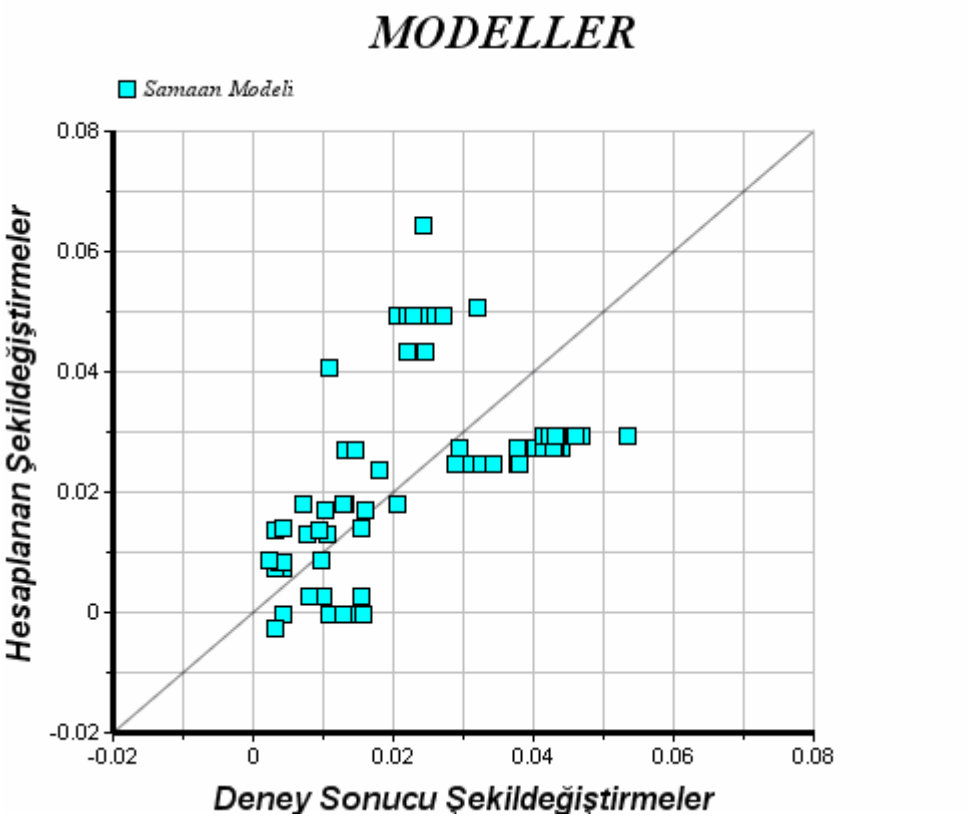
GFRP ile sargılanmış elemanlar 69 adettir. Samaan modeli [2] incelenmemiş ve veriler Tablo 6.33'e yansıtılmamıştır. İlki 2007 modeli [4] bu aralıkta karbon esaslı LP'de gösterdiğinden daha iyi bir performans göstermiştir. İstatistiki veriler içinde en iyi ortalama ve en küçük standart sapmayı sağlayarak en uygun sonuçları vermektedir. Ardında İlki 2002b modeli [3] gelmektedir. Bu modelin ortalaması İlki 2007'den [4] biraz daha kötü ve standart sapması biraz daha büyüktür. Lam ve Teng modelinin [1] değerleride CFRP değerlerinden daha iyi çıkmıştır. Şekil 6.129, 6.130, 6.131 ve 6.132 sırasıyla Lam ve Teng modeli [1], Samaan modeli [2], İlki 2007 modeli [4] ve İlki 2002b modellerinin [3] grafiklerini içermektedir.

Tablo 6.33 : Modellerin GFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri

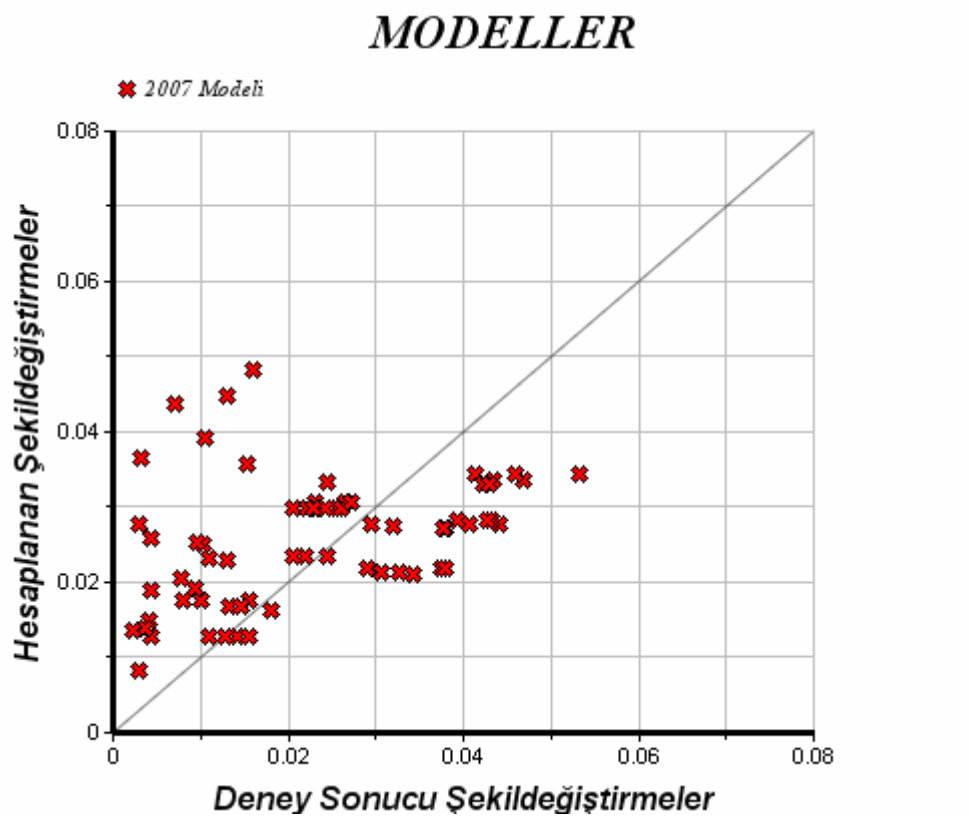
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.339	-	0.879	1.150
σ	0.683	-	0.474	0.649



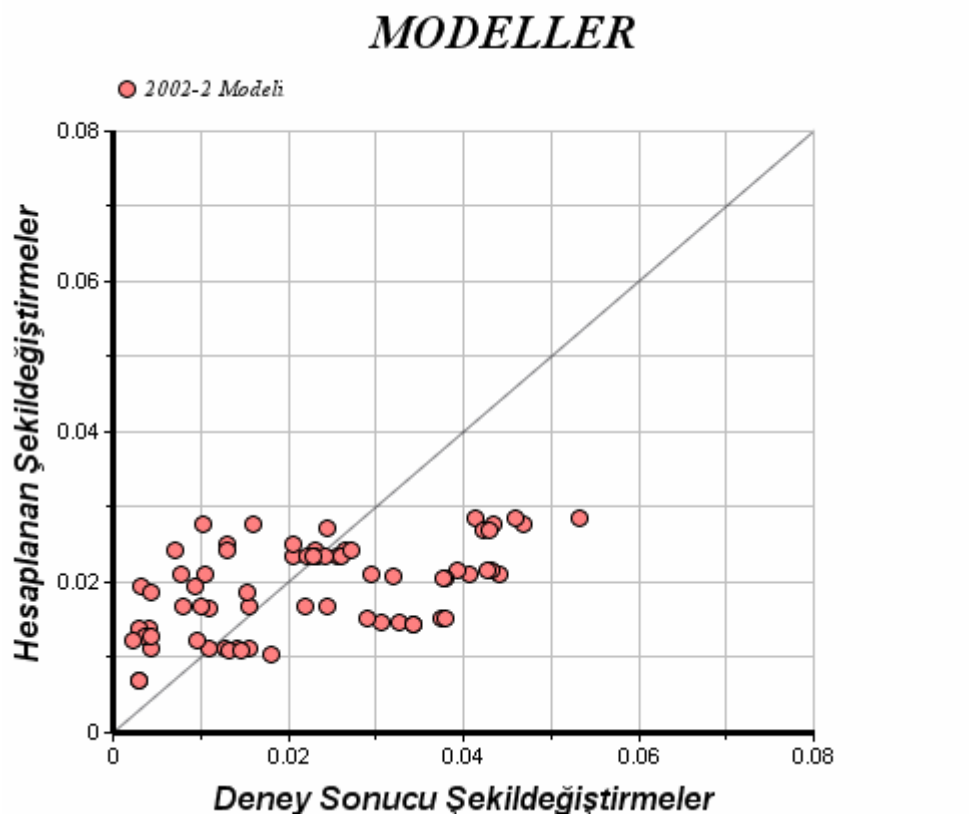
Şekil 6.129 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.130 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.131 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



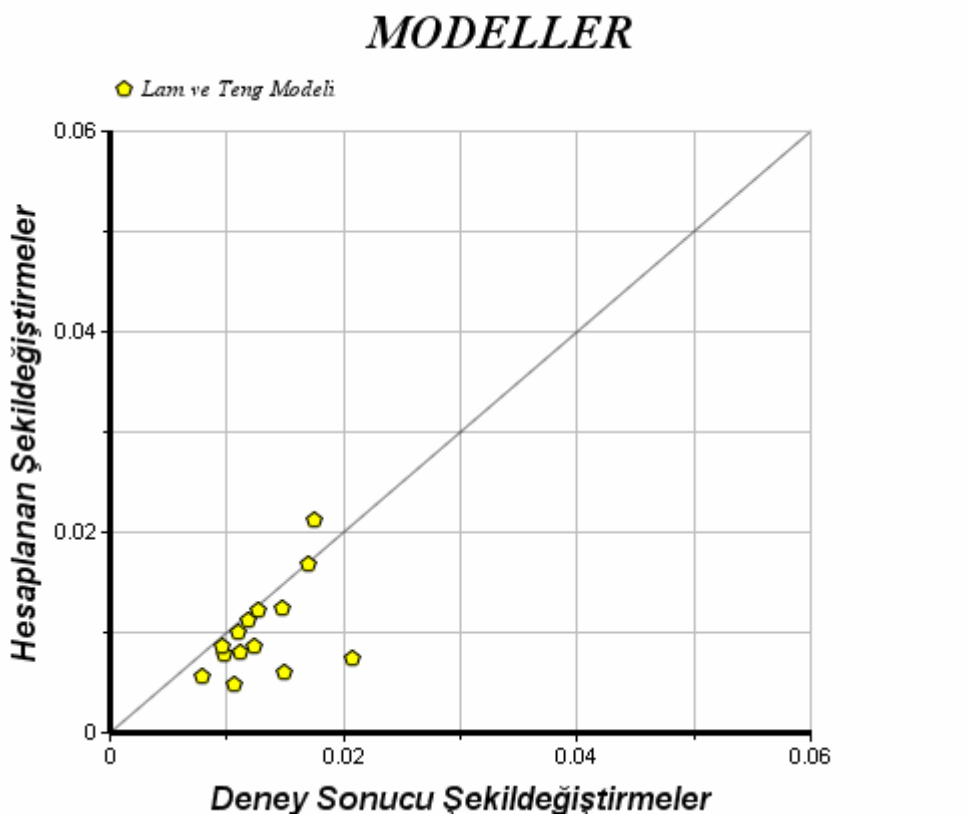
Şekil 6.132 : GFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.4.3. AFRP

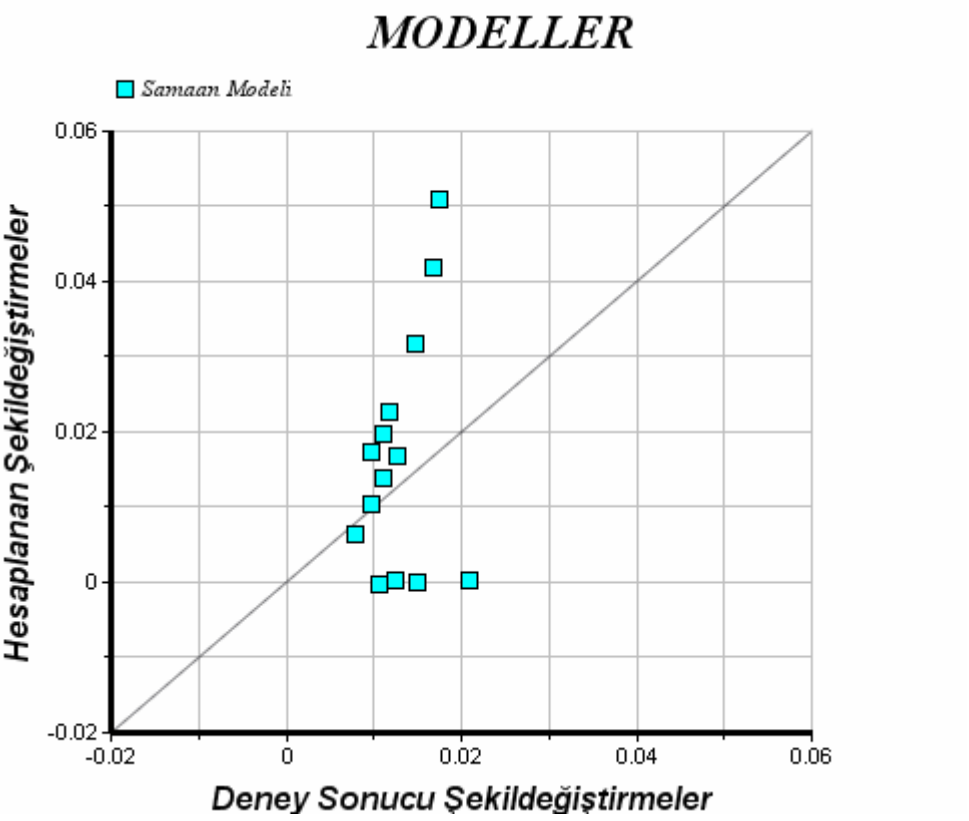
Aramid esaslı numuneler veri tabanın en küçük grubunu oluşturmaktadır. Bu aralıkta incelenen elman sayısı sadece 14'dür. Samaan modeli verdiği anlamsız istatistik veriler nedeniyle inceleme dışı bırakılmıştır. İlki 2007 modelinin [4] giderek bire yaklaşan ortalama değeri, bu eğilimine devam etmiş ve 0.913'lük bir ortalama değer almıştır (Tablo 6.34). Aynı zamanda en düşük standart sapma da İlki 2007 modelinde [4] görünmektedir. Şekil 6.133, 6.135 ve 6.136'ya bakıldığı zaman üç modelin de kabul edilebilir dağılımlar sergiledikleri görülmektedir. Özellikle İlki modelleri [3,4] standart sapmaların küçük olması açısından da daha toplu bir dağılım sergilemektedirler. Şekil 6.134'te de Samaan modeli [2] görülebilir.

Tablo 6.34 : Modellerin AFRP ile Sargılanmış Elemanlara Göre İstatistik Verileri

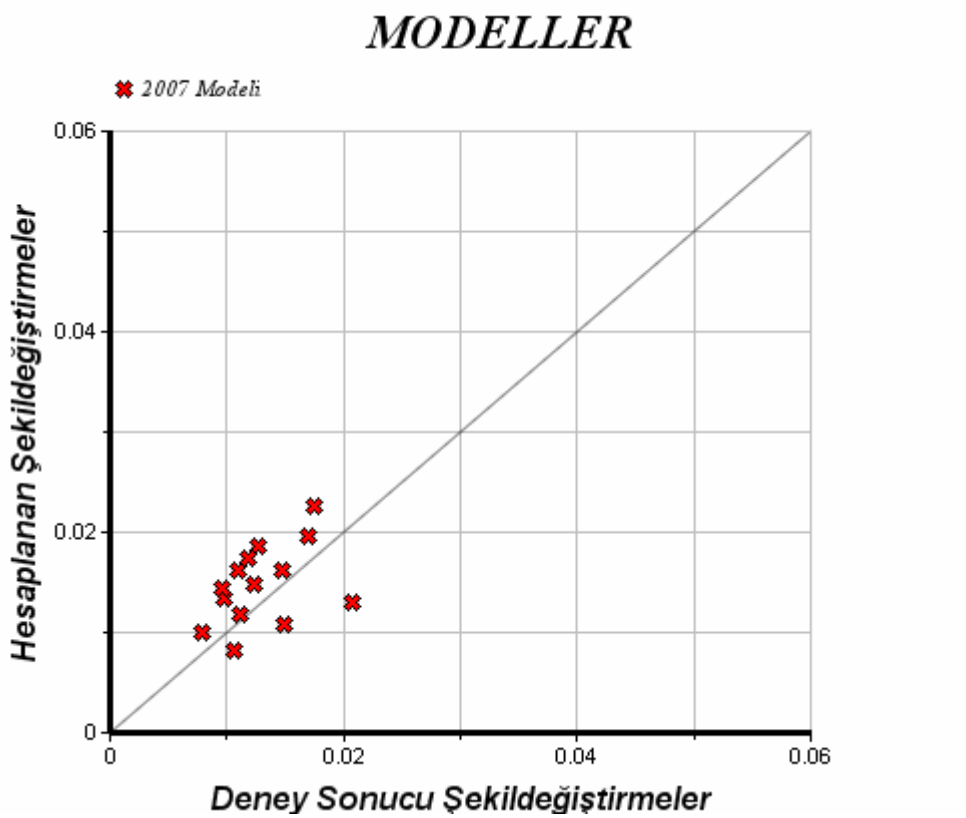
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.447	-	0.913	1.129
σ	0.580	-	0.284	0.386



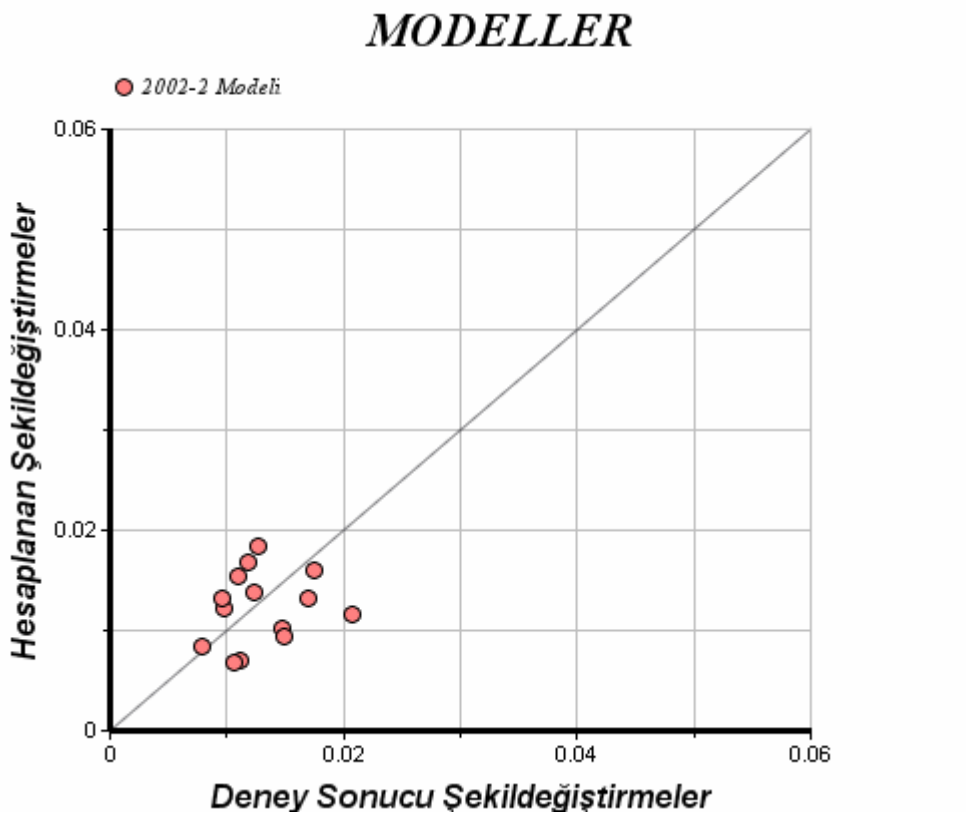
Şekil 6.133 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.134 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.135 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.136 : AFRP ile Sargılanmış Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

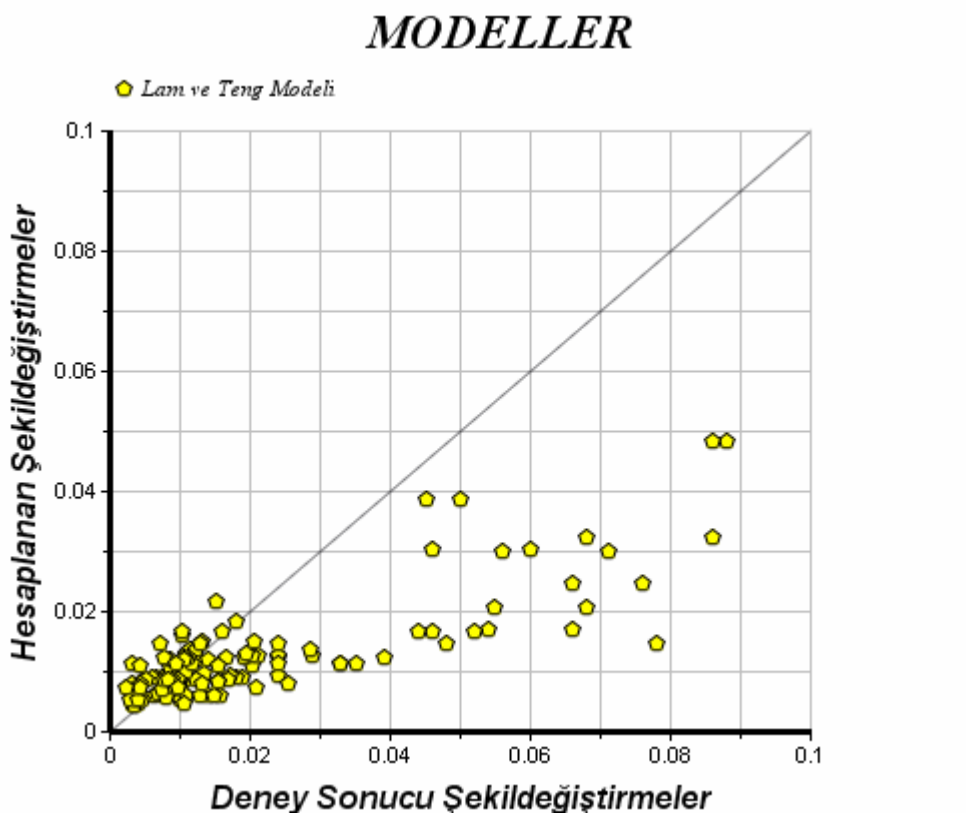
6.2.5. En-Boy Oranının Etkisi

6.2.5.1. $1 \le h/b \le$ 1.5

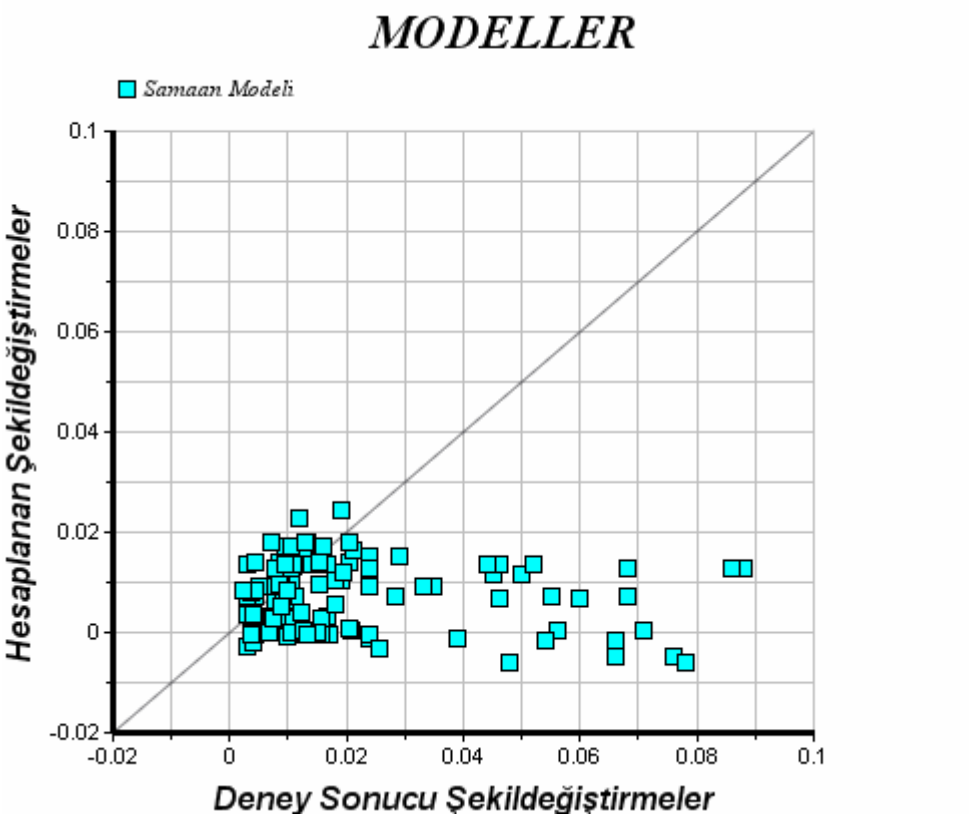
Bu aralıkta 123 numune bulunmaktadır. Özellikle Lam ve Teng modelinde [1] olmak üzere, tüm modellerde standart sapmaların büyük olduğu görülmektedir (Şekil 6.137, 6.139 ve 6.140). Tablo 6.35'de bu durumu desteklemektedir. Göz önüne alınan üç model arasında deneysel verilere en yakın değerler İlki 2002b modeli [3] tarafından verilmektedir. Ardında da yakın değerlerle İlki 2007 modeli [4] gelmektedir. Lam ve Teng modelinin [1] dağılımındaki uygunsuzluk istatistik verilerde de gözükmektedir. Samaan modeli [2] oluşan anlamsız istatistik veriler nedeniyle gözardı edilmiştir. Şekil 6.138 Samaan modelinin [2] davranışını göstermektedir.

Tablo 6.35 : Modellerin $(h/b) \le 1.5$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

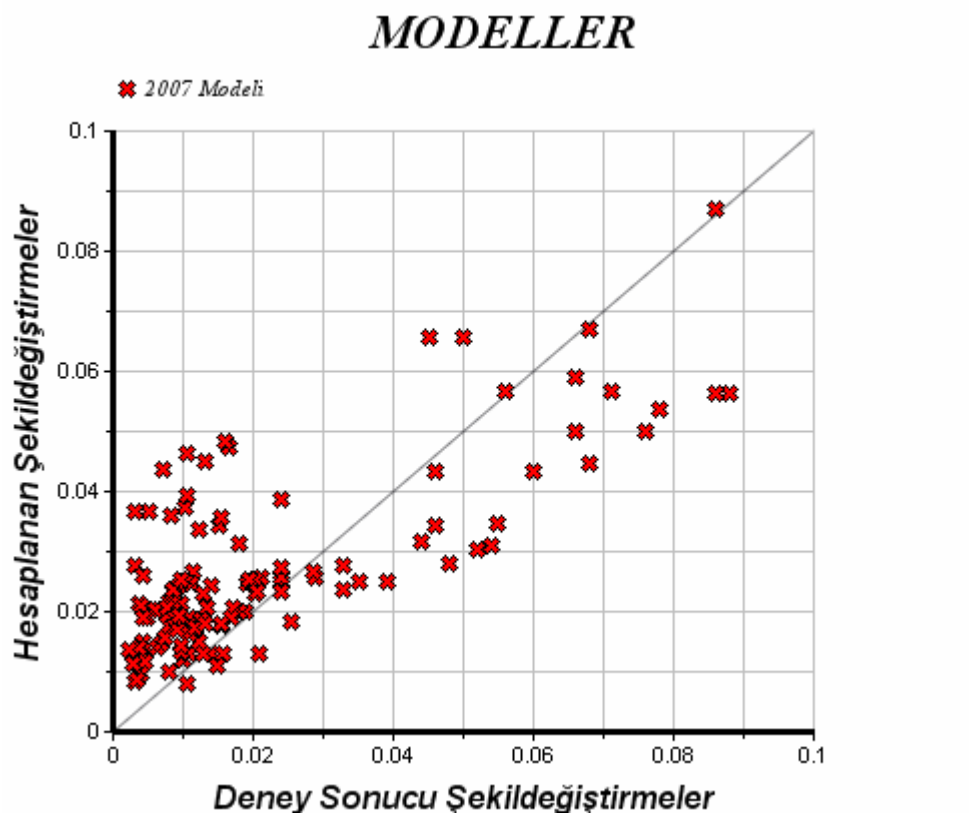
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.515	-	0.726	0.776
σ	0.884	-	0.434	0.439



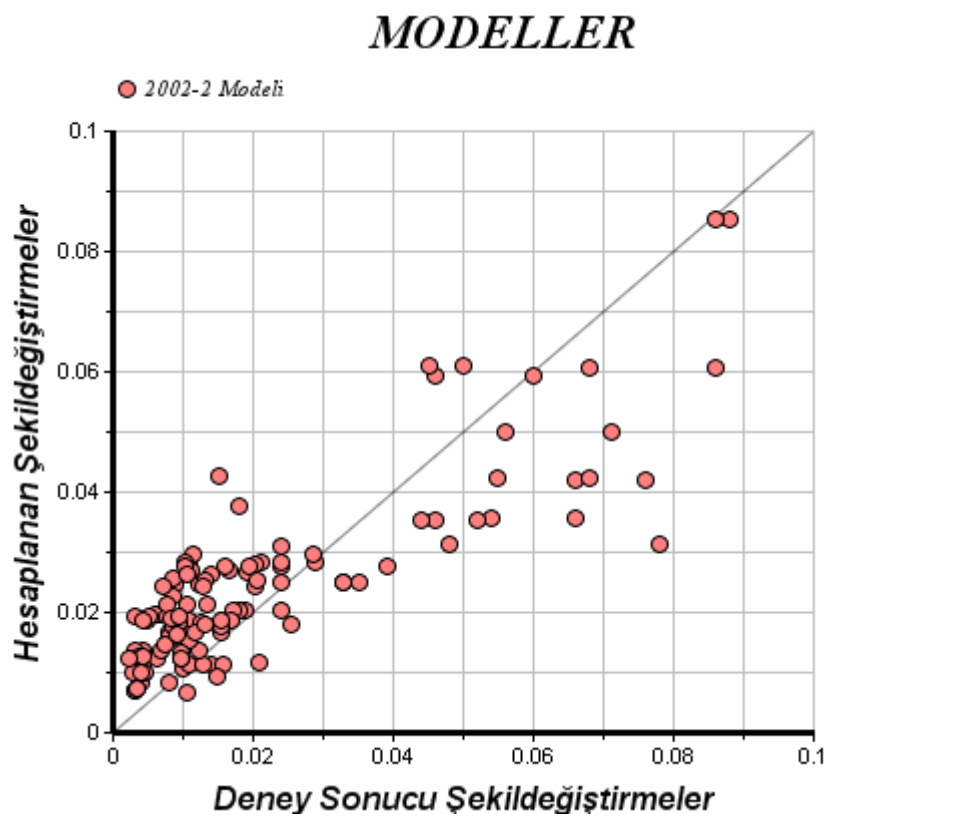
Şekil 6.137 : $(h/b) \le 1.5$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.138 : $(h/b) \leq 1.5$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.139 : $(h/b) \leq 1.5$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



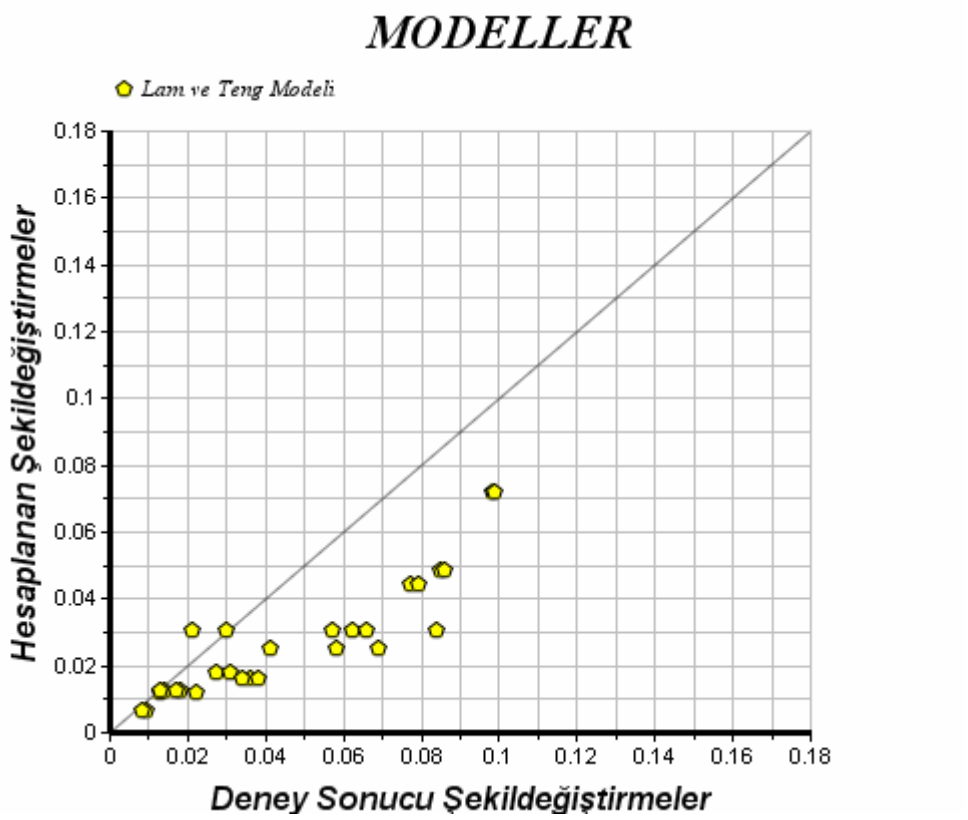
Şekil 6.140 : $(h/b) \leq 1.5$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.5.2. $1.5 < h/b \leq 2$

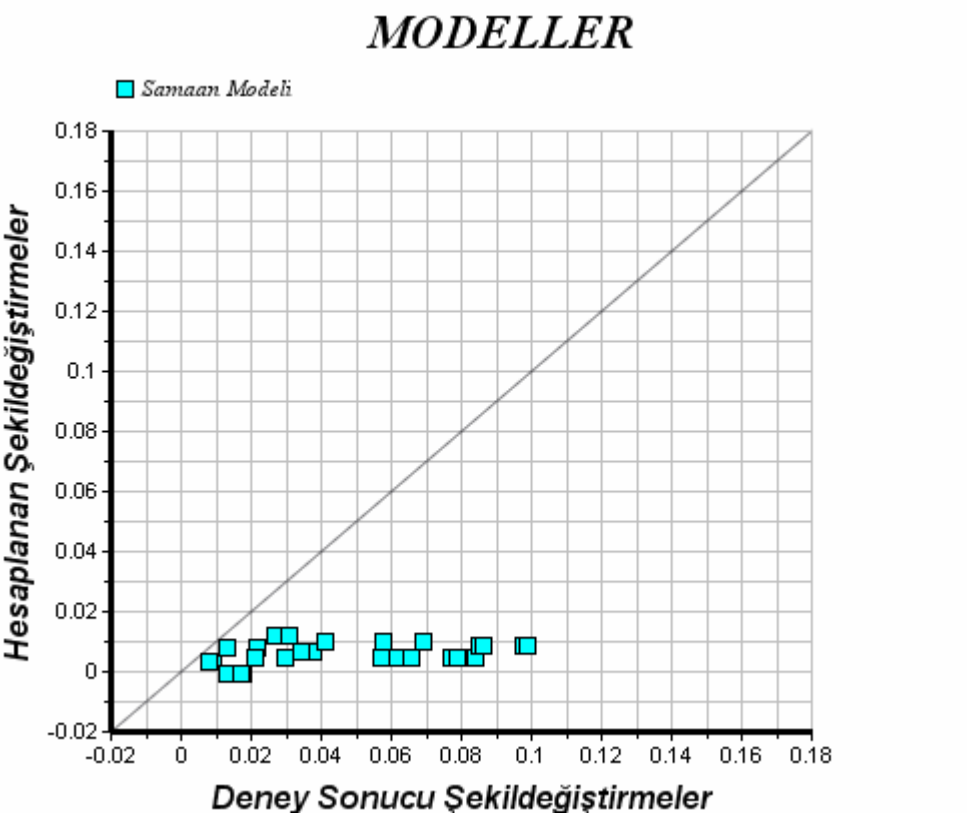
Bu aralıkta 28 numune bulunmaktadır. Bu değerlendirmede İlki 2007 [4] denklemi bir önceki aralığa göre daha kötü sonuçlar vermeye başlamıştır. Lam ve Teng modelinin [1] sonuçları da kabul edilebilir görünmemektedir. İlki 2002b modeli [3] bir öncekinde olduğu gibi kabul edilebilir sınırlar içinde kalmış, en iyi ortalama ve genele göre iyi sayılabilecek bir standart sapma ile en iyi sonuç veren model olarak kalmıştır. Tablo 6.36 sayısal sonuçları ve Şekil 6.141, 6.142, 6.143 ve 6.144 ise sırasıyla Lam ve Teng, Samaan, İlki 2007 ve İlki 2002b modellerinin grafiklerini sergilemektedir.

Tablo 6.36 : Modellerin $1.5 < (h/b) \leq 2$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

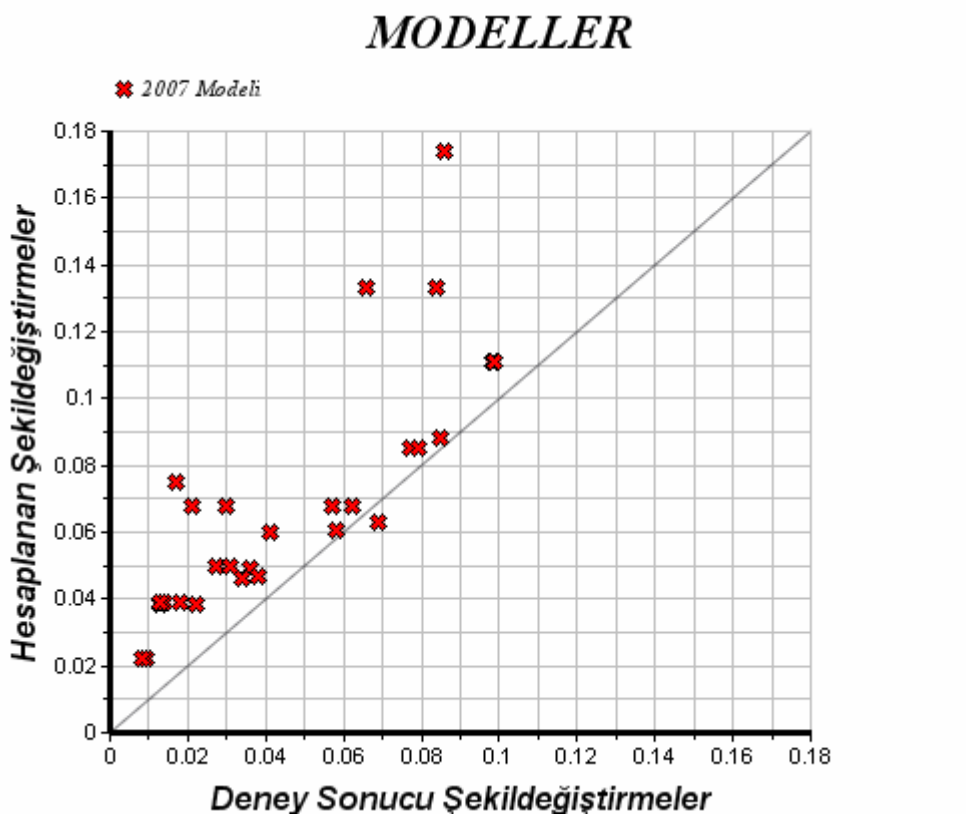
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.690	-	0.641	1.142
σ	0.507	-	0.243	0.369



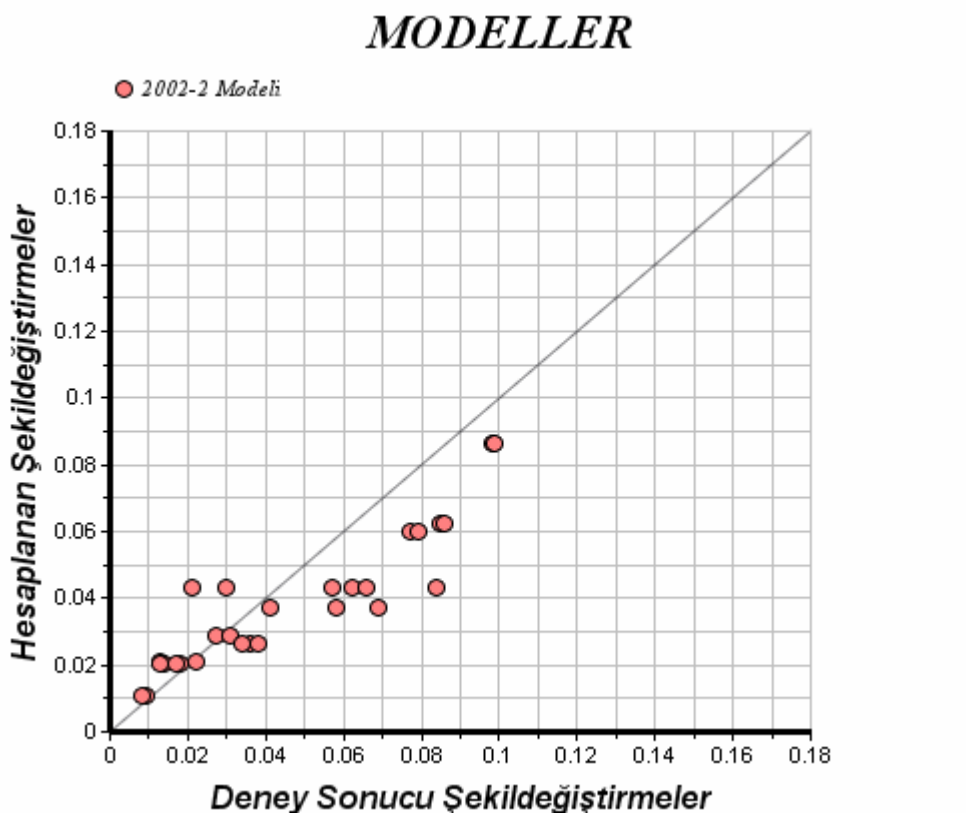
Şekil 6.141 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.142 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.143 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



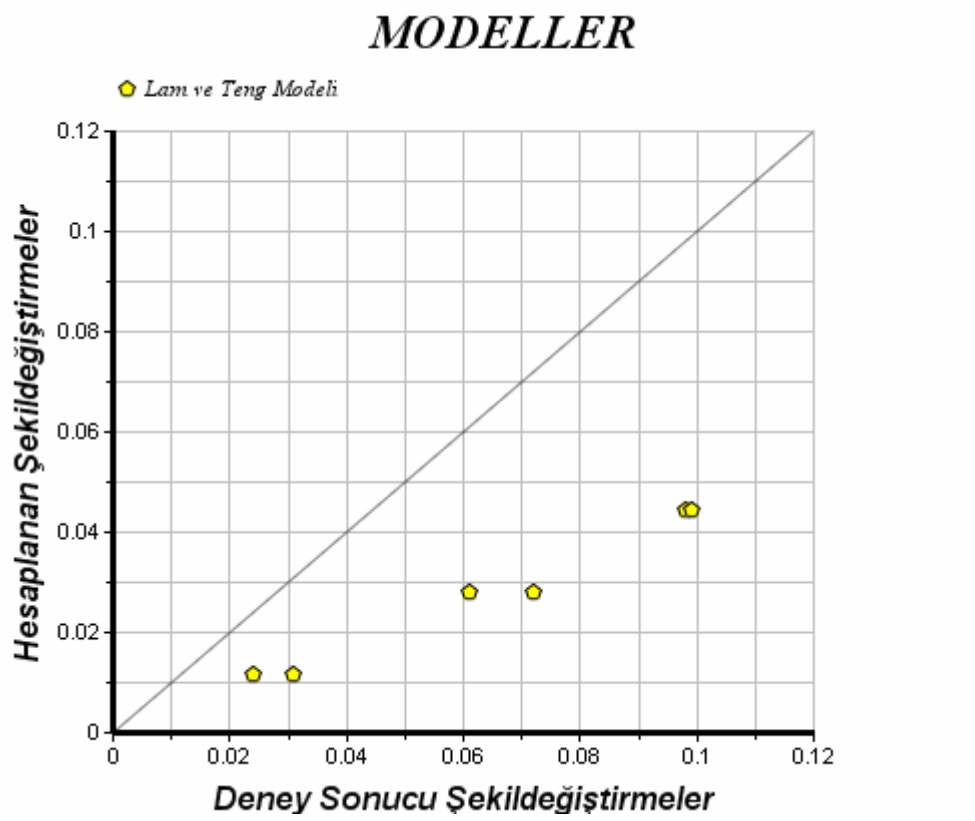
Şekil 6.144 : $1.5 < (h/b) \leq 2$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.5.3. $h/b > 2$

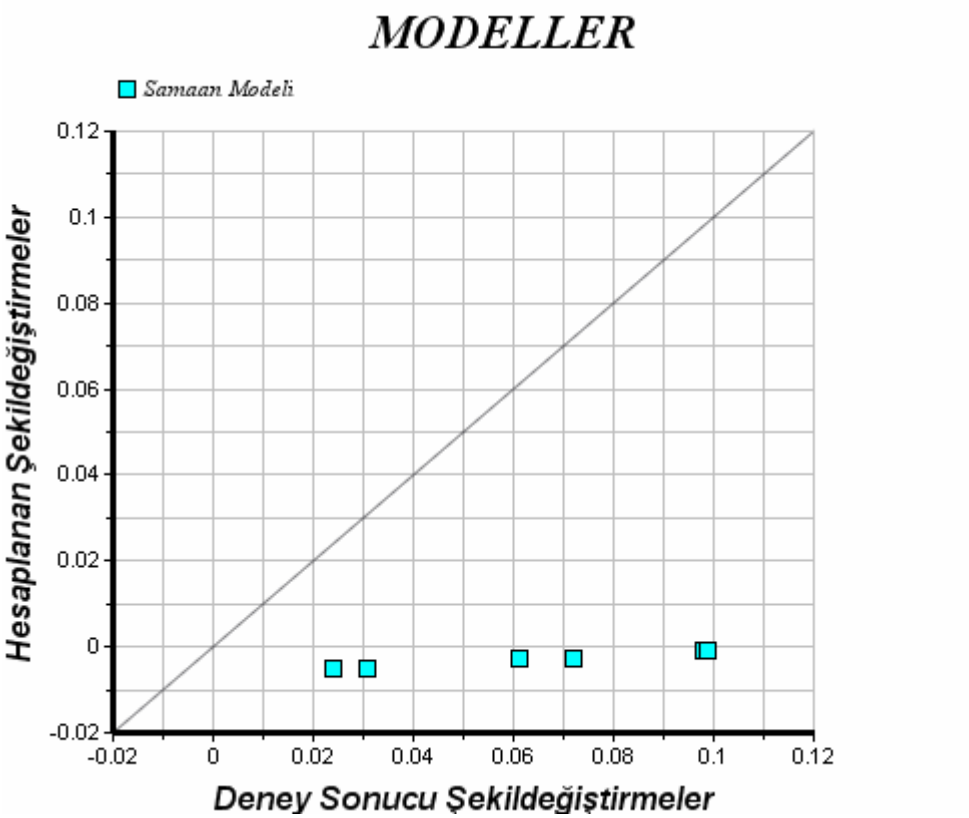
Bu aralık en az numuneye sahip olan aralıktır. Sadece 6 numune içermektedir. Bu sebeple elde edilen değerlerin kabul edilebilirliği düşüktür. Fakat grafiklere ve istatistiki verilere bakıldığında İlki 2007 modelinin [4], numunelerle tam bir uyumluluk içinde olduğu görülmektedir (Tablo 6.37 ve Şekil 6.145-6148). Bu numunelerin İlki modellerinin çıkartılmasında kullanılan test grubuna dahil olduğu unutulmamalıdır. Diğer iki model ise, İlki 2002b [3] ve Lam ve Teng modelleri [1], kabul edilemeyecek çok büyük ortalamalar sunmaktadır (İkisininde de dağılımların ağarlık merkezleri ortalama çizgisinin altına düşmüştür.).

Tablo 6.37 : Modellerin $2 < (h/b)$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

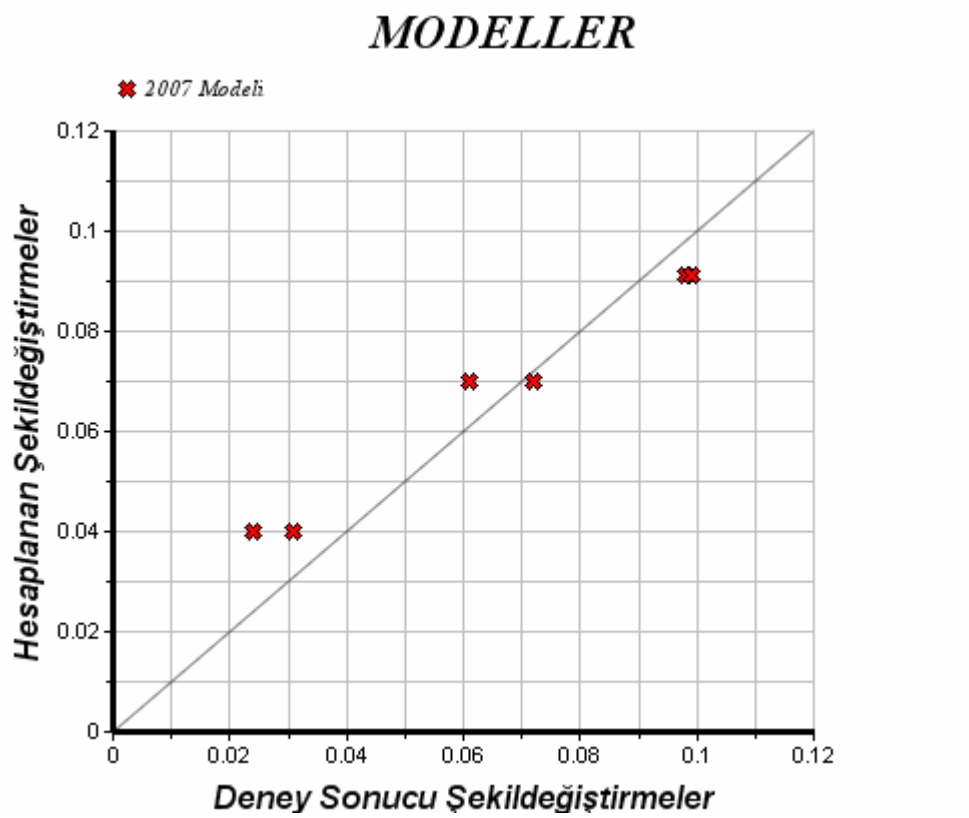
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	2.319	-	0.905	2.356
σ	0.218	-	0.177	0.301



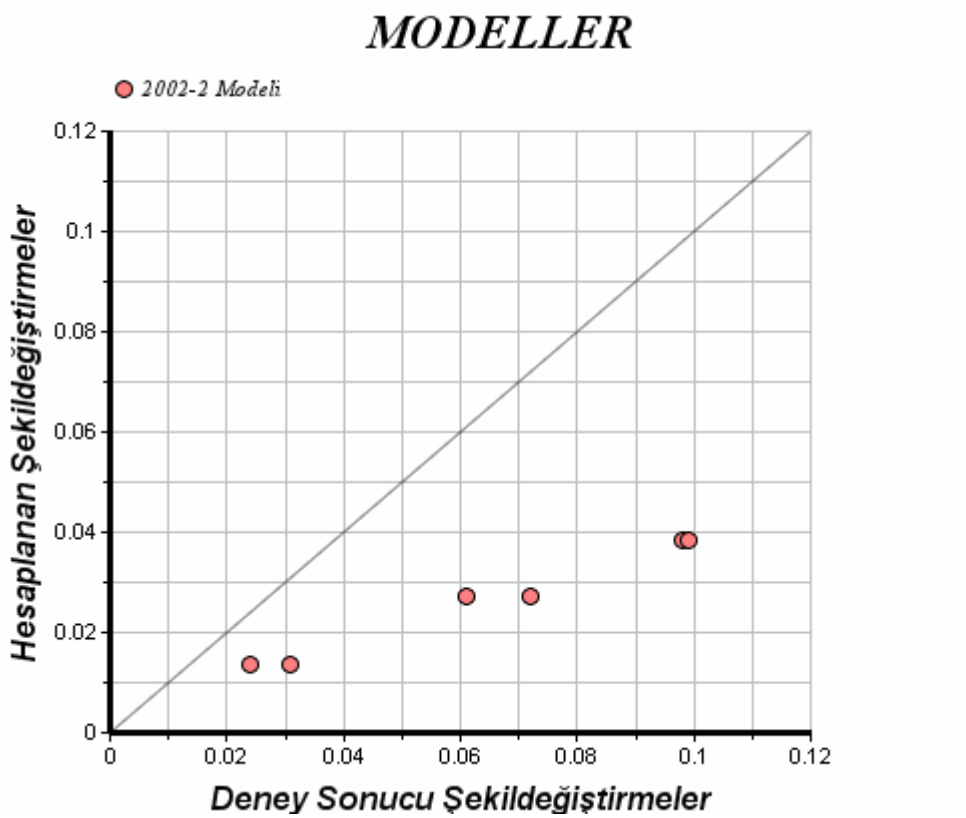
Şekil 6.145 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1]Sonuçları



Şekil 6.146 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.147 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4]Sonuçları



Şekil 6.148 : $2 < (h/b)$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

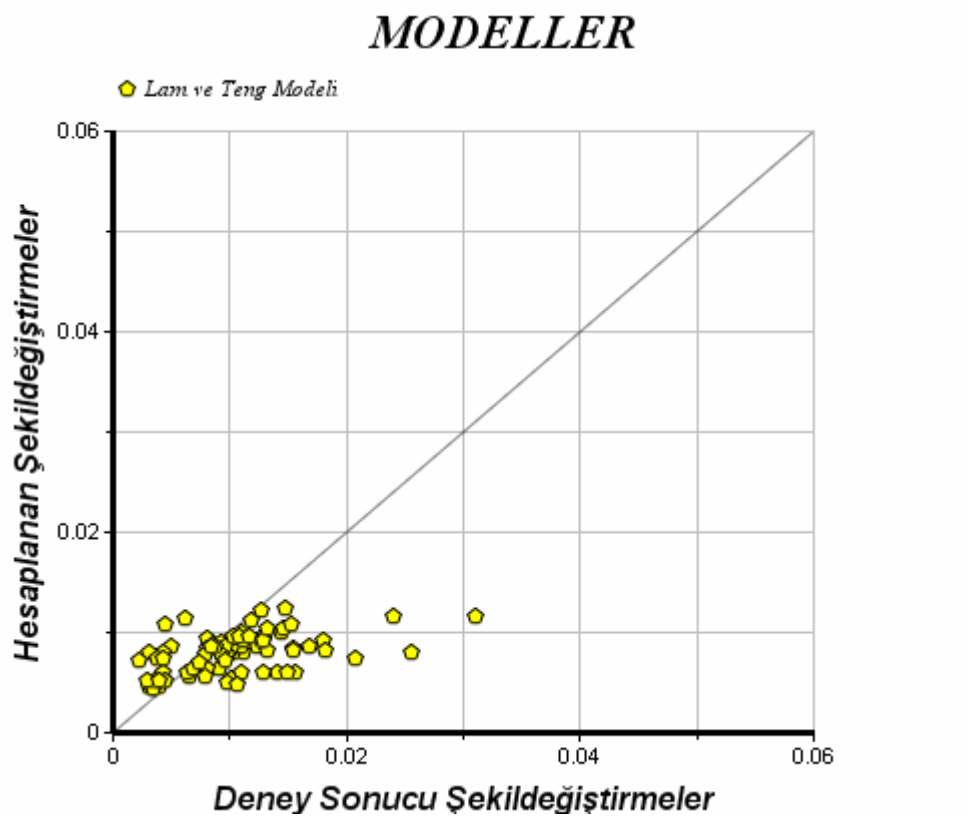
6.2.6. Sargı Miktarının Etkisi

6.2.6.1. $f_l / f'_{co} <$ 0.25

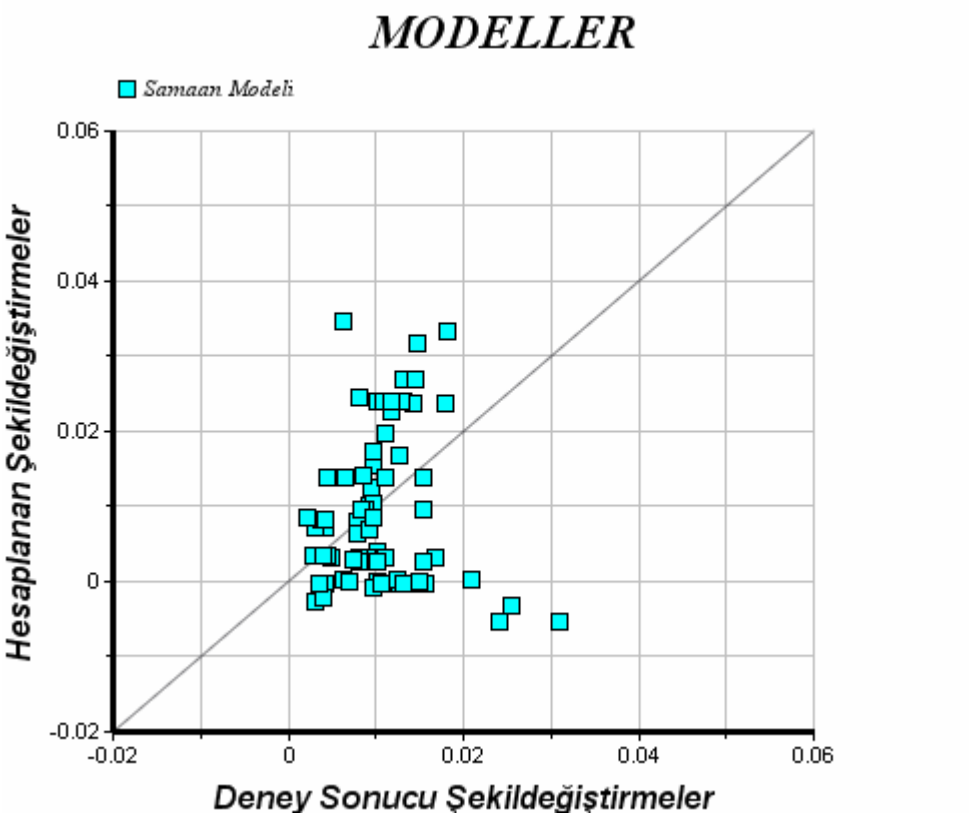
İlk dayanımın %25'ine kadar yanal basıncın oluştuğu eleman sayısı 76'dır. En iyi ortalama İlki 2002b modeli [3] tarafından verilmektedir. Bu durum modele ait grafiğin gösterildiği Şekil 6.152'den de görülebilmektedir. Samaan modeli [2] sıfırın altındaki sonuçları ve anlamsız standart sapmaları nedeniyle işlem dışı bırakılmıştır. Diğer modellerin grafikleri Şekil 6.149, Şekil 6.150 ve Şekil 6.151'de görülebilir. İstatistiki veriler ise Tablo 6.38'de verilmiştir.

Tablo 6.38 : Modellerin $(f_l / f_{co}) < 0.25$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

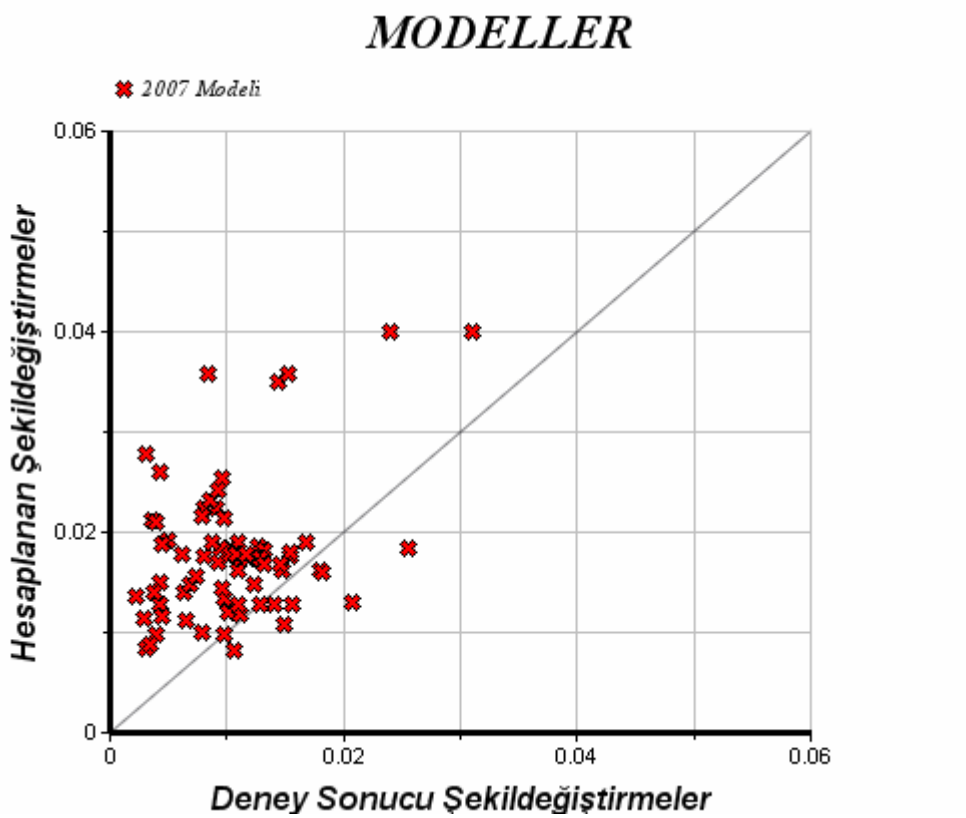
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.297	-	0.616	0.837
σ	0.603	-	0.318	0.463



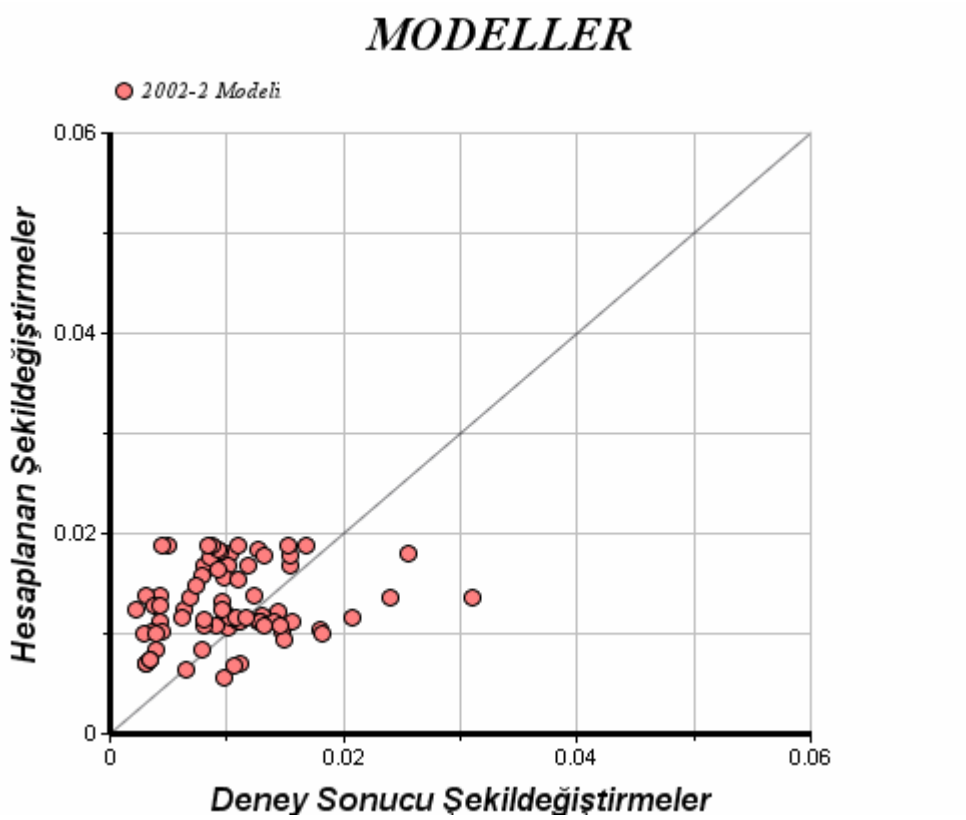
Şekil 6.149 : $(f_l / f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.150 : $(f_l / f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.151 : $(f_l / f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



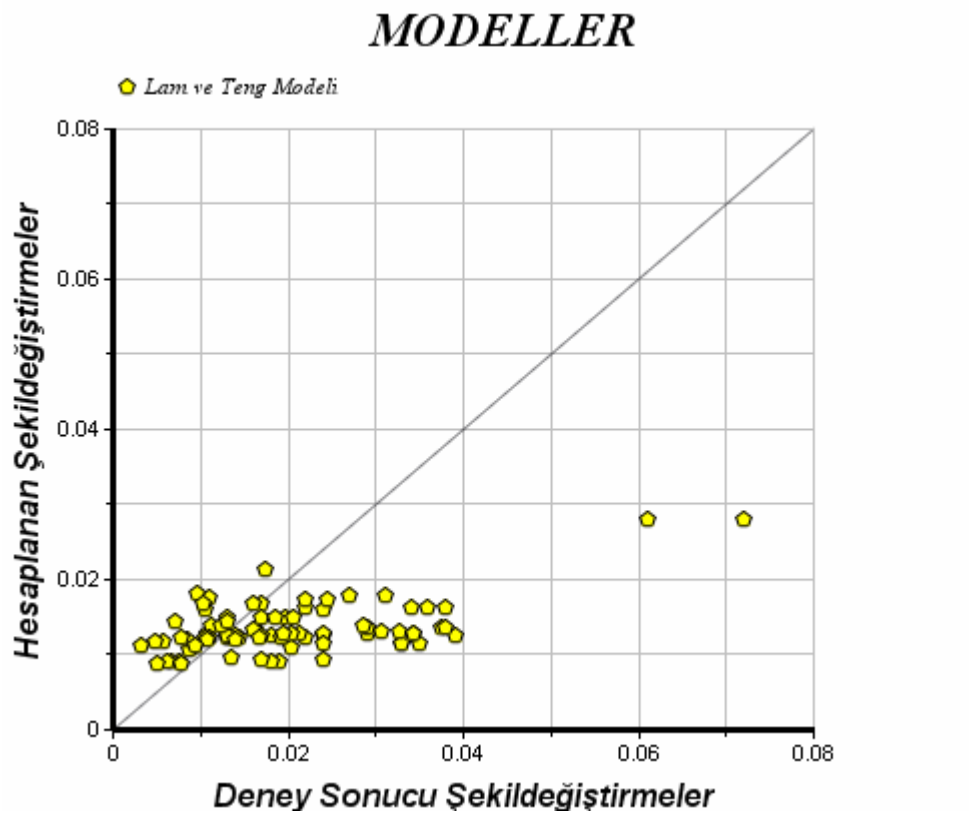
Şekil 6.152 : $(f_l / f_{co}) < 0.25$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.6.2. $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le$ 0.5

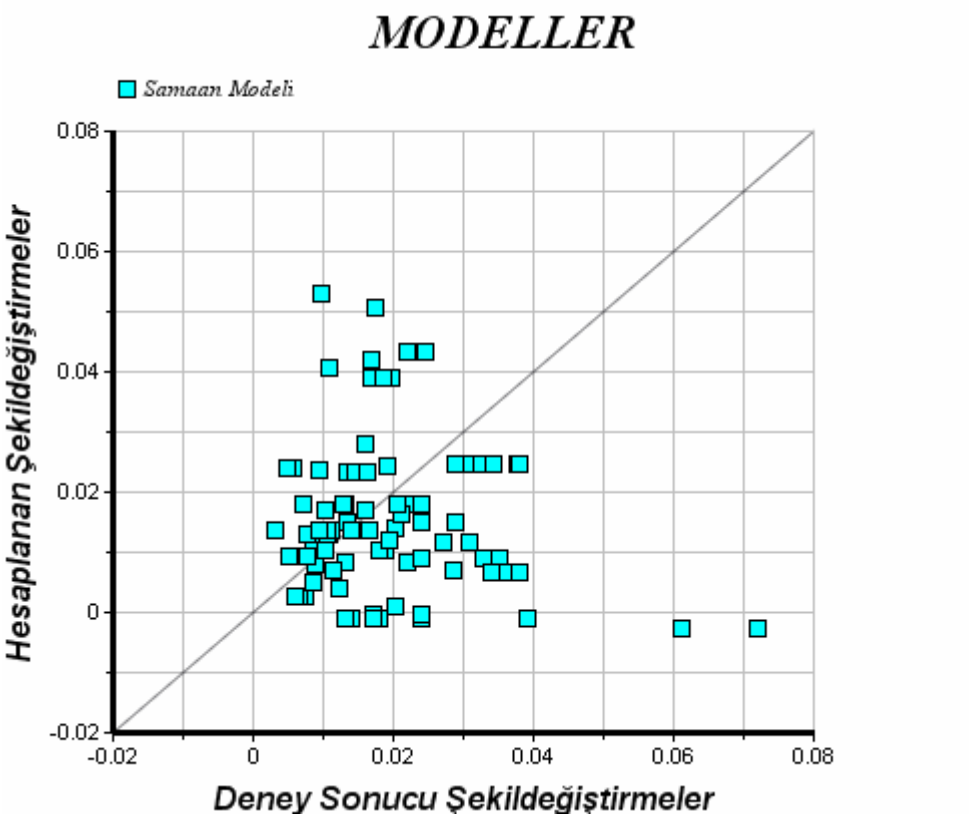
Bu grupta 83 numune incelenmektedir. Şekil 6.153'ten Şekil 6.156'ya kadar gösterilen model grafiklerinde, dağılımlar görülmektedir. Lam ve Teng modelinin [1] dağılımının çok uygun olmadığı ve İlki 2007 modelinin de [4] ortalama doğrusunun çok üzerinde kaldığı görülmektedir. İstatistiksel olarak İlki 2002b modeli [3] en iyi ortalamaya sahiptir. Bu durum Tablo 6.39 aracılığıyla izlenebilir.

Tablo 6.39 : Modellerin $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

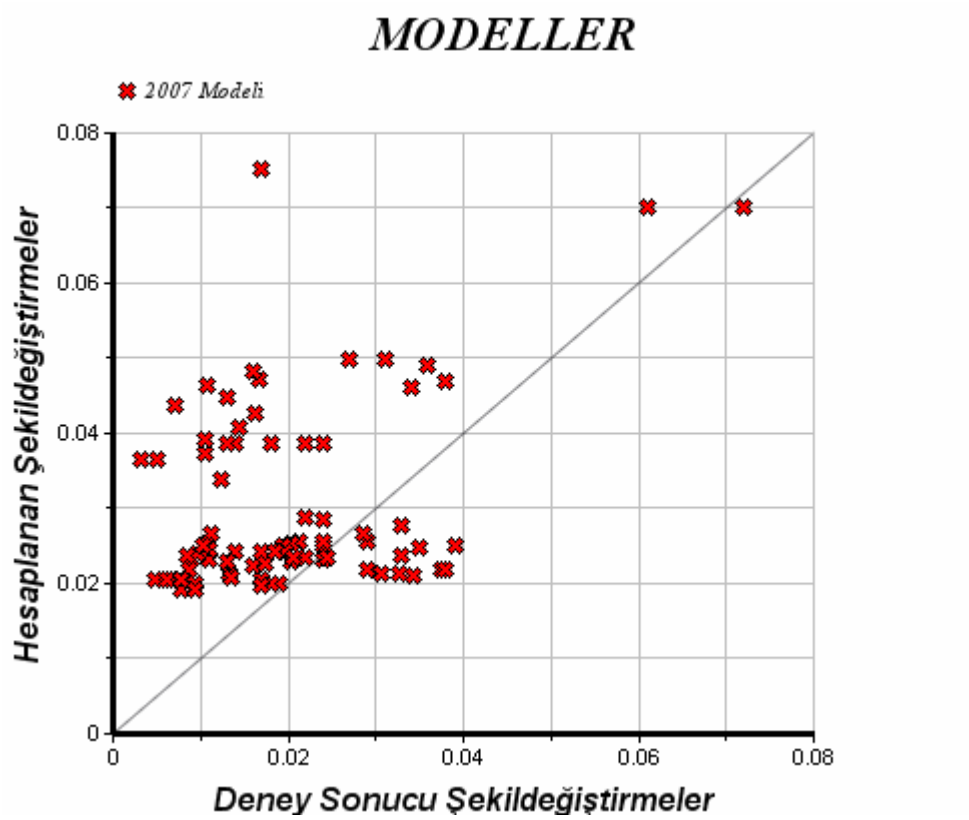
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.451	-	0.704	0.944
σ	0.723	-	0.405	0.587



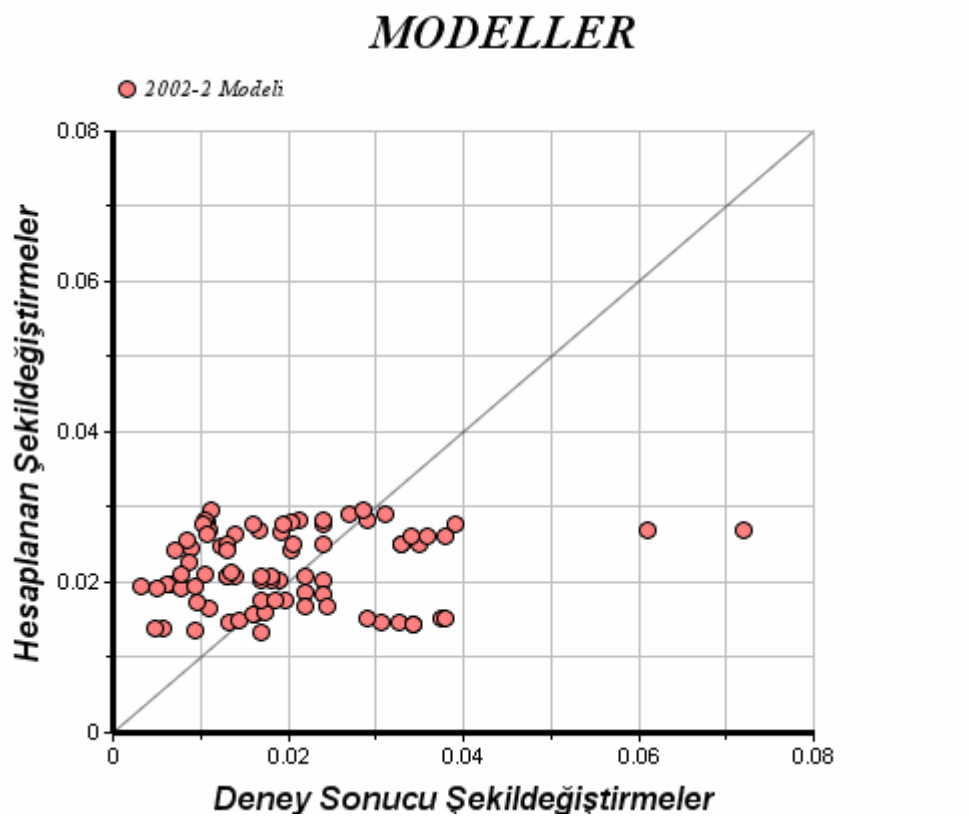
Şekil 6.153 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçlar



Şekil 6.154 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.155 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



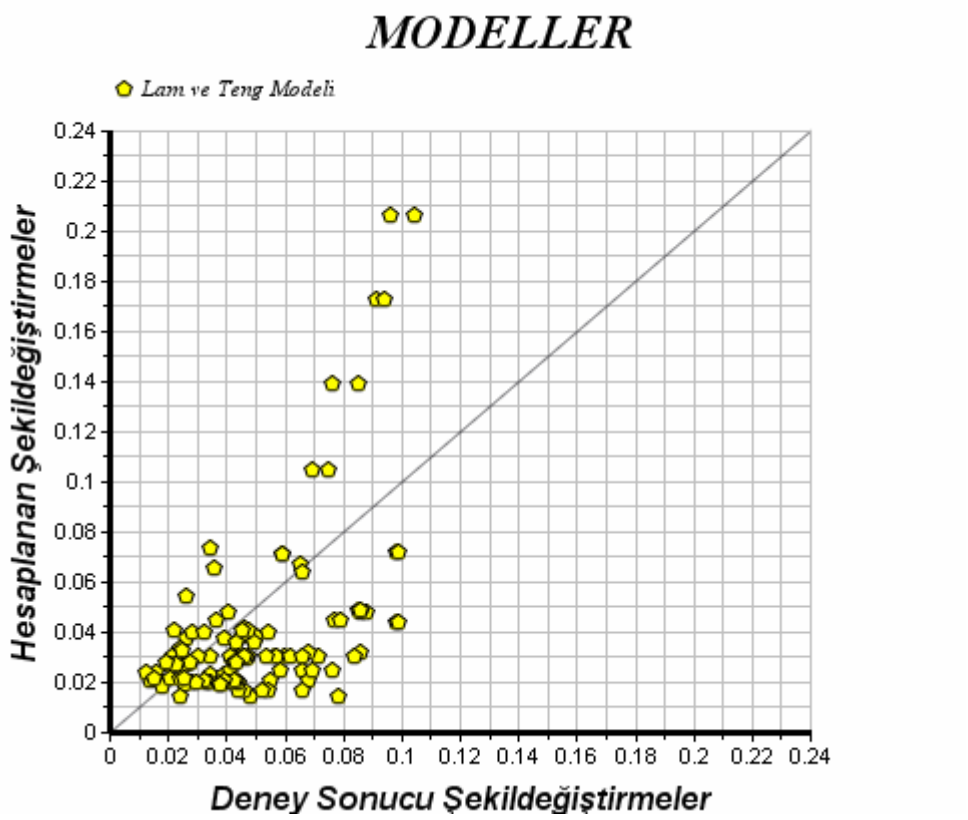
Şekil 6.156 : $0.25 \le (f_l / f_{co}) \le 0.5$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.6.3. $f_l / f'_{co} > 0.5$

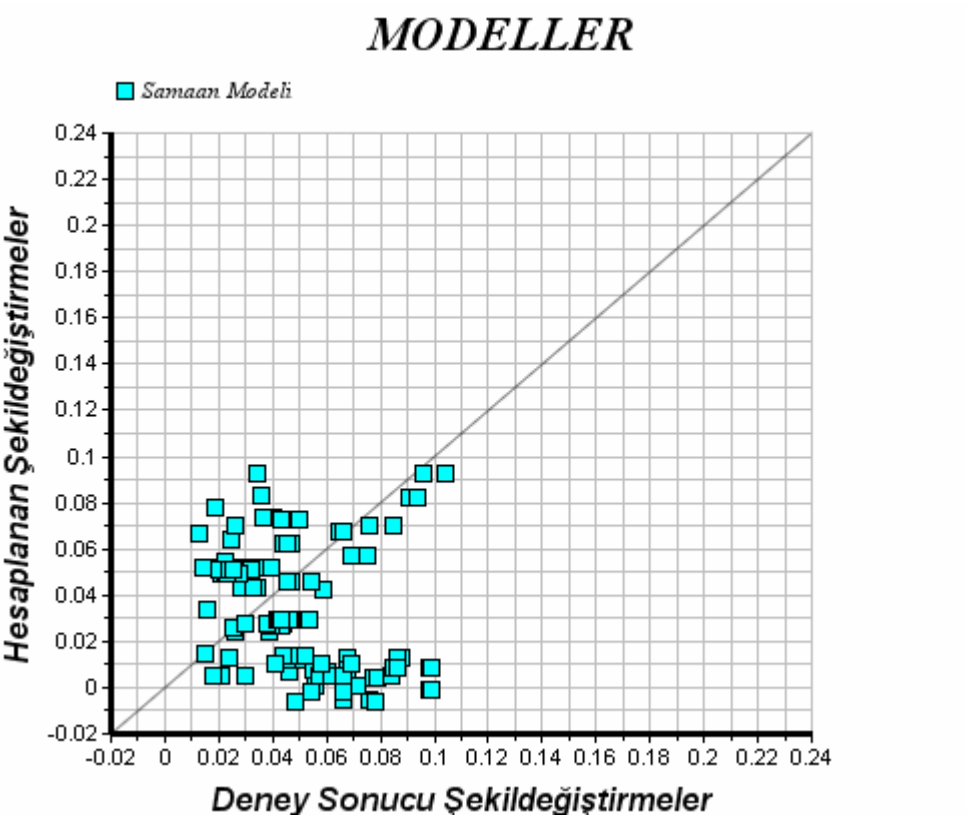
Son gruba 117 numune girmektedir. Bu sargılama basıncı düzeyi için model sonuçlarının dağılımlarının daha uygun olduğu görülmektedir. İlki 2007 ve İlki 2002b modelleri [3,4] hem Şekil 6.159 ve Şekil 6.160'daki grafiklerinden hemde Tablo 6.40'daki verilerinden de anlaşıldığı gibi en iyi sonuçları vermektedir. İlki 2007 modelinin [4] bu aralıktaki ortalaması 0.965'tir ve en küçük standart sapmaya sahiptir. Şekil 6.157 ve 6.158'de sırasıyla Lam ve Teng modeli [1] ile Samaan modelinin [2] grafiklerini vermektedir.

Tablo 6.40 : Modellerin $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

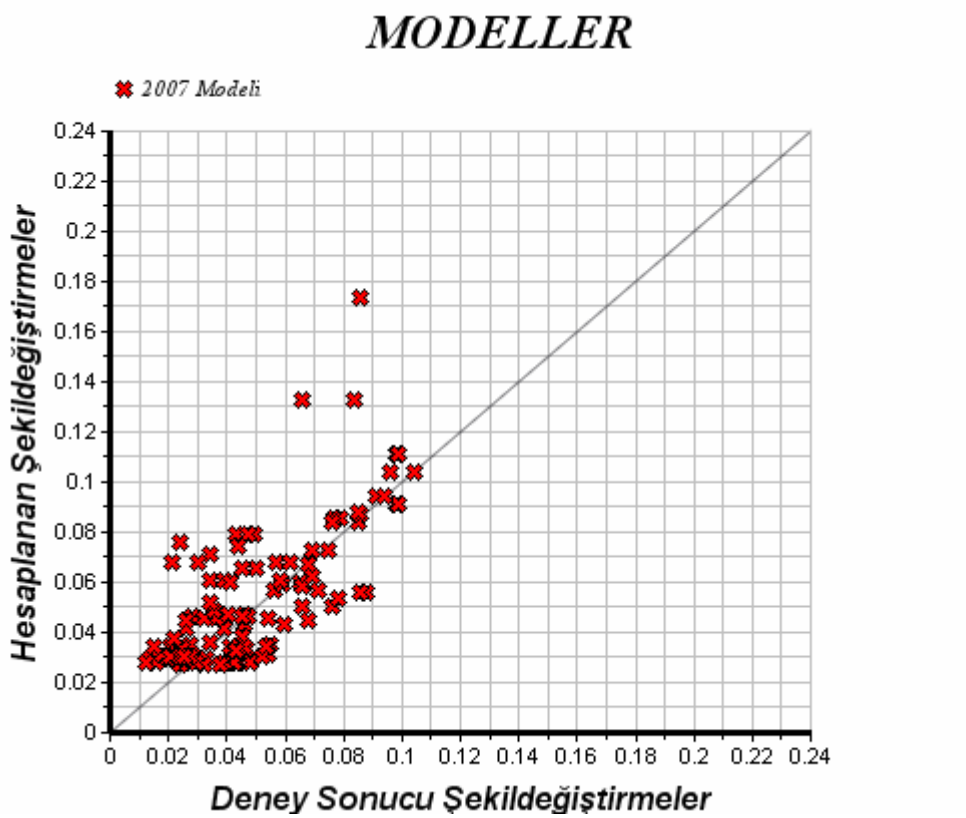
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.478	-	0.965	1.215
σ	0.823	-	0.336	0.442



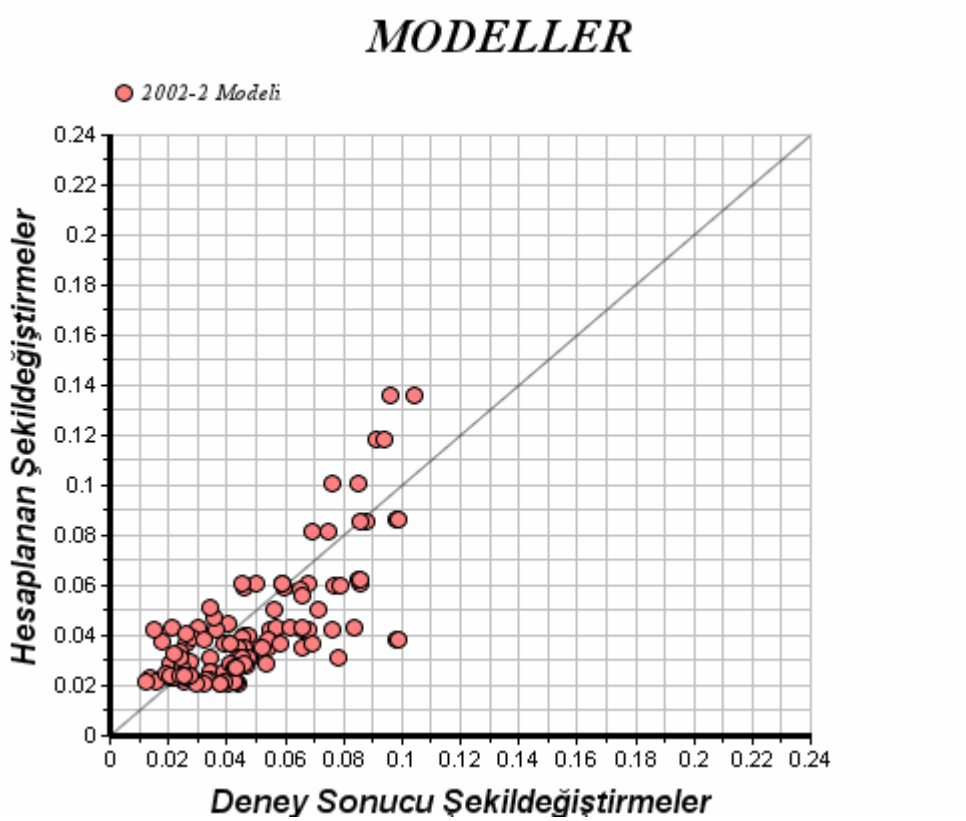
Şekil 6.157 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.158 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.159 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.160 : $0.5 < (f_l / f_{co})$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

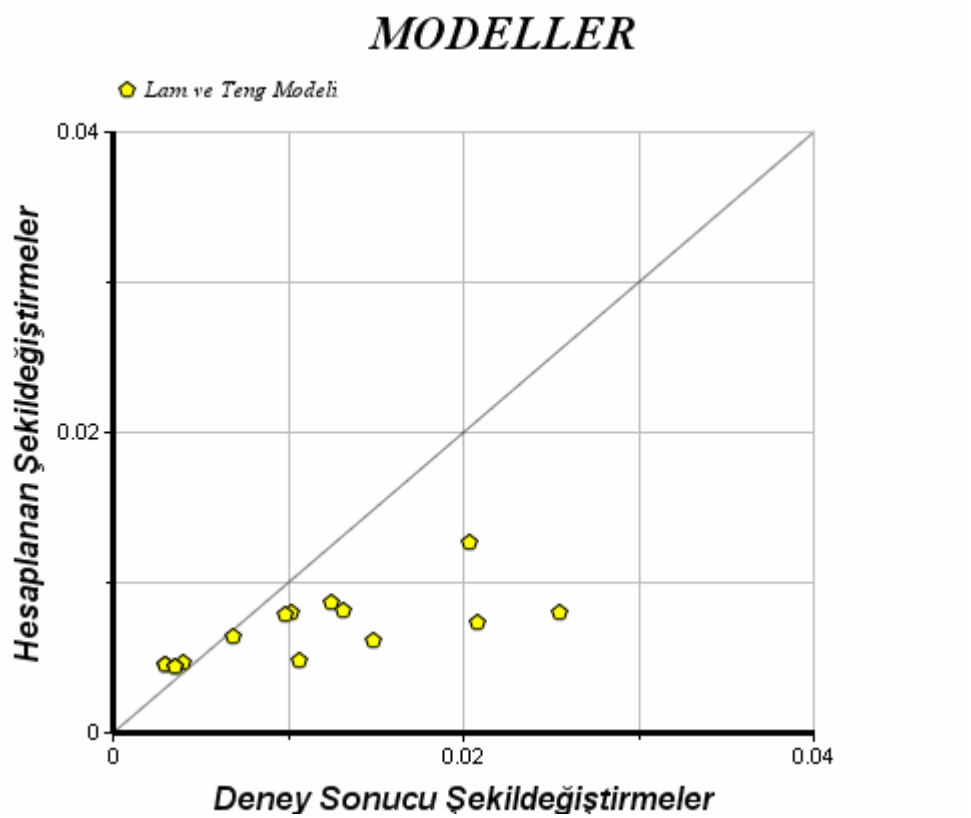
6.2.7. Köşe Yarıçapının Etkisi

6.2.7.1. $r < 10$ mm

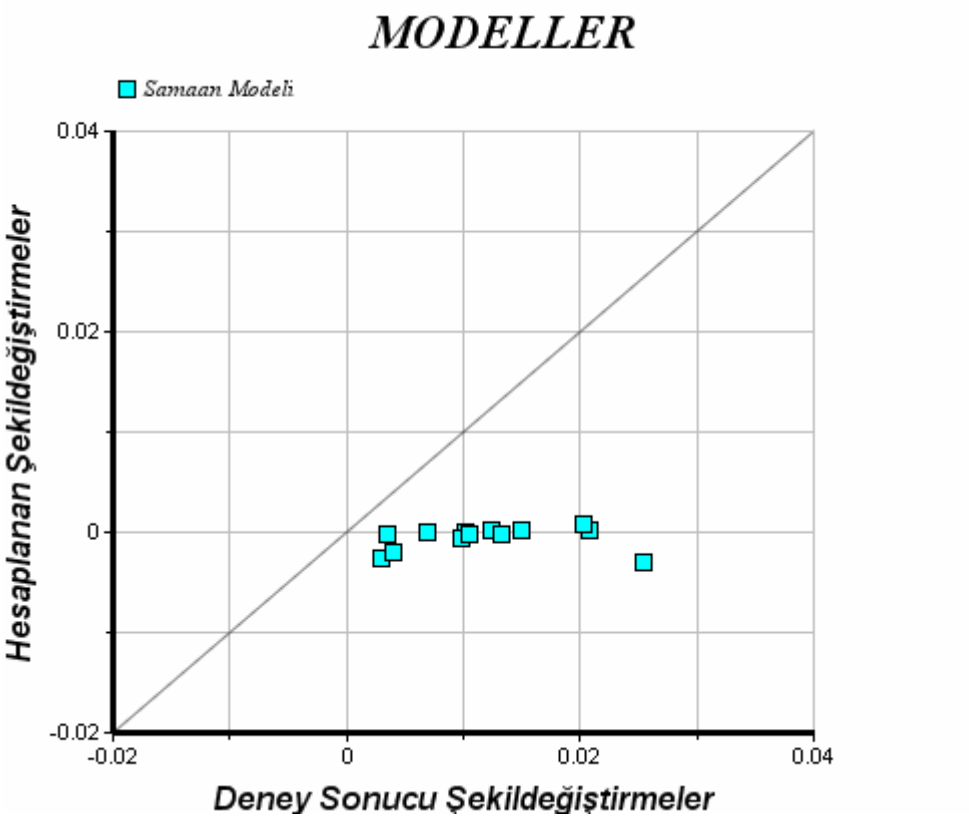
Deney sonrası şekildeğiştirme değeri bilinen ve köşe yarıçapı 10 mm'den küçük olan numune sayısı 15'dir. Bu durumda Samaan modeli [2] ya sıfıra çok yakın değerler yada negatif değerler vermiştir. İlki 2002b modeli [3] ve İlki 2007 modelleri [4] bu durumda da en iyi sonuçları vermektedir. Lam ve Teng modeli [1], kötü ortalaması ve yüksek standart sapması yüzünden, deney sonucu değerleri öngörmekte geri kalmıştır. Bu durum Tablo 6.41'de görülmektedir. Şekil 6.161'den 6.164'e kadar olan grafiklerde Lam ve Teng modeli [1], Samaan modeli [2], İlki 2007 modeli [4] ve İlki 2002b modeli [3] verimiştir.

Tablo 6.41 : Modellerin $r < 10mm$ olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

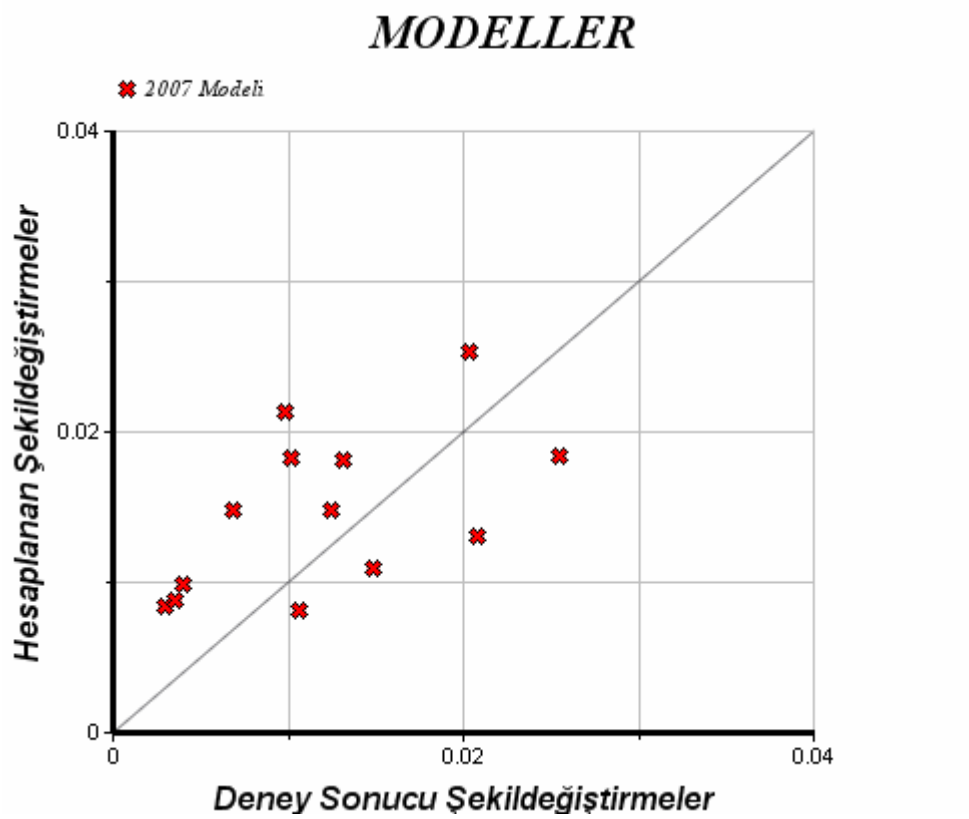
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.512	-	0.762	0.847
σ	0.774	-	0.424	0.468



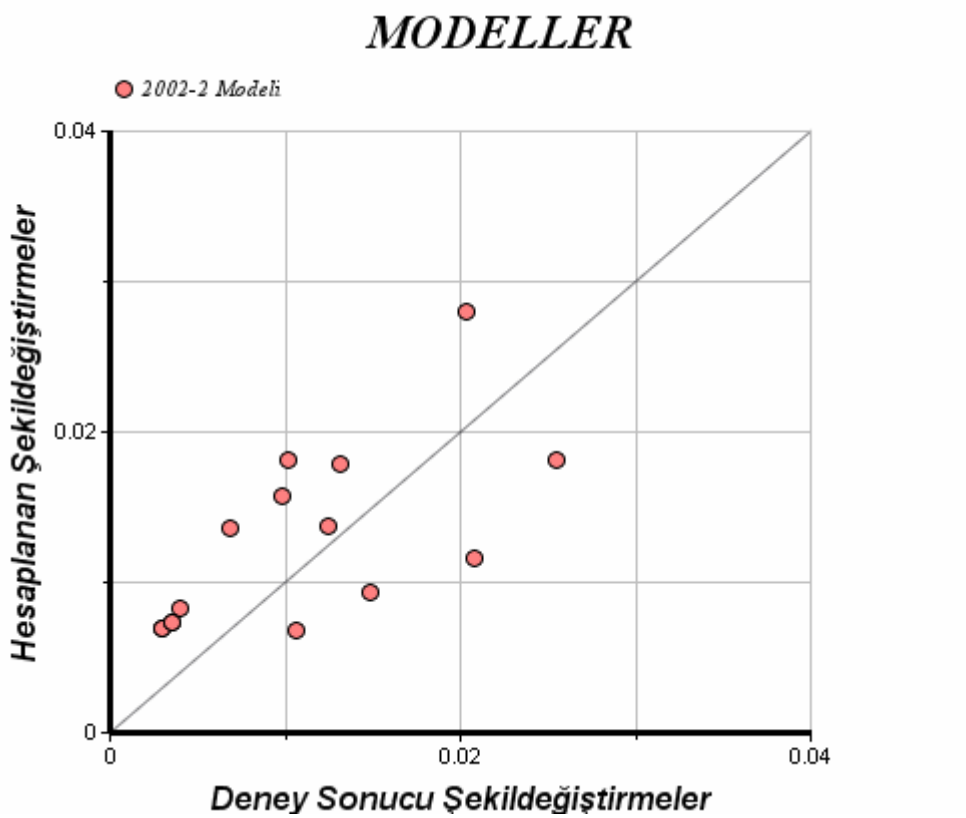
Şekil 6.161 : $r < 10mm$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.162 : $r < 10mm$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.163 : $r < 10mm$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [2] Sonuçları



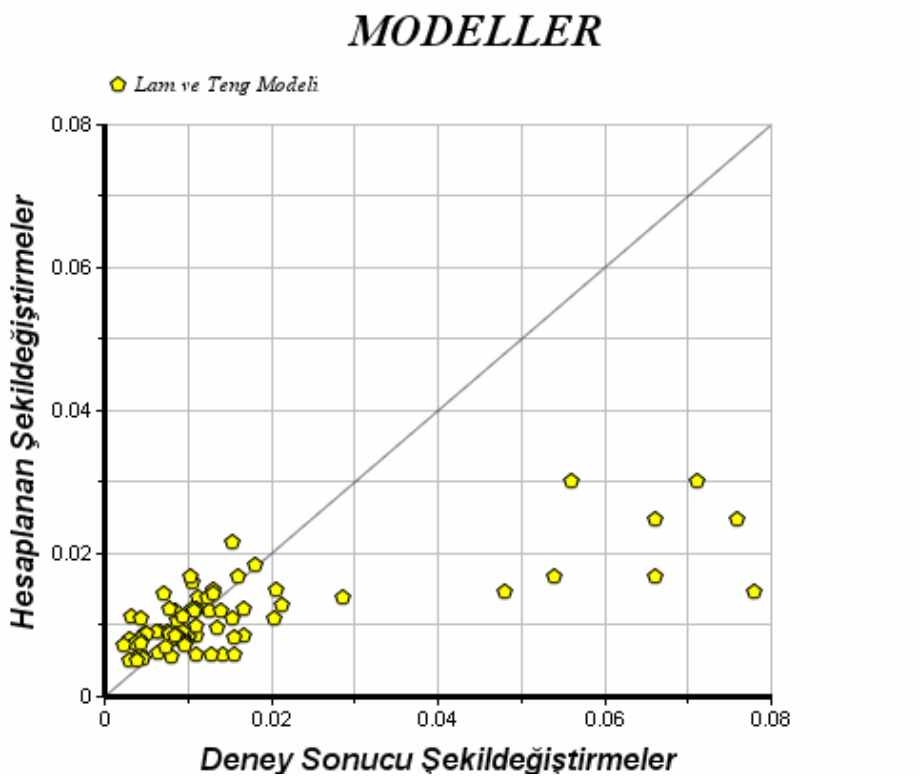
Şekil 6.164 : $r < 10mm$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.7.2. 10 mm $\leq r \leq$ 30 mm

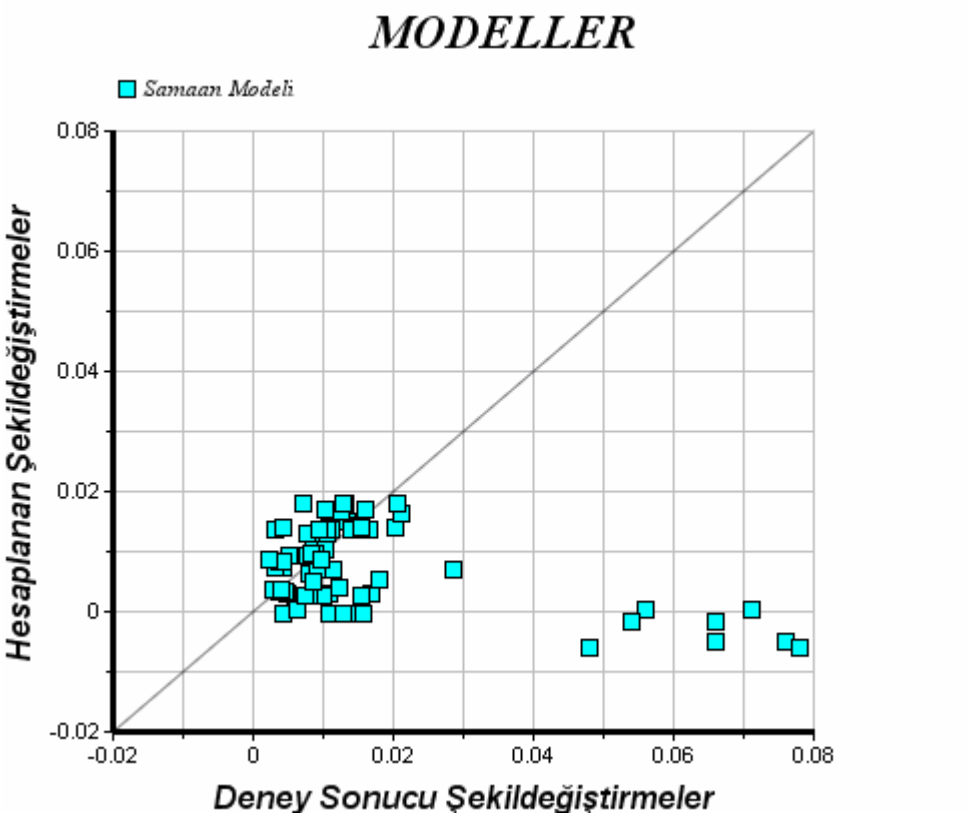
Bu aralığa bir öncekine nazaran çok daha fazla numune girmektedir. Kümedeki eleman sayısı 74'dür. Bir önceki kıstasın tam tersine Lam ve Teng modeli [1] bu aralıkta, yüksek standart sapmasına rağmen en iyi sonucu vermektedir. İlki modellerinin ikisi de Şekil 6.167 ve Şekil 6.168'den görüldüğü gibi ortalama çizgisinin üzerinde kalmıştır. Bu durum da ortalamalarının düşük çıkmasına yok açmıştır. Şekil 6.165 ve 6.166'da diğer modellerin grafikleri ve Tablo 6.42'de ise istatistiki değerler verilmiştir.

Tablo 6.42 : Modellerin $10mm \leq r \leq 30mm$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

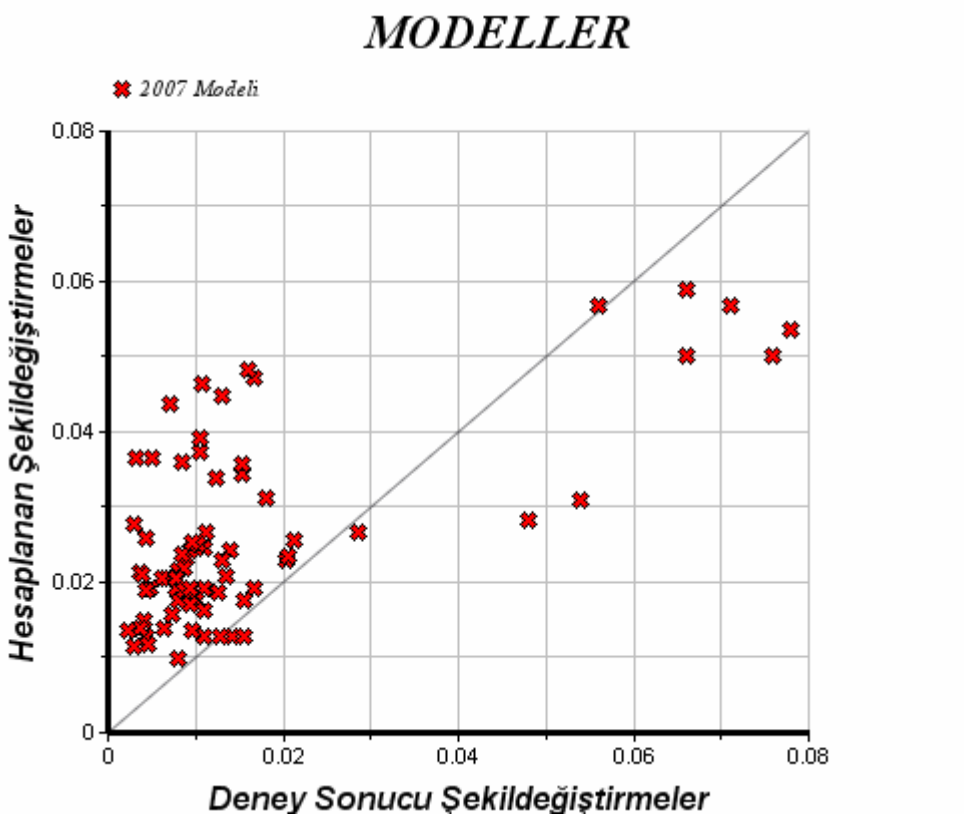
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.271	-	0.571	0.657
σ	0.885	-	0.384	0.445



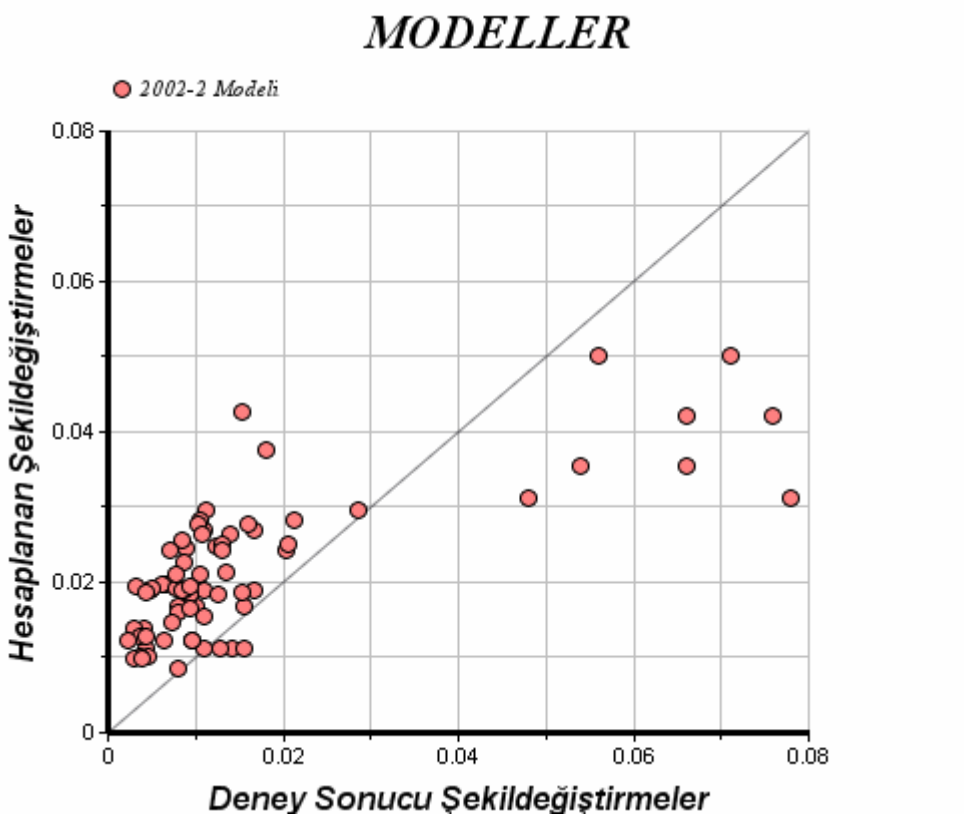
Şekil 6.165 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.166 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.167 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



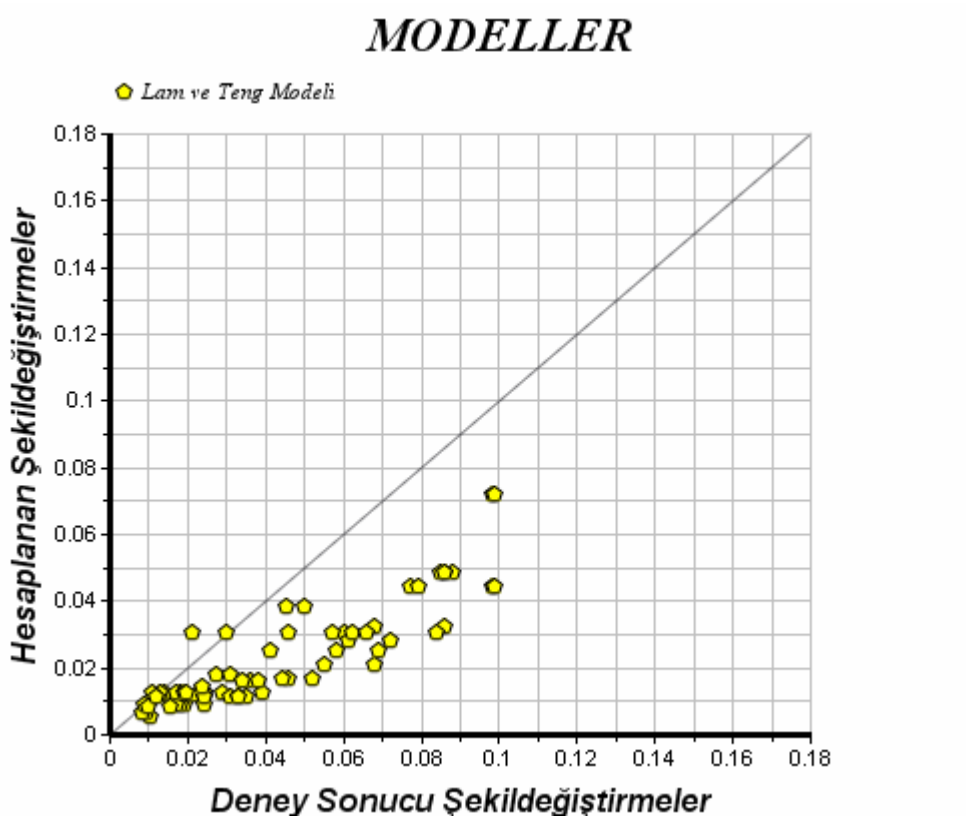
Şekil 6.168 : $10mm \le r \le 30mm$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.7.3. $r >$ 30 mm

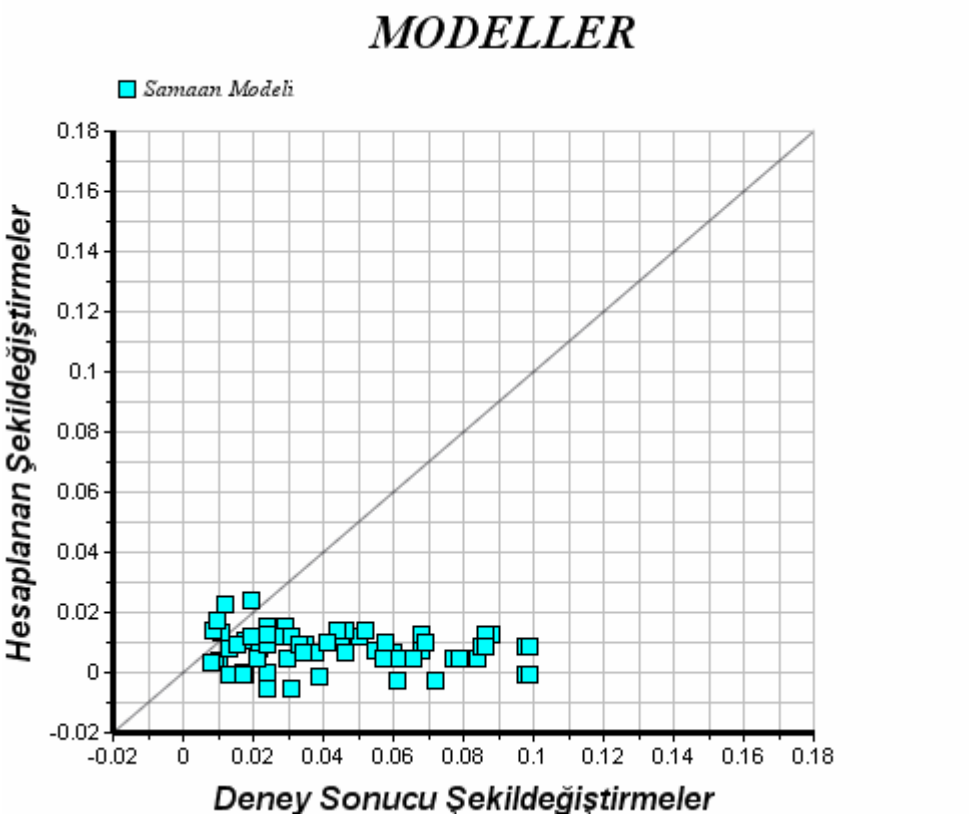
Köşe yarıçapı 30 mm'den büyük eleman sayısı 68'dir. Lam ve Teng modelinin [1] Tablo 6.43'de görülen verilere ve Şekil 6.169'daki grafiğe dayanarak iyi sonuçlar vermediği söylenebilir. İlki 2007 ve İlki 2002b modelleri [3,4] ise hem tablodaki verilere hem de Şekil 6.171 ve Şekil 6.172'deki grafiklerine göre kabul edilebilir sonuçlar vermektedirler. Bu gruba giren elemanlar da büyük oranda İlki modellerinin [3,4] deney grubuna dahildir. Şekil 6.170'ta da Samaan modeli [2] görülmektedir.

Tablo 6.43 : Modellerin $30mm < r$ Olan Elemanlara Göre İstatistik Verileri

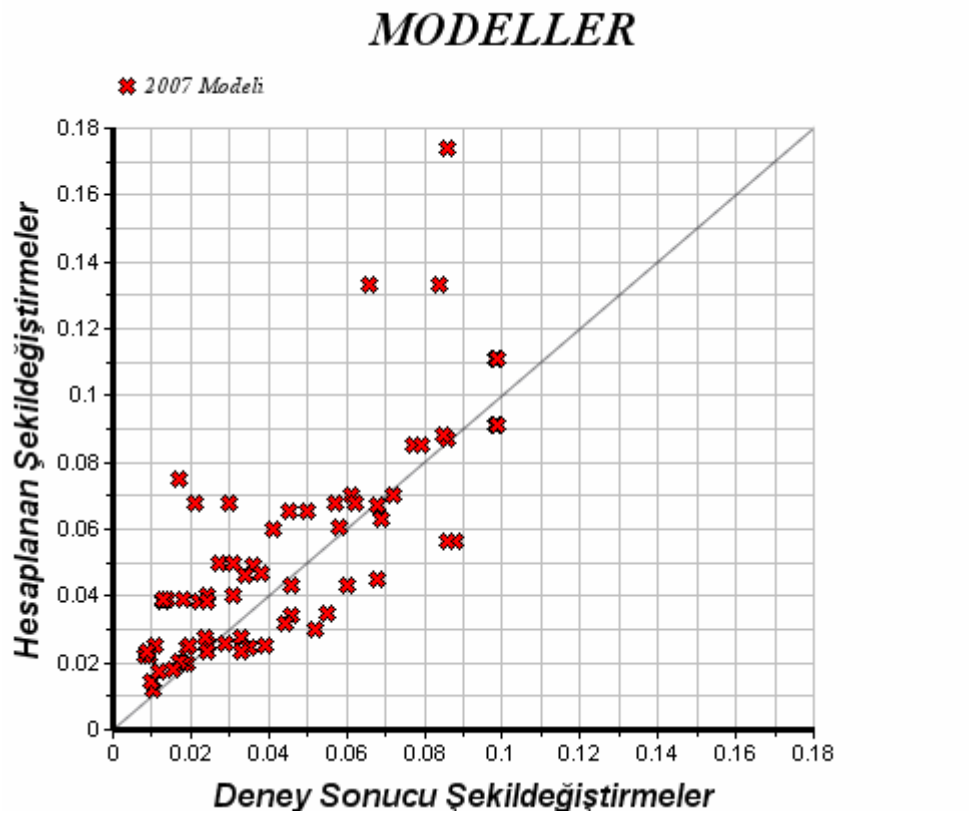
	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.925	-	0.869	1.181
σ	0.613	-	0.356	0.494



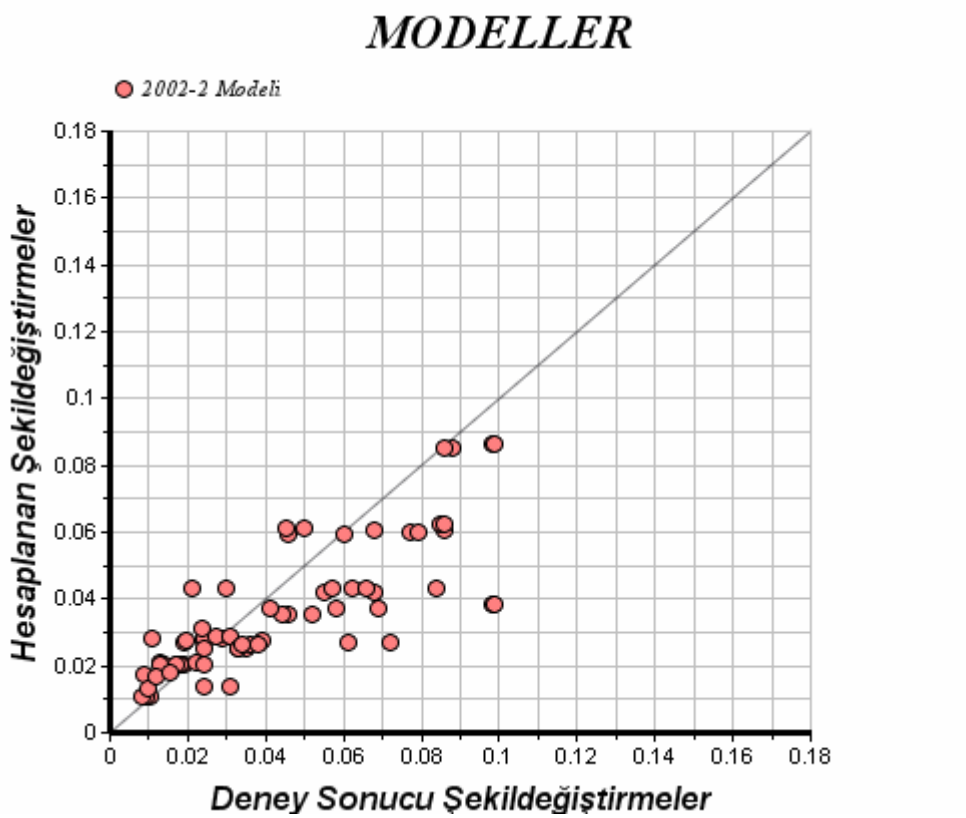
Şekil 6.169 : $30mm < r$ olan Elemanların Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.170 : $30mm < r$ olan Elemanların Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.171 : $30mm < r$ olan Elemanların İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.172 : $30mm < r$ olan Elemanların İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

6.2.8. Genel Durum

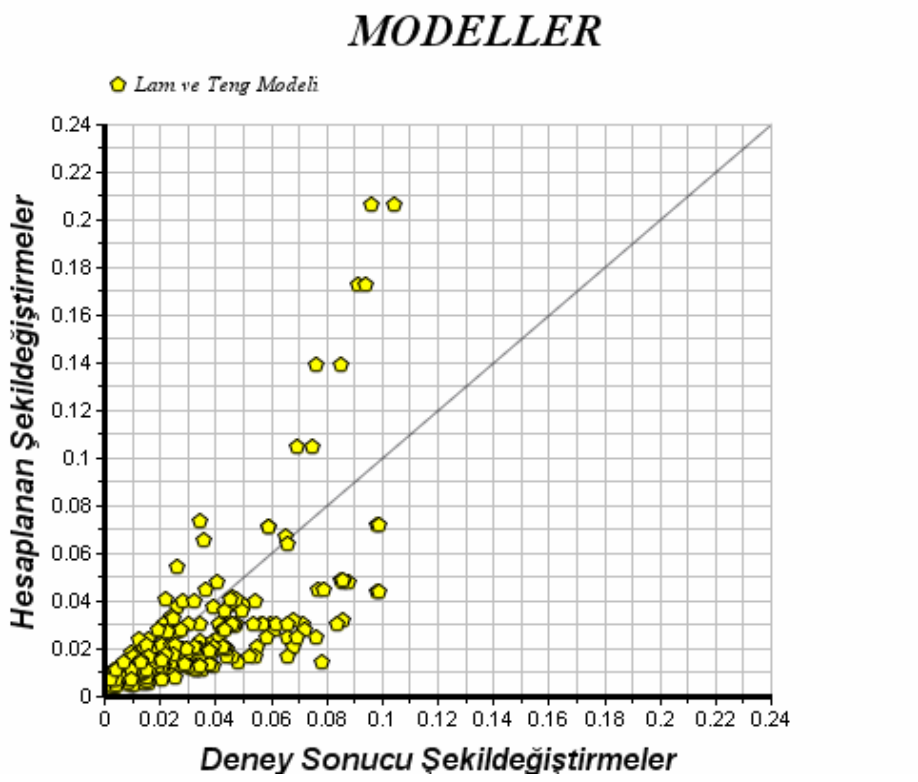
Deneysel veri tabanında dayanıma karş gelen şekildeğiştirme değerleri bilinen 276 numune vardır. Bölümün başında da belirtildiği gibi modeller bu şekildeğiştirmeleri, basınç dayanımlarını öngördükleri hassaslıkta belirleyememektedir. İncelenen tüm durumlar için bakıldığında, model grafiklerini içeren şekiller incelendiğinde, standart sapmaların çok büyük olduğu görülmektedir.

Genel değerlendirmede, en iyi sonuçları, DBYBHY 2007'ye de [12] girdiğini belirttiğmiz, İlki 2002b modeli [3] vermektedir. Ardından İlki 2007 [4] ve son olarakta Lam ve Teng modeli [1] gelmektedir. Samaan modelinin [2] genel durumu gösteren istatistik veriside, özeldurumların incelenmesinde verilmemiş olmasına rağmen, Tablo 6.44'de gösterilmiştir.

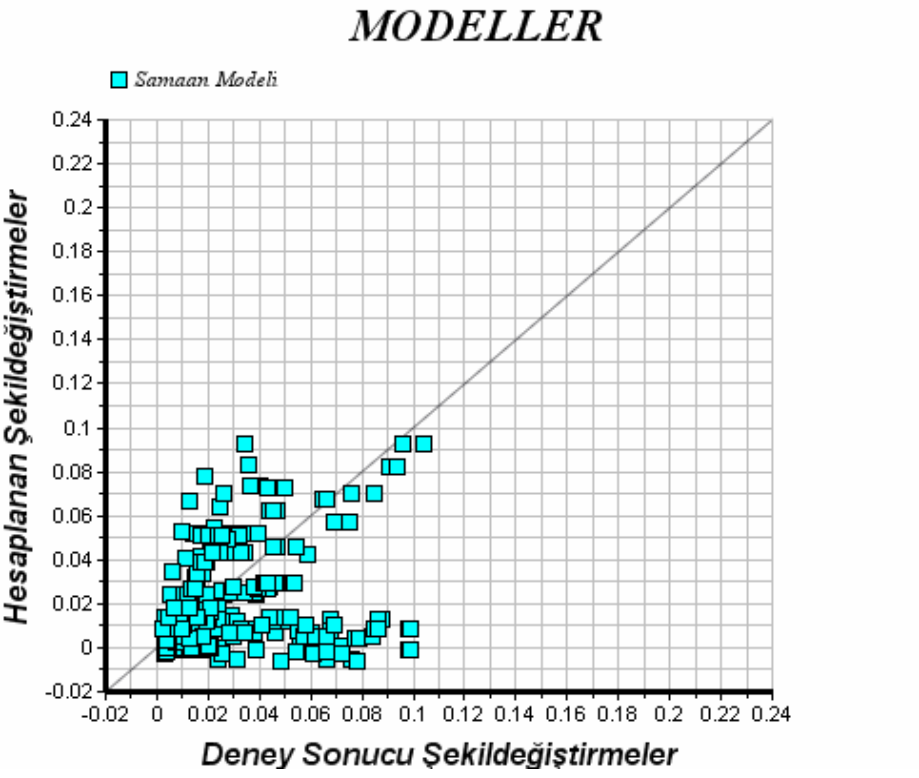
Tablo 6.44 : Modellerin Genel Duruma Göre İstatistik Verileri

	Lam ve Teng [1]	Samaan [2]	İlki 2007 [4]	İlki 2002b [3]
μ	1.420	1.778	0.790	1.029
σ	0.522	28.164	0.385	0.522

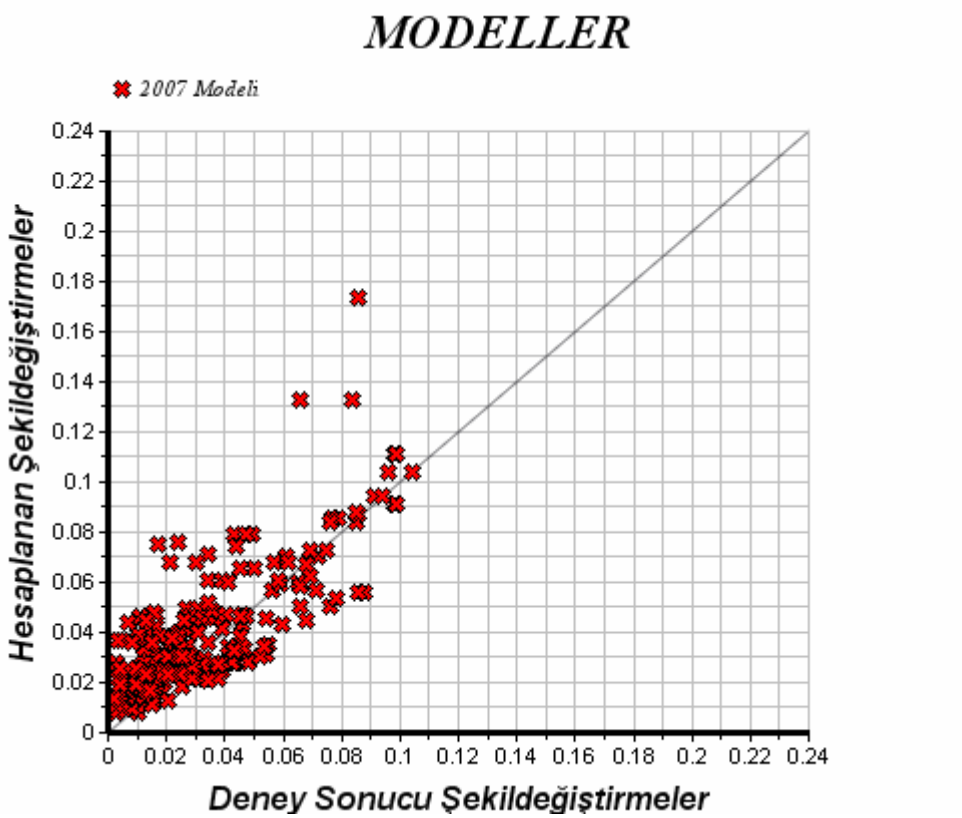
Şekil 6.173'ten Şekil 6.176'ya kadar modellerin grafikleri verilmiştir.



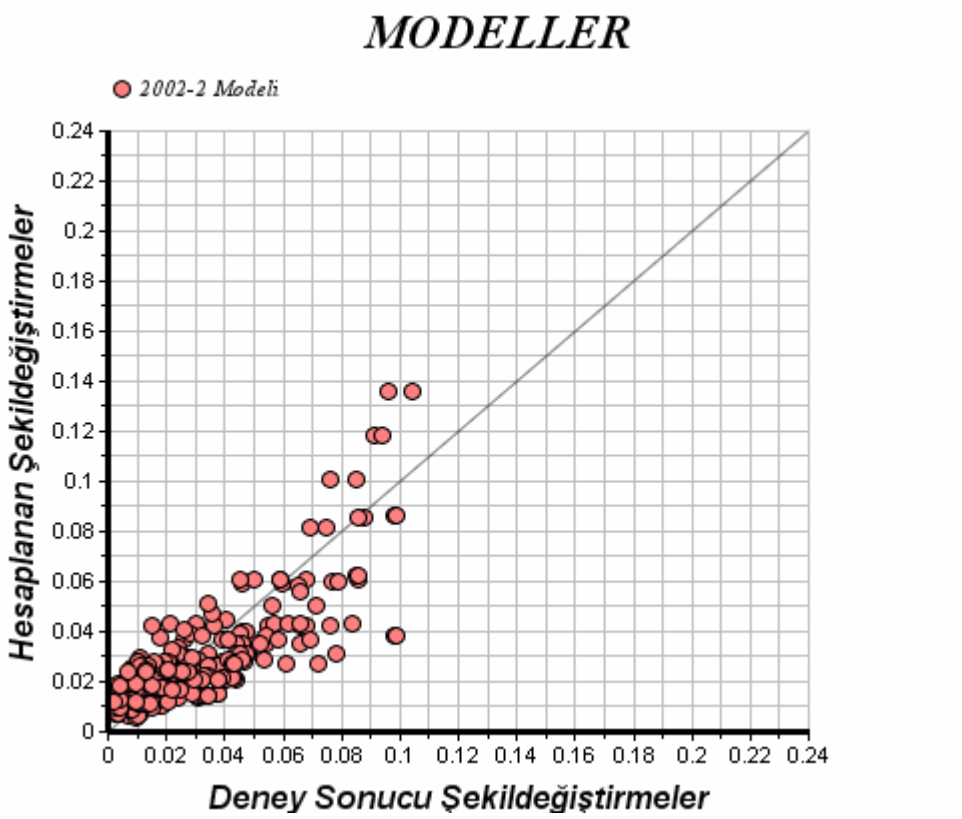
Şekil 6.173 : Genel Durumda Lam ve Teng Modeli [1] Sonuçları



Şekil 6.174 : Genel Durumda Samaan Modeli [2] Sonuçları



Şekil 6.175 : Genel Durumda İlki 2007 Modeli [4] Sonuçları



Şekil 6.176 : Genel Durumda İlki 2002b Modeli [3] Sonuçları

7. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, LP ile sargılanarak güçlendirilmiş beton/betonarme kolonların gerilme-şekildeğiştirme davranışlarını açıklayan dört analitik model karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, önce geniş bir veri tabanı oluşturulmuş, ardından da bu verileri işleyebilecek bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım, modellerin önerdikleri ifadeleri veri tabanına tatbik etmenin yanısıra sonuçların daha rahat irdelenebilmesini sağlamak amacı ile çeşitli grafikler ve istatistik veriler de oluşturmaktadır. Hem dayanım, hem de şekildeğiştirme değerleri çeşitli parametrelerin, farklı aralıklarında incelenmiş, deney ve model sonuçlarını içeren grafikler ve istatistik verilerle birlikte sunulmuştur. Bu çalışmayla birlikte aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. İncelenen modeller arasında, tüm modellerin iyi ve kabul edilebilir sonuçlar vermesiyle birlikte, İlki 2007 [4] dayanım modelinin genel durumu en iyi ifade eden model olduğu görülmüştür.

2. İncelenen modellerin tümünün, şekildeğiştirmeler açısından çok dağınık ve değişken sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle Samaan modeli [2] bu açıdan yetersiz görünmektedir. Genel olarak tüm modellerin çok etkin sonuçlara ulaşamamalarının nedeni ölçüm sistemlerinin birbirinden farklı olmasından da kaynaklanabilir. Benzer bir durum etriye ile sargılanmış beton için de tespit edilmiştir. Fakat Samaan modelindeki [2] durum, modeller kısmında açıklandığı gibi MCR katsayısı ile bağlantılıdır. MCR oranının 0.15'ten küçük olduğu noktalarda modelin kullanılmaması önerilmiş ve yapılan çalışma sonucunda da doğruluğu görülmüştür.

3. İnceleme sonuçları dışında, çalışmanın geniş bir geçerlilikle yapılması amacıyla büyük bir veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı hem çeşitlilik açısından zengindir, hem de genişletilmeye elverişli şekilde hazırlanmıştır.

4. Çalışmada oluşturulan veritabanının modellere hızlı, doğru ve kolay bir şekilde uygulanması için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu sayede modeller sayısal ve grafik

ortamda rahatça karşılaştırılabilir hale gelmiştir. Ayrıca hazırlanmış olan program, yeni gözönüne alınacak yeni modellere açıktır. Hem yeni modellerin eklenmesi hem de veritabanının genişlemesiyle veriler hızla güncelenebilecektir.

5. Bu çalışmanın ve ileride veritabanının ve incelenen model sayısının artmasıyla oluşacak yeni verilerin ışığında, daha etkin ve sonuçları daha güvenilir olacak, daha geniş özellikleri kapsayacak yeni modeller önerilmesine kaynak sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **Lam, L. and Teng, J.G.**, 2003. Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns, *Journal of Reinforced Plastics and Composites,* **13,** 1149-1186.

[2] **Samaan, M., Mirmiran, A. and Shahawy, M**., 1998. Model of concrete confined by fiber composites, *Journal of Structural Engineering,* **9,** 1025-1031.

[3] **İlki, A. and Kumbasar, N**., 2003. Compressive Behaviour of carbon fibre composite jacketed concrete with circular and non-circular cross-sections, *Journal of Earthquake Engineering*, **3**, 381-406

[4] **İlki, A., Peker, Ö., Karamuk, E., Demir, C. and Kumbasar, N.**, 2008. FRP retrofit of low and medium strength circular and rectangular reinforced concrete columns, *Journal of Materials in Civil Engineering,* **2,** 1-20.

[5] **İlki, A., Kumbasar, N. and Koç, V.**, 2004. Low strength concrete members externally confined with FRP sheets, *Structural Engineering and Mechanics,* **2,** 167-194.

[6] **Rousakis, T.C., Karabinis, A.I. and Kiousis, P.D.**, 2007. FRP-confined concrete members: axial compression experiments and plasticity modelling, *Engineering Structures,* **29,** 1343-1353.

[7] **Campione, G. and Miraglia, N.**, 2003. Strength and strain capacities of concrete compression members reinforced with FRP, *Cement and Concrete Composites,* **25,** 31-41.

[8] **Rochette, P. and Labossiere, P.**, 2000. Axial testing of rectangular column models confined with composites, *Journal of Composites for Construction,* **3,** 129-136.

[9] **Shahawy, M., Mirmiran, A. and Beitelman, T.**, 2000. Tests and modelling of carbon-wrapped concrete columns, *Composites: Part B,* **31,** 471-480.

[10] **Silva, M.A.G. and Rodrigues, C.C.**, 2006. Size and relative stiffness effects on compressive failure of concrete columns wrapped with glass FRP, *Journal of Materials in Civil Engineering,* **3,** 334-342.

[11] **Lam, L. and Teng, J.G.**, 2002. Strength models for fiber-reinforced plastic-confined concrete, *Journal of Structural Engineering,* **5,** 612-623.

[12] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, 2007. *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[13] **ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary**, 2007. *American Concrete Institute,* Farmington Hills.

[14] **Ahmad, S.H.**, 1981. Properties of confined concrete under static and dynamic loads, *PhD Thesis,* Univ. of Illinois**,** Chicago Circle, Chicago.

[15] **Wang, Y.C. and Restrepo, J.I.**, 2001. Investigation of concentrically loaded reinforced concrete columns confined with glass fiber-reinforced polymer jackets, *ACI Structural Journal,* **3,** 377-385.

[16] **Hassan, M. and Chaallal, O.**, 2007. Fiber-reinforced polymer confined rectangular columns: assessment of models and design guidelines, *ACI Structural Journal,* **6,** 693-702.

ÖZGEÇMİŞ

Onur GEDİK, 1984 Ankara doğumludur. 2002 yılında Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesinden mezun olmuş ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümündeki eğitimine başlamıştır. 2006 yılında mezun olmuş ve Yapı Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.